



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

## **TESIS**

**“ANÁLISIS DE FALLA EN ESPÁRRAGOS DE CULATA  
PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS  
JUMBOS BOOMER-282 DE ATLAS COPCO - UNIDAD  
ISLAY - 2017”**

Presentada por:

**Bach. ULISES FELICIANO CUEVA OSORIO**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Cerro de Pasco - Perú

2018

**DEDICATORIA**

A mis padres,

Hermanos, hijos y amigos

Quienes hicieron posible mi formación profesional

Ulises Feliciano CUEVA OSORIO

### **AGRADECIMIENTO**

Agradecido de mi persona por el logro obtenido, un día me propuse una meta en estudiar la carrera de ingeniería y dio su fruto, también a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en que me encuentro.

Ulises Feliciano CUEVA OSORIO

## RESUMEN

La investigación que se presenta tiene como título: “Análisis de falla en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay-2017”, en el cual la muestra de análisis de la investigación es el jumbo Boomer-282, siendo la variable independiente el análisis de falla de espárragos y la variable dependiente disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de la empresa especializada Atlas Copco.

La investigación es de tipo tecnológico y su nivel es aplicativo, ya que el problema está establecido y es conocido, por lo que utiliza la investigación para dar respuesta a preguntas específicas. Se centra específicamente en cómo se pueden llevar a la práctica las teorías generales en los jumbos Boomer-282.

El objetivo de la investigación ha sido determinar la influencia del análisis de falla en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco-Unidad Islay-2017; el diseño utilizado para alcanzar el objetivo planteado es el diseño de grupo con pre prueba y post prueba, con los datos adquiridos de disponibilidad de los jumbos Boomer-282. Utilizamos la estadística descriptiva para el análisis de datos y la estadística inferencial para validar la hipótesis, utilizando el estadígrafo T Student.

En la investigación realizamos un análisis de las posibles fallas de los espárragos de la culata del motor Deutz 914; así logramos aumentar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282.

Los resultados obtenidos del análisis de falla nos servirán para reducir costos de mantenimiento y evitar las averías imprevistas.

Palabras Claves: Análisis de Falla. Disponibilidad. Esfuerzo. Motor de Combustión Interna.

## ABSTRACT

The study that shows up has as title: “Analysis of failure in asparaguses of butt to increment the availability of the jumbos Boomer-282 of Atlas Copco unit Islay 2017”, the sample of analysis of investigation is the jumbo Boomer-282, in order to study the independent variable analysis of failure of asparaguses and the dependent variable availability of the jumbos Boomer-282 of the specialized company Atlas Copco.

The research is of the technological type and the level is applicative, it is application because the problem is established and is known, so it uses the investigation to give answer to specific questions. It centered specifically on how can lead to the practice the general theories in the jumbos Boomer-282.

The objective of investigation has been to determine the influence of the analysis of fault in asparaguses of butt to increment the availability of the jumbos Boomer-282 of Atlas Copco - Unidad Islay - 2017; The design used to attain the brought-up objective is the design of group with ERP try and after proof, with the data acquired of availability of the jumbos Boomer. We use the descriptive statistics for the data analysis and the inferential statistics to validate the hypothesis, using the estadígrafo T Student.

In the investigation we accomplish an analysis of the possible faults of the asparaguses of the butt of the motor Deutz 914; so we managed to increase the availability of the jumbos Boomer-282.

Our results obtained from the failure analysis will help us to reduce maintenance costs and to avoid the unforeseen damages.

Keywords: Analysis of Failure. Availability. Struggle. Internal combustion engine.

**INDICE DE CONTENIDO**

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN .....	xii
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	14
1.1 Planteamiento del problema .....	14
1.2 Formulación del problema .....	15
1.2.1 Problema principal.....	15
1.2.2 Problemas específicos .....	15
1.3 Objetivo de la investigación.....	15
1.3.1 Objetivo general.....	15
1.3.2 Objetivo específico .....	15
1.4 Justificación e importancia de la investigación.....	16
1.4.1 Justificación teórica .....	16
1.4.2 Justificación metodológica .....	16
1.4.3 Justificación práctica .....	16
1.4.4 Importancia de la investigación.....	16
1.5 Limitaciones de la investigación .....	17

1.6 Delimitaciones de la investigación.....	17
1.6.1 Delimitación espacial .....	17
1.6.2 Delimitación social .....	17
1.6.3 Delimitación temporal.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	18
2.1 Antecedentes del estudio.....	18
2.1.1 Antecedentes internacionales .....	18
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	20
2.2 Bases teóricas y científicas.....	24
2.2.1 Conceptualización de la variable Independiente .....	24
2.2.2 Conceptualización de la variable dependiente: Disponibilidad .....	56
2.3 Definición de términos .....	57
2.4 Hipótesis.....	58
2.4.1 Hipótesis general.....	58
2.4.2 Hipótesis específicas .....	58
2.5 Variables.....	58
2.5.1 Definición conceptual de las variables .....	58
2.5.2 Definición operacional de las variables.....	59
2.5.3 Operacionalización de las variables.....	59
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	60
3.1 Tipo y nivel de investigación .....	60

3.1.1 Tipo de investigación .....	60
3.1.2 Nivel de investigación .....	60
3.1.3 Diseño de investigación .....	60
3.2 Población y muestra .....	61
3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	61
3.4 Validez y confiabilidad del instrumento .....	62
3.5 Plan de recolección y procesamiento de datos .....	62
3.6.1 Plan de recolección de datos .....	62
3.6.2 Procesamiento de datos .....	63
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	65
4.1 Diagnóstico del motor diésel Deutz 914 .....	65
4.2 Análisis de esfuerzo del espárrago .....	67
4.3 Descripción estadística .....	73
4.4 Contrastación de la hipótesis .....	75
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	79
5.1 Discusión .....	79
CONCLUSIONES .....	82
RECOMENDACIONES .....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84
ANEXO 01. MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	86
ANEXO 02. DATOS TÉCNICOS MOTOR .....	87

ANEXO 03. VISTA DEL MOTOR.....	88
ANEXO 04. VISTA DEL MOTOR.....	89
ANEXO 05. DENOMINACIÓN DEL MOTOR.....	90
ANEXO 06. DIMENSIONES PRINCIPALES DE CUERDAS DE TRONILLOS DEL ESTANDAR METRICO ISO .....	91
ANEXO 07. ESPECIFICACIONES MÉTRICAS Y RESISTENCIAS PARA PERNOS DE ACERO .....	92
ANEXO 08. ESPECIFICACIONES MÉTRICAS DEL ESPARRAGO ESTUDIADO .....	93
ANEXO 09. REPORTE DE DISPONIBILIDAD DEL JUMBO BOOMER 282 DEL AÑO 2016.....	94
ANEXO 10. REPORTE DE DISPONIBILIDAD DEL JUMBO BOOMER 282 DE ENERO 2017 .....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva de la bañera .....	26
Figura 2 Barra prismática sometido a tensión.....	28
Figura 3 Marcas en la cabeza de pernos .....	31
Figura 4 Culata independiente del motor de combustión interna diesel Deutz 914 .....	34
Figura 5 Perno y tuerca, tornillo de máquina y espárrago .....	36
Figura 6 Perfil básico de rosca métrica M .....	50
Figura 7 Terminología de roscas de tornillo .....	51
Figura 8 Distribución de factor de seguridad debido a torsión.....	68
Figura 9 Distribución de factor de seguridad debido a esfuerzo de tracción.....	69
Figura 10 Estudio de análisis estático, esfuerzo de Von Mises que soporta el espárrago .....	70
Figura 11 Estudio de análisis estático desplazamiento que soporta el espárrago .....	70
Figura 12 Estudio de análisis estático deformaciones que soporta el espárrago .....	71
Figura 13 Esfuerzo de Von Mises que soporta el espárrago debido a la carga de tracción.....	71
Figura 14 Estudio de análisis estático desplazamiento que soporta el espárrago por tracción.....	72
Figura 15 Estudio de análisis estático deformación que soporta el espárrago por tracción .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones y resistencias de SAE para pernos de acero .....	30
Tabla 2 Especificaciones métricas y resistencias para pernos de acero.....	31
Tabla 3 Factores para área de cortante de barrido en las cuerdas .....	52
Tabla 4 Distribución de la precarga $F_i$ de 20 pruebas de pernos no lubricados con apriete a 90 N.m .....	54
Tabla 5 Distribución de la precarga $F_i$ de 10 pruebas de pernos lubricados con apriete a 90N.m .....	54
Tabla 6 Factores del par de torsión K para su empleo con la ecuación .....	55
Tabla 7 Factores de concentración del esfuerzo de fatiga $K_f$ de elementos roscados .....	55
Tabla 8 Resistencias a la fatiga completamente corregidas de pernos y tornillos con roscas laminadas* .....	56
Tabla 9 Disponibilidad de jumbo Boomer-282 del año 2016.....	73
Tabla 10 Estadísticos jumbo Boomer-282 del año 2016 .....	73
Tabla 11 Disponibilidad del jumbo Boomer-282 del año 2017.....	74
Tabla 12 Estadísticos jumbo Boomer-282 del año 2017 .....	75

## INTRODUCCIÓN

Los espárragos son uno de los elementos que siempre están sujetos a altas cargas y en consecuencia siempre tienden a fallar. En esta oportunidad se trata de analizar la falla utilizando métodos analíticos cuantitativos y lo que se busca es explicar la causa de la falla y conocer los esfuerzos al que está sometido el perno aplicado en el motor de combustión interna diésel Deutz 914; cuya frecuencia de falla es traducido en roturas del esparrago, barrido de los filetes de la culata, los mismos que se han incrementado, ocasionando paradas imprevistas e incrementando del costo de mantenimiento.

Mediante el presente estudio se trata de analizar los esfuerzos y los modos de fallas a fin de determinar o explicar la causa y plantear una solución, a fin de mejorar la vida útil del esparrago y los filetes correspondientes a la culata.

La presente tesis tiene 5 capítulos los cuales son:

En el capítulo I, se describe el problema de investigación, formulación del problema, objetivos a lograr, justificación e importancia de la investigación que conllevan a realizar la presente investigación, las limitaciones de la investigación y delimitaciones de la investigación.

En el capítulo II, se describe el marco teórico; considerando los antecedentes del estudio como referencia para conocer el contexto en el que se desarrolla el estudio. Se explica las características del motor de combustión interna, características de las uniones roscadas, fallas o patrones de fallas, así como las ecuaciones y tablas necesarias para el análisis de los datos obtenidos en el estudio. También se describe las hipótesis de la investigación, la operacionalización de las variables, en el cual se detalla los tres conceptos: la definición teórica, la definición real y la definición operacional.

En el capítulo III, se plasma la metodología de la investigación, detallando el tipo y nivel de la investigación, el diseño que se utilizó para la investigación, la población y muestra del estudio, también se detalla las técnicas e instrumentos de recolección de datos, la validez y confiabilidad de los instrumentos y finalmente se explica el plan de recolección y procesamiento de datos.

En el capítulo IV, se encuentra los resultados obtenidos en la presente investigación, detallándose el análisis de falla de los espárragos de la culata del motor Deutz 914, y la disponibilidad del jumbo Boomer-282.

En el capítulo V se presenta la discusión de los resultados con los antecedentes presentados, contrastado con la teoría sobre el análisis de falla.

Finalmente, se presenta las conclusiones para que se pueda definir coherentemente las causas de falla y, para posteriormente solucionar las fallas en base un análisis metodológico y sintetizado; las recomendaciones y la bibliografía utilizada en la investigación.

Si bien los pernos son los elementos muy conocidos, muy estudiados; lo que se requiere es conocer su comportamiento en diferentes máquinas, sometidas a cargas variables y parámetros intervinientes variados como temperatura y vibración el cual influye al desgaste y debilitamiento de estos elementos.

Espero que el presente estudio sea de su agrado y que conlleve a incrementar su conocimiento, generar nuevas propuestas y sea un horizonte para la solución de problemas similares.

EL AUTOR

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

La Empresa transnacional Atlas Copco Peruana S.A., es una empresa dedicada a realizar la venta y servicio de mantenimiento a equipos de perforación, de la empresa Administradora Chungar, Unidad Islay, ubicada en el departamento de Cerro de Pasco, Provincia Pasco, Distrito Huayllay a 4 598 msnm. La empresa especializada se dedica al mantenimiento de los siguientes equipos de perforación; 03 jumbos Boomer-282 y 03 empernadores Boltec-235.

Actualmente en el proceso productivo de la extracción del mineral se está presentando paradas imprevistas por fallas prematuras en los jumbos; estas averías son en los espárragos de la culata del motor, debido a esas fallas estos equipos tienen una disponibilidad mecánica baja de 83%. Esta disponibilidad mecánica está por debajo del contrato realizado con la Empresa Administradora Chungar. Según el contrato la disponibilidad mecánica debe ser como mínimo del 85%.

Entre las fallas más frecuentes, tenemos entre el perno y la parte roscada de la culata del motor; estas paradas imprevistas generan una pérdida, en el proceso productivo y consecuentemente en el aspecto financiero.

Esta investigación consistió en determinar la influencia de la rotura del espárrago en la disponibilidad de los jumbos Boomer-282.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema principal**

¿Cuál es la influencia del análisis de falla en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cómo influyen los esfuerzos en espárragos de la culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017?
- b) ¿Cómo influyen los modos de falla en espárragos de la culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017?

## **1.3 Objetivo de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar la influencia del análisis de falla en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017

### **1.3.2 Objetivo específico**

- a) Establecer los esfuerzos en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.

- b) Precisar los modos de falla en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.

## **1.4 Justificación e importancia de la investigación**

### **1.4.1 Justificación teórica**

Este trabajo se realiza con el propósito de aportar al conocimiento sobre la evaluación y análisis de pernos o espárragos que fallan frecuentemente en los equipos jumbos Boomer-282, cuyos resultados permitirán explicar las causas a fin de adoptar las medidas correctivas.

### **1.4.2 Justificación metodológica**

Esta investigación se realiza por la necesidad de prever posibles fallas y realizar un diagnóstico adecuado sobre la falla en el perno y roscas internas de culata, sistematizando un adecuado proceso de reparación o mantenimiento.

### **1.4.3 Justificación práctica**

El análisis de esfuerzos explicara metodológicamente las causas de las fallas, resultado que puede ser considerado en casos similares para motores de combustión interna de ciclo diésel.

### **1.4.4 Importancia de la investigación**

La investigación se torna interesante porque frente a una necesidad de evitar fallas y que los equipos no generen paradas imprevistas, se plantea un problema donde busca explicar de por qué fallan los pernos y las roscas de su respectiva culata, para luego según la metodología de investigación realizar un análisis más científico, cuyos resultados puedan detallar la causa de las fallas.

## **1.5 Limitaciones de la investigación**

La mayor limitación que se ha tenido para el desarrollo de la presente investigación, es la carencia de antecedentes internacionales relacionados al análisis de esfuerzos para determinar la falla en los filetes de culata y espárragos de motores de combustión interna..

## **1.6 Delimitaciones de la investigación**

### **1.6.1 Delimitación espacial**

La investigación que se presenta se realizó en Atlas Copco - Unidad Islay, ubicado en el distrito de Huayllay, provincia de Pasco y departamento de Pasco.

### **1.6.2 Delimitación social**

La investigación benefició al personal de mantenimiento mecánico de la empresa especializada Atlas Copco y a la Empresa Administradora Chungar.

### **1.6.3 Delimitación temporal**

Esta investigación se ejecutó desde enero y hasta noviembre del 2017.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del estudio**

##### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

Santamaría D. H (2007), en su trabajo de investigación “Análisis de falla en perno de sujeción de unidad de bombeo mecánico Lufkin a640d – 427 – 144” presenta el examen macroscópico de la parte fallada, identificación del modo de falla, inspección microscópica, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones. Este tipo de bombas se utilizan para el bombeo de hidrocarburos (petróleo) en los diferentes países que explotan los hidrocarburos. En estas máquinas las fallas en pernos son frecuentes, en el trabajo que presenta realiza un estudio de falla de los pernos, donde se encontró que estos pernos llegan a fallar por fractura frágil. Los pernos pueden fallar debido a esfuerzos por tensión y corte generadas por cargas de tracción. El perno también se fracturó debido a deformaciones plásticas debido a un ajuste deficiente entre la guía y el perno. El desgaste se produjo al no existir lubricación, al acoplar superficies con diferentes durezas. La falla del perno se origina debido a una grieta en la cual se generan concentradores de esfuerzos.

Rodríguez (2014), en su trabajo de grado titulada “Análisis de modos y efectos de falla para mejorar la disponibilidad operacional en la línea de producción de gaseosas N° 3”, sustentado para obtener el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Libre de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Mecánica; quien llegó a la siguiente conclusión: “Para elevar la eficiencia promedio de la línea de producción en tres puntos de eficiencia, se debe asignar más presupuesto a la llenadora para llevarla a punto, donde las fallas más relevantes tienen que ver con el manejo de las botellas y el sistema de transmisión (Se logrará incrementar la eficiencia en unos puntos si inyectamos presupuesto adicional a la llenadora, donde hay más fallas). Los datos registrados en el único sistema de almacenamiento de datos de la compañía SAP no son óptimos para realizar un análisis de confiabilidad que ayude a tomar decisiones y pueda elevar la eficiencia de la línea (Los registros del sistema de almacenamiento SAP no son los únicos recomendables para el estudio que mejoren la eficacia de las líneas de producción). Con el análisis de modos y efectos de falla realizado a los equipos críticos de la línea y teniendo en cuenta el número de prioridad de riesgo (RPN), ejecutando las modificaciones del plan de mantenimiento propuesto y utilizando el plan de implementación con las etapas propuestas, se espera recuperaran los tres puntos porcentuales en la disponibilidad operacional de la línea (Con el estudio realizado en el mencionado sistema de transmisión de línea, se recobrarán los tres calificaciones porcentual en el proceso operacional del sistema). Si se trabaja en conjunto con el operario de producción es rápido el ajuste del manejo de botellas del inspector de envase. Las fallas donde presentan estrelladas de la máquina tienen que ver con el mal manejo de las botellas (La sinergia es muy importante en el proceso productivo para alcanzar las metas trazadas y el bien para toda la línea. En

muchas ocasiones las fallas están sujetas a las malas prácticas y operación de las mismas).

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

García Lazo P. F (2009), tesis “Análisis de fatiga en piezas mecánicas usando el método de elementos finitos”; La comprobación de una pieza, construida con un material supuestamente dúctil y/o tenaz, a partir de las teorías de fallo no es una garantía de que no se pueda producir la rotura de la misma. Sobre todo en el caso de piezas de gran tamaño construidas a partir de determinados procesos de fabricación en los que el grado de incertidumbre es alto (forja y soldadura principalmente), se puede producir la rotura frágil con carga cíclica de manera casi instantánea o después de cierto tiempo por la propagación de alguna fisura o defecto interno (Con la demostración de un componente mecánico, fabricado de un material blando o tenaz, no se puede garantizar que el rompimiento ocurra, según la teoría de fallo. Sobre todo en elementos mecánicos de gran magnitud debido a altas cargas que están expuestos en un periodo dado, produciéndose rotura instantánea o fracturas de las mismas).

No existe un método para anticipar el fallo por fatiga de un elemento determinado. Los métodos no destructivos que se manejan hoy en día (líquidos penetrantes, partículas magnéticas, magnaflux, rayos X) se basan en la detección de fisuras o defectos en la superficie externa o en la configuración cristalina del elemento. Lamentablemente el uso de estos métodos de detección aún no está generalizado en nuestro país a pesar que algunos de ellos son de fácil acceso como el método de los líquidos penetrantes. Si no se cuenta con ninguno de estos métodos la mejor alternativa (aunque no 100% segura) es la mantener a las piezas mecánicas sometidas a esfuerzos alternantes en los rangos de operación normales,

es decir, que no sufran esfuerzos mayores a los que han sido sometidos (No habiendo una técnica para provenir una falla por fatiga de un pieza mecánica, solo de control en casos de detección de fracturas con líquidos penetrantes o clasificación cristalina de elementos mecánicos. Desgraciadamente el uso de estas técnicas no está divulgado en todo nuestro territorio nacional, muy a pesar de su fácil aplicación como el caso de los líquidos, es necesario mantener todo los elementos mecánicos sometidos cargas en el margen de los esfuerzo admisible para evitar dichos reportes). Se mencionó que el criterio de Von Mises fue desarrollado y tiene su justificación sobre la base del comportamiento de materiales con carga estática. Sin embargo, esta teoría tiene cierta validez para cargas que originan fatiga. Esto tiene validez de acuerdo a ensayos realizados sobre piezas bajo esfuerzos multiaxiales. Dicho esto, se puede afirmar que una probeta sometida esfuerzos combinados de manera síncrona, con esfuerzos medios nulos, romperá o fallará por fatiga cuando la energía de distorsión alcance al valor que produce la rotura en el ensayo de viga rotatoria. Debido a que esta teoría y la de Tresca (cortante máximo) dan resultados relativamente semejantes, es admisible también usar esta última y así se hace a veces en determinadas aplicaciones (Según el análisis de la teoría de Von Mises da testimonio para piezas con cargas estáticas. Sin embargo, esta hipótesis valida ciertos esfuerzos por fatiga en las piezas mecánicas. Ya que en estudio se viabiliza los tipos de esfuerzos que podemos encontrar en un elemento, llamado cargas combinados). Considerando los problemas mencionados, incluyendo el de sincronía de las cargas, componentes sometidos a esfuerzos multiaxiales y la interpretación basada en la teoría de Von Mises, se deduce que la fiabilidad de los resultados de predicciones de comportamiento a fatiga basados en métodos de cálculo que utilizan los

planteamientos en esta tesis descritos será a veces baja y estos resultados deberán ser considerados como valores orientativos, que dan idea de órdenes de magnitud más que expresar cuantitativamente valores muy precisos. Estos procedimientos son pues útiles sobre todo en fase de ante proyecto, pre diseño y para analizar la mayor o menor influencia en el comportamiento de fatiga de determinados parámetros de diseño.(Se concluye la teoría de Von Mises mediante la confabulación de resultados en comportamientos de fatiga hechos en cálculos en el planteamiento del estudio será con tendencia baja a veces, lo cual indicamos que son los recomendables sobre todo en ante proyecto, pre diseño para el estudio de la fatiga en algunos parámetros del proyecto).

La fatiga es un fenómeno en que los esfuerzos locales son los que definen el comportamiento del sistema, por ello es imprescindible una precisa evaluación del campo de esfuerzos variables, para este fin el método de los efecto falla (EF) es una de las mejores alternativas. Además, la aplicación de solicitaciones variables a un sistema estructural puede producir la respuesta dinámica del mismo, y por ello los análisis para determinación de deformaciones y esfuerzos variables deben ser realizados a veces mediante un análisis dinámico, en otros casos será suficiente el análisis cuasi estático.(en todas las cargas es imprescindible realizar una prueba en campo ya que ayudara a tener datos más próximos a los resultados para la obtención de las variables, para este fin el método del AMEF es una de las alternativas a resaltar en el estudio)

Vega Guerovich, R.R. (2013), en su tesis: “Análisis de falla en pernos de bombas KSB de 800 hp”, para optar el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Pontificia Católica del Perú, Lima-Perú; quien llegó a la siguiente conclusión: “A partir de la evidencia presentada se concluye que el mecanismo de

falla en los dos casos es fatiga. Pequeños concentradores de esfuerzos originados por desprendimiento de material inician la grieta de fatiga. El desprendimiento de material inicia en conjunto por corrosión intergranular y ajustes y desajustes reiterados de los pernos a causa de mantenimiento general de los equipos. En el caso del perno 2, un acelerador de la mecánica de falla es la corrosión intergranular que presenta. Para ambos pernos, la causa raíz del problema es el empleo de un material que difiere del especificado por fábrica y que posee propiedades que no se ajustan a la aplicación. El acero AISI 304 posee baja resistencia a la corrosión en comparación al AISI 316. Su empleo en un ambiente corrosivo bajo cargas estáticas y vibración, establecen las condiciones que originan el inicio de la falla acelerada”.

Vilcapoma Román, F. J. quien presentó para obtener el título de Ingeniero Mecánico la tesis titulada: “Análisis de fallas mecánicas en el brazo B26XLB del Jumbo Empernador J0129YA en la compañía minera Volcán S.A.A. unidad Andaychagua”, en la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú; quien llegó a la siguiente conclusión: “Al analizar las fallas mecánicas empleando el método del diagrama de Pareto ayudó a identificar que componentes son los que presenta mayor frecuencia de falla tal es el caso de desgaste de pines y bocinas del sistema de articulación de brazo. Al analizar los desgastes prematuro de los componentes de cada subsistema del brazo B26XLB se identificó que se debe a la falta de engrase de todo el sistema de articulación ya que varios componentes tal es el caso de los pines y bocinas del cilindro de basculación que presentaron 4.6 y 3 mm, en el cilindro de divergencia es de 2.9, 3.5 y 4.35, 3.2 mm lo cual no llegan a su tiempo de vida útil. Al analizar la baja disponibilidad antes del estudio era 80.45% y se incrementó a un 89.20%, la confiabilidad de 26.489 horas/falla a

14.31 horas/falla, la mantenibilidad era de 4.71 y se redujo a un 1.73 horas/reparación debido a que no se tenía un control adecuado de los componentes, no se tenía mapeado los factores que ocasionaban las fallas, a todo esto gracias al análisis de fallas se pudo identificar la causa inmediata que generaba las paradas no programadas, para ello se está trabajando con un plan de trabajo en reparaciones de todos los componentes que conforman el brazo y que fueron identificados en el análisis, con ello se pretende elevar la disponibilidad por encima del mínimo estandarizado que es de 85%, que al concluir con los trabajos de reparación de los componentes identificados se tenga por encima de los 90% de disponibilidad. Un control adecuado de los componentes que conforman el brazo B26XLB ayuda a tener un mejor manejo en cuanto a la programación de reparación ya que se tiene mapeado en qué fecha se cambió y versus su tiempo de vida uno identificara que componentes ya se tiene que cambiar”.

## **2.2 Bases teóricas y científicas**

### **2.2.1 Conceptualización de la variable Independiente**

#### **Análisis de falla**

Es el estudio sistemático y logístico de las fallas de un equipo para determinar la probabilidad, causa y consecuencia de las mismas. Se considera también cuando hay una falla, cuando la pieza queda completamente inservible; cuando a pesar de que funciona no cumple su función satisfactoriamente; cuando su funcionamiento es poco confiable debido a las fallas y presenta riesgos.

#### **Causas**

- Mal diseño, mala selección del material.
- Imperfecciones del material, del proceso y/o de su fabricación.
- Errores en el servicio y en el montaje.

- Errores en el control de Calidad, mantenimiento y reparación.
- Factores ambientales, sobrecargas.

### **Deficiencia en el diseño**

- Errores al no considerar adecuadamente los efectos de las entallas.
- Insuficientes criterios de diseño por no tener la información suficiente sobre los tipos y magnitudes de las cargas especialmente en piezas complejas (No se conocen los esfuerzos a los que están sometidos los elementos).
- Cambios al diseño sin tener en cuenta los factores elevadores de los esfuerzos.

### **Deficiencia en la elección del material**

- Datos poco exactos del material (ensayo de tensión, dureza).
- Empleo de criterios erróneos en la selección del material.
- Darle mayor importancia al costo del material que a su calidad.

### **Imperfecciones en el material**

Segregaciones, porosidades, incrustaciones, grietas (generadas en el proceso del material) que pueden conducir a la falla del material.

### **Deficiencias en el proceso**

- Marcas de maquinado pueden originar grietas que conducen a la falla.
- Esfuerzos residuales causados en el proceso de deformación en frío o en el tratamiento térmico que no se hacen bajo las normas establecidas (Temperatura, Tiempo, Medio de enfriamiento, Velocidad).
- Recubrimientos inadecuados.
- Soldaduras y/o reparaciones inadecuadas.

## Curva de la bañera

La curva de la bañera, es un gráfico que representa los fallos durante el período de vida útil de un sistema o máquina. Se llama así porque tiene la forma una bañera cortada a lo largo, como se puede observar en la Figura 1.

Figura 1. *Curva de la bañera*



Fuente: [http://mantenimientoindustrialdeequipos.blogspot.com/p/blog-page\\_1.html](http://mantenimientoindustrialdeequipos.blogspot.com/p/blog-page_1.html)

## Teoría de fallas

En ella se pueden apreciar tres etapas:

- *Fallos iniciales*: esta etapa se caracteriza por tener una elevada tasa de fallos que desciende rápidamente con el tiempo. Estos fallos pueden deberse a diferentes razones como equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado.
- *Fallos normales*: etapa con una tasa de errores menor y constante. Los fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otros.
- *Fallos de desgaste*: etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al

transcurso del tiempo. Ésta es una de doce formas que se han tipificado sobre los modos de fallas de equipos, sistemas y dispositivos.

### **Programa de detección y análisis de fallas**

El programa de Detección Analítica de Fallas DAF, proporciona las habilidades y destrezas para la solución y prevención de problemas en ambientes productivos, acompañando los esfuerzos de mejoramiento continuo. Los beneficios más evidentes del programa son: Reducción del tiempo de reparación, Minimización de tiempo de preparación y arranque de equipos, Disminución de fallas repetitivas, Aumento en la disponibilidad de equipos, Reducción de trabajos repetidos y desperdicio, Reducción en la frecuencia de fallas, Mejora del mantenimiento preventivo, Reducción de costos por fallas de calidad, Mayor eficiencia en el trabajo en equipo.

Es indispensable que el departamento de conservación cuente invariablemente con un inventario de conservación, el cual es un listado de los recursos por atender, sean éstos equipos, instalaciones o construcciones; y que, además, se haya establecido el índice ICGM (RIME). De esta forma, utilizando el código máquina y combinándolo con el principio de Pareto, obtenemos el inventario jerarquizado de conservación (vital, importante y trivial). El análisis de falla es un examen sistemático de la pieza dañada para determinar la causa raíz de la falla y usar esta información para mejorar la confiabilidad del producto.

El análisis de falla está diseñado para: Identificar los modos de falla (la forma de falla del producto o pieza); Identificar el mecanismo de falla (el fenómeno físico involucrado en la falla). Determinar la causa raíz (el diseño, defecto, o cargas que llevaron a la falla); Recomendar métodos de prevención de la falla.

## Esfuerzo

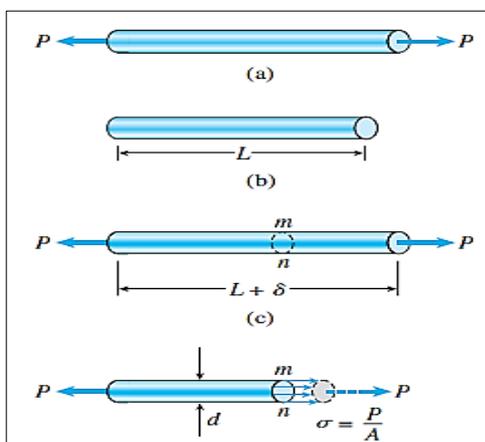
El esfuerzo tiene unidades de fuerza por unidad de área y se denota por la letra griega  $\sigma$  (sigma). En general, los esfuerzos ( $\sigma$ ) que actúan sobre una superficie plana pueden ser uniformes en toda el área o bien variar en intensidad de un punto a otro. Supongamos que los esfuerzos que actúan sobre la sección transversal  $mn$  (ver Figura 2), están distribuidos uniformemente sobre el área.<sup>1</sup>

Entonces la resultante de estos esfuerzos debe ser igual a la magnitud del esfuerzo por el área de la sección transversal  $A$  de la barra, es decir,  $P = \sigma A$ . Por tanto, obtenemos la expresión siguiente para la magnitud de los esfuerzos:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Esta ecuación expresa la intensidad de un esfuerzo uniforme en una barra prismática con sección transversal arbitraria cargada axialmente.

Figura 2. Barra prismática sometido a tensión



Fuente: James M. Gere “Mecánica de materiales”

Cuando se aísla una superficie interna, la fuerza y el momento totales que actúan sobre la superficie se manifiestan a sí mismos como distribuciones de fuerzas a través de toda el área. La distribución de fuerza que actúa en un punto sobre la superficie es única y tendrá componentes en las direcciones normal y

<sup>1</sup> James M. Gere • Barry J. Goodno; Mecánica de materiales, p 7.

tangencial llamados esfuerzo normal y esfuerzo cortante tangencial, respectivamente. Los esfuerzos normales y cortantes se identifican con las letras griegas  $\sigma$  (sigma) y  $\tau$  (tau), respectivamente. Si la dirección de  $\sigma$  es saliente de la superficie se considera un esfuerzo de tensión y es un esfuerzo normal positivo. Si  $\sigma$  entra hacia la superficie es un esfuerzo compresivo y comúnmente se considera una cantidad negativa. Las unidades de esfuerzo usuales en Estados Unidos son libras por pulgada cuadrada (psi). En el caso de las unidades SI, el esfuerzo se representa en newton por metro cuadrado ( $\text{N/m}^2$ );  $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ pascal (Pa)}$ .<sup>2</sup>

### **Resistencia del perno**

En las normas para pernos, la resistencia se especifica mediante cantidades ASTM mínimas, la resistencia mínima de prueba o la carga mínima de prueba y la resistencia mínima de tensión. La carga de prueba es la carga máxima (fuerza) que un perno puede soportar sin sufrir una deformación permanente. La resistencia de prueba está dada por el cociente de la carga de prueba y el área de esfuerzo a tensión. Por ello, la resistencia de prueba corresponde aproximadamente al límite proporcional y a una deformación permanente de 0.0001 pulg. En el sujetador (primera desviación que se puede medir a partir del comportamiento elástico). El valor de la resistencia de prueba media, de la resistencia a tensión media y de las desviaciones estándares correspondientes no forman parte de los códigos de especificación, por lo que la determinación de estos valores es responsabilidad del diseñador, tal vez mediante ensayos de laboratorio, antes de diseñar una especificación confiable.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett(2013); Diseño de ingeniería mecánica de shigley; McGraw-Hill Interamericana; octava edición; México. 75.

<sup>3</sup> Ibídem, pág 417.

Los pernos y tornillos para aplicaciones estructurales o cargas pesadas se deberían seleccionar con base en la resistencia de prueba  $S_p$ , como está definida en las especificaciones de SAE, ASTM o ISO. Estas organizaciones definen los grados o las clases de perno que especifican el material, el tratamiento térmico y la resistencia mínima de prueba, para el perno o el tornillo. La resistencia de prueba  $S_p$  es el esfuerzo con el cual el perno comienza a tener una distorsión permanente; está cerca de la resistencia a la fluencia del material, pero no más debajo de ésta.

El grado o la clase de cada perno se señalan con marcas (o sin ellas) sobre la cabeza. La Tabla 1, presenta información sobre la resistencia para varios grados SAE de pernos.

Tabla 1. *Especificaciones y resistencias de SAE para pernos de acero*

Número de grado de la SAE	Intervalo del tamaño del diám. ext. (in)	Resistencia de prueba mínima (kpsi)	Resistencia a la fluencia mínima (kpsi)	Resistencia a la tensión mínima (kpsi)	Material
1	0.25–1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
2	0.25–0.75	55	57	74	bajo o medio carbono
2	0.875–1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
4	0.25–1.5	65	100	115	medio carbono, forjado en frío
5	0.25–1.0	85	92	120	medio carbono, Q&T*
5	1.125–1.5	74	81	105	medio carbono, Q&T
5.2	0.25–1.0	85	92	120	martensita al bajo carbono, Q&T
7	0.25–1.5	105	115	133	aleación al medio carbono, Q&T
8	0.25–1.5	120	130	150	aleación al medio carbono, Q&T
8.2	0.25–1.0	120	130	150	martensita al bajo carbono, Q&T

\* Templado y revenido

Fuente: Robert Norton, Diseño de máquina

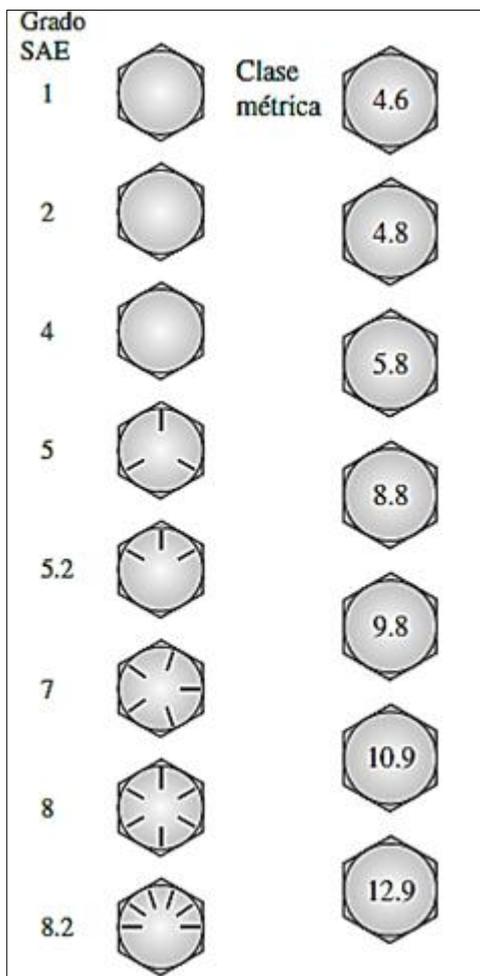
La Tabla 2, muestra las especificaciones métricas y resistencias para pernos de acero.

Tabla 2. *Especificaciones métricas y resistencias para pernos de acero*

Número de clase	Intervalo del tamaño del diám. ext. (mm)	Resistencia de prueba mínima (MPa)	Resistencia a la fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tensión mínima (MPa)	Material
4.6	M5–M36	225	240	400	bajo o medio carbono
4.8	M1.6–M16	310	340	420	bajo o medio carbono
5.8	M5–M24	380	420	520	bajo o medio carbono
8.8	M3–M36	600	660	830	medio carbono, Q&T
9.8	M1.6–M16	650	720	900	medio carbono, Q&T
10.9	M5–M36	830	940	1 040	martensita al bajo carbono, Q&T
12.9	M1.6–M36	970	1 100	1 220	aleación, templada y revenida

Fuente: Robert Norton, Diseño de máquina

Las marcas en la cabeza, para cada grado o clase, se ilustran en la figura 3.<sup>4</sup>

Figura 3. *Marcas en la cabeza de pernos*

Fuente: Robert Norton, Diseño de máquina

<sup>4</sup> Robert Norton, Diseño de máquina, p 743.

### **Motor de combustión interna diésel Deutz 914**

El proceso de formación de la mezcla en motores Diésel se realiza por completo en el cilindro del motor y se inicia pocos milisegundos después de haber comenzado el proceso de inyección de combustible. Al principio y durante la carrera de admisión sólo aire es admitido al cilindro; así que durante su paso por el sistema de admisión sufre un calentamiento. Este calentamiento afecta en cierto grado el llenado del cilindro debido a que disminuye la densidad del aire, lo cual como resultado, ocasiona una disminución de la potencia del motor. Por lo tanto es deseable disminuir este efecto colocando algún tipo de aislante entre los colectores de admisión y escape. En la Imagen 1, se muestra el motor diésel en estudio.

**Imagen 1. Motor de combustión interna diésel, Deutz 914.**



Fuente: Elaboración propia

Al inicio y durante la carrera de compresión en la cámara del motor, se crean las condiciones de presión y temperatura que asegurarán la auto inflamación. Grados antes de PMS y en función del tipo de motor, comienza la inyección del combustible en un ambiente de aire a elevada temperatura y presión, en presencia del gran movimiento inducido por el vaivén del pistón entre sus puntos muertos y por la geometría de la cámara de combustión. Para asegurar un atomizado adecuado con tamaños de gota muy pequeños y con el grado de penetración deseado el sistema de inyección y el diseño de la cámara del motor deben ser

compatibles. Existe una demora en cuanto al instante de inicio de la combustión que toma en consideración los aspectos físicos relacionados con el calentamiento y evaporación del combustible, y químicos relacionados con el proceso de liberación de energía. En este período denominado de retardo a la inflamación, parte del combustible vaporizado localmente forma la mezcla aire-combustible apta para que se inicie la combustión. De acuerdo a esta característica de formación de mezcla, se ve claramente que para el inicio del proceso de combustión y su posterior continuación, es imprescindible un proceso de difusión del combustible en el aire caliente.

El movimiento turbulento del aire dentro de la cámara de combustión del motor desaloja parte de los gases quemados e introduce nuevas cantidades de aire para continuar con la formación de la mezcla aire combustible. Posteriormente se formarán otros focos de inflamación que avanzando por todo el volumen de la cámara de combustión irán quemando a su paso la mezcla fresca. Continuando con el proceso, la combustión pasa a ser dominada mayormente por la característica de mezclado entre los reactantes, aire y vapores de combustible. De acuerdo con las condiciones de inyección del combustible, en el cono de inyección el combustible se vaporizará atendiendo a sus propiedades termo físicas y tamaño de las gotas<sup>5</sup>

### **Cilindro**

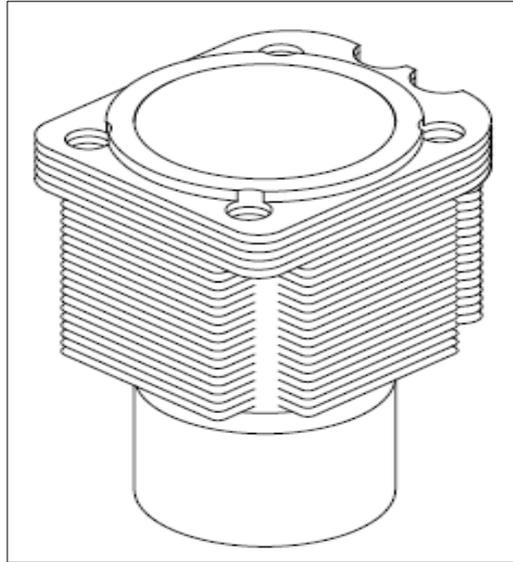
Los cilindros son de fundición gris aleada. En los motores de potencia normal (FL/BFL), los cilindros tienen las superficies de roce mandriladas con precisión y bruñidas. En los motores con potencia aumentada / refrigeración del aire de admisión (BFL C), los cilindros tienen las superficies de roce igualmente mandriladas con precisión y, luego, bruñidas y lapeadas, como se puede ilustrar en

---

<sup>5</sup> Fygueroa s. y Araque M; El Proceso de Combustión en Motores de Combustión interna; 1 Edición, Venezuela; p. 8, 9.

la figura 4.

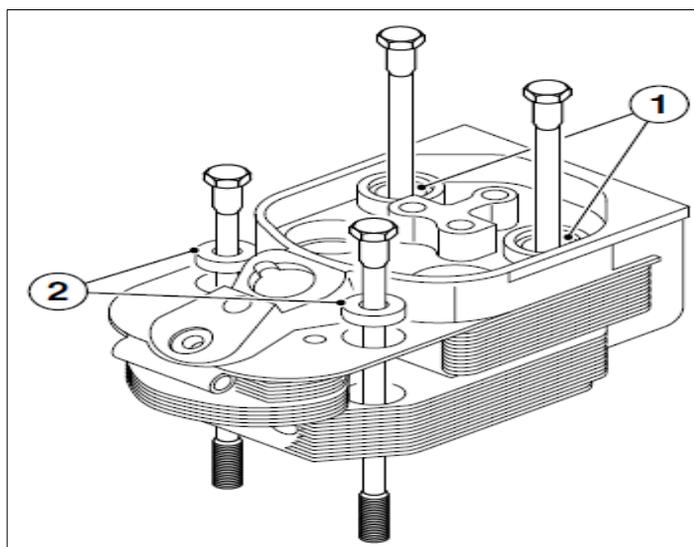
Figura 4. *Cilindro del motor de combustión interna.*



Fuente: Deutz AG TU-DPA-0-00 Service-Technik, Service Training Serie de motores 914, Ingeniería de motores por productos Serie de motores DEUTZ 914.

Las culatas son de aleación de aluminio y llevan colocados en la fundición refuerzos en los puentes entre válvulas. Los tornillos de culata situados al lado del inyector están provistos de arandelas de calce (2). En el lado de salida de aire, las arandelas de calce (1) están insertadas en la culata, según la figura 5.

Figura 5. *Culata independiente del motor de combustión interna diésel Deutz 914.*



Fuente: Deutz AG TU-DPA-0-00 Service-Technik, Service Training Serie de motores 914, Ingeniería de motores por productos Serie de motores DEUTZ 914. Culata

### **Tipos de tornillos sujetadores**

Hay disponible gran variedad de estilos de tornillos, muchos de los cuales son para aplicaciones especializadas. Los sujetadores se dividen de muchas maneras: por su uso esperado, por el estilo de la cabeza y por su resistencia. Existen sujetadores de todos los tipos en varios materiales, incluyendo acero, acero inoxidable, aluminio, latón, bronce y plásticos.<sup>6</sup>

### **Pernos y tornillos para máquinas**

Un perno es un sujetador con cabeza, un vástago recto roscado para usarse con una tuerca y así mantener junto un ensamble. Sin embargo, el mismo sujetador se conoce como tornillo de máquina o tornillo de capucha cuando está enroscado en un orificio en vez de emplearlo con una tuerca. Ésta es tan sólo una distinción semántica, pero con la cual algunos puristas hacen su inventario. Los estándares de la ANSI distinguen entre un perno y un tornillo, destacando que un perno está orientado para mantenerse estacionario y una tuerca produce un torque sobre éste para crear la unión, mientras que un tornillo está orientado a girar en su receptáculo, ya sea en un orificio con rosca o sin ella, aplicando un torque en su cabeza.

### **Espárrago**

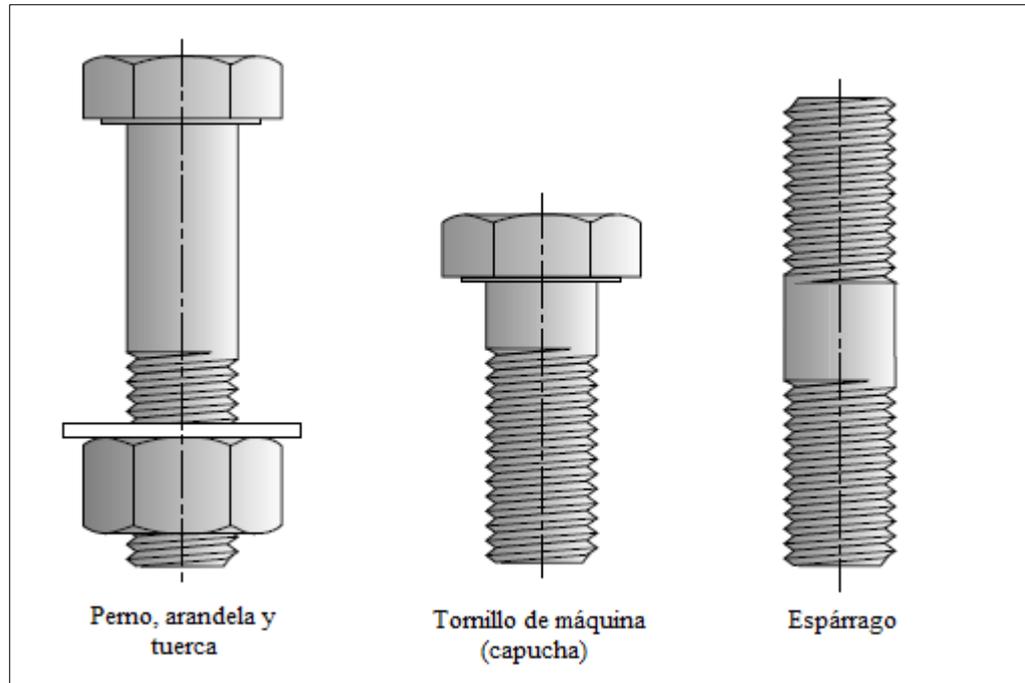
Un espárrago es un sujetador sin cabeza, con cuerda en ambos extremos, cuya finalidad es estar atornillado semipermanentemente por un lado en la mitad de un ensamble. Un orificio en la parte emparejada se ajusta en el otro extremo del espárrago y se asegura con una tuerca. Cada extremo del espárrago puede tener el mismo o diferente paso de cuerda. El extremo permanente algunas veces tiene una clase más alta en la cuerda para que se apriete ajustadamente en el orificio roscado

---

<sup>6</sup> Robert Norton; diseño de máquinas; Ed. Pearson; cuarta edición; p. 739.

y resista el aflojamiento cuando la tuerca se quita de la mitad superior, según figura 6.

Figura 6. *Perno y tuerca, tornillo de máquina y espárrago*



Fuente: Robert Norton; diseño de máquinas.

## Falla

La falla de un elemento sobre el que actúa una fuerza es cualquier comportamiento que lo vuelve inadecuado para la función para la que fue diseñado<sup>7</sup>

La falla puede significar que una parte se ha separado en dos o más piezas; se ha distorsionado permanentemente, arruinando de esta manera su geometría; se ha degradado su confiabilidad; o se ha comprometido su función, por cualquier razón.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Robert C. Juvinall; Kurt M. Marshek (2013); Diseño de elementos de Maquinas, Ed. Limusa Wiley, 2ª Ed; México p. 229.

<sup>8</sup> Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett(2013); Diseño de ingeniería mecánica de shigley; McGraw-Hill Interamericana; octava edición; Mexico;p. 206.

## Modos de falla

### - *Fracturas súbitas*

#### *Dúctil a tensión*

El tornillo presenta alargamiento y la zona de fractura muestra adelgazamiento, con textura fibrosa central y desgarre periférico. Esta morfología se presenta generalmente en tornillos de bajo grado. Algunas causas son, sobrecarga a tensión en servicio y grado del tornillo inferior al necesario, se aprecia en la Imagen 2.

**Imagen 2. Falla debido a sobrecarga a tensión.**



Fuente <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

#### *Dúctil a tensión*

El tornillo presenta doblado y la zona de fractura muestra textura fibrosa en un extremo y un labio por desgarre opuesto. Esta morfología se presenta generalmente en tornillos de bajo grado. Las causas probables de este tipo de falla es, por sobrecarga a flexión en servicio, carga lateral elevada y grado de tornillo inferior al necesario, según Imagen 3.

**Imagen 3. Falla debido a sobrecarga a flexión.**



Fuente <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

#### *Dúctil por desgarre*

El tornillo presenta arrastre lateral en el sentido de la fuerza desgarrante con una textura tersa brillante; algunas causas que puedan originar son mediante una carga lateral elevada, pérdida de torque en el tornillo que permite movimiento lateral de la junta y por lo tanto acción directa de la carga lateral en el tornillo, ver Imagen 4.

**Imagen 4. Falla debido a sobrecarga a flexión.**



Fuente: <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

#### *Dúctil a tensión*

El tornillo no presenta alargamiento ni adelgazamiento, predominado una textura granular brillante transversal. Esta morfología se presenta generalmente

en tornillos de grado alto. Algunas causas son la sobrecarga a tensión en servicio y el grado del tornillo inferior al necesario, ver imagen 5.

**Imagen 5. Falla debido a tensión.**



Fuente: <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

### *Frágil a flexión*

El tornillo no presenta deformación y la zona de fractura muestra textura granular con formación de escalones algunas veces. Esta morfología se presenta generalmente en tornillos de grado alto, ver Imagen 6.

**Imagen 6. Falla debido a flexión**



Fuente: <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

### *Combinación Tensión – torsión:*

El tornillo presenta entorchamiento por torque, con una superficie transversal y una textura mixta granular –fibrosa. Predominando la textura granular en grados altos y la fibrosa en grados bajos. Algunas causas son el sobretorque durante el apriete del tornillo o tuerca, lo cual genera a la par altas cargas de tensión y torsión, ver imagen 7.

**Imagen 7. Falla debido carga combinada de tensión y torsión**



Fuente <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

### **- *Fracturas por fatiga***

#### *Fatiga a tensión*

Fractura transversal progresiva con orígenes distribuidos en toda la periferia. La superficie es tersa y normalmente presenta marcas elípticas (marcas de playa) concéntricas a los orígenes. Algunas causas son las cargas elevadas de tensión. Bajo torque o su pérdida en servicio, grado de tornillo menor al necesario, daño por corrosión o ludimiento, ver Imagen 8.

**Imagen 8. Falla debido fatiga a tensión.**



Fuente <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaeespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

### *Fatiga a flexión*

Fractura transversal progresiva con orígenes en uno o dos lados opuestos. La superficie es tersa y normalmente presenta marcas elípticas (marcas de playa) concéntricas a los orígenes. Algunas causas son las cargas elevadas de flexión o laterales, bajo torque o su pérdida en servicio, grado del tornillo menor al necesario, daño por corrosión o ludimiento, ver Imagen 9.

**Imagen 9. Falla debido fatiga a flexión.**



Fuente: <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaeespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

## - *Deformación*

### *A tensión*

Se presenta alargamiento y/o acuellamiento del tornillo. Algunas causas son la sobrecarga a tensión en servicio, grado del tornillo inferior al necesario, sobre torque durante el apriete del tornillo o tuerca, ver Imagen 10.

**Imagen 10. Deformación debido a tensión.**



Fuente: <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

### *A flexión*

Se presenta doblado del tornillo. Algunas causas son la sobrecarga a flexión en servicio, carga lateral elevada, bajo torque o su pérdida en servicio, ver Imagen 11.

**Imagen 11. Deformación debido a flexión.**



Fuente: <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

### - *Ludimiento*

#### *En vástago*

Consiste en daño superficial y formación de depósitos en el vástago del tornillo, producto de desgaste y/u oxidación asociados a contacto y desplazamientos oscilantes contra el alojamiento. Algunas causas son la carga lateral elevada, torque de apriete insuficiente y pérdida de torque en servicio, ver Imagen 12.

**Imagen 12. Ludimiento en vástago.**



Fuente:<https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

#### *En rosca*

Consiste en daño superficial y formación de depósitos en rosca del tornillo, producto de deformación, desgaste y/u oxidación asociados a contacto oscilante contra el alojamiento. Algunas causas son la carga lateral elevada, torque de apriete insuficiente y pérdida de torque en servicio, ver Imagen 13.

**Imagen 13. Ludimiento en la rosca.**



Fuente: <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

## - **Corrosión**

### *Uniforme*

Se presenta ataque corrosivo sobre las superficies del tornillo, dañando su acabado superficial y dejando residuos. Algunas causas son la mala selección de material del tornillo medio corrosivo severo, daño o consumo de recubrimientos e infiltración de fluidos, ver Imagen 14.

**Imagen 14. Corrosión de la superficie del tronillo**



Fuente <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

### *Por Picadura*

Se presenta ataque corrosivo sobre las superficies del tornillo, formando cavidades y dejando residuos. Algunas causas son la mala selección de material del tornillo, medio corrosivo severo, daño o consumo de recubrimientos e infiltración de fluidos, ver Imagen 15.

**Imagen 15. Corrosión de la superficie por picadura.**



Fuente: <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

### **- Daño en roscas**

#### *Barrido de roscas*

Se tiene pérdidas de los filetes de rosca al ser arrancados de raíz. Algunas causas son, pocos hilos de roscas ensamblados, diferencias dimensionales con tuerca, grado de tuerca superior al tornillo, rosca de baja resistencia respecto al cuerpo del tornillo, ver Imagen 16.

**Imagen 16. Barrido de roscas.**

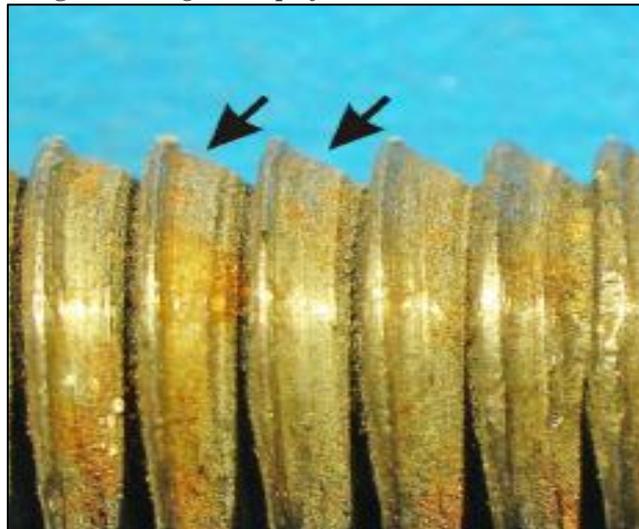


Fuente: <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

### *Desgaste del perfil de rosca*

Se presenta pérdida del perfil original de los filetes de rosca y se tiene marcas de desgaste adhesivo sobre las superficies de apriete, llegando a perderse los hilos completamente. Entre las causas se pueden mencionar las diferencias dimensionales con tuerca, grado de tuerca superior al tornillo, ensambles y desensamblajes frecuentes, tornillo de grado inferior al esperado, ver Imagen 17.

**Imagen 17. Desgaste de perfil de rosca.**



Fuente: <https://sites.google.com/a/unal.edu.co/afallaespejo/classroom-news/modosdefallatipicosentornillos>

### **Pernos de apriete y uniones roscadas en motores**

Las observaciones siguientes se refieren en concreto a los pernos de la parte superior e inferior de cojinetes, como los espárragos del cojinete y en general todos los pernos de ariete o retenida y uniones roscadas que se ven sometidos a esfuerzos de tracción cíclicos durante el servicio. Los elementos pueden aflojarse, estirarse o romperse por la tensión o la fatiga:

**Aflojamiento:** Las vibraciones siempre contribuyen al aflojamiento de los pernos o barras de apriete, si las tuercas no se apretaron bien, y de los espárragos roscados si las roscas tienen un exceso de holgura en su alojamiento cuando se montan.

**Estiramiento:** Puede deberse a sobrecarga durante un re-montaje o a la acción de esfuerzos anormales por incidentes surgidos durante el funcionamiento (la entrada de agua en un cilindro produce el estiramiento de las tuercas de la culata, el exceso de velocidad produce estiramiento de los pernos de las muñequillas, etc.). El estiramiento que produzca una deformación permanente solo puede detectarse cuando cesan los esfuerzos anormales, en caso contrario, se produce rotura (es el caso de una tuerca, ya estirada, que se aprieta repetidamente).

**Roturas por tensión;** en los motores diésel, no es frecuente la rotura por tensión de las barras de apriete, pernos, tuercas, tornillos o espárragos roscados y sólo se produce cuando los pernos de apriete o retenida del mismo montaje ya se han roto, con lo cual los que quedan tienen que soportar un exceso de presión. Todos los espárragos de apriete que unen dos elementos pueden ir fallando uno detrás de otro.

Roturas por fatiga; suelen ocurrir en aquellos elementos que soportan cargas variables, aun cuando el esfuerzo inicial aplicado excede el esfuerzo cíclico máximo que actúa sobre las partes del motor afectadas por presiones e inercia.

Por ejemplo, la variación de presión que se produce en un cilindro afecta a los esfuerzos que sufren los espárragos roscados de la culata, incluso cuando la tensión resultante del apriete inicial sea mas alta que la que se opone a las presiones maximas de las cámaras de combustión.

Aunque esté apretada correctamente, la sección de cualquier elemento roscado que este sometido a los mayores esfuerzos puede romperse por fatiga. El borde del espárrago se ve sometido a esfuerzos variables, pero el exceso de esfuerzo más importante se ejerce siempre sobre la cabeza del perno, donde empieza la rosca, y especialmente sobre la superficie de la tuerca en contacto con la parte a pretar. Si la tuerca no está perpendicular a la superficie que la soporta, aparecen fuerzas flectoras en el espárrago roscado o perno. Las dos o tres primeras rosca en contacto con la tuerca soportan ellas solas más de la mitad de la carga.<sup>3</sup>

Normalmente, las grietas por fatiga aparecen en la primera rosca. Cuando se trate de espárragos roscados, las grietas también suelen aparecer en la primera rosca de la tuerca. Mas raramente, las grietas pueden iniciarse en la primera rosca del alojamiento del espárrago. A veces se produce la rotura por fatiga de las barras de apriete, pernos, tornillos o espárragos roscados. Puede deberse a defectos del metal o a corrosiones. Ocasionalmente, pueden darse roturas por esfuerzos cortantes. Suelen producirse en espárragos roscados o pernos apretados y suelen tener lugar en la zona de las superficies de unión que tienen cierta libertad de movimiento.

### Concentración de esfuerzos

Cuando se transfiere la carga a través de la tuerca de una pieza a otra, se produce en el tornillo una concentración de tensiones. Estas condiciones ideales, la tracción en el tornillo y la compresión en la tuerca deben reducirse uniformemente. Sin embargo, la tracción aumenta el paso de tornillo y la compresión disminuye el paso de la tuerca de manera que no se mantiene una correcta correspondencia entre las partes cargadas. La mayor parte de la carga de la carga se transfiere en el primer par de hilos de rosca en contacto y aquí presenta una gran concentración de tensiones o aunque la flexión de las roscas y expansión de la tuerca reducen la concentración de tensiones, la mayoría de las roturas de tornillos se producen en este punto.

R.E. Patterson señala que la distribución de las fallas típicas de pernos, es aproximadamente 15 % bajo la cabeza, 20 % en el extremo de la rosca y 65 % en el hilo en la cara de la tuerca.

### Esfuerzos de carga axial

Si una varilla roscada, está sometida a carga de tensión pura, se podría esperar que su resistencia esté limitada por el área de su diámetro (de raíz) menor  $d_r$ . Sin embargo, las pruebas con varillas roscadas a la tensión muestran que su resistencia a la tensión está mejor definida por el promedio de los diámetros menor y de paso. El área de esfuerzo por tensión  $A_t$  se define como:

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_p + d_r}{2} \right)^2$$

Donde, para cuerdas de UNS:

$$d_p = d - 0.649519/N$$

$$d_r = d - 1.299038/N$$

Y para cuerdas de la ISO:

$$d_p = d - 0.649519/p$$

$$d_r = d - 1.299038/p$$

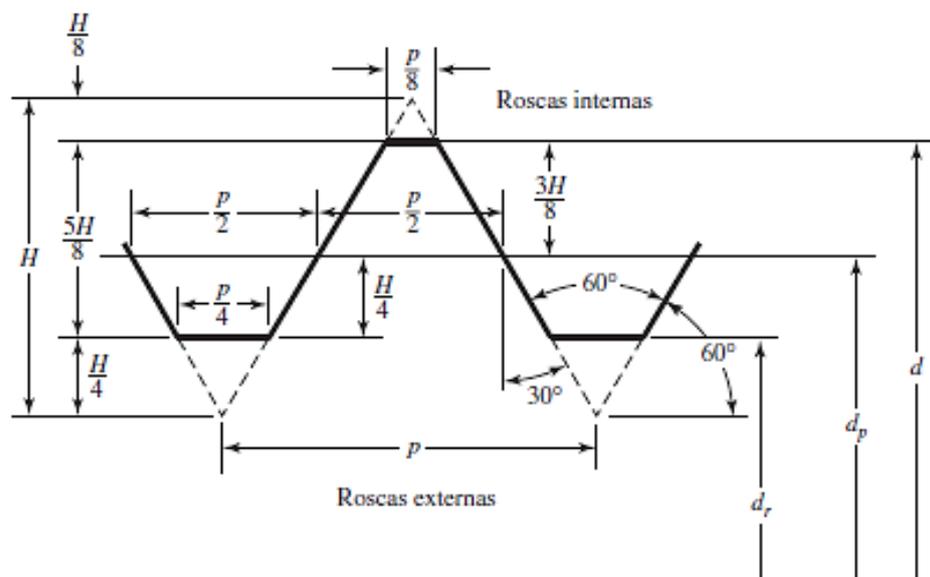
Con  $d$  = diámetro exterior,  $N$  = número de cuerdas por pulgada y  $p$  = paso en mm. El esfuerzo en una varilla roscada, debido a una carga  $F$  de torsión axial pura es entonces:

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t}$$

### Esfuerzos de corte en los filetes

Los esfuerzos producidos en la rosca de la culata y la rosca del espárrago. En la Figura 7 se muestra la geometría de la rosca de los perfiles métricos M. El perfil M reemplaza la clase de pulgadas y es el perfil básico ISO 68 con roscas simétricas a  $60^\circ$ . Tiene un filete redondeado en la raíz de la rosca externa y un diámetro menor más grande en las roscas interna y externa. Dicho perfil resulta especialmente útil cuando se requiere alta resistencia a la fatiga. Ver figura 7.

Figura 7: Perfil básico de rosca métrica M



Fuente: Robert Norton; diseño de máquinas.

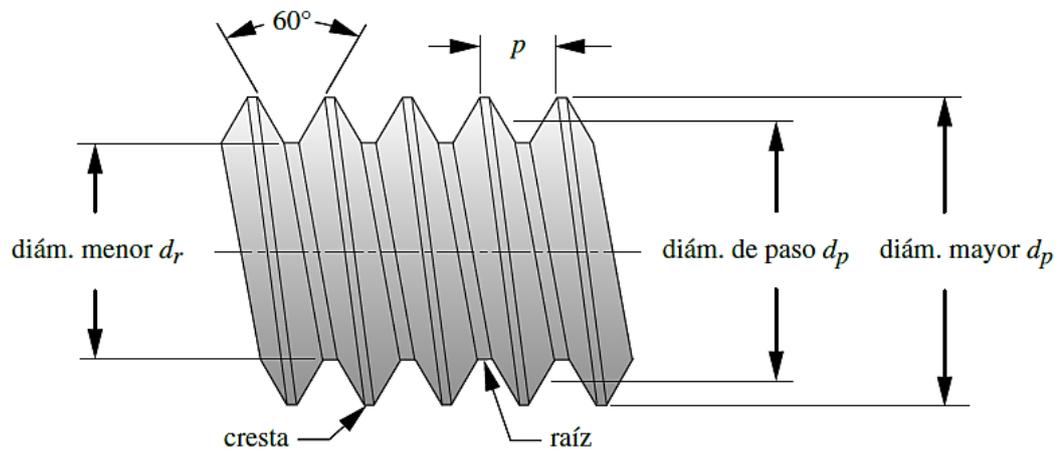
Dónde:

$d$  = diámetro mayor

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} P$$

$d_r =$  diámetro menor  
 $d_p =$  diámetro de paso  
 $p =$  paso

Figura 8: Terminología de roscas de tornillo



Fuente: Robert Norton; diseño de máquinas.

Una posible falla por cortante interviene en el barrido de las cuerdas de la tuerca o del tornillo. Lo cual, si ocurre cualquiera de estos dos escenarios, depende de las resistencias relativas de los materiales de la tuerca y del tornillo. Si el material de la tuerca es más débil (como es el caso con frecuencia), su cuerda se podría barrer en el diámetro mayor. Si el tornillo es más débil, su cuerda se barrería en el diámetro menor. Si ambos materiales son de igual resistencia, el ensamble se barrería a lo largo del diámetro de paso. En cualquier caso, se debe suponer algún grado de carga compartida entre las cuerdas para el cálculo de esfuerzo. Un procedimiento es considerar que, como se requiere una falla total para que todas las cuerdas se barran, todas las cuerdas comparten la carga por partes iguales. Éste es probablemente un buen supuesto, siempre que la tuerca o el tornillo (o ambos) sean dúctiles para permitir que cada cuerda ceda conforme el ensamble comienza a fallar. Sin embargo, si ambas partes son frágiles (p. ej., aceros o hierros fundidos con alta dureza) y el ajuste de la cuerda es deficiente, uno se imaginaría que cada cuerda tomará la carga completa en su

momento hasta que se fractura y pasa el trabajo a la siguiente cuerda. La realidad se encuentra otra vez entre dichos extremos. Si se expresa el área de cortante, en términos del número de cuerdas en contacto, se puede hacer una evaluación en cada caso hasta que el grado para compartir carga sea el adecuado.<sup>9</sup>

El área cortante por barrido  $A_s$  para la cuerda del tornillo es el área del cilindro de su diámetro menor  $d_r$ :

$$A_s = \pi d_r w_i p$$

Donde  $p$  es el paso de la cuerda y  $w_i$  es el factor que define el porcentaje del paso ocupado por el metal en el diámetro menor. En la Tabla 3 se presentan valores de  $w_i$  para varios perfiles comunes de cuerda.

Tabla 3. Factores para área de cortante de barrido en las cuerdas

Tipo de cuerda	$w_i$ (menor)	$w_o$ (mayor)
UNS/ISO	0.80	0.88
Cuadrada	0.50	0.50
Acme	0.77	0.63
Reforzada	0.90	0.83

Fuente: Robert Norton, Diseño de máquina, p 737.

Para el barrido de la tuerca en su diámetro mayor, el área de cortante de la cuerda de un tornillo es:

$$A_s = \pi d w_o p$$

Donde el valor de  $w_o$  en el diámetro mayor se obtiene de la Tabla 3. El esfuerzo cortante  $\tau_s$  para el barrido de la cuerda se determina entonces con:

$$\tau_s = \frac{F}{A_s}$$

<sup>9 9</sup> Robert Norton, Diseño de máquina, p 737.

### **Esfuerzo de torsión del tornillo**

Cuando una tuerca se aprieta sobre un tornillo, o cuando se transmite un torque a través de la tuerca de un tornillo de potencia, se desarrolla un esfuerzo de torsión en el tornillo. El torque que tuerce el tornillo depende de la fricción en el punto de contacto tornillo tuerca.

Si ambos están bien lubricados, se transmite menos del torque aplicado al tornillo y se absorbe más entre la tuerca y la superficie sujeta. Si ambos están oxidados, todo el torque aplicado torcerá el tornillo, lo cual es la razón por la que los pernos oxidados usualmente se cortan, incluso cuando se intenta aflojar la tuerca.

Por lo tanto, para tomar en cuenta el peor caso de alta fricción en la cuerda, se usa el torque total aplicado, en la ecuación de esfuerzo de torsión, en una sección redonda:

$$\tau = \frac{T_r}{J} = \frac{16T}{\pi d_r^3}$$

Se debería utilizar el diámetro menor  $d_r$  o de la cuerda en este cálculo.

### **Relación del par de torsión de perno con la tensión**

Después de haber aprendido que una precarga alta es muy deseable en conexiones importantes con pernos, se deben considerar los medios para asegurar que la precarga en realidad se desarrolle cuando se ensamblan las partes.

Si la longitud total del perno realmente puede medirse con un micrómetro cuando se ensambla, la elongación del perno, debida a la precarga  $F_i$  se calcula con la fórmula  $\delta = F_i l / (AE)$ .

Luego, la tuerca simplemente se aprieta hasta que el perno se alarga a través de la distancia  $\delta$ , lo cual asegura que se logre la precarga deseada. Por lo general, la

elongación de un tornillo no se puede medir, porque el extremo roscado a menudo se encuentra en un agujero ciego. También en muchos casos es impráctico medir la elongación del perno. En tales casos debe estimarse el par de torsión de la llave que se requiere para desarrollar la precarga especificada. Por ello, se utiliza una llave dinamométrica, un dispositivo neumático de impacto o el método de giro de la tuerca.

Cuando se obtiene la condición de ajuste firme, todos los giros adicionales desarrollan tensión útil en el perno. El método de giro de la tuerca requiere que se calcule el número fraccional de vueltas necesario para desarrollar la precarga requerida, a partir de la condición de apriete firme. Los análisis estadísticos de los dos grupos de pernos, convertidos a unidades SI, se presentan en la Tabla 4 y Tabla 5.<sup>10</sup>

Tabla 4. *Distribución de la precarga  $F_i$  de 20 pruebas de pernos no lubricados con apriete a 90 N.m*

23.6,	27.6,	28.0,	29.4,	30.3,	30.7,	32.9,	33.8,	33.8,	33.8,
34.7,	35.6,	35.6,	37.4,	37.8,	37.8,	39.2,	40.0,	40.5,	42.7

\*Valor medio  $\bar{f}_i = 34.3$  kN. Desviación estándar,  $\hat{\sigma} = 4.91$  kN.

Fuente: Diseño de elementos de máquinas de Shigley, p 422.423.

Tabla 5. *Distribución de la precarga  $F_i$  de 10 pruebas de pernos lubricados con apriete a 90N.m*

30.3,	32.5,	32.5,	32.9,	32.9,	33.8,	34.3,	34.7,	37.4,	40.5
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

\*Valor medio  $\bar{f}_i = 34.18$  kN. Desviación estándar,  $\hat{\sigma} = 2.88$  kN.

Fuente: Diseño de elementos de máquinas de Shigley, p 423.

<sup>10</sup> Richard G Budynas & J. Keith Nisbett (2008), Diseño de elementos de máquinas de Shigley, p 422.423.

Tabla 6. Factores del par de torsión  $K$  para su empleo con la ecuación

Condición del perno	$K$
Sin recubrimiento, acabado negro	0.30
Galvanizado	0.20
Lubricado	0.18
Con recubrimiento de cadmio	0.16
Con Anti-Seize Bowman	0.12
Con tuercas Bowman-Grip	0.09

Fuente: Diseño de elementos de máquinas de Shigley.

La torsión necesaria para producir una precarga es:

$$T = KF_i d$$

### Carga por fatiga de uniones a tensión

En la Tabla 7 se muestran los factores promedio de la reducción de la resistencia a la fatiga del filete ubicado debajo de la cabeza del perno y también en el inicio de las roscas del cuerpo del perno. Dichos factores ya están corregidos y toman en cuenta la sensibilidad a la muesca y al acabado superficial. Peterson (1997) hace notar que la distribución de las fallas comunes de pernos está aproximadamente 15% por debajo de la cabeza, 20% al final de la rosca y 65% en la rosca, en la cara de la tuerca.<sup>11</sup>

El empleo de roscas laminadas es el método predominante de formación de roscas en sujetadores de tornillo, donde se puede aplicar la Tabla 4. En el laminado de roscas, el diseñador desconoce la cantidad de trabajo en frío y de endurecimiento por deformación; por lo tanto, en la Tabla 5 se da la resistencia a la fatiga axial completamente corregida (incluyendo  $K_f$ ). Es necesario anticipar que las resistencias a la fatiga serán mucho menores.

<sup>11</sup> W. D. Pilkey, Peterson's Stress Concentration Factors, 2a. ed., John Wiley & Sons, Nueva York, 1997, p. 387.

*Tabla 7 Factores de concentración del esfuerzo de fatiga  $K_f$  de elementos roscados*

Grado SAE	Grado métrico	Roscas laminadas	Roscas cortadas	Filete
0 a 2	3.6 a 5.8	2.2	2.8	2.1
4 a 8	6.6 a 10.9	3.0	3.8	2.3

Fuente: diseño en ingeniería mecánica de Shigley, octava edición p 429.

*Tabla 8 Resistencias a la fatiga completamente corregidas de pernos y tornillos con roscas laminadas\**

Grado o clase	Intervalo de tamaños	Resistencia a la fatiga
SAE 5	$\frac{1}{4}$ -1 pulg	18.6 kpsi
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$ pulg	16.3 kpsi
SAE 7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$ pulg	20.6 kpsi
SAE 8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$ pulg	23.2 kpsi
ISO 8.8	M16-M36	129 MPa
ISO 9.8	M1.6-M16	140 MPa
ISO 10.9	M5-M36	162 MPa
ISO 12.9	M1.6-M36	190 MPa

\*Carga axial, repetidamente aplicada, completamente corregida.

Fuente: diseño en ingeniería mecánica de Shigley, octava edición, p 430.

### 2.2.2 Conceptualización de la variable dependiente: Disponibilidad

Según Mora (2009), como disponibilidad se define la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa en condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, el tiempo activo de reparación, el tiempo inactivo, el tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), el tiempo administrativo, el tiempo de funcionamiento sin producir y el tiempo logístico. Es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo.

Según Knezevic (1996), la mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad. Hay varios métodos para lograrlo, y uno es construir un equipo que cuando falle sea fácil de recuperar, y el otro es que sean confiables y, por lo tanto, demasiado costoso.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{HTP - (IM + MP + FM + FE + FN)}{HTP}$$

Dónde:

HTP = Horas Totales Programados

IM = Inspección Mecánica

MP = Mantenimiento Programado

FM = Falla Mecánica

FE = Falla Eléctrica

FN = Falla Neumática

## 2.3 Definición de términos

### *Falla*

En la forma más sencilla el concepto de falla puede definirse como el efecto que se origina cuando un componente, equipo, sistema o proceso deja de cumplir con la función que de ellos se espera.

### *Probabilidad de falla*

Es la probabilidad de que un componente, sistema o proceso falle o deje de realizar lo que del mismo se requiere, en un intervalo de tiempo determinado. La probabilidad de falla  $F(t)$  de un componente en un intervalo de tiempo  $t_1 - t_2$  viene dado por la expresión:

$$F(t) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt$$

### **Confiabilidad**

Es el complemento probabilístico de la probabilidad de fallas. Probabilidad de que un dispositivo ejecute la función para la que fue seleccionado cuando así se requiera, si el mismo está operando dentro de los límites de diseño

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

Si realizamos el análisis de falla de los espárragos de la culata entonces se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

- a) Si realizamos el análisis de los esfuerzos en espárragos de la culata entonces se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.
- b) Si determinamos los modos de falla en espárragos de la culata entonces se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.

## **2.5 Variables.**

### **2.5.1 Definición conceptual de las variables**

#### **Análisis de falla**

Es el estudio sistemático y logístico de las fallas de un equipo para determinar la probabilidad, causa y consecuencia de las mismas.

#### **Disponibilidad**

La disponibilidad es un indicador que permite estimar el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté operativo para cumplir la función para la cual está destinado. La disponibilidad no implica necesariamente que esté

funcionando, sino que se encuentra en condiciones de funcionar. La disponibilidad es un término probabilístico exclusivo de los equipos reparables.

### 2.5.2 Definición operacional de las variables

#### Análisis de falla

Encontrar la verdadera causa de origen del problema de la falla de los espárragos de la culata del motor Deutz.

#### Disponibilidad

La probabilidad que un sistema, subsistema o equipo esté disponible para su uso, durante un tiempo calendario dado.

### 2.5.3 Operacionalización de las variables

Es el proceso por el que se traduce una variable a propiedades o aspectos directamente observables con la finalidad de poder medirlos o propiamente poder evaluarlos. Esto nos indica que una variable es definida teóricamente y operacionalmente. Ver Cuadro 1.<sup>12</sup>

Cuadro 1. *Operacionalización de las variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente: <b>Análisis de falla</b>	Es el estudio sistemático y logístico de las fallas de un equipo para determinar la probabilidad, causa y consecuencia de las mismas	Encontrar la verdadera causa de origen del problema de la falla de los espárragos de la culata del motor Deutz.	Esfuerzos  Modo de falla	Tracción Compresión Torsión Flexión Fatiga Fractura Deformación Ludimiento Corrosión
Dependiente: <b>Disponibilidad</b>	La disponibilidad es un indicador que permite estimar el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté operativo para cumplir la función para la cual está destinado	La probabilidad que un sistema, subsistema o equipo esté disponible para su uso, durante un tiempo calendario dado.	Tiempos operativo  Tiempos fuera de servicio	Horas operativas de los equipos (horómetro).  Horas de reparación de averías de los equipos (Cronómetros).

Fuente: Elaboración propia

<sup>12</sup> Richard G Budynas & J. Keith Nisbett, op cit, p. 877.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y nivel de investigación**

##### **3.1.1 Tipo de investigación**

Tipo de investigación científica tecnológica, la cual tiene como propósito aplicar el conocimiento para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad. (Espinoza, 2014)

##### **3.1.2 Nivel de investigación**

Investigación aplicada, también conocida como diseño o innovación, tiene como propósito aplicar los resultados de la investigación experimental para diseñar tecnologías de aplicación inmediata en la solución de problemas de la sociedad, buscando eficiencia y productividad.

##### **3.1.3 Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es una organización esquematizada para relacionar y controlar las variables de investigación. Tiene como objetivo asignar restricciones controladas a las observaciones de los fenómenos. Es una herramienta de dirección para el investigador, contiene los pasos o acciones a

seguir para encontrar posibles soluciones. El diseño debe ser coherente con el tipo de problema a investigar.

El diseño utilizado en esta investigación es el diseño de un grupo con pre prueba y post prueba, en este tipo de diseño se evalúa los efectos del tratamiento comparándola con una medición previa, su diseño es:

Diagrama

$$O_1 \longrightarrow X \longrightarrow O_2$$

Dónde:

O<sub>1</sub>: Observación de la disponibilidad antes de aplicar el análisis de falla.

O<sub>2</sub>: Observación de la disponibilidad después de aplicar el análisis de falla.

X: Análisis de Fallas

### 3.2 Población y muestra

La Unidad Islay, cuenta con seis equipos, tres jumbos Boomer-282 y tres empernadores Boltec-235, cada uno de ellos funciona con motores de combustión interna diésel Deutz 914, para el transporte del equipo.

La muestra aleatoria y el estudio se basan en un equipo, aquella donde la frecuencia de falla es mayor.

### 3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Una vez definido el diseño de la investigación, será necesario definir las técnicas de recolección de datos para construir o seleccionar los instrumentos que nos permitan obtener datos del objeto de investigación.

Las técnicas de recolección de datos organiza la investigación para obtener el nuevo conocimiento. La técnica desarrolla las siguientes actividades:

- Ordenar las etapas de la investigación.
- Elaborar los instrumentos de medición.

- Efectuar un control de los datos.
- Guiar la obtención de conocimientos.

**Análisis documental**, que permite obtener datos de fuente secundaria mediante el análisis documental por ejemplo libros, boletines, reportes, revistas, folletos; para recolectar datos sobre la variable en interés. El instrumento que se acostumbra utilizar es la ficha de registro de datos.

**Observación no experimental**, con frecuencia se usa esta técnica para profundizar en el conocimiento del comportamiento de exploración. En este caso se puede emplear como instrumento una guía de observación de campo.

Los instrumentos utilizados son: registros de sistemas de gestión (KPI'S).

### **3.4 Validez y confiabilidad del instrumento**

La validación y la confiabilidad de los instrumentos, los cuales se utilizaron en la presente investigación se ajustan a estándares y exigencias de la Empresa Administradora Chungar – Unidad Islay; por lo cual no fue necesario validarlos, en todo caso se aplicó para el registro de datos la cual permitió al final calcular la disponibilidad de cada equipo.

### **3.5 Plan de recolección y procesamiento de datos**

#### **3.6.1 Plan de recolección de datos**

- Operacionalización de las variables, donde se va a distinguir tres tipos de definiciones la definición teórica (definición conceptual), la definición real (dimensiones) y la definición operacional (indicadores).
- De qué manera se realizará la recolección de datos.
- Elección de instrumentos a utilizar.
- Cuáles son los procedimientos de observación y medición de datos.
- Organizar los datos en tablas y figuras.

### 3.6.2 Procesamiento de datos

Consiste en ingresar los datos recolectados en un software, se ha extraído de los archivos de la Empresa Especializada Atlas Copco, en el caso de la investigación datos de la disponibilidad de los jumbos.

Para el análisis de la muestra lo realizamos utilizando la estadística descriptiva para medir la posición y la tendencia central y las medidas de dispersión.

Las medidas de tendencia central informan sobre los valores medios de la serie de datos. Las principales medidas de tendencia central son: La media, la mediana y la moda.

La Media es el valor medio ponderado de la serie de datos, es el promedio aritmético de una distribución; la Mediana es el valor de la serie de datos que se sitúa justamente en el centro de la muestra (un 50% de valores son inferiores y otro 50% son superiores); la Moda es el valor que más se repite en la muestra; la moda es una medida promedio que se usa cuando se quiere señalar el valor más común de una serie de datos.

Las medidas de dispersión, estudia la distribución de los valores de la serie, analizando si estos se encuentran más o menos concentrados o más o menos dispersos. Existen diversas medidas de dispersión; entre las más utilizadas tenemos el rango, la varianza, la desviación estándar el coeficiente de variación de Pearson.

El rango mide la amplitud de los valores de la muestra y se calcula por diferencia entre el valor más elevado y el valor más bajo, cuanto más grande es el rango mayor es la dispersión de los datos; la varianza mide la distancia existente entre los valores de la serie y la media. La varianza siempre será mayor que cero. Mientras más se aproxima a cero, más concentrados están los valores de la serie

alrededor de la media. Por el contrario mientras mayor sea la varianza, más disperso están; la desviación estándar se calcula como la raíz cuadrada de la varianza y el coeficiente de variación de Pearson se calcula como cociente entre la desviación típica y la media.

La estadística inferencial se ha utilizado para la prueba de hipótesis; y la inferencia de estadígrafo a parámetros; para todo ello se utilizó el estadístico T Student la cual hace la comparación de dos medias.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Diagnóstico del motor diésel Deutz 914**

Los motores de serie 914 son motores del material de construcción, cuya potencia oscila entre 44 -149 kW (59-200 hp). Su sistema de refrigeración es por aire y tiene cuatro cilindros y, es sobrealimentado. Éstos tienen una dislocación de 1.1 l/cilindro con el sistema anticipado de la combustión y de inyección, cuyas especificaciones se detallan en el anexo 3.

#### **Evaluación del espárrago**

El espárrago tiene un diámetro de 8 mm, de rosca métrica de un paso de 1,25 mm, con una longitud total de 71,5 mm, roscado en el extremo izquierdo con una longitud de 23 mm, y en el extremo derecho 15 mm es de grado 8; instalado en la culata para el montaje de la base del balancín. Las dimensiones se especifican en el anexo 08, según imagen 18.

Imagen 18. *Espárrago usado o instalado en la culata para el montaje de la base del balancín.*



**Fuente:** Elaboración propia (componente del motor en estudio)

### **Condiciones de operación de la culata**

La culata es individual trabaja de forma independiente por cada cámara de combustión y es refrigerada por aire. El material de la culata es de aluminio, punto donde se avería los hilos internos donde van instalados los espárragos, como se muestra en la Imagen 19.

**Imagen 19. *Ubicación de los espárragos en la culata***



**Fuente:** Elaboración propia (componente del motor en estudio)

La culata en forma individual, así como las otras que están instalados en el motor trabajan entre 125-135 grados centígrados, según imagen 20.

Imagen 20. Toma de muestra de la temperatura de trabajo de culata y espárrago



Fuente: Elaboración propia (componente del motor en estudio)

### Par motor

Datos referenciales (placa del motor)

Potencia del motor = 75 KW

Velocidad en vacío = 780 RPM

Velocidad máxima = 2500 RPM

Velocidad con carga = 2250 RPM = 235,62 rad/seg.

$P = n \cdot T$

$$\text{Par motor} = T = \frac{P}{n} = \frac{75\,000}{235,62} = 318,31 \text{ N.m.}$$

### 4.2 Análisis de esfuerzo del espárrago

$$\tau = \frac{Tr}{J} = \frac{16T}{\pi d_r^3}$$

Se debería utilizar el diámetro menor  $d_r$  o de la cuerda en este cálculo.

Esfuerzo de torsión que soporta el tornillo:

$$T = 30 \text{ N-m}$$

$$d_r = 6,77 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{16 (30 \text{ N.m})}{\pi (0,00677)^3} = 492408699,2 \text{ N.m}$$

Análisis de modo de falla de esfuerzo cortante por torsión, como se muestra en la figura

9.

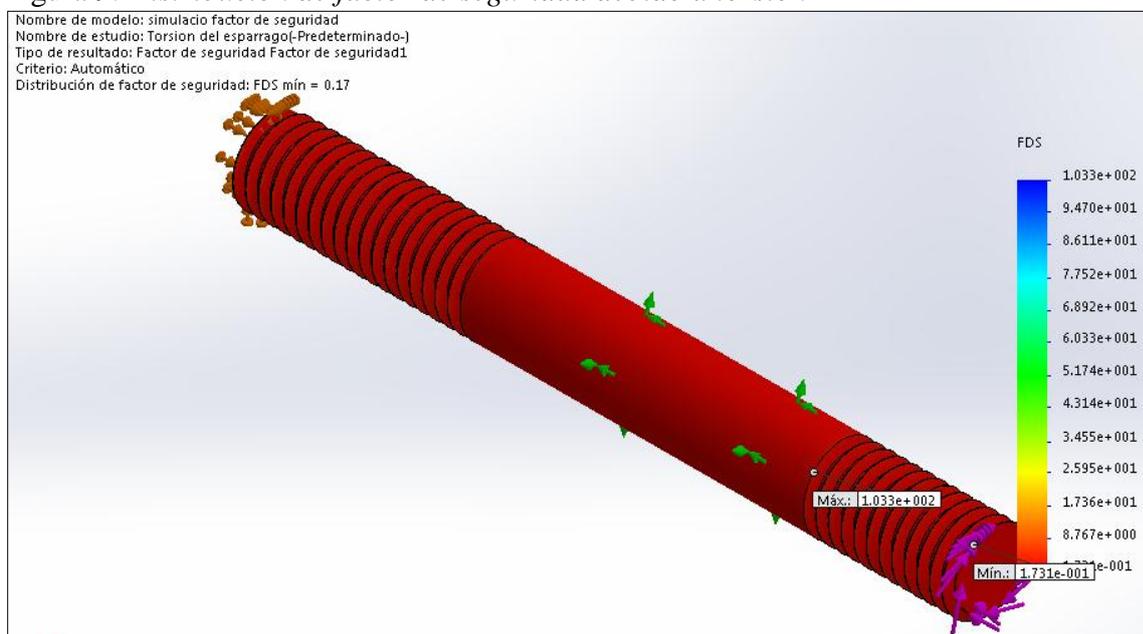
$$\tau = \frac{S_{sy}}{n}$$

$$S_{sy} = 0,577 S_y \quad \text{Teoría de energía de distorsión}$$

$$\tau = 492\,408\,699,2 \text{ N.m} = \frac{0,577 S_y}{n} = \frac{(0,577)(660 \times 10^6)}{n}$$

$$n = 0,77.$$

Figura 9. Distribución de factor de seguridad debido a torsión



Fuente: Elaboración propia, en software SOLID WORK

### Esfuerzo de tracción:

Carga de precarga ( $F_i$ ) axial que soporta el espárrago, según figura 10.

$$T = K F_i d$$

$K$  = condición del perno = 0,18 (Tabla 5)

$$F_i = \frac{T}{K \times d} = \frac{30 \text{ N.m}}{0,18 \times 0,008} = 20\,833,33 \text{ N}$$

Calculo de esfuerzo del espárrago debido a la carga axial ( $F_i$ )

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{20\,833,33}{39,7 \times 10^{-6}} = 524\,769\,017,6 \text{ N.}$$

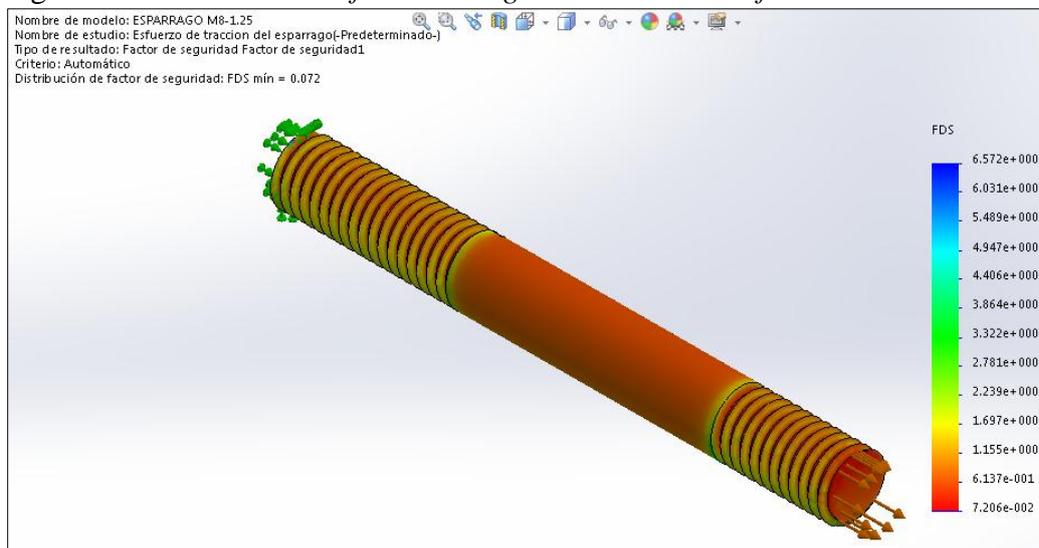
Modo de falla debido al esfuerzo axial generado por la carga axial  $F_i$ .

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

$$524\,769\,017,6 = \frac{660 \times 10^6}{n}$$

$$n = 1,25$$

Figura 10. *Distribución de factor de seguridad debido a esfuerzo de tracción*



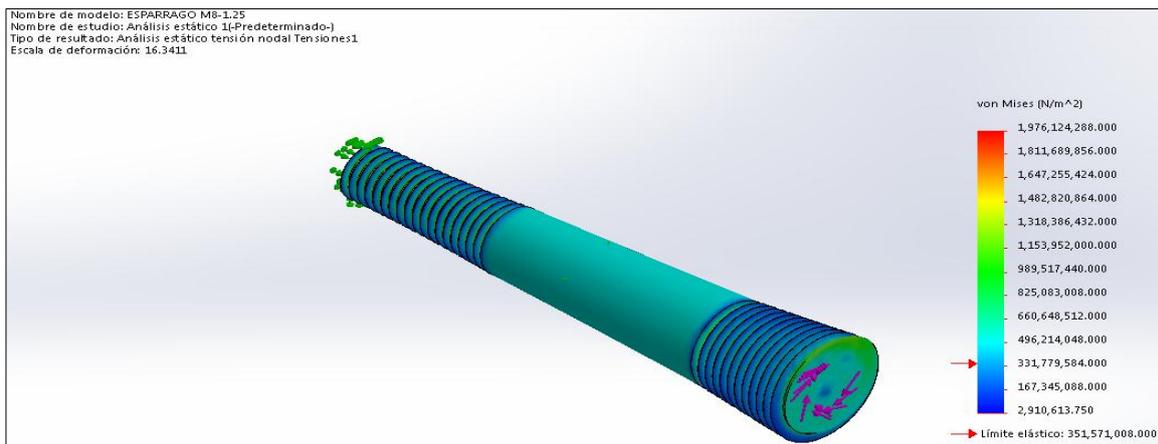
Fuente: Elaboración propia, en software SOLID WORK

### **Simulación por efecto de torsión.**

#### ***Esfuerzo de Von Mises***

Como se puede observar en la Figura 11, cuyo resultado permite observar que el límite elástico es de  $351\,571\,008 \text{ N/m}^2$ , y el esfuerzo máximo que soporta el espárrago por efecto de la torsión y que pueda generar corte o rotura está en el orden de  $331\,779\,584 \text{ N/m}^2$ , menor al límite elástico. Por lo cual no hay posibilidad de rotura por efecto de la torsión.

Figura 11. Estudio de análisis estático, esfuerzo de Von Mises que soporta el espárrago

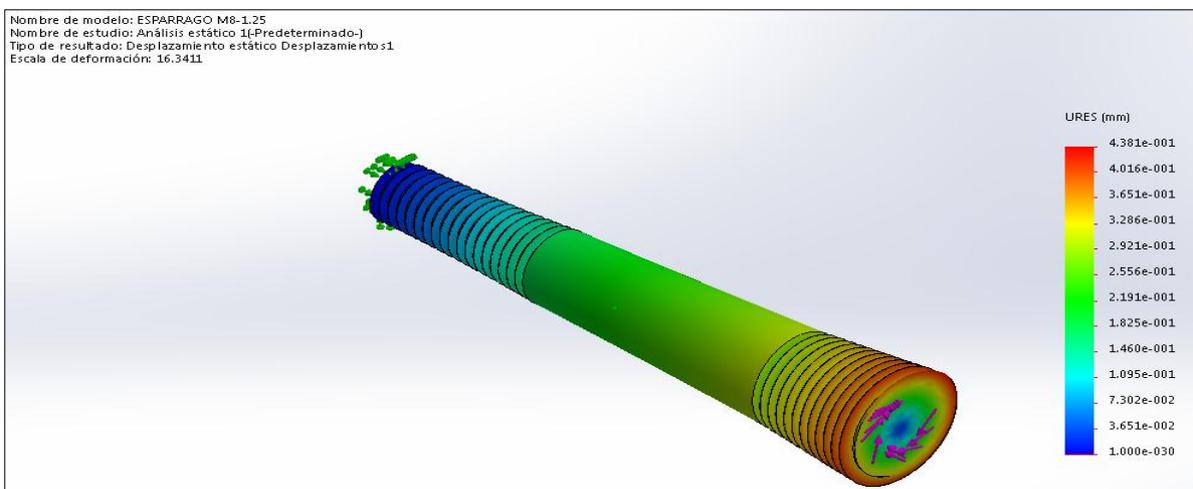


Fuente: Elaboración propia, en software SOLID WORK

### ***Desplazamiento***

La deformación máxima por efecto de la torsión es de  $4,38 \times 10^{-1}$  mm; por cierto es pequeño y está ubicado en la parte inferior del espárrago, sin embargo puede influenciar una falla en la rosca de la culata, según figura 12.

Figura 12. Estudio de análisis estático desplazamiento que soporta el espárrago

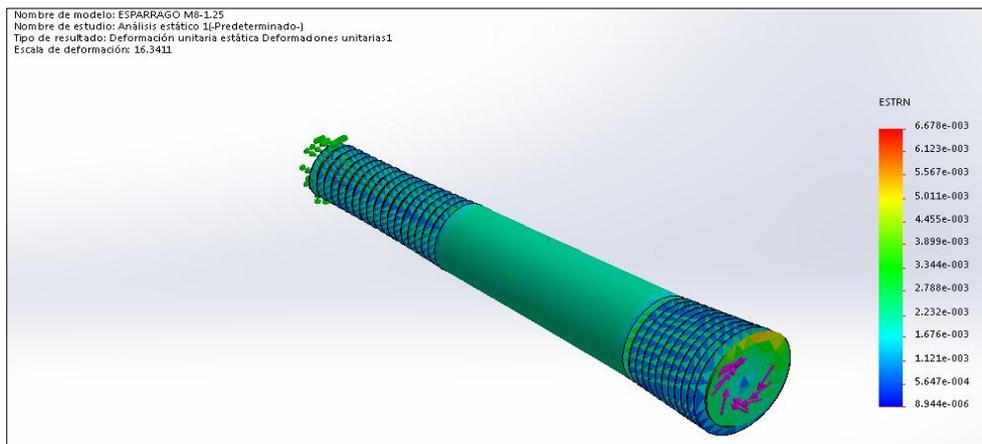


Fuente: Elaboración propia, en software SOLID WORK

### ***Deformaciones***

El cambio de posición relativa de los desplazamientos respecto a cada uno de los ejes. En este caso, el valor máximo de deformación es pequeña según escala,  $6,67 \times 10^{-3}$  mm, según figura 13.

Figura 13. Estudio de análisis estático deformaciones que soporta el espárrago



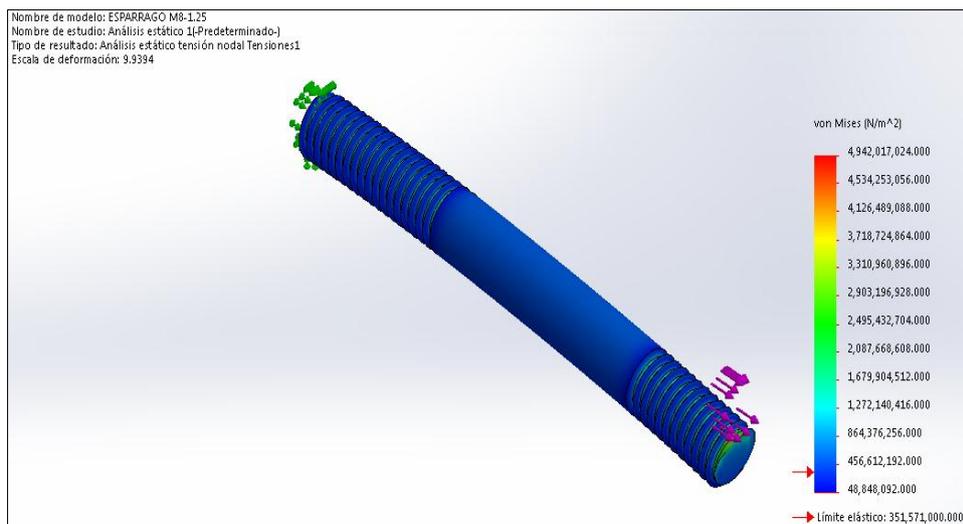
Fuente: Elaboración propia, en software SOLID WORK

## Simulación por efecto de tracción

### *Esfuerzo de von Mises*

Se puede observar que el límite elástico bajo estas condiciones está en 351 571 000 N/m<sup>2</sup>, en el cuerpo en general es menor que dicho esfuerzo, excepto en filete interior o en el interior de los filetes cuyo esfuerzo es superior al límite elástico por lo que se puede afirmar según lo hallado que existirá deformación que influirá en la resistencia de la rosca o filete. Como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Esfuerzo de Von Mises que soporta el espárrago debido a la carga de tracción

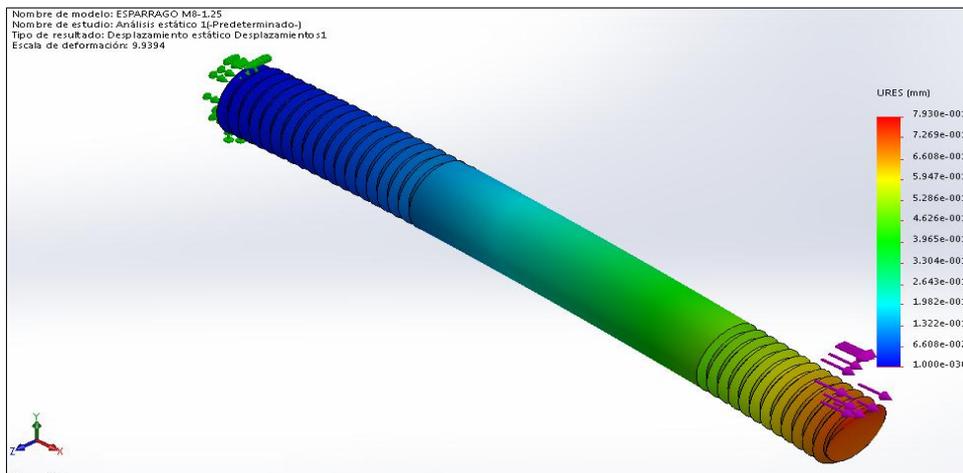


Fuente: Elaboración propia, en software SOLID WORK

### Desplazamiento

La deformación máxima por efecto de la torsión es de  $7,93 \times 10^{-1}$  mm; por cierto es pequeño y está ubicado en la parte inferior del espárrago, sin embargo puede influenciar una falla en la rosca de la culata, según figura 15.

Figura 15. Estudio de análisis estático desplazamiento que soporta el espárrago por tracción

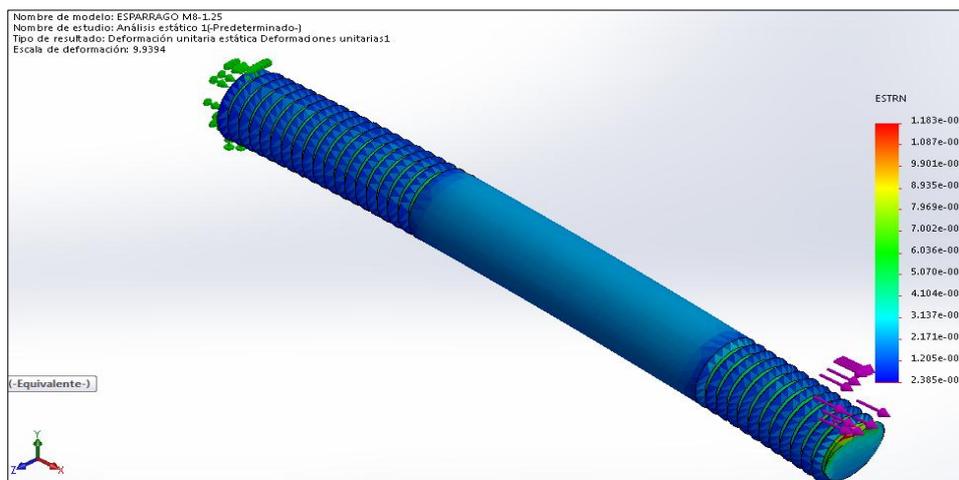


Fuente: Elaboración propia, en software SOLID WORK

### Deformación

El cambio de posición relativa de los desplazamientos respecto a cada uno de los ejes. En este caso, el valor máximo de deformación es pequeña según escala,  $1,183 \times 10^{-2}$  mm, según figura 16.

Figura 16. Estudio de análisis estático deformación que soporta el espárrago por tracción



Fuente: Elaboración propia, en software SOLID WORK

### 4.3 Descripción estadística

En la Tabla 9 se muestra la disponibilidad mecánica del Jumbo Boomer-282 antes de realizar la presente investigación; donde se puede apreciar una disponibilidad promedio 76.17%, la cual está por debajo de lo establecido en el contrato con la Empresa Administradora Chungar. Esta tabla se ha obtenido de los datos del sistema de gestión de los KPI's (reporte diario del mes) el cual es utilizado por la Empresa, estos datos históricos de las fallas del equipo en estudio se detalla en el anexo 09, según se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Disponibilidad de jumbo Boomer-282 - año 2016

MES - 2016	DISPONIBILIDAD %
ENERO	74
FEBRERO	76
MARZO	77
ABRIL	76
MAYO	77
JUNIO	76
JULIO	75
AGOSTO	77
SEPTIEMBRE	76
OCTUBRE	76
NOVIEMBRE	77
DICIEMBRE	77
<b>DISPONIBILIDAD PROMEDIO</b>	<b>76.17%</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se presenta las medidas de posición central; como es el valor medio ponderado de la disponibilidad del año 2016 esto es la media (76.17%). El valor que se sitúa en el centro de la disponibilidad esto se denomina como la mediana (76 %). El valor que se repite constantemente en la disponibilidad esto es la moda (76%). También tenemos las medidas de variación; tenemos el rango la cual es la diferencia entre el valor máximo de la disponibilidad y el valor mínimo de la disponibilidad (3%). La varianza, esto mide la distancia que existe entre los valores de la disponibilidad y la media (0.88). La desviación estándar esto es la raíz cuadrada de la varianza y finalmente se presenta los percentiles.

Tabla 10. *Estadísticos jumbo Boomer-282-año 2016*

<b>Estadísticas Descriptivas</b>		<b>Valores</b>
Media		76.17
Mediana		76
Moda		76
Varianza		0.88
Desviación estándar		0.94
Rango		3
Mínimo		74
Máximo		77
Percentiles	25	76
	50	76
	75	77

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11 se muestra la disponibilidad después de utilizar los espárragos de mayor grado, después de realizar la presente investigación; donde se puede observar una disponibilidad promedio de 85.82%, este valor se ha incrementado en 9.65%, además está superando la disponibilidad establecido en el contrato con la Empresa Administradora Chungar. Esta tabla se ha obtenido de los datos del sistema de gestión de los KPI's (reporte diario del mes) el cual es utilizado por la Empresa, estos datos históricos de las fallas del equipo en estudio se detalla en el anexo 10.

Tabla 11. *Disponibilidad del jumbo Boomer-282- año 2017*

<b>MES-2017</b>	<b>DISPONIBILIDAD %</b>
ENERO	84
FEBRERO	85
MARZO	86
ABRIL	86
MAYO	87
JUNIO	86
JULIO	85
AGOSTO	85
SETIEMBRE	87
OCTUBRE	86
NOVIEMBRE	87
<b>DISPONIBILIDAD PROMEDIO</b>	<b>85.82</b>

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 12 se presenta las medidas de posición central; como es el valor medio ponderado de la disponibilidad del año 2017 esto es la media (85.82%). El valor que se sitúa en el centro de la disponibilidad esto se denomina como la mediana (86 %). El valor que se repite constantemente en la disponibilidad esto es la moda (86%). También

tenemos las medidas de variación; tenemos el rango la cual es la diferencia entre el valor máximo de la disponibilidad y el valor mínimo de la disponibilidad (3%). La varianza, esto mide la distancia que existe entre los valores de la disponibilidad y la media (0.96). La desviación estándar esto es la raíz cuadrada de la varianza y finalmente se presenta los percentiles.

Tabla 12. *Estadísticos jumbo Boomer-282- año 2017*

Estadísticas Descriptivas		Valores
Media		85.82
Mediana		86
Moda		86
Varianza		0.96
Desviación estándar		0.98
Rango		3
Mínimo		84
Máximo		87
Percentiles	25	85
▼	50	86
▼	75	87

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Contrastación de la hipótesis

Para realizar la prueba de la hipótesis hacemos uso de la estadística inferencial, utilizando el estadígrafo t student, ya que nuestra muestra es pequeña e inferior a 30.

##### Hipótesis General

##### *Formulación de la hipótesis*

**H<sub>0</sub>:** Si realizamos el análisis de falla de los espárragos de la culata entonces no se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.

$$Dispon_{después} < Dispon_{antes}$$

**H<sub>1</sub>:** Si realizamos el análisis de falla de los espárragos de la culata entonces se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.

***Dispon<sub>después</sub> > Dispon<sub>antes</sub>***

***Establecer el nivel de significancia***

Para realizar la contrastación de la hipótesis general establecemos el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  ( $t_{\text{tabla}} = 2.08$ )

***Elección de la prueba estadística***

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}}$$

Datos:

$$\bar{X}_1 = 85.82 \text{ (Tabla 12)}$$

$$\bar{X}_2 = 76.17 \text{ (Tabla 10)}$$

$$S_1^2 = 0,96 \text{ (Tabla 12)}$$

$$S_2^2 = 0.88 \text{ (Tabla 10)}$$

$$N_1 = 11 \text{ (Tabla 12)}$$

$$N_2 = 12 \text{ (Tabla 10)}$$

Sustituyendo los datos en la fórmula tenemos lo siguiente:

$$t_{\text{calculado}} = \mathbf{24.05}$$

La condición para aceptar la hipótesis nula es

$$\text{Si } t_{\text{tabla}} > t_{\text{calculado}}$$

***Toma de decisión***

Observando en los resultados tenemos que  $t_{\text{calculado}}$  es mayor que  $t_{\text{tabla}}$  ( $24.05 > 2.08$ ), podemos aseverar que 24.05 cae en la región de rechazo, entonces rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ), aceptamos la hipótesis de la investigación la cual es conocida como hipótesis alterna ( $H_1$ ).

## ***Conclusión***

Con un nivel de significancia de 5%, tenemos evidencia estadística para hacer la siguiente conclusión que el análisis de falla influye en la disponibilidad del jumbo Boomer-282 de la empresa Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.

### **Hipótesis específica 1**

#### ***Formulación de la hipótesis***

**H<sub>0</sub>**: Si realizamos el análisis de los esfuerzos de los espárragos de la culata entonces no se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay – 2017.

**H<sub>1</sub>**: Si realizamos el análisis de los esfuerzos de los espárragos de la culata entonces se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay – 2017

Con respecto a la hipótesis específica alterna 1 (**H<sub>1</sub>**) se realiza una contrastación empírica directa; esta hipótesis se acepta, ya que el análisis de esfuerzos determinó que el esparrago M8 (diámetro= 8 mm) tenía fallas de rotura por torsión, estos espárragos fallaban cada 10 días, porque el personal no realizaba el procedimiento adecuado para el ajuste, debido a que no hacían uso del instrumento adecuado para el torque correspondiente (torquímetro).

Después de realizar el análisis de esfuerzos se hizo uso del torquímetro para el ajuste de los espárragos de la culata, estos espárragos no fallaban por torsión y por lo tanto la disponibilidad del jumbo Boomer-282 se incrementó en 9.85% llegando a superar el promedio establecido por contrato (85%).

## **Hipótesis específica 2**

### ***Formulación de la hipótesis***

**H<sub>0</sub>**: Si determinamos los modos de falla en espárragos de la culata entonces no se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay – 2017

**H<sub>1</sub>**: Si determinamos los modos de falla en espárragos de la culata entonces se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay – 2017

La hipótesis específica alterna 2 (H1) se acepta, ya que se puede observar que el modo de falla es de 0,77, por lo cual existen también múltiples variables que pueden coadyuvar en la mejora y reducción de fallas.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1 Discusión**

La investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del análisis de falla en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017. Para lograr este objetivo se hizo el análisis de falla de los espárragos donde se desarrolla la metodología necesaria para llegar a un resultado que incremente la disponibilidad. También se realizó el análisis de los esfuerzos a los que está sometido el esparrago y los modos de falla.

El método empleado en la presente tesis es el método científico, lo cual es el apropiado para el análisis de las variables en estudio y la muestra es la adecuada para decir que la investigación es válida. Los resultados obtenidos en el estudio son únicamente para los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.

A partir de los resultados y el análisis estadístico la hipótesis general planteada se acepta, lo cual es, si realizamos el análisis de falla de los espárragos de la culata entonces se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.

La mayoría de las fallas se manifiestan mediante roturas, sin embargo también las deformaciones son fallas que sin haber sido fracturadas ya no cumplen con su función, los espárragos, filetes de los espárragos son de aquellos elementos que fallan o sufren deformación o rotura; las causas son múltiples dependiendo de las condiciones de trabajo en la que están inmersas las maquinas.

Los espárragos generalmente en los motores se ha evidenciado que no fallan por fractura, más bien sufren deformaciones que conllevan a que los filete de las roscas sea del elemento roscado en este caso el esparrago falle o las roscas de los filetes en este caso las roscas o filetes de la culata.

Santamaría (2007); en su trabajo de investigación “Análisis de falla en perno de sujeción de unidad de bombeo mecánico Lufkin a640d – 427 – 144”; realiza un análisis de prueba microscópica y macroscópica de la parte rota o fracturada; llega a una de sus conclusiones a afirmar lo siguiente, de que existe evidencia sólida para afirmar que la falla se dio por fractura frágil.

El mecanismo de falla es una combinación de esfuerzos de tensión con esfuerzos de corte generados por cargas de tensión.

La forma “banana” que tiene el perno es un indicio de existió una carga lateral sobre el perno que produjo deformación plástica. Posiblemente debido a un ajuste deficiente entre la guía y el perno.

Se favoreció la condición de desgaste al acoplar dos superficies con diferentes durezas y permitir deslizamiento relativo entre ellas sin lubricación.

El resultado del análisis que se desarrolló en el presente estudio se relaciona a lo manifestado anteriormente, ya que en el análisis de modo de falla realizado en este estudio con el esfuerzo de torsión a la que está sometido el espárrago tiene que ver con la falla del espárrago y sus filetes, recordando que el modo de falla salió a 0,77, por lo cual se puede

afirmar también que una de las causas para que falle el esparrago es que el apriete o torque no es el correcto.

García (2009); tesis “Análisis de fatiga en piezas mecánicas usando el método de elementos finitos”; analiza el fallo desde el punto de vista fatiga, que es uno de los factores por el cual puede fallar un elemento mecánico, en este caso el elemento es el espárrago y sus filetes, que si falla influye en los filetes de la culata, más aun cuando la culata es de material más suave (aluminio).

García manifiesta que la teoría de Von Mises no es fiable, sin embargo también afirma que realiza un estudio multiaxial, es decir que estudia un esfuerzo desde el punto de vista esfuerzo cortante y esfuerzo de tracción en forma simultánea. Todo estudio sea prueba con prototipo o ensayos destructivos o mediante elementos finitos no es con una certeza del 100 %, si no es un aproximación a la explicación de las causas de fallas que estaría soportando el esparrago.

Evidentemente la fatiga puede ser la causa de falla, con muy poco esfuerzo pero cíclico puede generar fallas en el esparrago.

En relación con Vilcapoma (2013) en su tesis realizada determinó que con el análisis de falla en los jumbos se pudo incrementar la disponibilidad de 80.45% antes de realizar la investigación; después de realizar el análisis de falla la disponibilidad fue de 89.20%.

En la presente investigación, también logramos incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de 76.17% a 85.82%.

Contrariamente con lo que consiguió Vega (2013) en su estudio el determino que el perno de la bomba centrífuga tuvo una falla por fatiga; en el presente trabajo se determinó, con los resultados obtenidos, que la falla de los espárragos de la culata fue por torsión.

## CONCLUSIONES

1. Se concluye que, con el análisis de falla realizada en esta investigación del jumbo Boomer-282, se demostró que este equipo generaba pérdida en la producción, ya que tenía una disponibilidad promedio de 76.17%, disponibilidad que es demasiada baja para el promedio de contrato, que establecía una disponibilidad mayor a 85%.
2. Cuando se determinaron los esfuerzos, encontramos que el espárrago en estudio tenía una falla por torsión. Al aplicar el procedimiento adecuado para el ajuste de los pernos, se incrementó la disponibilidad del jumbo Boomer-282, llegando a un promedio de disponibilidad de 85.82%, e incrementando por lo tanto la vida útil de equipo, de igual manera la reducción de costos por mantenimiento.
3. El modo de falla producto del análisis debido a torsión o torque es de 0,77; para afirmar que no existe falla debido a torsión, éste debería ser mayor a 1,2; para garantizar el correcto funcionamiento del espárrago: La causa para dicho resultado depende de varios factores como el diámetro del espárrago, apriete, material del perno y/o material de la culata, así como la variación de paso a fin de incrementar la resistencia y soportar los sobreesfuerzos a la que está sometido.

## RECOMENDACIONES

1. El posicionamiento de los pernos y espárragos deben de ser el correcto, para evitar posibles roturas, en el paso de los filetes, un mal posicionamiento incrementaría los esfuerzos multiaxiales en las zonas de concentración de esfuerzos el cual soportaría el filete del esparrago y de la culata. Por lo tanto se recomienda adecuar y/o utilizar un esparrago de mayor diámetro y su paso respectivo sin incrementar el torque.
2. Se recomienda utilizar el instrumento torquímetro, para el respectivo ajuste de los espárragos de la culata, para así verificar que se está dando el torque necesario la cual no debe pasar de 30 N.m. y no presentar fallas en el espárrago.
3. La parte inferior del esparrago está sometido a mayor carga y soporta mayores esfuerzos, soporta deformaciones y desplazamientos, debido a que está cerca de la cámara de combustión, por lo que se sugiere hacer un análisis de los efectos turbulentos y efectos térmicos que ocasiona la explosión en la cámara de combustión hacia los elementos periféricos de la combustión, como por ejemplo el esparrago y la culata.
4. En el sistema de refrigeración, se recomienda mejorar sus condiciones para evitar concentración de esfuerzos y/o debilitamiento en la rosca interna del esparrago; ya que un buen sistema de refrigeración, evitaría roturas o deformaciones prematuras de los espárragos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Budynas, R. & Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. México: McGraw-Hill.
- Deutz AG TU-DPA-0-00. (2002). Service Technik, Service Training . *Ingeniería de motores por productos Serie Motores 914*, 215.
- Fygueroa, S., & Araque, J. (2017). *Web del profesor.ula.ve*. Obtenido de [http://webdelprofe.ula.ve/ingenieria/jaraque/JESUS/2\\_Publicaciones/Libros/Combustion/EI%20Proceso%20de%20Combustion%20en%20MCI.pdf](http://webdelprofe.ula.ve/ingenieria/jaraque/JESUS/2_Publicaciones/Libros/Combustion/EI%20Proceso%20de%20Combustion%20en%20MCI.pdf)
- Gere, J. & Goodno, B.(2016). *Mecánica de Materiales*. México: Cengage Learning.
- Knezevic, J. (1996). *Mantenimiento*. Madrid: Isdele.
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento, Planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Norton, R. (2009). *Diseño de Maquinaria*. México: McGraw-Hill.
- Pilkey, W.(1997). *Peterson's stress concentration Factors*. New York: A Wiley-Interscience Publication.
- Santamaría de la Cruz, H. (2008). *Análisis de falla en perno de sujeción de unidad de bombeo mecánico Lufkin a640d-427-144*. Colombia: Universidad Autonoma del Caribe.
- Vega, R. (2013). *Análisis de falla de pernos de bomba KSB de 800 HP*. Lima: Pontificas Universidad Católica del Perú.
- Vera, A. (2014). *Simulación con SolidWorks*. Peru: Macro.

# **ANEXOS**

ANEXO 01  
MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TITULO: “ANÁLISIS DE FALLA EN ESPÁRRAGOS DE CULATA PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS JUMBOS BOOMER-282 DE ATLAS COPCO - UNIDAD ISLAY - 2017”**

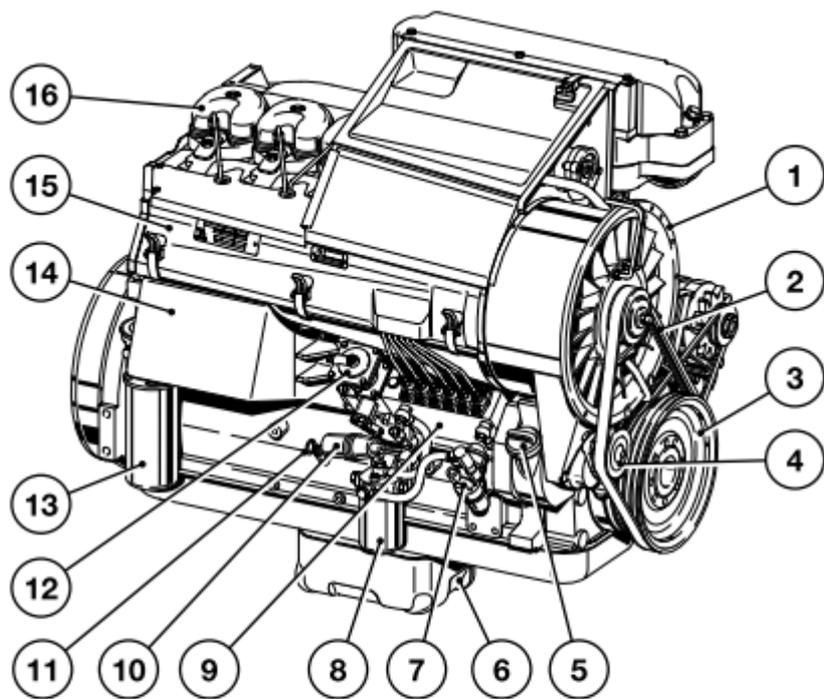
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGIA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cuál es la influencia del análisis de falla en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b></p> <p>a) ¿Cómo influyen los esfuerzos en espárragos de la culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017?</p> <p>b) ¿Cómo influyen los modos de falla en espárragos de la culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar la influencia del análisis de falla en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b></p> <p>a) Establecer los esfuerzos en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.</p> <p>b) Precisar los modos de falla en espárragos de culata para incrementar la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 de Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.</p>	<p><b>HIPÒTESIS GENERAL</b></p> <p>Si realizamos el análisis de falla de los espárragos de la culata entonces se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay - 2017</p> <p><b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b></p> <p>a) Si realizamos el análisis de los esfuerzos en espárragos de la culata entonces se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer-282 en Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.</p> <p>b) Si determinamos los modos de falla en espárragos de la culata entonces se incrementará la disponibilidad de los jumbos Boomer 282 en Atlas Copco - Unidad Islay - 2017.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b></p> <p>Análisis de falla</p> <p><b>DIMENSIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Esfuerzos</li> <li>✓ Modo de falla</li> </ul> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b></p> <p>Disponibilidad</p> <p><b>DIMENSIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tiempo Operativo</li> <li>✓ Tiempo fuera de servicio</li> </ul>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Tecnológica</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACION:</b> Aplicativo</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACION:</b> Diagrama</p> <p style="text-align: center;"><math>O_1 \longrightarrow X \longrightarrow O_2</math></p> <p>Dónde:</p> <p>O<sub>1</sub>: Observación de la disponibilidad antes de aplicar el análisis de falla. O<sub>2</sub>: Observación de la disponibilidad después de aplicar el análisis de falla. X: Análisis de Fallas</p> <p>El diseño de la investigación es de un grupo con pre prueba y post prueba.</p> <p><b>POBLACIÓN</b> Son seis equipos, tres jumbos Boomer y tres empernadores Boltec.</p> <p><b>MUESTRA</b> La muestra aleatoria y el estudio se basa en un equipo, aquella donde la frecuencia de falla es mayor.</p>

ANEXO 02  
DATOS TÉCNICOS MOTOR

Descripción	F 3L 914	B/F 4L 914 C	F 5L 914	B/F 6L 914 C
Número de cilindros	3	4	5	6
Disposición de los cilindros	en línea			
Diámetro de cilindro [mm]	102			
Carrera [mm]	132			
Cilindrada total [l]	3,2	4,3	5,4	6,5
Relación de compresión [ε]	18			
Ciclo de trabajo / sistema de combustión	Diesel, de 4 tiempos / inyección directa			
Orden de encendido	1-2-3	1-3-4-2	1-2-4-5-3	1-5-3-6-2-4
Sentido de giro, visto sobre el volante	a la izquierda			
Velocidad nominal [rpm] o [min <sup>-1</sup> ]	ver placa del fabricante			
Potencia [kW]	ver placa del fabricante			
Juego de válvulas a motor frío: admisión / escape	0,15 + 0,05			
Comienzo de alimentación	ver placa del fabricante			
Presión de apertura del inyector [bar]	200 + 10			
Presión mín. de aceite [bar], a régimen mínimo en vacío y a motor caliente (120°C temp. de aceite)	0,5 (sin calefacción de cabina)			
Tipo de refrigeración	por aire			
Lubricación	lubricación forzada por circulación			
Temperatura máx. del aceite en el cárter de aceite [°C]	135			

*Fuente: Deutz AG TU-DPA-0-00 Service-Technik, Service Training Serie de motores 914, Ingeniería de motores por productos Serie de motores DEUTZ 914*

ANEXO 03  
VISTA DEL MOTOR  
LADO DE MANTENIMIENTO BF 6L 914 C

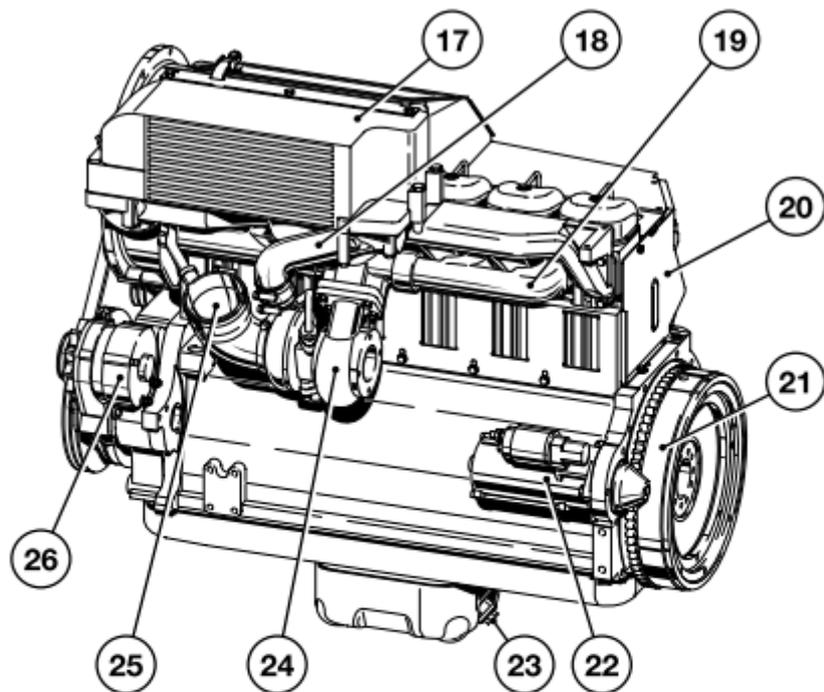


© 914 - 0001 0

- |  |   |
|--|---|
| 1 - Turbina de refrigeración                           | 10 - Solenoide de parada                        |
| 2 - Correa trapezoidal (turbina de refriger.)          | 11 - Varilla medidora del nivel de aceite       |
| 3 - Polea acanalada sobre el cigüeñal                  | 12 - Corrector de sobrealimentación LDA         |
| 4 - Polea tensora                                      | 13 - Filtro de aceite lubricante                |
| 5 - Tapa de llenado de aceite                          | 14 - Refrigerador de aceite de motor o radiador |
| 6 - Cárter de aceite                                   | 15 - Tapa guía de aire                          |
| 7 - Bomba de alimentación de combustible con prefiltro | 16 - Tapa de balancines                         |
| 8 - Filtro de combustible                              |   |
| 9 - Bomba de inyección                                 |   |

*Fuente: Deutz AG TU-DPA-0-00 Service-Technik, Service Training Serie de motores 914, Ingeniería de motores por productos Serie de motores DEUTZ 914*

**ANEXO 04**  
**VISTA DEL MOTOR**  
**LADO DE SALIDA DE AIRE BF 6L 914 C**



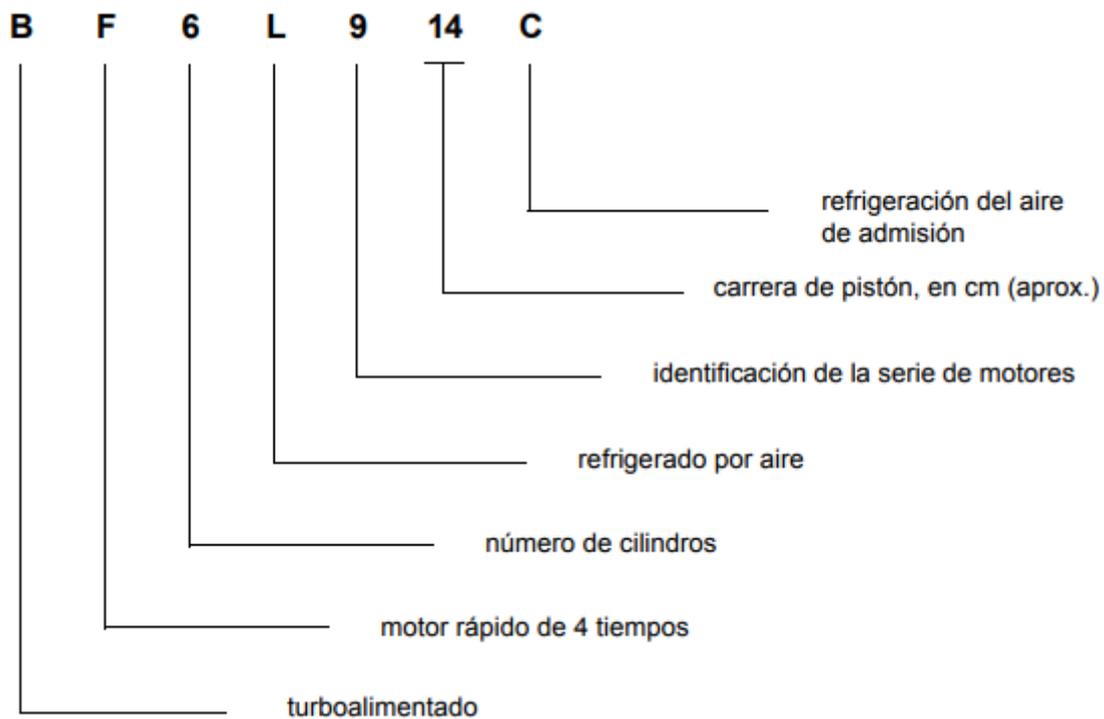
© 914 - 0002 0

- 17 - Enfriador del aire de admisión
- 18 - Tubería de aire de sobrealimentación
- 19 - Colector de escape
- 20 - Chapa vertical
- 21 - Volante
- 22 - Arrancador
- 23 - Tapón de salida de aceite
- 24 - Turbocompresor
- 25 - Tubo de aspiración de aire al turbocompresor
- 26 - Alternador

*Fuente: Deutz AG TU-DPA-0-00 Service-Technik, Service Training Serie de motores 914, Ingeniería de motores por productos Serie de motores DEUTZ 914*

## ANEXO 05

### DENOMINACIÓN DEL MOTOR



*Fuente: Deutz AG TU-DPA-0-00 Service-Technik, Service Training Serie de motores 914, Ingeniería de motores por productos Serie de motores DEUTZ 914*

**ANEXO 06**  
**DIMENSIONES PRINCIPALES DE CUERDAS DE TRONILLOS DEL ESTANDAR**  
**METRICO ISO**

**Tabla 11-2 Dimensiones principales de cuerdas de tornillos del estándar métrico ISO**  
 Datos calculados con las ecuaciones 11.1; véase la referencia 4 para mayor información

Diámetro mayor $d$ (mm)	Cuerdas gruesas			Cuerdas finas		
	Paso $p$ mm	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (mm <sup>2</sup> )	Paso $p$ mm	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (mm <sup>2</sup> )
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.40	1.50	20.16	333.06
24.0	3.00	20.32	352.50	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.41	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.59	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.55	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.72	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.75	3.00	35.32	1028.39

*Fuente: Robert L. Norton, Diseño de Maquinas, tabla 11-2 p.729*

## ANEXO 07

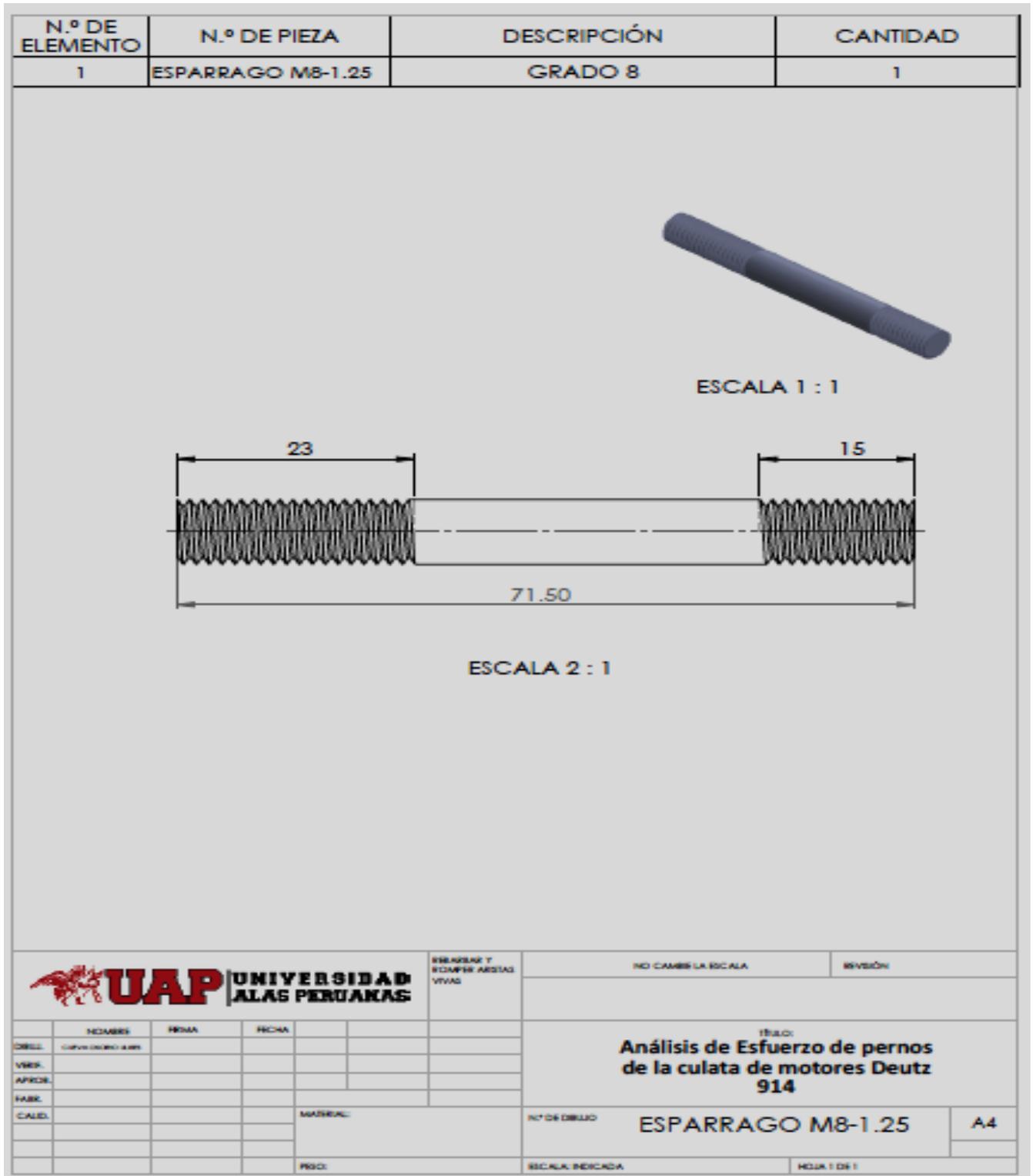
## ESPECIFICACIONES MÉTRICAS Y RESISTENCIAS PARA PERNOS DE ACERO

Número de clase	Intervalo del tamaño del diám. ext. (mm)	Resistencia de prueba mínima (MPa)	Resistencia a la fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tensión mínima (MPa)	Material
4.6	M5-M36	225	240	400	bajo o medio carbono
4.8	M1.6-M16	310	340	420	bajo o medio carbono
5.8	M5-M24	380	420	520	bajo o medio carbono
8.8	M3-M36	600	660	830	medio carbono, Q&T
9.8	M1.6-M16	650	720	900	medio carbono, Q&T
10.9	M5-M36	830	940	1 040	martensita al bajo carbono, Q&T
12.9	M1.6-M36	970	1 100	1 220	aleación, templada y revenida

*Fuente: Robert L. Norton, Diseño de Maquinas, tabla 11-17 p.744*

ANEXO 08

ESPECIFICACIONES MÉTRICAS DEL ESPARRAGO ESTUDIADO



Fuente: Elaboración propia, programa AutoCAD

## ANEXO 09

## REPORTE DE DISPONIBILIDAD DEL JUMBO BOOMER 282 DEL AÑO 2016

Fecha	HI	HF	HO	HT	HTP	IM	MP	FM	T.P.R	HD	HR	DM	N° Parada	N° Falla	Hr. Falla	ESTADO	DESCRIPCION
01/01/2016	3109.4	3111.4	2.0	2.8	12	1.0	4.00		5.0	7.0	4.0	58%			4.00	OPERATIVO	( 19:00-23:00) INSPECCION DE NIVELES DE A CEITE,SE ELIMINA FUGA DE ACEITE POR EL CONECTOR DEL ENFRIADOR DEL MOTOR DIESEL.
01/01/2016	2711.0	2720.4	9.4														
01/01/2016	2860.7	2861.5	0.8														
01/01/2016	1885.2	1890.0	4.8														
01/01/2016	2954.8	2961.3	6.5														
01/01/2016	3111.4	3112.2	0.8	3.0	12	1.0		1.00	0.5	10.0	1.0	83%	1	1	1.00	OPERATIVO	EQUIPO NO LLEGA AL TALLER (07:00-09:00) INSPECCION DE NIVELES ACEITE, SE AGREGA ACEITE HIDRAULICO 10 GLNS,SE AGREGA ACEITE ALMO 01 GLN,SE CAMBIA MANGUERA DEL SISTEMA DE PERCUSION RETORNO N°12X3.80 DEL B/I,SE ORDENA COVER DE MANGUERAS HIDRAULICAS DEL 2° TRAMO,SE REAJUSTA CABLE DE RETORNO DEL B/D.
01/01/2016	2720.4	2721.4	1.0														
01/01/2016	2861.5	2862.7	1.2														
01/01/2016	1890.0	1891.0	1.0														
01/01/2016	2961.3	2962.3	1.0														
02/01/2016	3112.2	3114.5	2.3	2.4	12	1.0			1.0	11.0	0.0	92%				OPERATIVO	( 19:00-20:00) INSPECCION DE NIVELES DE A CEITE,SE ELIMINA FUGA DE ACEITE POR EL CONECTOR DE MANGUERAS DEL SISTEMA PERCUSION.
02/01/2016	2721.4	2730.0	8.6														
02/01/2016	2862.7	2862.8	0.1														
02/01/2016	1891.0	1900.5	9.5														
02/01/2016	2962.3	2963.8	1.5														
02/01/2016	3114.5	3115.3	0.8	3.0	12	1.0			0.5	11.0	0.0	92%				OPERATIVO	(07:00-08:00) INSPECCION DE NIVELES ACEITE ,SE AGREGA ACEITE ALMO 01 GLN,SE AGREGA ACEITE HIDRAULICO 08 GLNS,SE REGULA CABLE DE RETORNO DE COP DEL B/D.
02/01/2016	2730.0	2731.0	1.0														
02/01/2016	2862.8	2864.0	1.2														
02/01/2016	1900.5	1901.5	1.0														
02/01/2016	2963.8	2964.8	1.0														
03/01/2016	3115.3	3117.0	1.7	2.2	12	1.0			1.0	11.0	0.0	92%				OPERATIVO	EQUIPO NO LLEGA AL TALLER ( 19:00-20:00) INSPECCION DE NIVELES DE A CEITE,INSPECCION DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO EN LABOR.
03/01/2016	2731.0	2738.0	7.0														
03/01/2016	2864.0	2864.5	0.5														
03/01/2016	1901.5	1911.5	10.0														
03/01/2016	2964.8	2966.3	1.5														
03/01/2016	3117.0	3117.8	0.8	3.0	12	1.0	3.00		0.5	8.0	3.0	67%			3.00	OPERATIVO	EQUIPO NO LLEGA AL TALLER (07:00-08:00) INSPECCION DE NIVELES ACEITE, SE ORDENA MANGUERAS HIDRAULICAS DEL 2°TRAMO DEL B/D,SE REALIZA INSPECCION DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO EN LABOR, (13:00 - 16:00)CAMBIO DE EMPAQUE DEL MULTIPLE DE ADMISION MOTOR DIESEL.





09/01/2016	3127.2	3128.2	1.0	3.0	12	1.0		2.50	0.5	8.5	2.5	71%		2.5	OPERATIVO	(07:00 - 09:30)EQUIPO SALE A TRABAJAR POR CAMBIO DE JUM-0037 QUIEN ENTRA EN MANTENIMIENTO. SE REALIZA SEGUIMIENTO EN LABOR AL EQUIPO, VERIFICACION DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIESEL.	
09/01/2016	2759.6	2761.6	2.0														
09/01/2016	2874.9	2875.9	1.0														
09/01/2016	1932.5	1934.5	2.0														
09/01/2016	2979.4	2980.4	1.0														
10/01/2016	3128.2	3130.2	2.0	4.0	12	1.0			1.0	11.0	0.0	92%			OPERATIVO	EQUIPO LLEGO AL TALLER, (19:00-20:00) INSPECCION DEL EQUIPO, ENGRASE GENERAL DEL EQUIPO SE AUMENTO A ACEITE HIDRAULICO 04 GALONES, SE AGREGO ACEITE ALMO 0.5 GALONES, SE VERIFICO ESTADO DE LAS VIGAS, Y CABLES DE RETORNO Y AVANCE.	
10/01/2016	2761.6	2765.1	3.5														
10/01/2016	2875.9	2877.9	2.0														
10/01/2016	1934.5	1937.5	3.0														
10/01/2016	2980.4	2984.1	3.7														
10/01/2016	3130.2	3131.2	1.0	3.0	12	1.0	5.00		0.5	6.0	5.0	50%		5.00	OPERATIVO	EQUIPO NO LLEGA AL TALLER (07:00-12:00) SE VERIFICA NIVELES DE ACEITE, SE AGREGA 04 GALONES DE ACEITE HIDRAULICO, SE ENGRASA EL EQUIPO, SE VERIFICA LINEA ELECTRICA DE FAROS DE PERFORACION, SE VERIFICO SATURACION DE FILTRO DE ADMISION, SE REALIZA INSPECCION EN TALLER, CAMBIO DE ESPARRAGOS DEL SISTEMA DE ADMISION Y ESCAPE DEL MOTOR DIESEL.	
10/01/2016	2765.1	2767.1	2.0														
10/01/2016	2877.9	2878.9	1.0														
10/01/2016	1937.5	1939.5	2.0														
10/01/2016	2984.1	2985.1	1.0														
11/01/2016	3131.2	3132.4	1.2	3.2	12	1.0			1.0	11.0	0.0	92%			OPERATIVO	EQUIPO NO LLEGA AL TALLER, (19:00-20:00) INSPECCION DEL EQUIPO, ENGRASE GENERAL DEL EQUIPO SE AUMENTO A ACEITE HIDRAULICO SE VERIFICA ESTADO DE MANGUERAS Y ALINEA HOLDER, SE ACONDICIONO FUSIBLE 15A SISTEMA DIESEL.	
11/01/2016	2767.1	2770.1	3.0														
11/01/2016	2878.9	2880.9	2.0														
11/01/2016	1939.5	1943.3	3.8														
11/01/2016	2985.1	2987.4	2.3														
11/01/2016	3132.4	3133.4	1.0	3.0	12	1.0			0.5	11.0	0.0	92%			OPERATIVO	EQUIPO LLEGA AL TALLER (07:00-08:00) SE VERIFICA NIVELES DE ACEITE SE ENGRASA EL EQUIPO SE REALIZA INSPECCION AL SISTEMA DE ILUMINACION, SE CAMBIA HALOGENO DE PANTALLA DE PERFORACION, SE ALINEA SHANCK BARRA.	
11/01/2016	2770.1	2772.1	2.0														
11/01/2016	2880.9	2881.9	1.0														
11/01/2016	1943.3	1945.3	2.0														
11/01/2016	2987.4	2988.4	1.0														
12/01/2016	3133.4	3133.5	0.1	2.0	12	1.0		4.00	5.0	7.0	4.0	58%	1	1	4.00	OPERATIVO	EQUIPO NO LLEGA AL TALLER, (21:00-01:00) SE CAMBIO CABLE DE AVANCE DEL BRAZO DERECHO, SE CAMBIO REGLETA DE ANCLAJE DEL CABLE DE AVANCE POR AVERIA, DICHO REPUESTO SE EXTRAJO DEL JUM-037 SE CAMBIO POLEA DEL CABLE DE AVANCE POR ENCONTRARSE ROTO, SE USA COMPONENTE DEL JUM-0037. NOTA IMPORTANTE EL EQUIPO NO ESTA SALIENDO A SU INSPECCION Y ENGRASE Y SE ESTA REPORTANDO EN LAS REUNIONES Y TAMBIEN SE MENCIONA EN EL PRESENTE REPORTE SU LLEGADA AL TALLER., AL NO SER ENGRASADO LA POLEA PROVOCO EL AMARRE DEL CABLE DAÑANDO LOS DEMAS COMPONENTES.



14/01/2016	2784.0	2786.0	2.0														
14/01/2016	2886.8	2887.8	1.0														
14/01/2016	1956.4	1958.4	2.0														
14/01/2016	2996.3	2997.3	1.0														
15/01/2016	3137.9	3139.1	1.2	2.5	12	1.0		4.00	5.0	7.0	4.0	58%		4.00	OPERATIVO	EQUIPO NO LLEGO AL TALLER (19:00-00:00) SE VERIFICA NIVEL DE ACEITE, SE AJUSTA PERNOS DEL CLAMP DE MANGUERAS, SE AJUSTA PERNOS DEL HOLDER, SE VERIFICA ESTADO DE CABLES DE AVANCE Y RETORNO, SE AGREGA ACEITE HIDRAULICO 04 GLNS.	
15/01/2016	2786.0	2788.6	2.6														
15/01/2016	2887.8	2889.1	1.3														
15/01/2016	1958.4	1960.1	1.7														
15/01/2016	2997.3	2999.1	1.8														
15/01/2016	3139.1	3140.1	1.0	2.0	12	1.0			0.5	11.0	0.0	92%			OPERATIVO	EQUIPO NO LLEGO AL TALLER (07:00-08:00) SE REALIZA INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE, SE REALIZA INSPECCION DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO EN LABOR.	
15/01/2016	2788.6	2790.6	2.0														
15/01/2016	2889.1	2889.1	0.0														
15/01/2016	1960.1	1962.1	2.0														
15/01/2016	2999.1	3000.1	1.0														
16/01/2016	3140.1	3140.1	0.0	0.0	12	1.0			1.0	11.0	0.0	92%			OPERATIVO	EQUIPO NO LLEGO AL TALLER (19:00-20:00) INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE, SE REALIZA INSPECCION DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO EN LABOR.	
16/01/2016	2790.6	2790.6	0.0														
16/01/2016	2889.1	2889.1	0.0														
16/01/2016	1962.1	1962.1	0.0														
16/01/2016	3000.1	3000.1	0.0														
16/01/2016	3140.1	3140.1	0.0	0.0	12	1.0			0.5	11.0	0.0	92%			OPERATIVO	(07:00-08:00) SE REALIZA INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE, EQUIPO EN STAND BY EN TALLER NV 420.	
16/01/2016	2790.6	2790.6	0.0														
16/01/2016	2889.1	2889.1	0.0														
16/01/2016	1962.1	1962.1	0.0														
16/01/2016	3000.1	3000.1	0.0														
17/01/2016	3140.1	3141.2	1.1	2.0	12	1.0			1.0	11.0	0.0	92%			OPERATIVO	(19:00-21:30) INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE, SE CAMBIA FILTRO DE AIRE PRIMARIO Y SECUNDARIO DEL MOTOR DIESEL POR SATURACION, SE ELIMINA FUGA DE ACEITE DEL MOTOR DIESEL POR LA TAPA DE BALANCONES CILINDRO N°03, SE INSTALA VALVULA DE AGUA DEL B/I, SE COLOCA PALANCA DE POSICIONAMIENTO DEL B/I POR ENCONTRARSE ROTO, SE COLOCA PERNO DE ANCLAJE DE LA PANTALLA DE PERFORACION DEL B/I, SE INSTALA POLEA TEMPLADORA ACONDICIONADO DE LA FAJA DEL VENTILADOR DEL MOTOR DIESEL POR ENCONTRARSE CON EL RODAMIENTO ROTO.	



















22/02/2016	2971.0	2976.0	5.0															
22/02/2016	2065.6	2068.3	2.7															
22/02/2016	3119.3	3121.3	2.0															
22/02/2016	3228.3	3232.1	3.8	9.5	12	1.0			1.00	0.5	10.0	1.0	83%	1	1	1.00	OPERATIVO	(07:00- 09:30) PROBLEMA DEL TEMPORIZADOR DEL TABLERO ELECTRICO 10.25-11:25
22/02/2016	2889.8	2892.0	2.2															
22/02/2016	2976.0	2979.0	3.0															
22/02/2016	2068.3	2070.0	1.7															
22/02/2016	3121.3	3124.0	2.7															

Fuente: Elaboración Propia Programa Excel

## ANEXO 10

## REPORTE DE DISPONIBILIDAD DEL JUMBO BOOMER 282 DE ENERO 2017

Fecha	HI	HF	HO	HT	HTP	IM	MP	FM	T.P.R	HD	HR	DM	N° Parada	N° Falla	Hr. Falla	ESTADO	DESCRIPCION
01/01/2017	3775.3	3775.9	0.6	2.6	12	1.0		2.00	3.0	9.0	2.0	75%			2.00	OPERATIVO	(19:30 - 20:30) INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE, SE AGREGA ACEITE DE LUBRICACION (1 GAL), CAMBIO DE CONECTOR N°8 DE 90° DEL CILINDRO DE PARALELISMO, SE REALIZA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.
01/01/2017	4423.2	4424.5	1.3														
01/01/2017	3513.0	3513.4	0.4														
01/01/2017	3633.1	3636.0	2.9														
01/01/2017	654.0	655.6	1.6														
01/01/2017	3775.9	3776.4	0.5	2.2	12	1.0			0.5	11.0	0.0	92%				OPERATIVO	(07:40 - 08:40) INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE, CAMBIO DE PIEZA DESLIZANTE DEL PATIN DE VIGA DEL BRAZO IZQUIERDO, CAMBIO DE 02 PERNOS M16X 55 DEL PATIN, CAMBIO DE FILTRO DE COMPRESOR, CAMBIO DE CENTRALIZADOR INTERMEDIO DEL BRAZO IZQUIERDO, SE REALIZA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.
01/01/2017	4424.5	4426.7	2.2														
01/01/2017	3513.4	3513.8	0.4														
01/01/2017	3636.0	3639.1	3.1														
01/01/2017	655.6	656.9	1.3														
02/01/2017	0.0	1.1	1.1	4.2	12	1.0		2.00	3.0	9.0	2.0	75%	1	1	2.00	OPERATIVO	(19:40 - 20:40) INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE, CAMBIO DE HORMETRO DE PERCUSION Y ELECTRICO DEL BRAZO 1, SE AGREGA ACEITE DE LUBRICACION (1 GAL) (23:30 - 24:30) CAMBIO DE MANGUERA HIDRAULICA N°8 Y N°12 DE LA ARTICULACION CENTRAL, SE AGREGA 10 GAL DE ACEITE HIDRAULICO, (04:00 - 05:00) CAMBIO DE SHANK DEL BRAZO DERECHO.
02/01/2017	0.0	2.8	2.8														
02/01/2017	3513.8	3514.8	1.0														
02/01/2017	3639.1	3643.0	3.9														
02/01/2017	656.9	659.0	2.1														
02/01/2017	1.1	1.5	0.4	1.6	12			4.00	0.5	8.0	4.0	67%	1	1	4.00	OPERATIVO	(07:00 - 11:00) SE AGREGA ACEITE HIDRAULICO DT 26 (10 GAL), CAMBIO DE 03 MANGUERAS HIDRAULICAS DE LA ARTICULACION CENTRAL
02/01/2017	2.8	5.0	2.2														
02/01/2017	3514.8	3515.2	0.4														
02/01/2017	3643.0	3646.0	3.0														
02/01/2017	659.0	659.8	0.8														
03/01/2017	1.5	2.2	0.7	2.3	12	1.0		3.00	4.0	8.0	3.0	67%	1	1	3.00	OPERATIVO	(20:00 - 22:00) INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE, SE REGULA CABLE DE AVANCE Y RETORNO B/I, CAMBIO DE PLACA DE ALUMINIO, GOMA DE AMORTIGUADOR Y CABLE DE AVANCE DEL B/D, ENGRASE PARCIAL DE AMBOS DE PERFORACION.
03/01/2017	5.0	6.2	1.2														
03/01/2017	3515.2	3515.6	0.4														
03/01/2017	3646.0	3648.6	2.6														
03/01/2017	659.8	661.0	1.2														
03/01/2017	2.2	2.9	0.7	2.1	12	1.0			0.5	11.0	0.0	92%				OPERATIVO	(19:30 - 20:30) INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE, AJUSTE DE MANGUERAS HIDRAULICAS, SE AGREGA ACEITE DE LUBRICACION (1 GAL), ACEITE HIDRAULICO DT 26 (3 GAL), SE REALIZA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.

03/01/2017	6.2	7.2	1.0															
03/01/2017	3515.6	3516.0	0.4															
03/01/2017	3648.6	3651.6	3.0															
03/01/2017	661.0	662.0	1.0															
04/01/2017	2.9	3.5	0.6	4.4	12	1.0	0.50	1.5	10.5	0.5	88%	1	1	0.50	OPERATIVO	(2:00-2:30) CAMBIO DE SHANK B/D		
04/01/2017	7.2	8.4	1.2															
04/01/2017	3516.0	3517.5	1.5															
04/01/2017	3651.6	3653.4	1.8															
04/01/2017	662.0	664.3	2.3															
04/01/2017	3.5	4.2	0.7	2.1	12	1.0		0.5	11.0	0.0	92%				OPERATIVO	(7:00-8:00) SE CAMBIA ORING DE GAMARRILLA B/D DE COP 1838 Y SE ELIMINA FUGA DE ACEITE POR CONECTOR DE MANGUERA DE RETORNO B/D.		
04/01/2017	8.4	9.4	1.0															
04/01/2017	3517.5	3517.9	0.4															
04/01/2017	3653.4	3656.4	3.0															
04/01/2017	664.3	665.3	1.0															
05/01/2017	4.2	4.4	0.2	2.5	12	1.0	0.50	1.5	10.5	0.5	88%	1	1	0.50	OPERATIVO	(19:00-20:00) SE CAMBIA CENTRALIZADOR CENTRAL DE B/I, SE ENGRASA EQUIPO, SE AGREGA 1 1/2 GL DE ACEITE LUBRICACION(4:00-4:30) CAMBIO DE MANGUERA DE AVANCE DE VIGA RETRACTIL B/D		
05/01/2017	9.4	15.4	6.0															
05/01/2017	3517.9	3519.5	1.6															
05/01/2017	3656.4	3661.7	5.3															
05/01/2017	665.3	666.0	0.7															
05/01/2017	4.4	5.1	0.7	2.1	12	1.0		0.5	11.0	0.0	92%				OPERATIVO	(7:00-8:00) SE CAMBIA ACEITE HIDRAULICO DTE-26 4GLN, SE TIEMPLA CADENA DE AVANCE B/D, SE CAMBIA 2 SLIDE PIECE		
05/01/2017	15.4	16.4	1.0															
05/01/2017	3519.5	3519.9	0.4															
05/01/2017	3661.7	3664.7	3.0															
05/01/2017	666.0	667.0	1.0															
06/01/2017	5.1	5.3	0.2	0.7	12	1.0	1.00	2.0	10.0	1.0	83%				OPERATIVO	(19:00-20:00) SE REALIZA INSPECCIÓN SE RELENA ACEITE ALMO 1GLN ACEITE DTE-26 5GLNM SE REGULA CABLE DE AVANCE Y RETORNO AMBOS BRAZOS, SE CAMBIA CONECTOR DE ENTRADA AL ACUMULADOR DE RETORNO, SE COLOCA CLAMP DE MANGUERAS DE AVANCE COP 1ER TRAMO B/I		
06/01/2017	16.4	16.5	0.1															
06/01/2017	3519.9	3520.4	0.5															
06/01/2017	3664.7	3666.3	1.6															
06/01/2017	667.0	667.0	0.0															
06/01/2017	5.3	6.0	0.7	2.1	12	1.0		0.5	11.0	0.0	92%				OPERATIVO	(7:00-8:00) EQUIPO NO LLEGA A TALLER. SE REALIZA CAMBIO DE INSERTOS DE MESA COP B/I, SE AGREGA ACEITE LUBRICACION 1GLN, SE ELIMINA FUGA DE AGUA POR CONECTOR DE COP B/D		

















29/01/2017	149.0	149.9	0.9																	
29/01/2017	3549.0	3549.4	0.4																	
29/01/2017	3789.6	3790.3	0.7																	
29/01/2017	739.7	740.7	1.0																	
30/01/2017	38.0	38.5	0.5	2.3	12	1.0		1.67	2.7	9.3	1.7	78%	1	1	1.67	OPERATIVO	(19:10 - 20:10) INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE, SE AGREGA ACEITE DE LUBRICACION (1 GAL), SE REALIZA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO, (01:00 - 02:40) SE REALIZA TRABAJOS DE SOLDADURA PARA ELIMINAR FUGA DE ACEITE DEL CILINDRO DE AVANCE DE VIGA SUPERIOR B/D.			
30/01/2017	149.9	150.9	1.0																	
30/01/2017	3549.4	3550.0	0.6																	
30/01/2017	3790.3	3791.5	1.2																	
30/01/2017	740.7	741.9	1.2																	
30/01/2017	38.5	38.5	0.0	0.0	12		12.00		0.5	0.0	12.0	0%				OPERATIVO	(07:00 - 19:00) MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PERCUSION 1 (40 HORAS), PERCUSION 2 (40 HORAS), DIESEL (250 HORAS), SE ESTANDARIZA MANGUERAS DE AMBOS BRAZOS, ENGRASE GENERAL DEL BRAZO DE PERFORACION, INSTALACION DE DISK DEL MOTOR ELECTRICO Y BOMBA HIDRAULICA DEL BRAZO DERECHO, SE REALIZA LIMPIEZA DEL TABLERO ELECTRICO DE 440V, SE ORDENA MANGUERAS CON EL COVER, SE REALIZA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.			
30/01/2017	150.9	150.9	0.0																	
30/01/2017	3550.0	3550.0	0.0																	
30/01/2017	3791.5	3791.5	0.0																	
30/01/2017	741.9	741.9	0.0																	
31/01/2017	38.5	39.0	0.5	1.7	12	3.5			3.5	8.5	0.0	71%				OPERATIVO	(19:00 - 22:30) SE CULMINA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPO, ENGRASE GENERAL EL BRAZO DE PERFORACION.			
31/01/2017	150.9	151.8	0.9																	
31/01/2017	3550.0	3550.4	0.4																	
31/01/2017	3791.5	3792.4	0.9																	
31/01/2017	741.9	742.7	0.8																	
31/01/2017	39.0	39.7	0.7	1.9	12			3.00	0.5	9.0	3.0	75%	2	2	3.00	OPERATIVO	EQUIPO NO LLEGO A TALLER NV420 (12:00 - 13:00) CAMBIO DE FAJA DE VENTILADOR, (16:30 - 17:00) CAMBIO DE ACUMULADOR DE ALTA DEL B/D.			
31/01/2017	151.8	152.8	1.0																	
31/01/2017	3550.4	3550.9	0.5																	
31/01/2017	3792.4	3793.3	0.9																	
31/01/2017	742.7	743.4	0.7																	

Fuente: Elaboración Propia, programa Excel.