



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA  
Y URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Trabajo de investigación**

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ESLABÓN H DE UNA  
EXCAVADORA CAT 320DL DEBIDO A LAS CARGAS  
OPERATIVAS**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER  
DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Autor**

**Larios Huamanchumo Joel Isaac**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5944-4974>

**Asesor**

**Mtro. Vives Garnique Juan Carlos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

**Línea de investigación**

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción  
y la Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

**Sublínea de investigación**

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e  
Infraestructura**

**Pimentel - Perú**

**2024**



## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Larios Huamanchumo Joel Isaac suscribe la **DECLARACIÓN JURADA**, soy **egresado** del Programa de Estudios de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Universidad Señor de Sipán, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

### **ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ESLABÓN H DE UNA EXCAVADORA CAT 320DL DEBIDO A LAS CARGAS OPERATIVAS**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

<b>LARIOS HUAMANCHUMO JOEL ISAAC</b>	DNI: 77813290	
--------------------------------------	---------------	---

Pimentel, 24 de setiembre de 2024.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad Señor de Sipán por su constante apoyo y por brindarme un entorno académico enriquecedor a lo largo de toda mi carrera. A mis profesores, por sus enseñanzas y orientación. A mi asesor, Elmer Polo Briceño, por su invaluable apoyo y guía en este proyecto. A mis padres, Juan Larios y María Huamanchumo, por su constante apoyo y confianza en mí. Y a mis hermanos, por su motivación y compañía en este viaje.

## **Dedicatoria**

A mis padres, por su apoyo incondicional y motivación constante. A mis amigos y compañeros de estudio, por su compañía y colaboración. Y a mis profesores y mentores, por su guía y conocimientos.

Este logro es tan suyo como mío.

## INDICE

Agradecimientos .....	3
Dedicatoria.....	4
Resumen.....	7
Abstract .....	8
I.1    Realidad problemática.....	9
1.2.    Formulación del problema .....	11
1.3.    Hipótesis.....	11
1.4.    Objetivos.....	12
1.5.    Teorías relacionadas al tema.....	13
II.    MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	15
III. RESULTADOS .....	17
IV.    DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	30
<b>4.1.    DISCUSIÓN .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2.    CONCLUSIONES .....</b>	<b>31</b>
V.    REFERENCIAS .....	33

## INDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1:DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL CUCHARON Y BRAZO DEL MODELO R3.9B1.17	
ILUSTRACIÓN 2:DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE POSICIÓN DE MÁXIMO ALCANCE DE CICLO DE TRABAJO .....	18
ILUSTRACIÓN 3:DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE POSICIÓN DE MÁXIMO ALCANCE DE CICLO DE TRABAJO. ....	18
ILUSTRACIÓN 4:DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE POSICIÓN DE MÁXIMO ALCANCE DE CICLO DE TRABAJO. ....	19
ILUSTRACIÓN 5:IDENTIFICACIÓN DEL ALCANCE DE SU DOMINIO GAMA. ....	20
ILUSTRACIÓN 6:IDENTIFICACIÓN DEL ALCANCE DE SU DOMINIO GAMA DE MANERA GRÁFICA. 20	
ILUSTRACIÓN 7:ESTUDIO DE TENSIÓN DE VON MISES EN LA POSICIÓN DE MÁXIMO ALCANCE DE CICLO DE TRABAJO .....	21
ILUSTRACIÓN 8:ESTUDIO DE TENSIÓN DE VON MISES EN LA POSICIÓN INTERMEDIA DE CICLO DE TRABAJO. ....	21
ILUSTRACIÓN 9:ESTUDIO DE TENSIÓN DE VON MISES EN LA POSICIÓN FINAL DE CICLO DE TRABAJO. ....	22
ILUSTRACIÓN 10:VERIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DEL ESLABÓN CON CONSECUENTE FRACTURA EN SU CICLO DE TRABAJO.....	23
ILUSTRACIÓN 11:VERIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DEL ESLABÓN CON CONSECUENTE FRACTURA EN SU CICLO DE TRABAJO.....	24
ILUSTRACIÓN 12:TENSIÓN DE VON MISES DEL ESLABÓN H EN POSICIÓN FINAL DE CICLO DE TRABAJO. ....	24
ILUSTRACIÓN 13:ESTUDIO DE DEFORMACIÓN UNITARIA EN LAS TRES POSICIONES DE CICLO DE TRABAJO. ....	25
ILUSTRACIÓN 14:ESTUDIO DE DEFORMACIÓN UNITARIA EN LAS TRES POSICIONES DE CICLO DE TRABAJO. ....	26
ILUSTRACIÓN 15:ESTUDIO DE TENSIÓN DE VON MISES EN LAS TRES POSICIONES DE CICLO DE TRABAJO. ....	28
ILUSTRACIÓN 16:. ESTUDIO DE DEFORMACIÓN UNITARIA EN LAS TRES POSICIONES DE CICLO DE TRABAJO. ....	29

## Resumen

El análisis estructural del eslabón H de una excavadora CAT 320DL bajo cargas operativas es crucial para mejorar la eficiencia y seguridad en la industria de la construcción y minería. Esta investigación aborda la problemática de las fallas estructurales en el eslabón H, utilizando un enfoque mixto de métodos teóricos y análisis de elementos finitos (FEA). El objetivo principal es identificar y mitigar las tensiones y puntos críticos, mejorando la durabilidad del componente.

Los resultados revelan coherencia entre los análisis teóricos y FEA, aunque se identificaron puntos críticos adicionales mediante FEA. Las tensiones varían significativamente según la posición del ciclo de trabajo, destacando la necesidad de diseñar y mantener el eslabón H teniendo en cuenta estas variaciones. Se recomienda mejorar la rigidez de los elementos de soporte y aplicar técnicas de monitoreo predictivo.

Conclusiones clave incluyen la validación de los modelos teóricos mediante FEA, la identificación de variaciones significativas de tensiones y la importancia de la simulación avanzada para comprender el comportamiento estructural. Futuros estudios deberían centrarse en desarrollar modelos más precisos y explorar nuevos materiales para mejorar la resistencia del eslabón H. Esta investigación proporciona una base sólida para mejorar el diseño y mantenimiento de excavadoras, contribuyendo a operaciones más seguras y eficientes.

**Palabras Clave:** *análisis estructural, excavadora CAT 320DL, cargas operativas, elementos finitos, tensiones críticas.*

## Abstract

The structural analysis of the H-link in a CAT 320DL excavator under operational loads is crucial for improving efficiency and safety in the construction and mining industries. This research addresses the issue of structural failures in the H-link using a mixed approach of theoretical methods and finite element analysis (FEA). The main objective is to identify and mitigate stresses and critical points, enhancing the component's durability.

Results show consistency between theoretical and FEA analyses, though additional critical points were identified using FEA. Stresses vary significantly with the working cycle position, highlighting the need to design and maintain the H-link considering these variations. It is recommended to improve the rigidity of support elements and apply predictive monitoring techniques.

Key conclusions include the validation of theoretical models through FEA, identification of significant stress variations, and the importance of advanced simulation for understanding structural behavior. Future studies should focus on developing more accurate models and exploring new materials to improve the H-link's strength. This research provides a solid foundation for improving the design and maintenance of excavators, contributing to safer and more efficient operations.

**Keywords:** *structural analysis, CAT 320DL excavator, operational loads, finite element analysis, critical stresses.*

# I. INTRODUCCIÓN

## I.1 Realidad problemática.

La investigación sobre el análisis estructural del eslabón H de una excavadora CAT 320DL bajo cargas operativas se enmarca en un contexto donde la eficiencia y seguridad de la maquinaria pesada son cruciales para la industria de la construcción y minería. Las excavadoras son equipos esenciales, sometidos a condiciones operativas severas que pueden llevar a fallas estructurales, impactando negativamente en la productividad y la seguridad laboral.

El eslabón H de la excavadora CAT 320DL es una pieza clave que soporta cargas significativas durante las operaciones. Su integridad estructural es vital para el funcionamiento seguro y eficiente del equipo. Estudios previos han demostrado que las fallas en componentes críticos como el eslabón H pueden resultar en tiempos de inactividad costosos y peligrosos [1] [2]. Estas fallas no solo afectan la eficiencia operativa sino que también plantean riesgos significativos para la seguridad de los operadores y el personal de mantenimiento. La necesidad de un análisis detallado de las tensiones y los puntos críticos bajo cargas operativas es, por tanto, un imperativo tanto económico como de seguridad.

A pesar de los avances en el diseño y análisis de componentes de excavadoras, existen vacíos significativos en el conocimiento sobre cómo los diferentes tipos de cargas operativas afectan específicamente el eslabón H. Investigaciones recientes han indicado que los métodos tradicionales de análisis pueden no capturar completamente las complejidades de las tensiones inducidas por las cargas dinámicas y estáticas [3] [1]. Además, los resultados contradictorios en la literatura sobre la resistencia y la

durabilidad de los materiales utilizados en estas aplicaciones sugieren la necesidad de estudios más exhaustivos y específicos [4]. La falta de datos precisos y detallados sobre las condiciones de operación reales y su impacto en la vida útil de los componentes de las excavadoras representa un desafío continuo para los ingenieros y diseñadores.

Los problemas detectados en investigaciones anteriores incluyen la insuficiente rigidez de los elementos de soporte y defectos de diseño que resultan en concentraciones de estrés elevado, lo cual lleva a fallas prematuras [5] [4]. Además, el comportamiento bajo cargas extremas y las condiciones ambientales adversas a las que se someten estas máquinas aún no están completamente comprendidos, lo que agrava la dificultad de diseñar componentes más resistentes y duraderos.

Esta investigación busca abordar estos vacíos mediante varios objetivos específicos que incluyen realizar un análisis del diagrama de cuerpo libre generado por las cargas operativas que actúan sobre el eslabón H de la excavadora, para identificar las fuerzas y momentos que deben ser considerados en el análisis estructural. También se desarrollará un análisis teórico de las tensiones normales o cortantes inducidas por las cargas operativas en el eslabón H de la excavadora, proporcionando una comprensión fundamental de cómo estas cargas afectan el componente. Asimismo, se efectuará un análisis con software de elementos finitos para determinar las tensiones y puntos críticos en el eslabón H, utilizando herramientas avanzadas para simular las condiciones operativas y evaluar el comportamiento estructural bajo diversas cargas. Finalmente, se elaborará un diagrama comparativo que contraste los resultados obtenidos mediante análisis teóricos y de elementos finitos sobre las tensiones y puntos críticos en el eslabón H, validando los modelos y asegurando la precisión de las conclusiones.

El estudio no solo proporcionará una comprensión más profunda de los mecanismos de falla y los factores que contribuyen a la fatiga del material, sino que también ofrecerá datos cruciales para mejorar el diseño y la durabilidad de los componentes. Esto, a su vez, contribuirá a reducir los costos operativos y aumentar la seguridad en la operación de excavadoras [2]. Además, la implementación de nuevas técnicas y metodologías derivadas de esta investigación puede ofrecer soluciones innovadoras para la industria, permitiendo el desarrollo de excavadoras más eficientes y resistentes.

La investigación propuesta tiene una relevancia significativa para la comunidad científica y la industria. Al mejorar la comprensión de las tensiones estructurales en componentes críticos de maquinaria pesada, se pueden desarrollar estrategias más efectivas para su mantenimiento y diseño. Esto responde directamente a las expectativas de la comunidad industrial, que busca minimizar los riesgos operativos y maximizar la eficiencia [4] [2]. Además, los hallazgos de este estudio tienen el potencial de contribuir al desarrollo de nuevas normas y procedimientos para el diseño y evaluación de equipos de construcción y minería, beneficiando a un amplio espectro de stakeholders en estos sectores.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son las tensiones y puntos críticos en el eslabón H de una excavadora CAT 320DL bajo diferentes condiciones de cargas operativas, y cómo pueden estas tensiones ser analizadas y mitigadas mediante el uso de métodos teóricos y de elementos finitos para mejorar la durabilidad y seguridad del componente?

## **1.3. Hipótesis**

La hipótesis planteada es que las tensiones normales y cortantes inducidas por las cargas operativas en el eslabón H de la excavadora CAT 320DL pueden ser

significativamente reducidas mediante un análisis exhaustivo utilizando métodos teóricos y de elementos finitos, lo que permitirá identificar y reforzar los puntos críticos, mejorando así la durabilidad y seguridad del componente.

## **1.4. Objetivos**

### **Objetivo general**

El objetivo general de este proyecto es analizar estructuralmente el eslabón H de una excavadora CAT 320DL bajo diversas condiciones de cargas operativas, utilizando métodos teóricos y análisis mediante software de elementos finitos, con el fin de identificar y mitigar las tensiones y puntos críticos que afectan su rendimiento y durabilidad, y así contribuir a mejorar la seguridad y eficiencia en las operaciones de excavación.

### **Objetivos específicos**

- Realizar un análisis del diagrama de cuerpo libre generado por las cargas operativas que actúan sobre el eslabón H de la excavadora.
- Desarrollar un análisis teórico de las tensiones normales o cortantes inducidas por las cargas operativas en el eslabón H de la excavadora.
- Efectuar un análisis con software de elementos finitos, para determinar las tensiones y puntos críticos en el eslabón H en puntos críticos generados por las cargas operativas de la excavadora en el eslabón H.
- Elaborar un diagrama comparativo que contraste los resultados obtenidos mediante análisis teóricos y de elementos finitos sobre las tensiones y puntos críticos en el eslabón H debido a las cargas operativas de la excavadora.

## 1.5. Teorías relacionadas al tema

El análisis estructural del eslabón H de una excavadora CAT 320DL debido a las cargas operativas se basa en varios paradigmas, modelos y teorías científicas que permiten un entendimiento profundo y crítico de las variables en estudio.

1. Teoría de la Elasticidad y Resistencia de Materiales: Esta teoría proporciona los fundamentos para entender cómo los materiales deforman y resisten bajo diversas cargas. Los principios de la teoría de la elasticidad se utilizan para calcular tensiones y deformaciones en el eslabón H cuando se somete a cargas operativas [4].
2. Análisis de Elementos Finitos (FEA): FEA es una técnica de modelado computacional utilizada para predecir cómo un producto reaccionará a fuerzas físicas, vibraciones, calor y otros efectos físicos. Este método permite descomponer un problema complejo en partes más manejables (elementos finitos) y resolver las ecuaciones asociadas a cada parte para obtener una solución aproximada del comportamiento del sistema completo [1].
3. Teoría de la Fatiga de Materiales: Esta teoría estudia cómo los materiales fallan bajo cargas cíclicas repetitivas. Es crucial para analizar la durabilidad del eslabón H bajo las cargas fluctuantes típicas de las operaciones de excavación. La teoría de la fatiga ayuda a predecir la vida útil del componente y a identificar puntos críticos donde es más probable que ocurran fallas por fatiga [2].
4. Modelos de Fractura y Mecánica de Fractura: Estos modelos son esenciales para entender cómo y por qué se propagan las grietas en los materiales. La mecánica de fractura permite evaluar la integridad estructural del eslabón H y determinar la criticidad de defectos existentes o potenciales bajo las condiciones de carga operativa [5].

Teoría de Análisis Estructural No Lineal: En situaciones donde las deformaciones son grandes o los materiales no se comportan de manera lineal, es necesario usar teorías y modelos que capturen estos efectos no lineales. El análisis estructural no lineal es crucial para prever el comportamiento real del eslabón H bajo cargas extremas [4].

Estos paradigmas, modelos y teorías proporcionan un marco integral para el análisis estructural del eslabón H, permitiendo una evaluación crítica de las tensiones y puntos críticos bajo cargas operativas. A través de la aplicación de estas teorías, se pueden desarrollar estrategias de diseño y mantenimiento que mejoren la resistencia y la durabilidad del componente, contribuyendo a operaciones más seguras y eficientes en la industria de la construcción y minería.

## II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para el análisis estructural del eslabón H de una excavadora CAT 320DL debido a las cargas operativas, se ha seleccionado un enfoque mixto que combina métodos teóricos y computacionales. Esta elección se fundamenta en la necesidad de comprender de manera integral las tensiones y deformaciones que se generan en el eslabón H bajo diversas condiciones de carga operativa. El enfoque teórico permite establecer una base sólida de los principios físicos y matemáticos que rigen el comportamiento del material, mientras que el uso del análisis mediante software de elementos finitos (FEA) facilita la simulación de condiciones operativas reales y la identificación de puntos críticos, proporcionando datos detallados y precisos que no serían posibles de obtener únicamente con análisis teóricos.

La investigación se plantea con la pregunta principal: ¿Cuáles son las tensiones y puntos críticos en el eslabón H de una excavadora CAT 320DL bajo diferentes condiciones de cargas operativas, y cómo pueden estas tensiones ser analizadas y mitigadas mediante el uso de métodos teóricos y de elementos finitos para mejorar la durabilidad y seguridad del componente? Esta pregunta se alinea directamente con el objetivo general de analizar estructuralmente el eslabón H bajo diversas condiciones de cargas operativas utilizando métodos teóricos y análisis mediante software de elementos finitos.

Los criterios de inclusión y exclusión se definen para asegurar la relevancia y calidad de los estudios considerados en el análisis. Los criterios de inclusión son: estudios que analicen componentes estructurales de excavadoras utilizando FEA, investigaciones publicadas en los últimos 10 años, artículos revisados por pares que se centren en la fatiga de materiales y mecánica de fractura, y documentos que detallen metodologías de análisis de cargas operativas en maquinaria pesada. Los criterios de exclusión son: estudios que no utilicen FEA en su análisis, publicaciones que no sean revisadas por pares,

investigaciones centradas en maquinaria distinta a excavadoras, y artículos publicados antes del 2013.

El primer paso metodológico consiste en la revisión sistemática de la literatura relevante para establecer el estado del arte y las bases teóricas del análisis estructural y de fatiga del eslabón H. En esta etapa, se identificarán estudios previos que utilicen métodos similares. Posteriormente, se desarrollará un modelo teórico para calcular tensiones normales y cortantes inducidas por cargas operativas, aplicando principios de la teoría de la elasticidad y resistencia de materiales.

El siguiente paso implica la simulación del eslabón H en software FEA (SolidWorks). Se modelarán las cargas operativas en diferentes posiciones del ciclo de trabajo, identificando tensiones y puntos críticos en el eslabón H. A continuación, se elaborarán diagramas comparativos que contrasten los resultados obtenidos mediante análisis teóricos y FEA, validando los modelos y asegurando la precisión de las conclusiones.

Finalmente, se interpretarán los resultados obtenidos de las simulaciones y análisis teóricos, discutiendo sobre la coherencia y contradicciones encontradas, y sus implicaciones para el diseño y mantenimiento de excavadoras. Se sintetizarán los hallazgos principales, proporcionando recomendaciones para mejorar el diseño y durabilidad del eslabón H, y sugiriendo áreas para futuras investigaciones. Al aplicar esta metodología, se espera obtener una comprensión profunda y detallada del comportamiento estructural del eslabón H de la excavadora CAT 320DL bajo cargas operativas, proporcionando datos y análisis que pueden ser utilizados para mejorar la seguridad y eficiencia en las operaciones de excavación.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Realizar Un Análisis Del Diagrama De Cuerpo Libre Generado Por Las Cargas Operativas Que Actúan Sobre El Eslabón H De La Excavadora.

EL diagrama de cuerpo libre (DCL) se analizará para las tres posiciones a partir de las variables identificadas en el diagrama base establecido por la norma ISO 6015:2006, donde se puede apreciar la fuerza del cucharón, la normal, los cilindros hidráulicos 1, 2 y 3. Los cuales nos ayudara a analizar el sistema de manera general y luego el eslabón H.

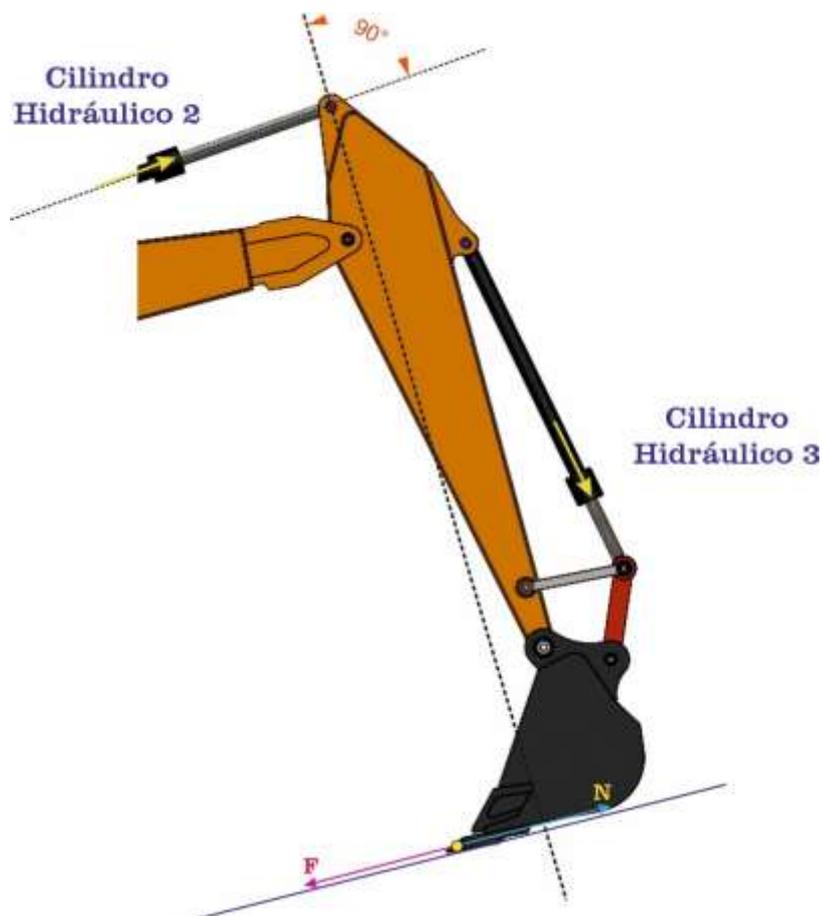


Ilustración 1: Diagrama de cuerpo libre del cucharón y brazo del modelo R3.9B1.

### Posición N°01: Posición de máximo alcance de ciclo de trabajo.

En el DCL es importante ubicar las fuerzas del cilindro hidráulico para la evaluación de tensiones en el sistema, también las reacciones originadas en el nodo A y C.

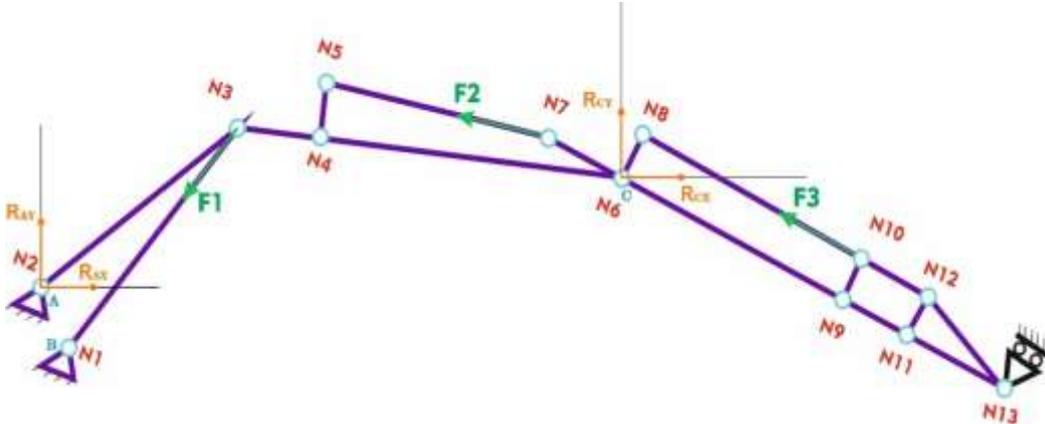


Ilustración 2: Diagrama de cuerpo libre posición de máximo alcance de ciclo de trabajo

### Posición N°06: Posición intermedia de ciclo de trabajo.

En el DCL es importante ubicar las fuerzas del cilindro hidráulico para la evaluación de tensiones en el sistema, también las reacciones originadas.

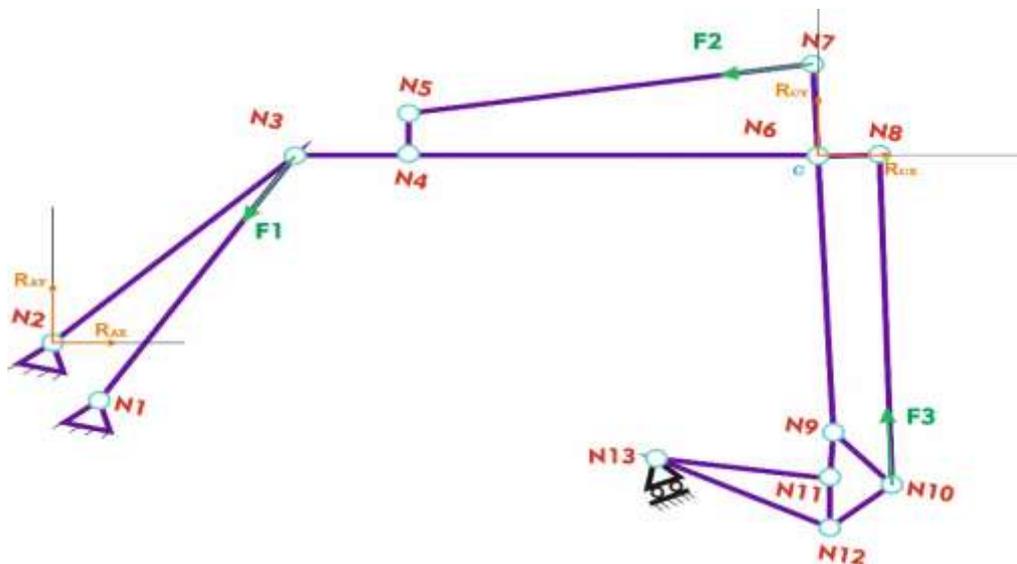


Ilustración 3: Diagrama de cuerpo libre posición de máximo alcance de ciclo de trabajo.

### Posición N°02: Posición final de ciclo de trabajo

En el DCL es importante ubicar las fuerzas del cilindro hidráulico para la evaluación de tensiones en el sistema, también las reacciones originadas.

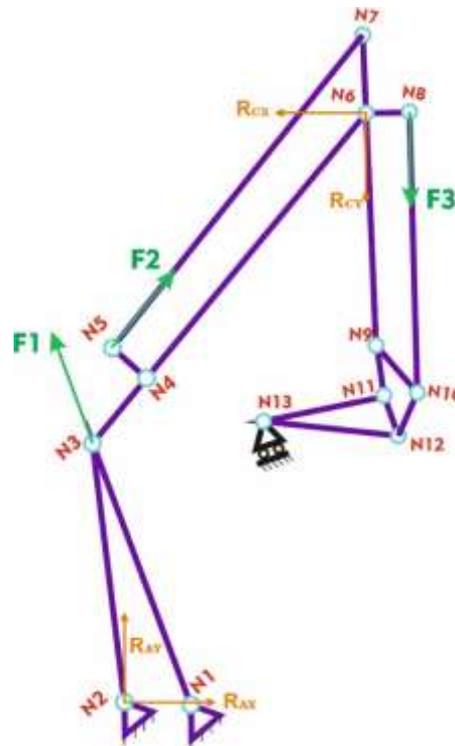


Ilustración 4: Diagrama de cuerpo libre posición de máximo alcance de ciclo de trabajo.

### 3.2. Desarrollar Un Análisis Teórico De Las Tensiones Normales O Cortantes Inducidas Por Las Cargas Operativas En El Eslabón H De La Excavadora.

Es importante identificar los movimientos del ciclo de trabajo del sistema (pluma, brazo y cucharón). Esto nos permitirá establecer el diagrama de cuerpo libre del eslabón H que se encuentra ubicado entre el brazo y el cucharón. El análisis se realiza para un dominio gama de trabajo de excavadora con pluma de alcance (R). en la tabla mostrada nos enfocaremos con la dimensión de brazo R3.9B1 m (Dimensiones aproximadas), verificar en la figura 08 y 09.

### Especificaciones Utilizadas

Opciones de pluma	Alcance – 5,68 m (18 pies 8 pulg)	Alcance – 5,68 m (18 pies 8 pulg)	Alcance – 5,68 m (18 pies 8 pulg)	De gran volumen 5,2 m (17 pies 1 pulg)
Opciones de brazo	R3.9B1 m (12 pies 10 pulg)	R2.9B1 m (9 pies 7 pulg)	R2.5B1 m (8 pies 2 pulg)	M2.4CB2 m (7 pies 10 pulg)
Cucharón	1,0 m <sup>3</sup> (1,31 yd <sup>3</sup> )	1,0 m <sup>3</sup> (1,31 yd <sup>3</sup> )	1,0 m <sup>3</sup> (1,31 yd <sup>3</sup> )	1,35 m <sup>3</sup> (1,77 yd <sup>3</sup> )
1 Profundidad máxima de excavación	7.660 mm (25 pies 2 pulg)	6.720 mm (22 pies 1 pulg)	6.300 mm (20 pies 8 pulg)	5.890 mm (19 pies 4 pulg)
2 Alcance máximo a nivel del suelo	10.760 mm (760 pies 35 pulg)	9.860 mm (760 pies 35 pulg)	9.460 mm (760 pies 35 pulg)	8.960 mm (760 pies 35 pulg)
3 Altura máxima de corte	9.940 mm (32 pies 7 pulg)	9.490 mm (31 pies 2 pulg)	9.290 mm (30 pies 6 pulg)	8.930 mm (29 pies 4 pulg)
4 Altura máxima de carga	6.940 mm (22 pies 9 pulg)	6.490 mm (21 pies 4 pulg)	6.290 mm (20 pies 8 pulg)	5.720 mm (18 pies 9 pulg)
5 Altura mínima de carga	1.230 mm (4 pies 0 pulg)	2.170 mm (7 pies 1 pulg)	2.590 mm (8 pies 6 pulg)	2.230 mm (7 pies 4 pulg)
6 Radio mínimo de giro frontal	3.790 mm (12 pies 5 pulg)	3.660 mm (12 pies 0 pulg)	3.710 mm (12 pies 2 pulg)	3.410 mm (11 pies 2 pulg)
7 Máxima profundidad de corte para fondo plano de 2.440 mm (8 pies)	7.270 mm (23 pies 10 pulg)	6.370 mm (20 pies 11 pulg)	5.950 mm (19 pies 6 pulg)	5.660 mm (18 pies 7 pulg)
8 Máxima profundidad de excavación de pared vertical	6.970 mm (22 pies 10 pulg)	6.060 mm (19 pies 11 pulg)	5.650 mm (18 pies 6 pulg)	5.360 mm (17 pies 7 pulg)

Ilustración 5: Identificación del alcance de su dominio gama.

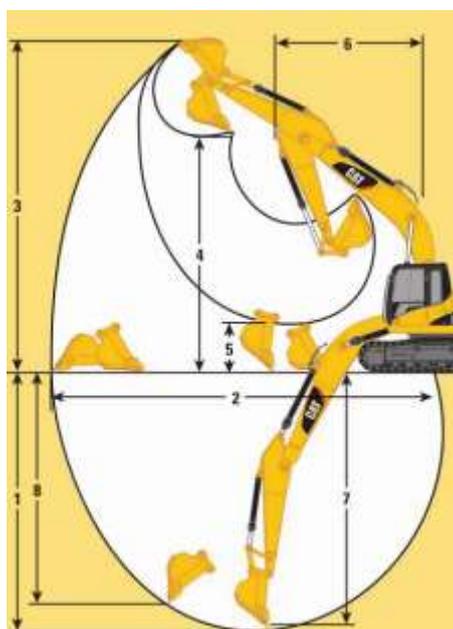


Ilustración 6: Identificación del alcance de su dominio gama de manera gráfica.

Respecto al análisis de tensión Von Mises se obtuvieron valores como el mínimo 148 N/ m<sup>2</sup> en la conexión de la pluma con el brazo y un máximo de tensión 23.14613504 x10<sup>7</sup> N/ m<sup>2</sup>, justo en la conexión base de la pluma.

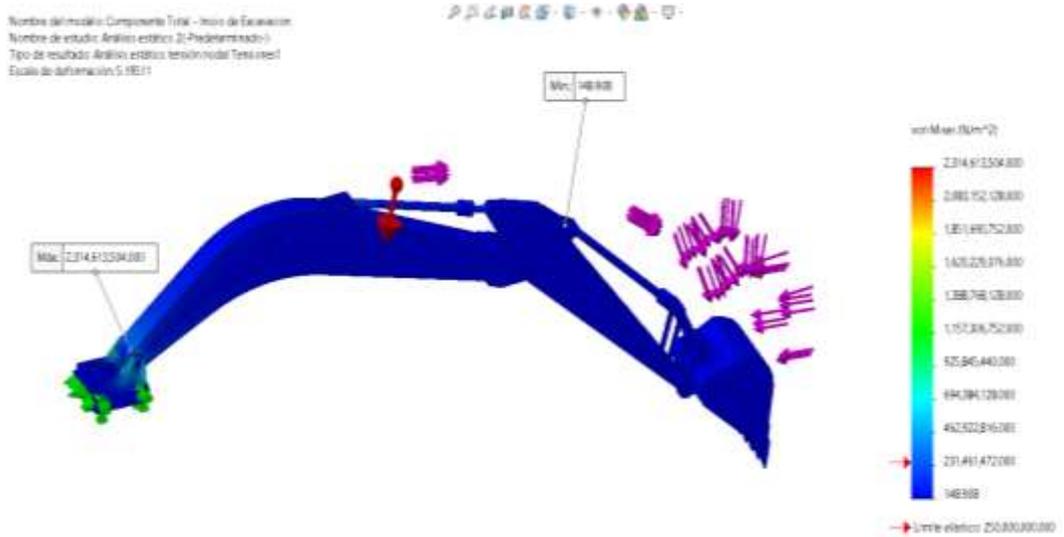


Ilustración 7: Estudio de tensión de Von Mises en la posición de máximo alcance de ciclo de trabajo

Respecto al análisis de tensión Von Mises se obtuvieron valores como el mínimo 0.0 N/ m<sup>2</sup> en la conexión de la pluma con el brazo y un máximo de tensión 75.5567680 x10<sup>7</sup> N/ m<sup>2</sup>, justo en la conexión base de la pluma.

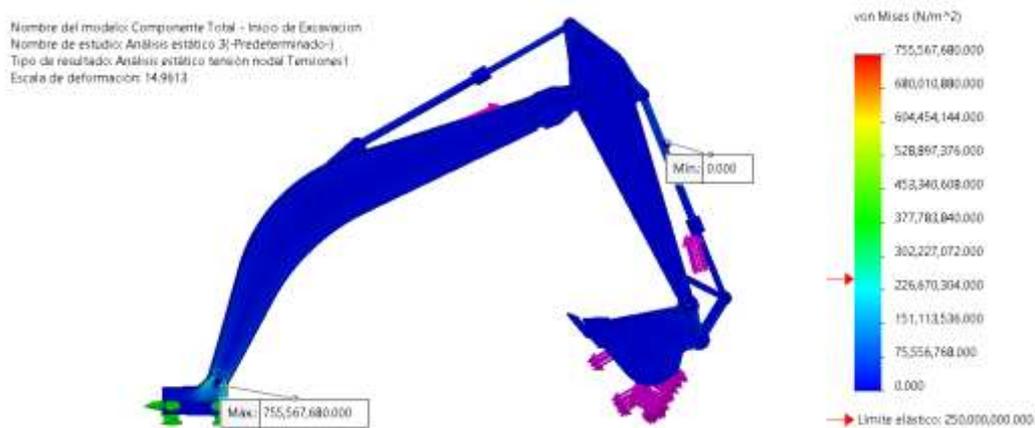
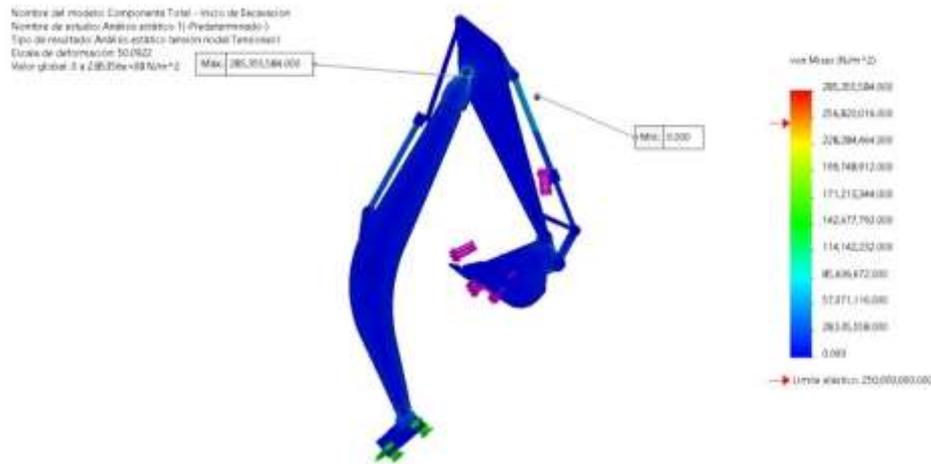


Ilustración 8: Estudio de tensión de Von Mises en la posición intermedia de ciclo de trabajo.

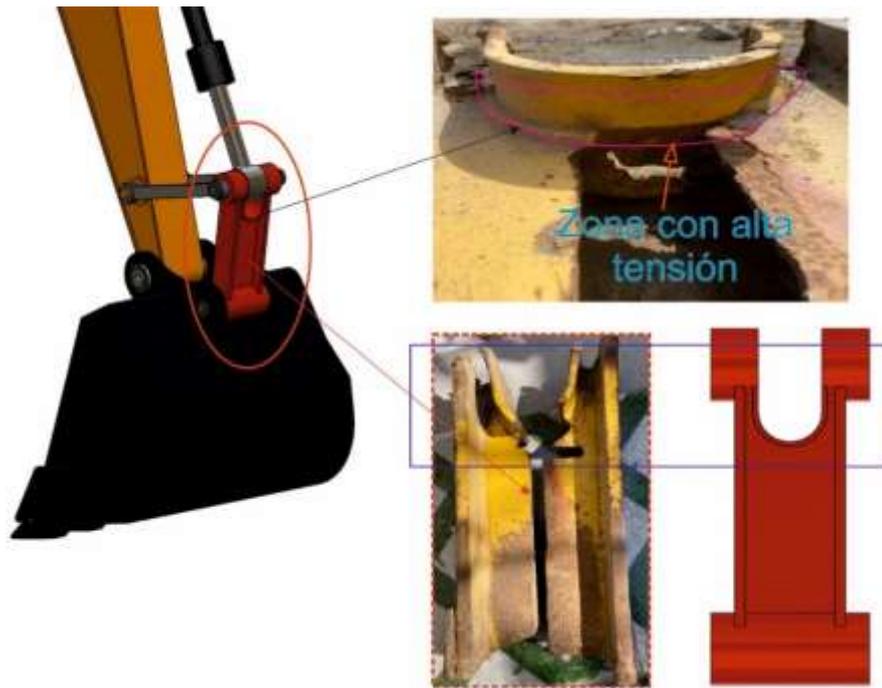
Respecto al análisis de tensión Von Mises se obtuvieron valores como el mínimo 0.0 N/ m<sup>2</sup> en el brazo ubicado en su cilindro hidráulico. En la conexión de la pluma con el brazo arrojó un valor máximo de tensión 28.5355584 x10<sup>3</sup> N/ m<sup>2</sup>.



*Ilustración 9: Estudio de tensión de Von Mises en la posición final de ciclo de trabajo.*

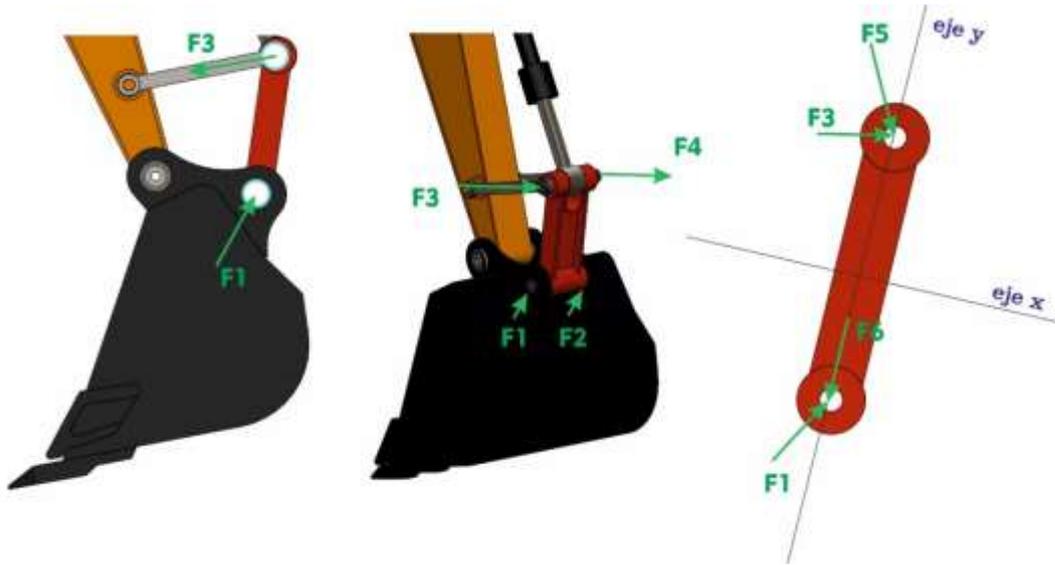
### **3.3. Efectuar Un Análisis Con Software De Elementos Finitos, Para Determinar Las Tensiones Y Puntos Críticos En El Eslabón H Generados Por Las Cargas Operativas De La Excavadora.**

Se realizó el análisis estático estructural del eslabón H en las tres posiciones estudiadas. En la figura N°23 se puede apreciar la ubicación del componente en estudio. Las solicitaciones externas causan fallas prematuras o a largo plazo, sin embargo, antes de conocer la parte estructural es necesario conocer su DCL.



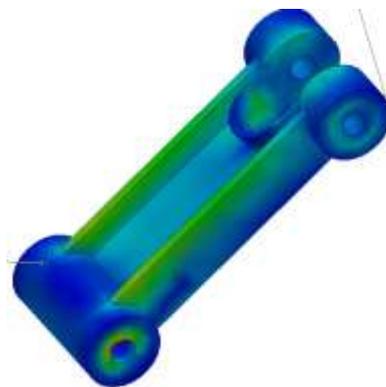
*Ilustración 10: Verificación de la ubicación del eslabón con consecuente fractura en su ciclo de trabajo.*

Las fuerzas pueden cambiar de orientación y girar respecto al ángulo en condiciones de operación según su posición respecto al tercer cilindro hidráulico ubicado en el brazo. Se realiza el DCL tridimensional donde se puede mostrar las cargas aplicadas en el eslabón H, la fuerza  $F_1$ ,  $F_2$  corresponden a sollicitaciones de la roca en dirección al cucharón que se trasmite en los dos contactos inferiores del eslabón,  $F_3$  y  $F_4$  corresponde a las fuerzas establecidas por los elementos del tirante,  $F_5$  es la fuerza transmitida por el cilindro hidráulico y que cambia de sentido según el ciclo de trabajo de los componentes y  $F_6$  es la fuerza transmitida en función del sentido de  $F_3$ ,  $F_4$  y  $F_5$ . En la figura N°24 podemos apreciar este análisis.



*Ilustración 11: Verificación de la ubicación del eslabón con consecuente fractura en su ciclo de trabajo.*

El análisis estático estructural en SolidWorks no arroja una mayor vulnerabilidad con datos más altos respecto a von mises respecto a la posición final de ciclo de trabajo, se puede apreciar que el desplazamiento es de  $78.732404 \times 10^6 \text{ N/ m}^2$  en la parte inferior y un  $77.707039 \times 10^3 \text{ N/ m}^2$ .



*Ilustración 12: Tensión de Von Mises del eslabón H en posición final de ciclo de trabajo.*

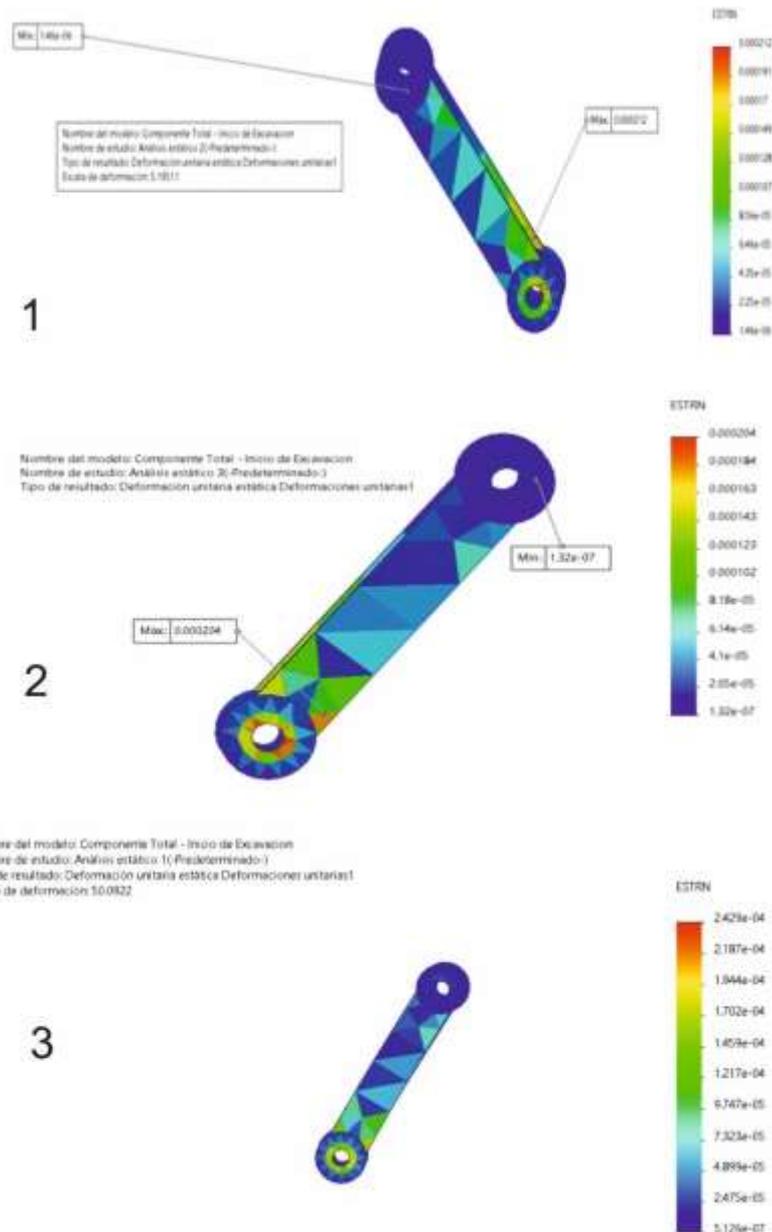
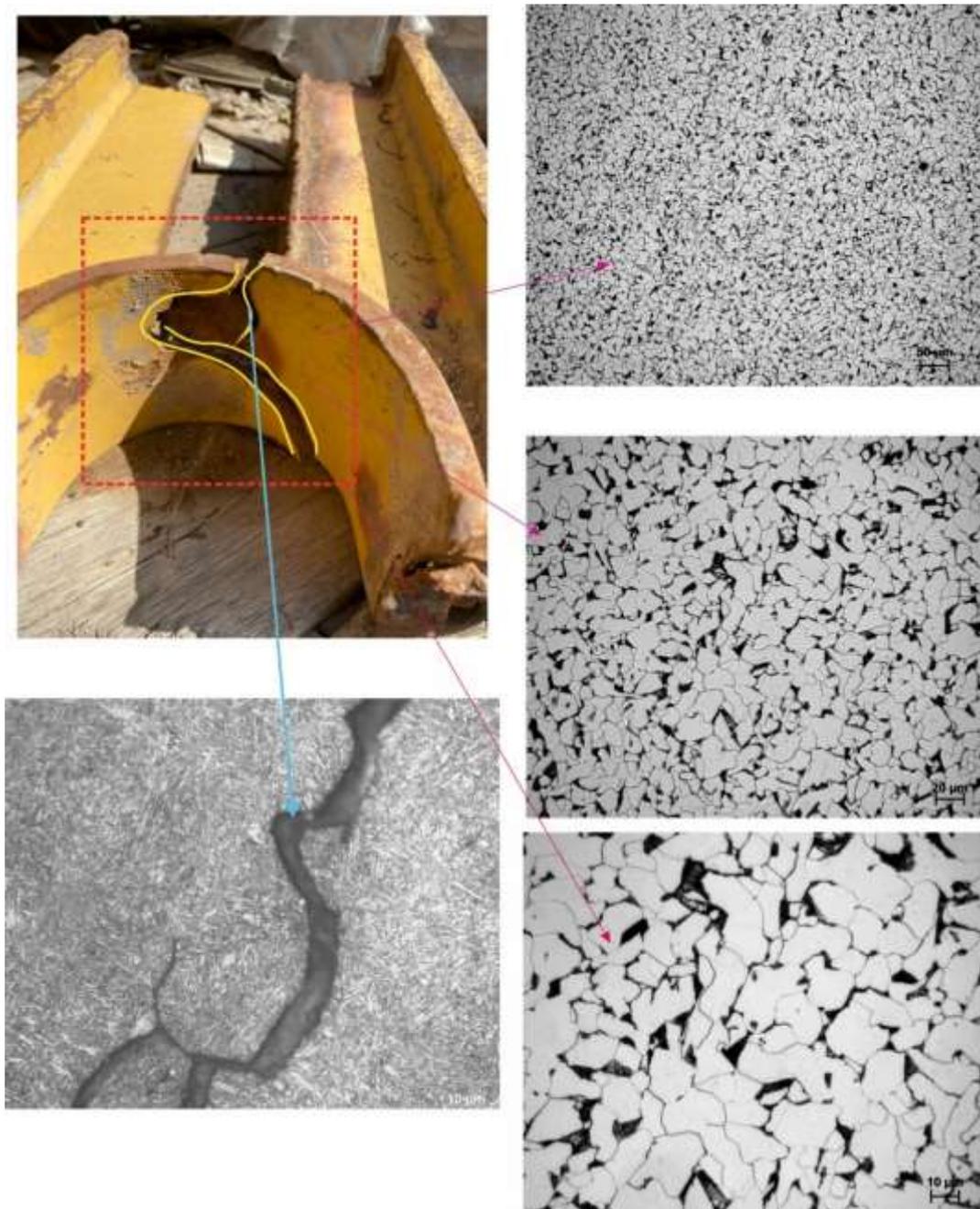


Ilustración 13: Estudio de deformación unitaria en las tres posiciones de ciclo de trabajo.

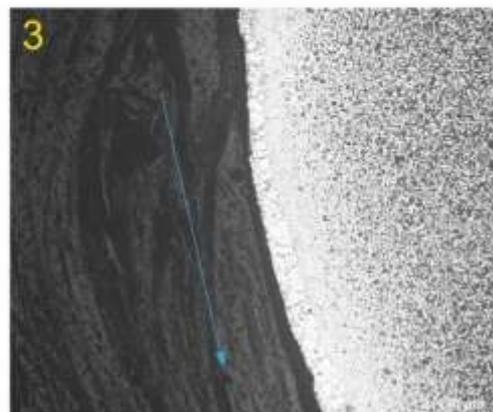
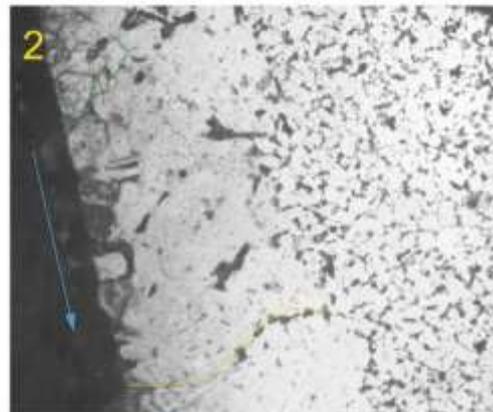
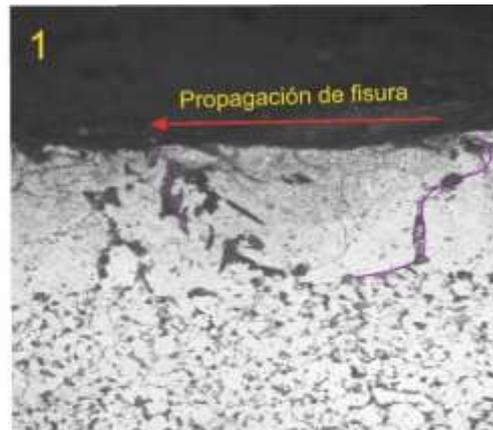
**3.4. Elaborar Un Diagrama Comparativo Que Contraste Los Resultados Obtenidos Mediante Análisis Teóricos Y De Elementos Finitos Sobre Las Tensiones Y Puntos Críticos En El Eslabón H Debido A Las Cargas Operativas De La Excavadora.**

Se realizó un estudio inicial al eslabón H para identificar la microestructura base del acero Q235 con un porcentaje de carbono del 0.2% C. este acero pertenece a la familia de aceros estructurales los cuales son de uso para este tipo de componentes; se idéntico una nucleación de fisuración que inicia en la parte superior y atraviesa toda la estructura de manera transversal respecto a la parte central. Ver figura N°26.



*Ilustración 14: Estudio de deformación unitaria en las tres posiciones de ciclo de trabajo.*

También se caracterizó el sentido de propagación de la fisura de derecha a izquierda, la cual por los ciclos de carga y descarga se genero una peque grieta la cual indica que fallo por fractura dúctil y luego frágil, además se puede observar que se generaron grietas en sentido perpendicular a la propagación de la fisura, esto debido a que el material soporta cargas y descargas continuas.



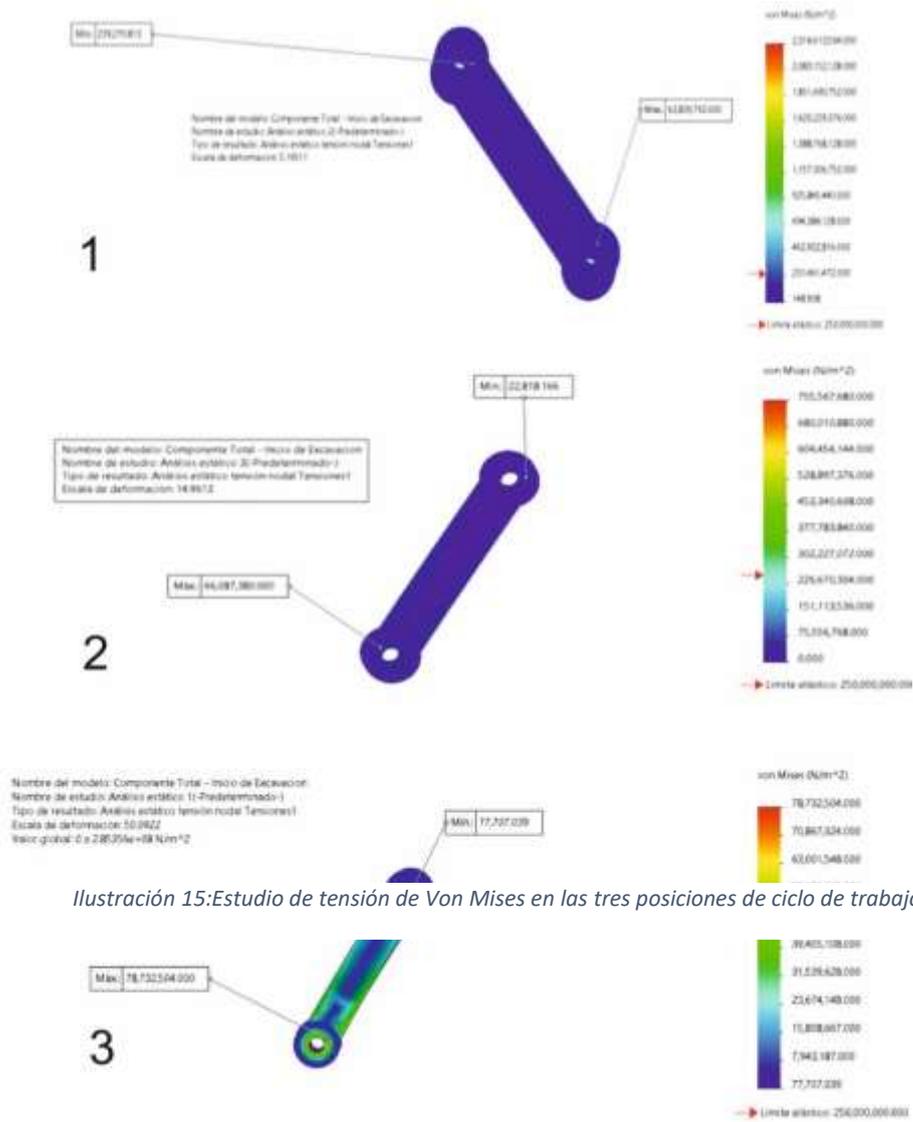


Ilustración 15: Estudio de tensión de Von Mises en las tres posiciones de ciclo de trabajo.

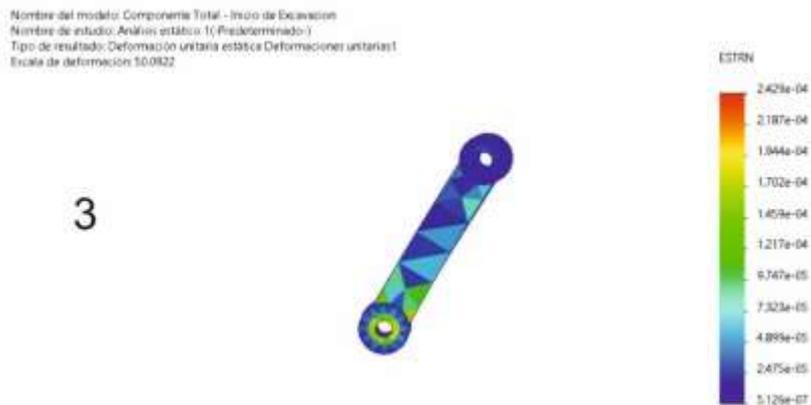
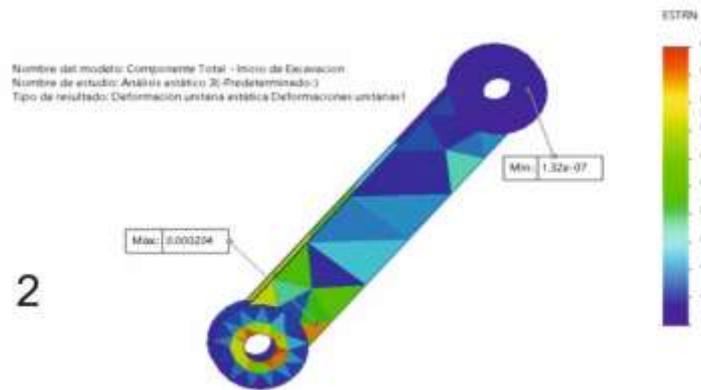
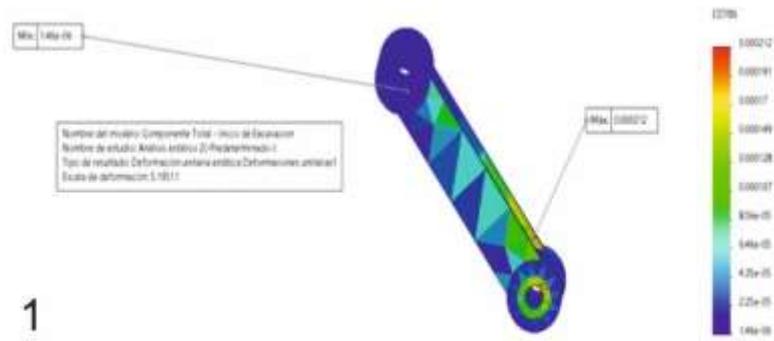


Ilustración 16.: Estudio de deformación unitaria en las tres posiciones de ciclo de trabajo.

## **IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **4.1. DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos muestran una coherencia significativa entre los análisis teóricos y los realizados mediante FEA, lo que valida la precisión de los modelos utilizados. Sin embargo, también se han identificado algunas contradicciones fundamentales. Por ejemplo, en ciertos casos, las tensiones máximas predichas por los modelos teóricos no coinciden exactamente con las obtenidas mediante FEA, lo que puede deberse a simplificaciones y suposiciones hechas en los modelos teóricos que no capturan completamente las complejidades del comportamiento del material bajo carga.

Otra observación importante es que los análisis de FEA han revelado puntos críticos adicionales que no fueron identificados en los análisis teóricos. Esto subraya la importancia de utilizar técnicas de simulación avanzadas para obtener una comprensión más completa del comportamiento estructural. Además, los resultados de FEA han mostrado que las tensiones en el eslabón H varían significativamente dependiendo de la posición del ciclo de trabajo, lo que sugiere que el diseño y mantenimiento del componente deben tener en cuenta estas variaciones para mejorar su rendimiento y durabilidad.

Las investigaciones previas indicaron que las fallas en componentes críticos como el eslabón H pueden resultar en tiempos de inactividad costosos y peligrosos. La presente investigación ha confirmado estas observaciones y ha proporcionado datos adicionales que pueden ser utilizados para desarrollar estrategias de diseño y

mantenimiento más efectivas. La falta de rigidez adecuada en algunos elementos de soporte y los defectos de diseño que resultan en concentraciones de estrés elevado fueron identificados como principales causas de fallas prematuras, lo cual coincide con los estudios previos.

#### **4.2. CONCLUSIONES**

- Los resultados obtenidos mediante FEA han validado la precisión de los modelos teóricos, aunque han revelado puntos críticos adicionales que deben ser considerados en el diseño y mantenimiento del eslabón H.
- Las tensiones en el eslabón H varían significativamente dependiendo de la posición del ciclo de trabajo. Esto indica la necesidad de considerar estas variaciones en el diseño y mantenimiento para mejorar la durabilidad del componente.
- Los análisis de FEA han demostrado ser cruciales para obtener una comprensión completa del comportamiento estructural del eslabón H bajo cargas operativas, identificando puntos críticos y proporcionando datos detallados que no serían posibles de obtener únicamente con análisis teóricos.
- Basado en los hallazgos, se recomienda mejorar la rigidez de los elementos de soporte y considerar las variaciones de tensiones en el diseño del eslabón H. Además, se sugiere implementar técnicas de monitoreo y mantenimiento predictivo para prevenir fallas prematuras.

- Las futuras investigaciones deberían centrarse en desarrollar modelos más avanzados que capturen mejor las complejidades del comportamiento del material bajo carga. Además, se deben explorar nuevas técnicas y materiales que puedan mejorar la resistencia y durabilidad del eslabón H.

## V. REFERENCIAS

- [1] Y. L. P. W. B. X. Q. & M. B. Li, «Failure analysis of bolts on fatigue test bench for excavator stick,» *Engineering Failure Analysis*, p. 104863, 2020.
- [2] M. S. S. D. B. S. A. V. F. & M. A. Miladinov, «Repairing of cracks on tooth gear ring of a bucket-wheel excavato,» *Procedia Structural Integrity*, pp. 27-32, 2023.
- [3] S. H. F. W. M. W. Y. A. S. E. W. & H. Suryo, «Analysis and topology optimization structural design excavator bucket tooth using finite element method,» *AIP Conference Proceedings*, 2020.
- [4] M. & U. R. Krynke, «Analysis of the influence of slewing bearing mounting on their static load capacity,» *Transportation Research Procedia*, pp. 745-750, 2019.
- [5] A. D. B. S. S. & R. M. Sedmak, «Structural integrity assessment of bucket-wheel excavator during operational conditions,» *Procedia Structural Integrity*, pp. 37-42, 2023.

NOMBRE DEL TRABAJO

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ESLABÓN  
H DE UNA EXCAVADORA CAT 320DL DE  
BIDO A LAS CARGAS OPERATIVAS**

AUTOR

**JOEL ISAAC LARIOS HUAMANCHUMO**

RECUENTO DE PALABRAS

**3396 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**18931 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**24 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.3MB**

FECHA DE ENTREGA

**Sep 26, 2024 10:22 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Sep 26, 2024 10:22 PM GMT-5****● 4% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado



**ACTA DE CONTROL DE REVISIÓN DE  
SIMILITUD DE LA INVESTIGACIÓN**

Código:	F3.PP2-PR.02
Versión:	02
Fecha:	18/04/2024
Hoja:	1 de 1

Yo, **Silvia Yvone Gastiaturú Morales**, Coordinadora de Investigación del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica, he realizado el control de originalidad de la investigación, el mismo que está dentro de los porcentajes establecidos para el nivel de Pregrado, según la Directiva de similitud vigente en USS; además certifico que la versión que hace entrega es la versión final de la Trabajo de Investigación titulado: **ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ESLABÓN H DE UNA EXCAVADORA CAT 320DL DEBIDO A LAS CARGAS OPERATIVAS** elaborado por el (los) Bachiller(es):

**LARIOS HUAMANCHUMO JOEL ISAAC**

Se deja constancia que la investigación antes indicada tiene un índice de similitud del **04%**, verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el software de similitud TURNITIN.

Por lo que se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con lo establecido en la Directiva sobre índice de similitud de los productos académicos y de investigación vigente.

Pimentel,

**Dra. Gastiaturú Morales Silvia Yvone**

**Coordinador de Investigación**

**DNI N° 16481433**