

07

FABRICACIÓN DEL EJE

Y SU SISTEMA DE LUBRICACIÓN PARA LAS PASTECAS DE LA CUNA EN EL ASTILLERO ASTICAR

MANUFACTURE OF THE SHAFT AND ITS LUBRICATION SYSTEM FOR THE CRADLE BLOCKS AT THE ASTICAR SHIPYARD

Manuel Alejandro Cortizo-Socorro¹

E-mail: cortizosocorromanuelalejandro@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9804-0980>

Raúl Rodríguez-Muñoz¹

E-mail: rrodriguez@umet.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3448-2290>

Ariel Cogollos-Izaguirre¹

E-mail: acogollos@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3418-1906>

¹ Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Cortizo-Socorro, M. A., Rodríguez-Muñoz, R., & Cogollos-Izaguirre, A. (2023). Fabricación del eje y su sistema de lubricación para las pastecas de la cuna en el Astillero Asticar. *Revista Transdisciplinaria de Estudios Sociales y Tecnológicos*, 3(2), 54-63.

Fecha de presentación: febrero, 2023

Fecha de aceptación: abril, 2023

Fecha de publicación: mayo, 2023

RESUMEN

La reparación de vehículos marítimos mediante el varadero mayormente emplea una cuna y en ella podemos encontrar las pastecas cuya función es vital para el funcionamiento. La cuna en el Astillero AstiCar, durante la ascensión de un buque de alrededor de 350 toneladas, sufrió una avería por cizallamiento del eje de las pastecas fijadas en la cuna, lo cual causó su inutilización. Posterior a la determinación de la causa de rotura por cizallamiento atribuida a la carencia de un sistema de lubricación eficiente, se presentó una propuesta de fabricación de eje y un sistema de lubricación para las pastecas de la cuna no existente en su proyecto original. El objetivo general fue determinar si el diseño planteado cumple con los requisitos técnicos y como objetivos específicos; calcular los valores de cortante y momento flector del nuevo eje y un segundo objetivo, calcular las tensiones principales y factor de seguridad del nuevo eje con el empleo del acero inoxidable para su construcción. La metodología empleada partió de una profundización en el marco teórico relacionado con las características de la pieza; luego, se realiza la selección del material, empleando el acero inoxidable para su construcción y la metodología de cálculo empleada para comprobar si el diseño cumple con los requisitos técnicos y por último, se efectuó un análisis económico de la factibilidad de ejecución de la pieza, lo cual fue favorable.

Palabras clave:

Pastecas, eje, lubricación, diseño, cuna.

ABSTRACT

The repair of marine vehicles by means of the dry dock mostly employs a cradle and in it we can find the blocks whose function is vital for the operation. The cradle at AstiCar Shipyard, during the lifting of a vessel of about 350 tons, suffered a shearing failure of the shaft of the blocks fixed in the cradle, which caused it to become inoperative. After determining the cause of the shear failure attributed to the lack of an efficient lubrication system, a proposal was presented for the fabrication of a shaft and a lubrication system for the cradle blocks that did not exist in the original project. The general objective was to determine if the proposed design complies with the technical requirements and as specific objectives; to calculate the values of shear and bending moment of the new shaft and a second objective, to calculate the principal stresses and safety factor of the new shaft with the use of stainless steel for its construction. The methodology used started with an in-depth study of the theoretical framework related to the characteristics of the part; then, the selection of the material is made, using stainless steel for its construction and the calculation methodology used to check if the design meets the technical requirements and finally, an economic analysis of the feasibility of executing the part was carried out, which was positive.

Keywords:

Block, shaft, lubrication, design, cradle.

INTRODUCCIÓN

La Empresa Filial Astilleros Perla del Sur es una organización empeñada en el desarrollo de la actividad de reparación naval, reparación de puentes de ferrocarril y la reparación en diferentes industrias. Su principal servicio es la reparación naval a flote y en varadero en las actividades de carpintería de madera, pailería y soldadura, mecánica, electricidad y conservación de superficies.

En la reparación mediante el varadero, juega un papel fundamental la cuna, a ésta se le atribuye la ascensión de los buques a tierra firme. La cuna es trasladada por un motor estacionario encargado de subirla a tierra o sumergirla mediante cables y un juego de pastecas, los cuales disminuyen el esfuerzo realizado por el motor.

En mayo del año 2022, durante la ascensión de un buque de alrededor de 350 toneladas, el eje de las pastecas fijadas en la cuna, sufrió una avería por cizallamiento que causó su inutilización atribuido a la ausencia de un sistema de lubricación de los rodamientos. Se hizo necesario, entonces, buscar alternativas para su reemplazo por un nuevo eje, diseñado para su construcción con los recursos disponibles (ya que no se contaba con los rodamientos de igual diámetro interior a los anteriormente utilizados), y que contara con un sistema de lubricación que permitiera un mejor funcionamiento y la prolongación de su vida útil. De tal caso se propuso lograr la construcción de un eje que permita un correcto funcionamiento por un tiempo prolongado y disminuir el riesgo de cizallamiento o mal funcionamiento, definiéndose como problema de investigación ¿Qué diseño utilizar para el mejoramiento de la tecnología del eje de las pastecas del Astillero AstiCar?; mientras el objetivo general definido fue Determinar si el diseño planteado cumple con los requisitos técnicos y objetivos específicos calcular los valores de cortante y momento flector del nuevo eje, el segundo objetivo específico calcular las tensiones principales y factor de seguridad del nuevo eje con el empleo del acero inoxidable para su construcción.

Se determinó si el diseño planteado cumple con los requisitos técnicos de resistencia y durabilidad, empleando los conocimientos hasta ahora adquiridos y con el auxilio del software “Autodesk Inventor” teniendo en cuenta la composición química del material empleado para su construcción y que los conductos por donde se pretende que circule el lubricante se comporta como un concentrador de tensiones todo en función la hipótesis siguiente: la construcción con acero inoxidable del nuevo eje de las pastecas y su sistema de lubricación será capaz de resistir las fuerzas a las que será sometido durante su funcionamiento.

DESARROLLO

El mantenimiento e inspección de las pastecas en la cuna del Astillero AstiCar de Cienfuegos es una actividad que se corresponde con los planteamientos técnicos y manuales se busca extender la vida útil de todos los mecanismos y piezas. El *Crosby Group* LLC (2014), trabaja la línea productiva de Pastecas y en particular sugiere que las pastecas deben ser inspeccionadas y lubricadas regularmente, así mismo insisten en que sean mantenidas en buen estado para lograr máxima eficiencia y durabilidad, es decir evitar roturas mayores mediante una lubricación sostenida para lograr la mayor eficiencia posible.

Sin embargo, esto no es posible si se cuenta con un reducido número de ellas y las instalaciones son únicas o requieren de importaciones que nos son posibles en la práctica para la cuna en el Astillero AstiCar de Cienfuegos como se observa en la figura 1. En este sentido, la problemática llevó a plantearse una metodología para el estudio y ubicar posibles soluciones, luego profundizar en la detección y estudio para llegar a la propuesta de una solución viable. En los siguientes apartados se muestra la dinámica seguida.



Figura 1. Cuna de Varado. Ensamble del conjunto de eje y pastecas.

La búsqueda de información sobre trabajos anteriores de investigación, artículos académicos siguiendo a Álvarez et al. (2022), deben revisar otros relacionados con el objeto análisis evidencia pocos trabajos que muestran una solución específica, se encuentran más concentrados principalmente en catálogos técnicos que señalan posibles mantenimientos y sustitución de piezas no al diseño y mejora del producto.

No obstante se destacan trabajos como el de Lombera & Novo (2018), que aporta información sobre la lubricación de cojinetes y como debe ser el proceso de lubricación;

por su parte el anterior trabajo y Mantry et al. (2020), refieren el estudio de materiales en sus distintos estados, lo cual fue de utilidad para establecer un balance y comparación entre propiedades de los materiales de la futura reconstrucción. En lo referente a los diseños se definen diferentes formas de diseño y reconstrucción como son Couce, et al. (2015); Araujo (2018); Jigena (2020); García (2020); Vázquez & Pereira (2020); Trujillo & Rodríguez (2021); García (2022); Pisano et al. (2022); de tal caso se buscó aquellas de un aporte e incidencia similar al proyecto que se plantea para la recuperación o reconstrucción. En el estudio de Carral & Fraguera (2015), se particulariza en el diseño de pastecas y sus elementos fundamentales lo cual ayudó a comprender con fiabilidad su funcionamiento y componentes.

En este sentido, la búsqueda de conceptos y definiciones arrojó que según Reshetov (1985), un eje se puede definir como **“elemento destinado a soportar piezas giratorias, los cuales no transmiten el momento torsor y que generalmente soportan la acción de los momentos flectores y torsores”**. (p. 517)

Se puede encontrar ejes giratorios y fijos (Reshetov, 1985). El analizado en este proyecto es un eje giratorio. Este tipo de eje posee una ventaja y es que asegura el mejor trabajo de los rodamientos.

Según el mismo autor anteriormente citado, dentro de los principales materiales utilizados para los ejes se encuentran: los aceros al carbono y los aleados, ya que poseen una buena resistencia y alto módulo de elasticidad, capacidad al endurecimiento y facilidad en la fabricación de piezas brutas en forma cilíndrica por laminado.

Para los ejes, supeditados a los criterios de rigidez y que no se someten al tratamiento térmico, se emplean predominantemente aceros CT5 y CT6; y para la mayoría de los árboles y ejes se utilizan aceros medios en carbono y aleados como el acero 45 y 40X, que se someten al tratamiento térmico (Reshetov, 1985).

Por otra parte, según Guliáev (1983), **“el hierro puro y los aceros de baja aleación no resisten a la corrosión en medios como la atmósfera, el agua y otros, porque la película de óxido que se forma no es suficientemente densa y no aísla el metal de la acción química del medio”**.

Teniendo esto en cuenta y que la pieza abordada en este informe está sometida a un ambiente corrosivo; se hace necesario incorporar en el acero un porcentaje de Cromo mayor que 12 permitiendo a este material no aherrumbrarse, ni oxidarse en el aire, agua y en una serie de ácidos, sales y álcalis. Entre los criterios de resistencia es necesario calcular el de los momentos de flexión y de torsión en las secciones peligrosas como cambio de secciones y concentrador de tensiones (Reshetov, 1985),

para así evaluar si la pieza resiste a las cargas actuantes sobre este.

Es importante tener en cuenta estos parámetros para la correcta comprobación del eje aquí tratado, ya que se asume que es un eje de acero aleado con tratamiento térmico. Por otro lado, un factor importante a tener en cuenta para evitar el cizallamiento, es la correcta lubricación del eje tal y como sugieren (García et al., 2019; Piloto et al., 2020).

“Un lubricante es toda sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintética que pueda utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento”. (Benlloch, 1984, p. 35)

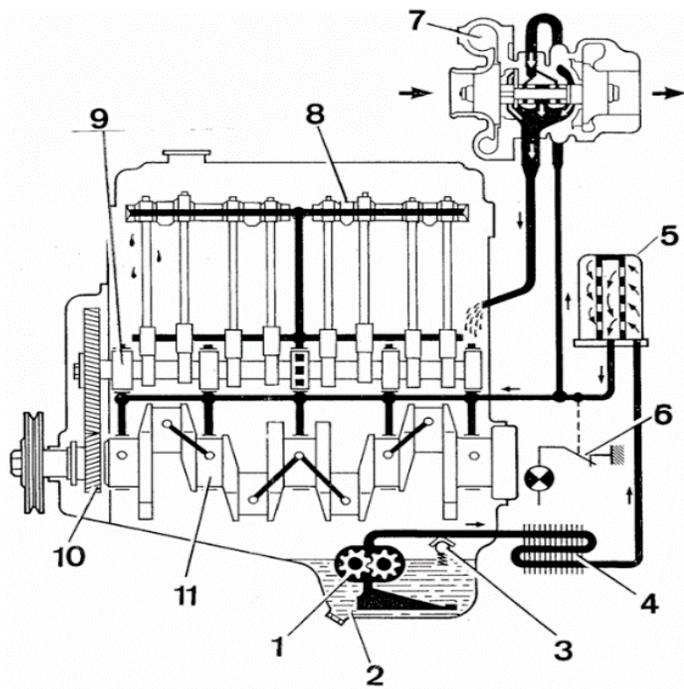
Según el Sitio Web geocities.ws (Geocities, 2022) en algunos motores, el aceite entra al eje de levas por medio de un conducto central, de modo que lubrica directamente los cojinetes y asientos (Figura 2).



Figura 2. Eje de levas.

Este sistema es ideal para el empleo en el eje que aquí se aborda, facilitando una lubricación periódica y que pueda abarcar bien todos los componentes a lubricar. Es importante aclarar que el lubricante que se empleará será de tipo semisólido, ya que garantiza su permanencia en los rodamientos. El trabajo de Fernández (2020), refiere una explicación detallada de los sistemas de lubricación y como deben funcionar lo hace de manera general, más preciso para equipos elevadores y que realizan trabajos similares es el planteado por González (2018); Rangel (2018); y Julcarima (2018), en lo fundamental haciendo énfasis en mantenimiento de los sistemas de lubricación.

Otro ejemplo similar (figura 3) sugiere Catalán (2018), cuando plantea en su artículo **Lubricación en motores de tractores agrícolas**, siguiente: **“en el motor que incorpora cualquier tractor o máquina agrícola se recurre a la lubricación por presión. Es el sistema que en este tipo de motores mejor garantiza la llegada continua de aceite a aquellos elementos que más lo pueden necesitar como son los cojinetes, rodamientos, válvulas e incluso los rodetes del turbo (turbina y compresor). Al sistema se le conoce como lubricación forzada ya que se obliga a circular, con presión y caudal, debido a la acción de una bomba, por un circuito programado”**.



1 Bomba de engranajes; 2 Filtro de aspiración; 3 Limitador de presión; 4 Radiador aceite; 5 Filtro; 6 Monocontacto; 7 Turbo Compresor de Gases de escape; 8 Eje de balancines; 9 Árbol de levas; 10 Distribución; 11 Cigüeñal.

Figura 3. Lubricación en motores de tractores agrícolas.

Fuente: Catalán (2018).

En la Figura 4, con líneas discontinuas, se representa el conducto principal que lleva el lubricante a los demás conductos que lubrican los rodamientos.

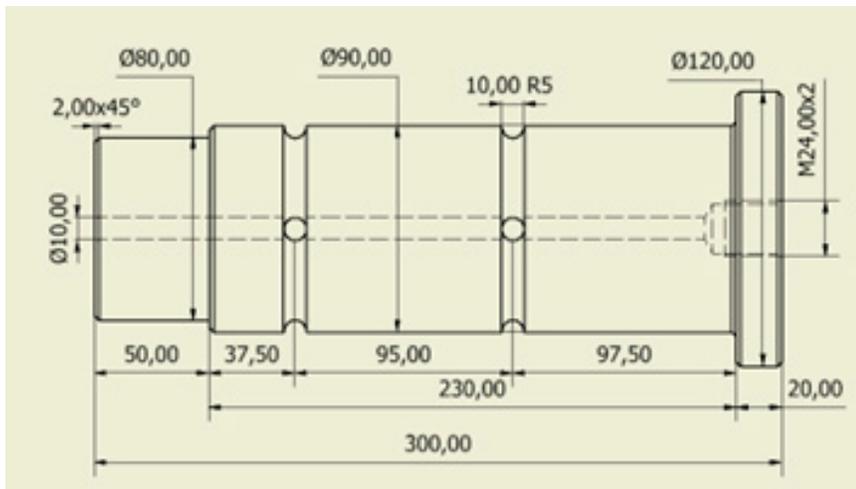


Figura 4. Croquis del eje.

En la Figura 5 se muestra el Croquis de Ensamble, donde se puede visualizar, mediante una sección hecha al conjunto de eje, pastecas y demás componentes, así como el acoplamiento de todos los componentes.

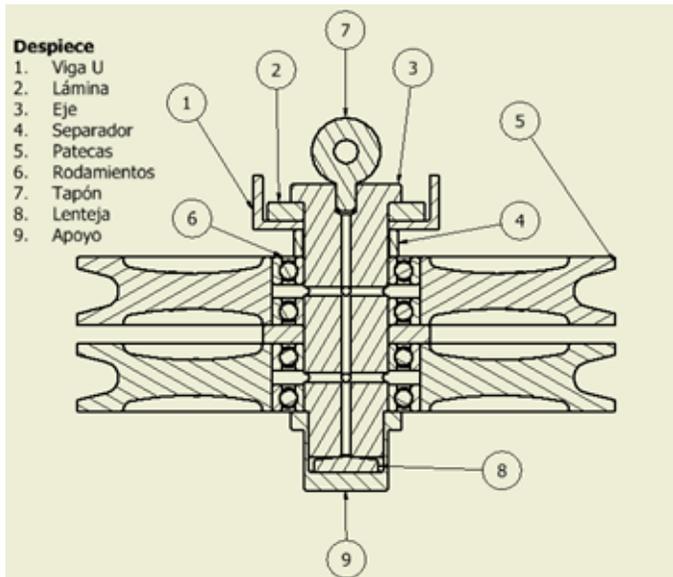


Figura 5. Croquis del eje.

Esquema de Análisis de la pieza:

Los puntos de apoyo fijo de la pieza se encuentran en la viga U y en la pieza apoyo (Figura 4). Las fuerzas ejercidas por las pastecas sobre el eje son de 2750 kN cada una. Estas fuerzas se posicionan en el eje en donde corresponde el centro de las patacas. AL utilizar el acelerador de diseño de Autodesk Inventor se obtuvieron los diagramas de cortante (Figura 6) y momento flector (Figura 7).

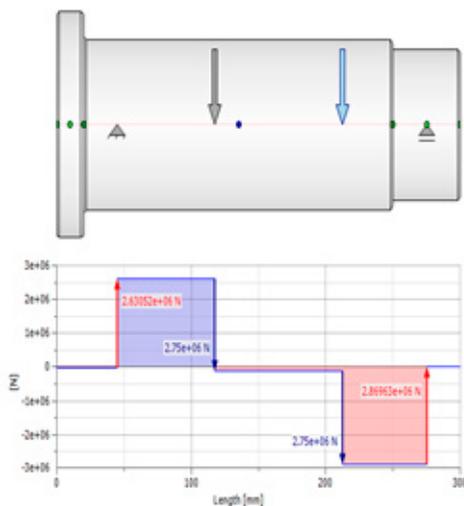


Figura 6. Cortante.

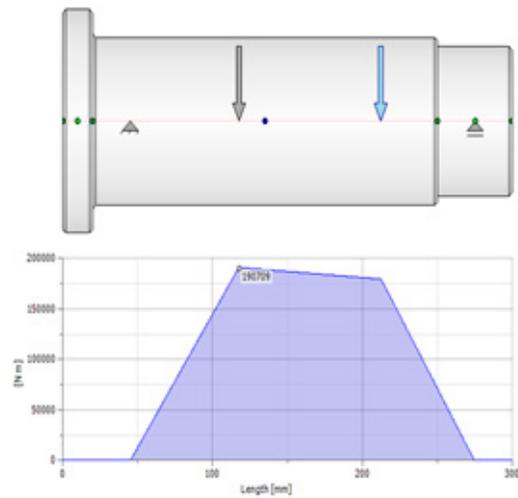


Figura 7. Momento Flector.

Selección del Material

Se escogió el acero inoxidable tipo 14X17H2, ya que, la pieza sería sometida a un ambiente corrosivo. El material escogido cuenta, por sus niveles de cromo al 17%, níquel al 2% y de carbono al 14%, con un límite de resistencia de 110 kgf/mm² o 1079 MPa. Este se utiliza donde hace falta una resistencia elevada al mismo tiempo que las propiedades anticorrosivas, propias de los aceros con 17% de Cr (Guliáev, 1983).

Guliáev (1983), sugiere que el material aquí tratado debe tener un temple a una temperatura de 1050 °C; por medio del temple, según Kalpakjian & Schmid (2008), se obtiene una dureza cuya cuantía depende del contenido de carbono del material, el tamaño de grano de la austenita, los elementos de aleación presentes en el material y la velocidad de enfriamiento; y para finalizar, un revenido a 300 °C para reducir la fragilidad y los esfuerzos residuales y lograr así una mayor ductilidad y tenacidad. La dureza alcanzada con estos tratamientos térmicos es de 50 HRC.

Comprobación de la Resistencia Mecánica

Apoyándose también en el software Inventor se obtuvieron la Tensión Equivalente, la Tensión Principal, en este caso, flexionante, desplazamiento y, por último, el factor de seguridad.

En la Tensión Equivalente como se muestra en la figura 8, los lugares más afectados son en donde se encuentran los agujeros, comportándose estos en concentrador de tensiones, habiendo una tensión localizada de 88 MPa en este lugar, no siendo esta de mucha significación ya que el material lo puede soportar.

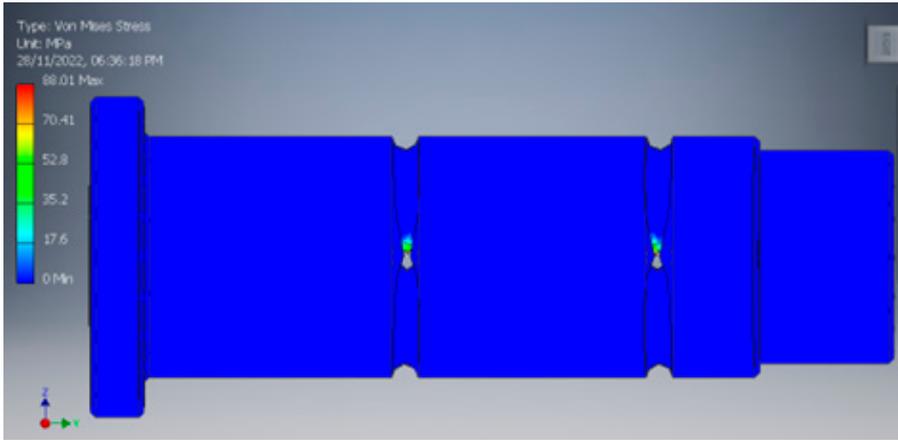


Figura 8. Tensión Equivalente.

Se puede visualizar también en la Figura 9 el desplazamiento provocado por las fuerzas actuantes, el cual, es despreciable por no ser de mucha significación.

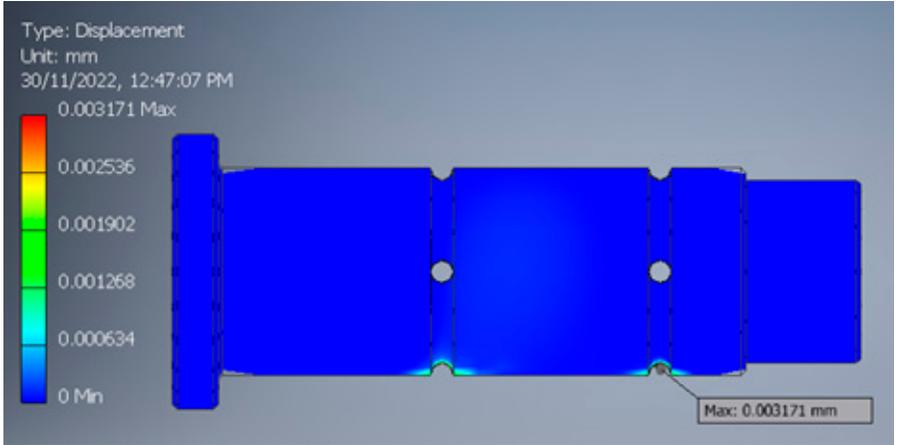


Figura 9. Desplazamiento.

Y para finalizar y dar confiabilidad del diseño, prevalece un factor de seguridad adecuado, siendo superior de 3 (Figura 10).

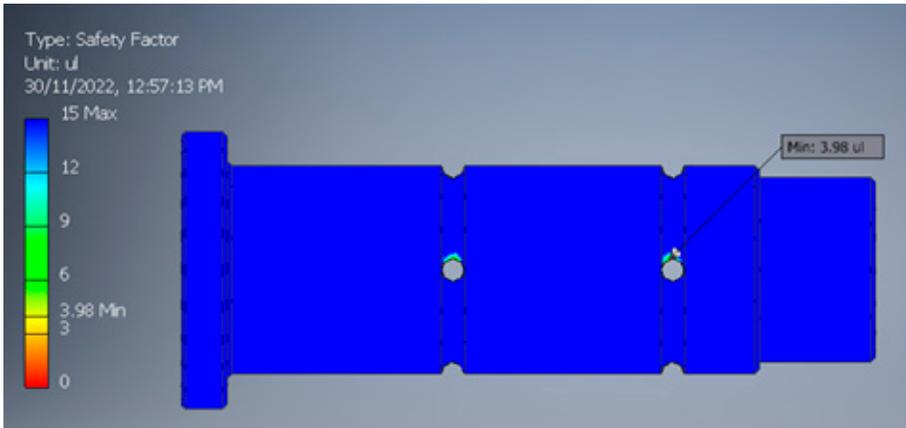


Figura 10. Factor de seguridad.

Tecnología de fabricación de la pieza. Ajustes y Tolerancias

Al no contarse con los rodamientos de igual diámetro a los del eje anterior fue necesario cambiar el diámetro del eje en función del diámetro de los rodamientos de los que se dispone y realizarle el cálculo de ajuste y tolerancia, uno de los análisis a tener en cuenta, ya que, sobre el eje estarían incidiendo cargas elevadas.

Datos:

- » R=1 275 000 (fuerza radial)
- » D=160 mm (diámetro del anillo exterior)
- » d=90 mm (diámetro del anillo interior)
- » Cojinete de bolas
- » Rota el eje
- » B=30 mm (ancho del cojinete)
- » Sobrecarga 150%
- Cálculo de la intensidad de la Carga en N/mm (Pr)

$$Pr = R/B * Ka * Fa * F$$

Entiéndase por:

Ka – coeficiente dinámico que depende de la sobrecarga

Fa – coeficiente que tiene en cuenta la fuerza axial

F – coeficiente que tiene en cuenta la pérdida de apriete cuando el eje no es macizo

Ka=1 (sobrecarga hasta 150%)

Fa=1 (no hay fuerza axial)

F=1

Por tanto:

$$Pr = 1\ 275\ 000/30 * 1 * 1 * 1 * 1$$

Pr = 45 833 N/mm (El valor Pr es mayor que el máximo. Por lo tanto, se asume el mayor rango para el eje)

$$90\ n6\ T=22\ \mu\text{m}\ E_i=14\ \mu\text{m}$$

$$T=Es-E_i$$

$$Es=T+E_i=54\ \mu\text{m}$$

Las desviaciones de los aros del rodamiento.

Asumimos la clase de precisión = 6.

$$\text{Anillo interior: } 90\ \begin{matrix} 0 \\ -0,015 \end{matrix}$$

$$\text{Anillo exterior: } 160\ \begin{matrix} 0 \\ -0,015 \end{matrix}$$

- Cálculo del ajuste entre la pista interior y el eje:

$$J_{\text{máx}} = Es - e_i$$

$$J_{\text{mín}} = E_i - es$$

Aquí el agujero es el anillo interior y el eje el propio eje, por lo tanto:

$$J_{\text{máx}} = 0 - 23 = -23\ \mu\text{m}$$

$$A_{\text{mín}} = 23\ \mu\text{m}$$

$$J_{\text{mín}} = -15 - 45 = -60\ \mu\text{m}$$

$$A_{\text{máx}} = 60\ \mu\text{m}$$

- Cálculo del ajuste entre el cuerpo y el anillo exterior:

$$J_{\text{máx}} = Es - e_i$$

$$J_{\text{mín}} = E_i - es$$

Aquí el cuerpo es el agujero y el anillo exterior el eje, por lo tanto:

$$J_{\text{máx}} = 54 - (-15) = 69\ \mu\text{m}$$

$$J_{\text{mín}} = 14 - 0 = 14\ \mu\text{m}$$

Secuencia Tecnológica y Cálculos del Régimen de Corte

Para los cálculos del régimen de corte se utilizó la herramienta Excel, ingresando las fórmulas y obteniendo los resultados expuestos en la carta tecnológica.

I. Torneado

A. Colocar en plato. Centrar y fijar.

1. Refrentar a limpiar dejando una longitud de 300 mm.
2. Taladrar centro.

B. Invertir. Colocar en plato. Centrar y fijar.

3. Refrentar a obtener una longitud de 300 mm.
4. Taladrar centro.

C. Colocar entre plato y punto.

5. Cilindrar de desbaste de diámetro 130 – 121 mm hasta 21 mm.

D. Invertir. Colocar entre plato y punto.

6. Cilindrar de desbaste de diámetro 130 – 91 mm hasta 279 mm.
7. Cilindrar de desbaste de diámetro 91 – 81 mm hasta 49 mm.

E. Invertir. Colocar entre punto y punto.

8. Cilindrar de acabado de diámetro 121 – 120 mm hasta 21 mm.
9. Biselar a 1x 45° en diámetro 120 mm.

F. Invertir. Colocar entre punto y punto.

10. Cilindrar de acabado de diámetro 91 – 90 mm hasta 280 mm.
11. Cilindrar de acabado de diámetro 81 – 80 mm hasta 50 mm.

12. Biselar a 1x 45° en diámetro 120 mm.
13. Biselar a 1x 45° en diámetro 90 mm.
14. Biselar a 1x 45° en diámetro 80 mm.
15. Ranurar a una distancia de 182.5 mm con un radio de 5 mm.
16. Ranurar a una distancia de 87.5 mm con un radio de 5 mm.

G. Colocar en plato. Centrar y fijar.

17. Hacer agujero pasante de diámetro 10 mm.
18. Hacer agujero de diámetro 23 mm hasta 30 mm.
19. Hacer rosca M24x2.

II. Taladrado

A. Colocar en el prisma.

1. Hacer agujero pasante de diámetro 10 mm en 182.5 mm.
2. Hacer agujero pasante de diámetro 10 mm en 87.5 mm.

B. Girar la pieza 90°.

3. Hacer agujero pasante de diámetro 10 mm en 182.5 mm.
4. Hacer agujero pasante de diámetro 10 mm en 87.5 mm.

Cálculo Económico

La construcción de la pieza en el propio taller de astillero permitió continuar con las actividades de reparación en el varadero, sustituir importaciones y aportar a la economía de la empresa un ahorro importante en tiempo y dinero.

Para la fabricación de la pieza fue necesario dedicar 6 horas hombre con un gasto de:

- 6940. 80 pesos en maquinado (incluyendo pago de operario y gasto de las herramientas de corte)
- 172.42 pesos por el tramo de barra empleada
- Moneda de pago empresarial.

CONCLUSIONES

Es de vital importancia hacer un correcto análisis de los equipos y piezas, porque como ya ocurrió, éstos pueden fallar en medio de una operación y puede causar cuantiosos daños materiales e incluso, cobrar vidas humanas.

En la pieza diseñada, según la tensión equivalente, la mayor tensión fue de 88 MPa, siendo muy inferior a la máxima permisible por el material. Por otra parte, se pudo comprobar que no ocurrirá un desplazamiento significativo para la pieza y también, que el factor de seguridad fue favorable. Este último factor le otorga confiabilidad al diseño.

Se puede concluir, según el análisis realizado, que el eje soportará bien las exigencias a las que estará sometido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Ramírez, A; Rodríguez-Muñoz, R., & Socorro-Castro, A.R. (2022). Tecnología de Recuperación del Árbol de la Bomba Centrífuga K-45/30a en la Refinería de Cienfuegos. Tlatemoani: Revista Académica de investigación, 13(41).
- Araujo-Vásquez, F. L. A. (2018). Plan de calidad en la fabricación de pastecas de estructuras metálicas en barcos pesqueros. Comercializadora COERIMAR EIRL. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional del Callao.
- Benlloch, J. M. (1984). Lubricantes y Lubricación Aplicada. CEAC.
- Carral-Couce, J. C., Carral-Couce, L., & Fraguera-Formoso, J. A. (2015). Diseño armonizado de motones, pastecas y cuadernales para el manejo de líneas de acero o sintéticas de elevado módulo (HMPE) en buques. Dyna (Spain), 90(6), 613–620. _
- Catalán Mogorrón, H. (2018). Lubricación en motores de tractores agrícolas. <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/204689-Lubricacion-en-motores-de-tractores-agricolas.html>
- Crosby Group LLC. (2014). https://www.thecrosbygroup.com/wp-content/uploads/2013/12/375_382.pdf
- Fernández, F. (2020). Sistemas de lubricación. https://www.academia.edu/44638691/Sistema_de_Lubricacion_C3%B3n
- García -López, D. (2020). Anteproyecto de un buque arrastrero congelador de 1300 m3. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Cartagena. _
- García, M. F. (2022). Seguridad en Equipos de Izaje y Soportes de Carga en Empresa Man-Ser SRL (Tesis de Bachiller). Universidad Empresarial Siglo 21.
- García-Toll, A. E., Muñoz-Cabrera, M. A., Díaz-Concepción, A., Gámez-Hernández, B., Penabad-Sanz, L., & Tamayo-Mendoza, J. E. (2019). Evaluación de la gestión de la lubricación y los lubricantes. Ingeniería Mecánica, 22(3), 121-126.
- GEOCITIES. (2022). Lubricación 2. http://www.geocities.ws/vsmpalomero/lubricacion_2.pdf
- González Solórzano, V.O. (2018). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para puentes- grúa ubicadas en las tres naves de producción de la planta Tubex, SA El Frutal, San Miguel Petapa, Guatemala. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Guliáev, A. P. (1983). Metalografía, Tomo II. Editorial Mir Moscú.
- Jigena-Antelo, B. (2020). Utilaje en la Estiba. <https://ro-din.uca.es/bitstream/handle/10498/25629/03%20ESTIBA%20Utilaje%20en%20Estiba%202021.pdf?sequence=1>
- Julcarima –Romero, J.P. (2018). Mantenimiento de equipos de elevación y transporte de carga según frecuencia de operación y tipo de trabajo. (Tesis de profesional de ingeniero mecánico). Universidad Nacional del Callao.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008), Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Volumen 1, Editorial Félix Varela.
- Lombera-Rodríguez, H., & Novo-Soto, C. E. (2018). Algoritmo para determinar cavitación en un par eje-cojinete con ranura axial y desalineación paralela. Ingeniería Mecánica, 21(2), 108-116.
- Mantry, S. P., Kumar, A., & Sarun, P. M. (2020). Temperature and frequency dependent electrical properties of SrTi_{1-x}TaxO₃ (x= 0.00–0.15) ceramics. Materials Chemistry and Physics, 242, 122513.
- Piloto- López, N., Perdomo -Torres, L. S., Rodríguez -Ramos, P. A., & Lavado -Ruiz, C. I. (2020). Gestión de riesgos en la lubricación y lubricantes de una flota de transporte. Ingeniería Mecánica, 23(2).
- Pisano, S., Di Leva, Á., Cabreira, A. G., & Menna, B. V. (2022). Ensayos y calibración de red de arrastre de media agua. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero.
- Rangel-García, D.A. (2018). Procedimiento para el mantenimiento e inspección de las grúas puente en la empresa SOMEC de Santa Clara. (Trabajo de Diploma). Universidad Central Mata Abreu de Las Villas.
- Reshetov, D. (1985). Elementos de Máquinas. Editorial Pueblo y Educación.
- Sánchez Vázquez, J. (2020). Cálculo, modelado y diseño de un chigre hidráulico para una grúa naval. (Tesis de grado). Centro Universitario de la Defensa.
- Trujillo, X., & Rodríguez, A. (2021). Diseño de un pescante principal para barco pesquero con una capacidad de 80 toneladas de carga. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral.