



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**Análisis de fallas en la determinación de las causas de desgaste  
del labio espada de un cucharón de excavadora hidráulica 320  
CAT-Cajamarca 2020**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

Constantino García, Denis Edgardo (ORCID: 0000-0002-7227-9667)

**ASESOR:**

Dr. Villarreal Albitres, William Fernando (ORCID: 0000-0003-1743-6014)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

CHICLAYO - PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

Dios, por ser mi ser supremo, por ser mi guía e iluminarme y la vez bendecir mi camino brindándome la salud, y las fuerzas necesarias para seguir adelante,

A mis padres por su afecto, compromiso hacia mi persona con buenos valores y costumbres, por su apoyo, respaldo mutuo e incondicional, brindándome ese aliento necesario para lograr cada uno de mis objetivos trazados durante toda mi preparación profesional y personal,

A todas aquellas personas q se ha cruzado en mi vida (profesores, amigos, etc.) que me apoyaron durante este recorrido y me aportaron su conocimiento para realizar mi carrera profesional.

***Denis Edgardo***

## **Agradecimiento**

A la Universidad César Vallejo Filial Chiclayo por haber aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera. un agradecimiento en especial a mi asesor el Dr. Villarreal Albitres William Fernando por proporcionarme su apoyo durante la elaboración de mi informe y a la vez también agradecer a todas las personas que me ayudaron y brindaron la información necesaria para elaborar este trabajo.

***El autor***

## Índice de contenido

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenido .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras y gráficos.....	viii
Índice de abreviaturas .....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEORICO.....</b>	<b>4</b>
<b>III. MÉTODOLOGIA.....</b>	<b>10</b>
3.1.Tipo y diseño de investigación .....	10
3.2.Operacionalización de variables .....	10
3.3.Población, muestra y muestreo.....	10
3.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad..	11
3.5.Procedimientos .....	12
3.6.Métodos de análisis de datos.....	13
3.7.Aspectos éticos .....	13
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>52</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
REFERENCIAS.....	58
ANEXOS .....	59

## Índice de tablas

<b>Tabla 01.-</b> Técnicas e instrumentos de recolección de datos. Fuente: Propia.....	11
<b>Tabla 02.-</b> Características del acero AISI 1522. Fuente: (Coloma Morales, 2014) .....	16
<b>Tabla 03.-</b> Propiedades físicas del cucharón de la excavadora 320D-CAT. Fuente: Propia.....	16
<b>Tabla 04.-</b> Escenarios en los que se realizó el análisis estático a) Análisis de fuerza máxima por labio. Fuente: Propia	18
<b>Tabla 05.-</b> Propiedades del material utilizado para el análisis de la pala. Fuente: Propia.....	19
<b>Tabla 06.-</b> Parámetros del mallado para el análisis estático. Fuente: Propia .....	20
<b>Tabla 07.-</b> Fuerzas de reacción generadas en las bisagras de la pala. Fuente: Propia.....	21
<b>Tabla 08.-</b> Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el primer escenario. Fuente: Propia .....	22
<b>Tabla 09.-</b> Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el segundo escenario. Fuente: Propia.....	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
<b>Tabla 10.-</b> Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el tercer escenario. Fuente: Propia .....	22
<b>Tabla 11.-</b> Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el cuarto escenario . Fuente: Propia.....	23
<b>Tabla 12.-</b> Tensiones Von Moisés generadas por las fuerzas de cada escenario. Fuente: Propia.....	24
<b>Tabla 13.-</b> Aumento proporcional de las tensiones Von Mises máximas. Fuente: Propia.....	25
<b>Tabla 14.-</b> Factores de seguridad según escenario. Fuente: Propia.....	26
<b>Tabla 15.-</b> Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el primer escenario . Fuente: Propia.....	29
<b>Tabla 16.-</b> Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el segundo escenario . Fuente: Propia .....	29
<b>Tabla 17.-</b> Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el segundo escenario . Fuente: Propia .....	30

<b>Tabla 18.-</b> Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el cuarto escenario . Fuente: Propia .....	30
<b>Tabla 19.-</b> Deformaciones unitarias generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio. Fuente: Propia.....	31
<b>Tabla 20.-</b> Escenarios en los que se realizó el análisis estático bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia.....	32
<b>Tabla 21.-</b> Fuerzas de reacción generadas en las bisagras de la pala para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida . Fuente: Propia .....	33
<b>Tabla 22.-</b> Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida para el primer escenario . Fuente: Propia.....	34
<b>Tabla 23.-</b> Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida para el segundo escenario . Fuente: Propia .....	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
<b>Tabla 24.-</b> Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida para el tercer escenario . Fuente: Propia.....	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
<b>Tabla 25.-</b> Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida para el cuarto escenario . Fuente: Propia.....	36
<b>Tabla 26.-</b> Tensiones Von Moisés generadas por las fuerzas de cada escenario para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia .....	36
<b>Tabla 27.-</b> Aumento proporcional de las tensiones Von Mises máximas para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia .....	37
<b>Tabla 28.-</b> Factores de seguridad según escenario para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia.....	38
<b>Tabla 29.-</b> Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida en el primer escenario . Fuente: Propia. Fuente: Propia.....	39
<b>Tabla 30.-</b> Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida en el segundo escenario . Fuente: Propia. Fuente: Propia .....	39
<b>Tabla 31.-</b> Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida en el tercer escenario . Fuente: Propia. Fuente: Propia.....	40
<b>Tabla 32.-</b> Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida en el cuarto escenario . Fuente: Propia. Fuente: Propia .....	40

<b>Tabla 33.-</b> Deformaciones unitarias generadas en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida. Fuente: Propia .....	41
<b>Tabla 34.-</b> Configuración para el análisis de fatiga en el programa SolidWork. Fuente: Propia.....	42
<b>Tabla 35.-</b> Daño acumulado par el primer escenario de la fuerza distribuida. Fuente: Propia.....	44
<b>Tabla 36.-</b> Daño acumulado par el segundo escenario de la fuerza distribuida. Fuente: Propia.....	44
<b>Tabla 37.-</b> Daño acumulado par el tercer escenario de la fuerza distribuida. Fuente: Propia.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 38.-</b> Daño acumulado par el cuarto escenario de la fuerza distribuida. Fuente: Propia.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 39.-</b> Daño acumulado según escenarios estáticos de carga distribuida. Fuente: Propia.....	46
<b>Tabla 40.-</b> Vida total del solido basado en los escenarios de análisis estático por fuerza distribuida. Fuente: Propia.....	47
<b>Tabla 41.-</b> Factor de carga para análisis de fatiga según fuerza distribuida. Fuente: Propia.....	48
<b>Tabla 42.-</b> Propiedades de la soldadura eléctrica con electrodo 7018. Fuente: Ficha técnica – Indura – Electrodo 7018.....	50
<b>Tabla 43.-</b> Aumento del factor de carga para el primer escenario por fatiga por añadidura por soldadura con electrodo 7018. Fuente: Propia	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 44.-</b> Aumento del factor de carga para el segundo escenario por fatiga por añadidura por soldadura con electrodo 7018. Fuente: Propia	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Índice de figuras y gráficos

<i>Figura 1.-</i> Toma de medidas del cucharón. Fuente: Propia .....	12
<i>Figura 2.-</i> Cuchilla del cucharón de la excavadora 320D – CAT Fuente: Propia .	14
<i>Figura 3.-</i> Bisagra del cucharón 320D-CAT. Fuente: Propia .....	14
<i>Figura 4.-</i> Cuchara del cucharón de la excavadora 320D-CAT. Fuente: Propia ..	15
<i>Figura 5.-</i> Cucharón completo de la excavadora 320D-CAT. Fuente: Propia .....	15
<i>Figura 6.-</i> Sujeciones para el análisis de la pala. Fuente: Propia.....	19
<i>Figura 7.-</i> Mallado de la pala. Fuente: Propia.....	20
<i>Figura 8.-</i> Grafico de las reacciones en las bisagras según los escenarios y los ejes donde se presentan. Fuente: Propia .....	21
<i>Figura 9.-</i> Grafico de las tensiones Von Moisés mínimas generadas en la pala de acuerdo a cada escenario. Fuente: Propia.....	24
<i>Figura 10.-</i> Grafico de las Tensiones Von Moisés máximas generadas en la pala de acuerdo a cada escenario. Fuente: Propia.....	25
<i>Figura 11.-</i> Grafico de la evolución de los factores de seguridad mínimos según el cambio de escenario. Fuente: Propia .....	27
<i>Figura 12.-</i> Grafico de la evolución de los factores de seguridad máximos según el cambio de escenario. Fuente: Propia .....	27
<i>Figura 13.-</i> Evaluación de las deformaciones máximas generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio. Fuente: Propia.....	31
<i>Figura 14.-</i> Grafico de las reacciones en las bisagras según los escenarios y los ejes donde se presentan para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia.....	33
<i>Figura 15.-</i> Grafico de las Tensiones Von Moisés máximas generadas en la pala de acuerdo a cada escenario para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia.....	37
<i>Figura 16.-</i> Grafico de la evolución de los factores de seguridad mínimos según el cambio de escenario para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia .....	38
<i>Figura 17.-</i> Evolución de las deformaciones máximas generadas por la fuerza máxima distribuida. Fuente: Propia .....	41



<i>Figura 18.-</i> Cuerva de comportamiento del material a la repetición de ciclo. Fuente: SolidWoks. ....	43
<i>Figura 19.-</i> Grafica del daño acumulado máximo. Fuente: Propia .....	46
<i>Figura 20.-</i> Vida total del cucharon para los escenarios de carga distribuida. Fuente: Propia.....	47
<i>Figura 21.-</i> Evolución de factor de carga mínimo para fuerza distribuida. Fuente: Propia.....	48
<i>Figura 22.-</i> Evolución de factor de carga máximo para fuerza distribuida. Fuente: Propia.....	48
<i>Figura 23.-</i> Labio relleno de soldadura eléctrica con electrodo de 7018. Fuente: Propia.....	50

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo determinar las causas de desgaste de labio espada de cucharón de excavadora hidráulica CAT 320, aplicando análisis de falla por medio de elemento finitos, este análisis se realiza con el software SolidWork a la vez este software determina los esfuerzos generados en el cucharón mediante el método de elementos finitos realizando el modelamiento mecánico, en la investigación se recogió los datos de manera visual midiendo la geometría del cucharón por ende, se determinó y estableció las características mecánicas por medio de análisis de documentos dándonos la fuerza generada por la pala para el análisis de las deformaciones del labio espada, la investigación se realizó mediante análisis estáticos en cuatro escenarios diferentes escenarios por la cual, se obtuvieron factores de diseño mínimos que al ampliar la fuerza en los labios espadas, para el análisis de fatiga en los escenarios en los cuales se desenvuelve el trabajo del cucharón se encontraron que en dos de ellos se genera desgaste por fatiga, la solución propuesta fue la reparación del desgaste por medio de soldadura eléctrica 7018 la cual aumenta los factores de carga de los escenarios más críticos concluye como una solución factible para mejorar la resistencia al desgaste.

**Palabras clave:** Elementos finitos, análisis de falla, desgaste de labio espada.

## **Abstract**

The objective of this investigation is to determine the causes of wear on the lip of the bucket of the CAT 320 hydraulic excavator, applying failure analysis using finite elements, this analysis is performed with SolidWork software at the same time that this software determines the forces generated in the bucket through the use of the finite element method performing mechanical modeling, in the research data was collected visually measuring the geometry of the bucket, therefore, the mechanical characteristics were determined and established through documentary analysis, which gave us the resistance generated by the shovel. The analysis of the deformation of the blade of the blade, the investigation was carried out by means of static analysis in four different scenarios through which minimum design factors were obtained that when expanding the force in the lips of the blade, for the analysis of fatigue in The scenarios in which the work of the bucket is unfolded were found. They found that fatigue wear d is generated in two of them. The proposed solution was the repair of wear by electric welding 7018 which increases the load factors of the most critical scenarios, and concludes as a feasible solution to improve wear resistance.

**Keywords:** Finite elements, failure analysis, sword lip wear.

## I. INTRODUCCIÓN

Realidad problemática internacional. Si nos referimos a una actividad industrial en su proceso de desarrollo hoy en día la maquinaria pesada su impacto en la esfera económica de la sociedad de forma permanente y con variadas manifestaciones en su seno, está en un sector productivo llamado el impacto industrial de las maquinarias pesadas. Las cuales están involucradas en la industria de la construcción ya que en todas las partes del mundo significa la columna de la estructura de desarrollo de los diferentes países a nivel internacional.

Es por ello que la proporción más principal del capital fijo de una empresa constructora está constituida por la maquinaria y equipo en poder de estas, es por ello que se debe de realizar una utilización adecuada de este recurso es muy determinante para la eficiencia para las empresas o constructoras, lo cual hace que sean componentes básicos de la infraestructura para el desarrollo. En el país mexicano la participación del trabajo mecánico en este tipo de maquinaria pesada es superior al 60% y en la urbanización es del orden del 40%. Es por ello que la maquinaria y equipo dentro de la construcción por ende en la economía de este país es así de evidente.

Cabe resaltar que una maquina debe siempre tener una disponibilidad en obra no menos del 70% y debe dedicarse toda la atención necesaria para que así su eficiencia este muy cerca al 80%. Es aquí donde entra a destacar un mantenimiento oportuno y eficiente, así como el abastecimiento de refacciones, combustibles, lubricantes, estructura de las herramientas de la maquinaria como los cucharones resaltando las uñas, labios, planchas de desgaste inferiores. (La maquinaria Pesada en movimiento de tierras, 2018 pág. 3).

Realidad problemática nacional. Nuestro Perú en la actualidad se ha visto beneficiado tras el desarrollo y demanda en cuanto a la maquinaria pesada debido al crecimiento de la industria es nuestro territorio peruano.

Es por ello que el Ministerio de Educación determino que la especialidad de Mantenimiento de Maquinaria Pesada se encuentra entre las 20 carreras

profesionales con mayor demanda laboral. Es por ello que esta principal actividad productiva requiere de profesionales especializados en mantenimiento de maquinaria pesada. En el Perú según investigaciones realizadas por el SENATI que se requerirá más 3000 profesionales para los próximos 3 años.

Debido al accidentado territorio que muestra nuestras regiones peruanas, los desgastes de los accesorios que componen de trabajo externo de las diferentes máquinas pesadas (uñas, labios, planchas de desgaste inferiores, planchas laterales, protectores laterales todo ello constituye a los cucharones de las maquinarias) son cada vez constantes, es por ello que los tipos de mantenimiento son una fuente principal para obtener una buena eficiencia en la producción obtenidas por las maquinarias pesadas (El punto de despeque del sector construcción, 2018 pág. 4).

A nivel local en nuestro departamento cajamarquino la importancia, demanda y auge de las maquinarias pesadas hoy en día es una de las fuentes principales para el desarrollo económico y social de nuestra región, es por ello que con el presente proyecto se busca mejorar la vida útil de los componentes de trabajo externo principalmente de los cucharones de una retroexcavadora, ya que este elemento de la maquinaria es quien requiere de un mejoramiento o mantenimiento en su estructura pues debido a que el territorio en el que se realiza los trabajo genera un alto nivel de desgaste.

*Formulación del problema:* ¿En qué medida la técnica de análisis de falla determina las causas de desgaste del labio espada del cucharón de excavadora hidráulica Cat 320 Cajamarca 2020?

*Justificación de estudio,* comprende: *Técnica,* radica en que hoy en día las reparaciones de partes de maquinaria pesada designan a distintas empresas las tareas de reparación para que estas realicen una evaluación técnica, lo cual genera una serie de diferentes procedimientos por estas empresas siendo estos procedimientos empíricos pues carecen de técnicas correctas para las reparaciones. Es así como las maquinarias de línea amarilla en sus cucharones se rompen constantemente lo cual produce una serie de paradas imprevistas, esto

perjudica la economía de la empresa además de disminuir la producción, además de que en la actualidad no se realiza una inspección adecuada de si está en óptimas condiciones el cucharón para trabajo en campo pues lo hacen de forma visual lo cual es incorrecto e inseguro.

*Económica:* En la actualidad se hace mención que la mayoría de cucharones tanto de las excavadoras o retroexcavadoras son reparados de una forma empírica es decir los técnicos realizan la reparación solo considerando su experiencia y visualizando los hechos, es así que producen un variado costo de reparación. Según conocimiento del Jefe de taller de la Prefectura de Bolívar, certifica que el aproximado costo de reparación esta entre 2000 a 6000 dólares. Ya que se considera necesariamente para la reparación el cambio de uñas, así como de la base, protecciones laterales, tuercas, pines, bocinas y desde luego la mano de obra.

*Hipótesis:* La técnica de análisis de falla determina las causas de desgaste del labio espada de cucharón de excavadora hidráulica CAT320, entonces se podrá aumentar el tiempo de vida útil - Cajamarca 2020.

Dentro de los *Objetivos; General:* Determinar las causas de desgaste de labio espada de cucharón de excavadora hidráulica CAT 320, aplicando análisis de falla - Cajamarca 2020.

#### *Específicos*

- Determinar los parámetros de análisis del labio espada del cucharón de la excavadora.
- Establecer el análisis estático por medio de un análisis de métodos finitos con el software Solidworks.
- Realizar el análisis de fátiga por medio de un análisis de métodos finitos Solidworks.
- Identificar las causas del desgaste del labio espada del cucharón de la excavadora.

## II. MARCO TEORICO

Coloma (2017) en su trabajo de titulación "*Simulación de recuperación por método de elemento finito de cucharones para maquinaria de minería*", para obtener el título de Ingeniero Automotriz, nos manifiesta que el cucharón de una excavadora hidráulica es diseñado para realizar aplicaciones de movimientos de tierra de servicio muy pesado y de alta producción, es por ello que se someten a distintos esfuerzos. Se indica que la mayor fuerza se concentra en la parte inferior del cucharón lo cual este elemento tendrá a sufrir desgastes, ocasionando que rompan, es por ello que aquí se determina el problema más común presentado en estas máquinas. Una vez determinado el daño, los cucharones se pueden recuperarse o restablecer para su inmediata operatividad mediante un procedimiento empírico, siendo eficiente en un bajo índice, por tal forma que generará que los cucharones se rompan inesperadamente, a la vez se producirá paradas inesperadas, causando perjuicios económicos y disminuciones en la producción. En el presente trabajo de investigación se desarrolló un análisis como punto de partida seleccionar el material empleado en la recuperación de un cucharón, tomando muestras distintas de partes diferentes del cucharón de la excavadora hidráulica, realizando así ensayos metalográficos, ensayos espectrométricos y ensayos de dureza, así mismo se ejecutó la simulación mediante un Software CAD he aquí se empleó el método de elemento finito en condiciones extremas y evaluando los resultados.

Finalmente concluye que, mediante este tipo de método para estudio, se recomienda que antes de empezar el trabajo en tierra se debe de verificar el estado en cual se encuentra el cucharón, cumplir con normas de seguridad en el trabajo ejecutado con la excavadora hidráulica, muy importante es lubricar los bocines del cucharón antes y después de realizar el trabajo y si la actividad es en terrenos acuosos al menos lubricar cada dos horas.

Olvera (2016) en su tesis "*Diseño de brazo excavador*" para la obtención del título como Ingeniero Mecatrónico, resalta el estudio realizado para un detallado procedimiento para el diseño y generación de un modelo sólido de un brazo de excavadora hidráulica donde indica que el cucharón es la parte de este brazo que

está expuesto al mayor esfuerzo en los trabajos de excavado en tierra, es por ello que sufre más averías constantemente, por lo cual que se ha basado en un conjunto de técnicas para el desarrollo del mismo, buscando cubrir los antecedentes de las necesidades que se presentaron para inicio al trabajo, por ende se inició por realizar un estudio de recopilar información sobre los distintos tipos de máquinas excavadoras, con la finalidad de contar con un panorama de los desarrollos tecnológicos aplicados en la materia de excavación, seguidamente se evaluó una lista de diseños sugeridos para ejecutar el análisis estático de las piezas que compondrán el diseño y mediante un análisis de elemento finito para comprobar la factibilidad de las piezas creadas, no sin pasar por alto las variables de fuerza de excavación, peso total de la estructura y factor de seguridad. Todo ello con el objetivo de mejorar y evitar el desgaste a corto tiempo de trabajo del cucharón ya que es el componente del brazo hidráulico que realiza trabajos de excavación muchas veces con obre esfuerzos.

Villa (2018) en proyecto de tesis "*Estudio de un brazo retroexcavador*" para tener el grado de Técnico Mecánico de Maquinaria Pesada, da a conocer cuán importante es hoy en día el aporte tecnológico que ha permitido al ser humano a desarrollar máquinas que faciliten el trabajo pesado entre alguno ejemplos de estas máquinas tenemos las grúas cargadoras, tractores, compactadoras, bulldozers y como dejar de lado las excavadoras hidráulicas que hoy en día son las más comerciales y empleadas en los distintos trabajos de actividad pesada, es por ello que el objetivo de este trabajo de investigación es el estudio de los principios de funcionamiento ya que estos tienen mucha influencia en el estado de cómo se tenga la maquinaria, enfocándonos en la parte más expuesta a los trabajos difíciles pero no imposibles de un brazo hidráulico que es muy semejante al de una excavadora hidráulica, pues nos referimos al cucharón, componente que para realizar una excavación rigurosa influye mucho la operación de manipular el comando y desprende parte del terreno, pues la bomba hidráulica impulsa el aceite que transmitido a los cilindros lo cual permite la salida del vástago, produciéndose el movimiento del brazo para efectuar su función.

Es por ello que la cuchara debe estar posicionada en un ángulo correctamente, para que así al accionar el actuador hidráulico empuje al cucharón y empiece a



atravesar el suelo, se resalta que la profundidad de excavación depende mucho del tamaño de la cuchara y el trabajo a ejecutar, es de esta forma también como se evita las averías en las estructuras de los cucharones como sus labios o cuchillas es decir a un corto plazo de tiempo en operatividad, además de optar por seleccionar el tipo de cucharones que se debe utilizar según su material de fabricación para cada trabajo en distinto terreno.

*Teorías relacionadas al tema.* - Máquinas de excavación y carga de tierras.

La definición de la palabra excavar tiene un importante significado, pues consiste en realizar un esfuerzo de disgregación de un material sólido, este trabajo con máquinas de excavación mecánica viene desde el siglo XX ya que por razones económicas y para eliminar fatigas físicas que la excavación manual generaba.

- a) *Tipos de máquinas.* - Dentro de los tipos de máquina que realizan el trabajo de evasión en tierra tenemos:



**Figura 1.** Excavadora de empuje. Fuente: Catepillar/C10397793.



**Figura 2. Excavadora. Fuente: <https://www.cat.com/>**

b) *Dimensiones de las máquinas:* La manera de definir su capacidad entre las palas excavadoras o excavadoras de empuje, es evaluando el volumen de su cuchara en metros cúbicos. Siendo tamaños normales de palas con capacidad de cucharón entre las dimensiones de 0.3 y 2.5  $m^3$ .

c) *Tipos de trabajo:* A continuación, se definirán los trabajos efectuados por las distintas variantes de equipos.

- **Excavadora de empuje.** - Máquina diseñada para realizar funciones principales de excavación al igual que una simple pala de mano.
- **La retroexcavadora.** - Al igual que la pala excavadora cumple la misma función, pero su diferencia es que en vez de recoger la tierra encima del nivel de su sistema de sustentación lo realiza en un plano inferior, es por ello que es requerida en excavación de zanjas.

d) Elementos principales de las máquinas de movimiento de tierras.

Las máquinas de movimiento de tierra constan o destacan por sus siguientes partes:

- Superestructura giratoria.
- Base o montaje fijo.
- Herramientas de trabajo.

Para su mejor y más ordenado funcionamiento los mandos de las excavadoras hidráulicas deben responder una serie de condiciones. Entre ellas tenemos:

- Concepción sencilla y robusta.
- Seguridad en el funcionamiento.
- Gran fiabilidad y reparación sencilla.
- Conservación y ligereza en el manejo
- Conservación y entretenimiento reducidos.

e) Características y constitución de las excavadoras.

Compuesto por tres elementos principales:

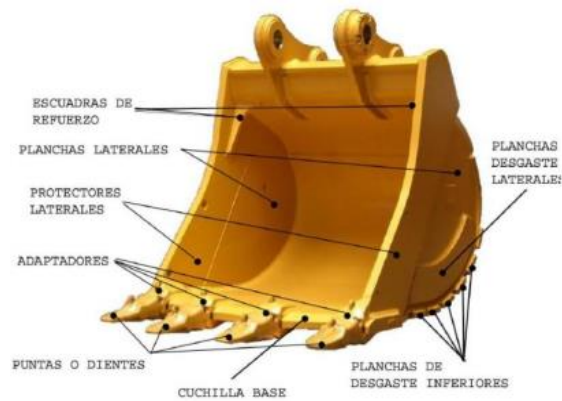
- La pluma; conformada por una viga de acero en cajón manteniendo fija la superestructura giratoria mediante un sistema de cables. Estos cables permiten la variación en cada caso para la inclinación de la pluma antes de proceder el trabajo

- Los brazos; conformado por vigas de cajón, las cuales se deslizan a lo largo de una línea fija de la pluma. indicando que al filo de los brazos va fija el cucharón de cargue.

- La cuchara o cucharón de cargue; se indica que debe ser autolimpiable, siempre en el borde ya que siempre hará contacto con la tierra o roca un sistema de dientes recargables de acero al manganeso; se emplea este material para su construcción del cucharón debido a que es resistente a la abrasión y a la rotura.

f) Partes de un cucharón de excavadora hidráulica.

Teniendo diferentes configuraciones; descarga frontal o por el fondo, diseñados para trabajos en territorio rocoso. En el equipo de excavación frontal se combina dos esfuerzos en los dientes de la cuchara, el de penetración y excavación. Se hace mención de que el esfuerzo de excavación será función de la posición de la cuchara y de las situaciones relativas de las bielas y de las botellas hidráulicas.



**Figura 3.** Partes que conforman el cucharón.

### III. MÉTODOLÓGIA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### **Tipo de investigación.**

La investigación es del tipo **aplicada** ya que los resultados obtenidos se podrán utilizar para solucionar la problemática planteada de manera directa.

##### **Diseño de la investigación.**

La investigación se desarrolla como **no experimental** ya que no se manipularán las variables para de manera deliberada, con esta investigación se observará las variables tal y cual se presentan en su contexto natural donde se analizaron.

#### 3.2. Operacionalización de variables

##### **Variable independiente.**

Fuerzas que generan desgaste en el cucharón

##### **Variable dependiente.**

Aumentar el tiempo de vida útil

#### 3.3. Población, muestra y muestreo

##### **Población y muestreo.**

La población y muestra serán el cucharón de la excavadora 320D – CAT,

##### **Muestreo.**

El muestreo se realizó de manera **no probabilística** donde como investigador se seleccionó la muestra basada en su juicio subjetivo en lugar de hacer la selección al azar. Este muestro se realizó a **juicio o intencional** donde se estableció la muestra basándose en el conocimiento que se desarrolló durante la formulación del proyecto para esta investigación.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Las técnicas que se utilizan son:

**Observación directa.** - por medio de esta técnica se registraron las formas del cucharón espada para poder determinar las características de aplicación de las fuerzas y resultantes cuando se trabaje con el cucharón debido a que estos modelos no pueden obtenerse por parte del fabricante debido a que los detalles de este tipo son información muy recelada.

**Análisis de documentos.** - esta técnica sirvió para determinar por parte de la revisión de investigaciones antecedentes a este, los datos como las fuerzas a las trabaja las máquinas, además del material y sus características de fluencia y densidad.

**Tabla 1.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

*Fuente: Propia*

Técnicas	Instrumentos	Objetivo
Observación directa	Ficha de análisis de geometría	Registrar las medidas de la geometría de la pala de la excavadora 320D-CAT
Análisis de documentos	Ficha de análisis de documentos	Se utilizó para registrar datos sobre el análisis de los resultados que se hayan conseguido en otras investigaciones.

#### **Validez.**

La validez de los instrumentos se determinó durante el proyecto de esta investigación donde se estableció como aprobara por la opinión de especialistas en el campo de diseño mediante su aprobación durante a la presentación del proyecto de investigación.

## **Confiabilidad.**

La confiabilidad estableció también desde el proyecto de la investigación donde se planteó establecer la confiabilidad de los datos por medio de una declaración jurada anexada a esta investigación por parte del tesista donde se estipula que todos los datos son fidedignos y veras bajo responsabilidad directa del investigador.

### **3.5. Procedimientos**

Para desarrollar la toma de datos se utilizó una ficha de observación directa y dos fichas de revisan de documentos:

- Se midió la geometría de la pala de la excavadora 320D-CAT por medio de una guincha métrica.
- Se determinó las propiedades o características mecánicas del material según el análisis de documentos sobre el acero utilizado en la construcción de la pala.
- Se determinó por medio de análisis de documentos la fuerza generada por la pala para el análisis de las deformaciones del labio espada.



**Figura 1.- Toma de medidas del cucharón. Fuente: Propia**

### **3.6. Métodos de análisis de datos**

El método utilizado fue un método numérico establecido por un software que calcula y registra el movimiento a un nivel programado de las deformaciones del material. Además, se utilizó estadística descriptiva para mostrar los resultados de la investigación.

### **3.7. Aspectos éticos**

Se analizaron los datos a la luz de los principios éticos estos no serán alterados, serán reales no forzados o plagiados no atentarán con la información y nuestros principios.



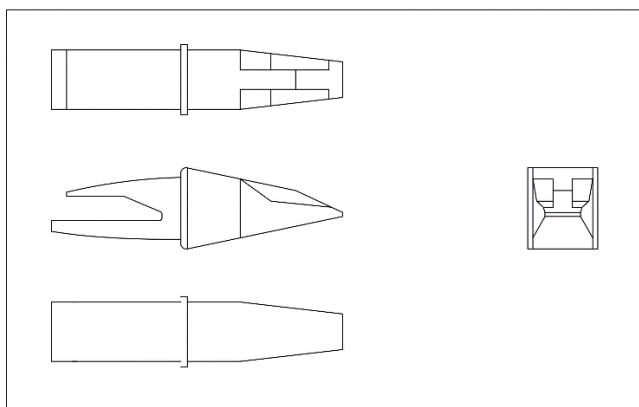
## IV. RESULTADOS

### 4.1 Determinar los parámetros de análisis del labio espada del cucharón de la excavadora.

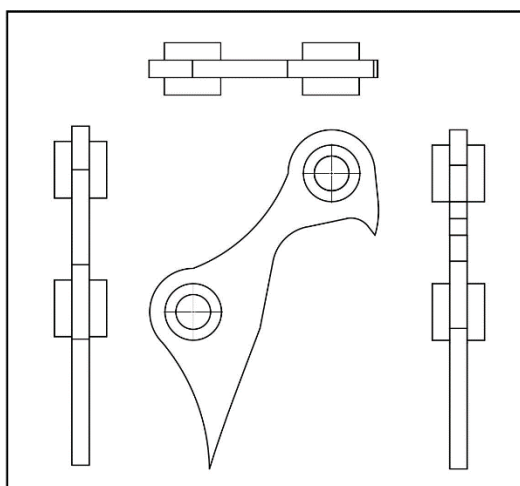
Para generar el análisis del labio espada del cucharón de la excavadora 320 D se determinó los siguientes parámetros.

#### a) Geometría de la pala

Las medidas del cucharón de la excavadora hidráulica 320D se muestran en el anexo 4 establecidas de acuerdo a las mediciones que se realizaron del cucharón en físico para poder describirlo y poder esquematizarlos y dibujarlo en el programa se necesitó el mayor detalle posible, se dividió el cucharón en tres partes:

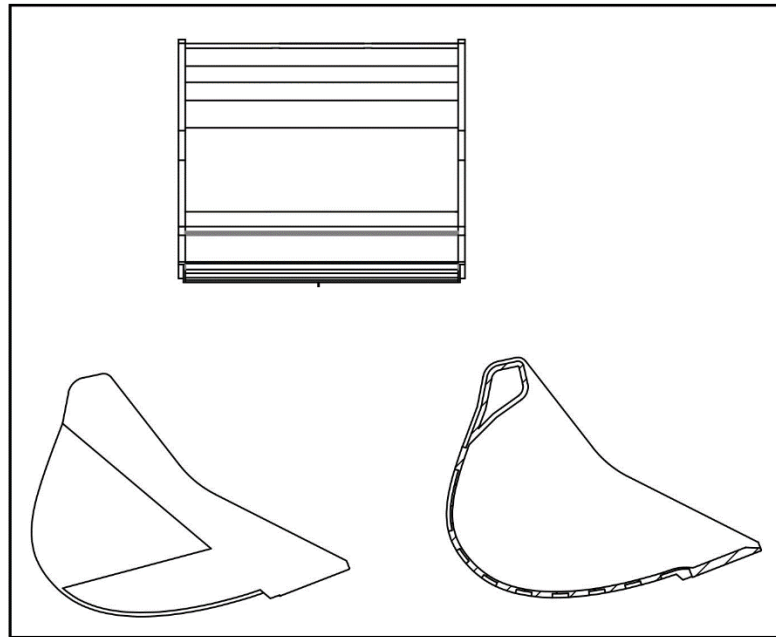


**Figura 2.- Cuchilla del cucharón de la excavadora 320D – CAT Fuente: Propia**



**Figura 3.- Bisagra del cucharón 320D-CAT.**

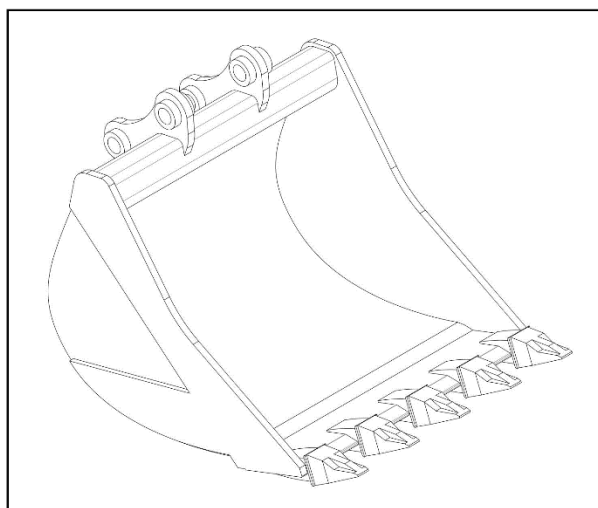
Fuente: Propia



**Figura 4.-** Cuchara del cucharón de la excavadora 320D-CAT.

Fuente: Propia

Aunque no son partes identificables por alguna documentación se nombraron según los documentos extenientes sobre partes de cucharones. Las medidas se tomaron por medio de vernier y guincha manual teniendo que completar las medidas durante el proceso de diseño con el software.



**Figura 5.-** Cucharón completo de la excavadora 320D-CAT.

Fuente: Propia

**b) Material con el que está construido**

El material que se tuvo en cuenta es el material que se estableció según la investigación de Coloma donde muestra las características del acero AISI 1522 que es el material del cual se constituyó el cucharón de la excavadora hidráulica 320.

**Tabla 2.- Características del acero AISI 1522.**

*Fuente:* (Coloma Morales, 2014)

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	7.7 – 8.03	Kg/m <sup>3</sup>
Módulo de Poisson	0.25	
Módulo de elasticidad	190 - 210	Gpa.

Considerando estos dos parámetros el software SolidWork nos brinda las características de la pieza considerando las medidas y el material.

**Tabla 3.- Propiedades físicas del cucharón de la excavadora 320D-CAT. Fuente: Propia**

MASA		193580.28 gr	1935.8028 Kg
VOLUMEN		19358027535 mm <sup>3</sup>	19.3580275 m <sup>3</sup>
AREA DE SUPERFICIE		15468898.69 mm <sup>2</sup>	1546.88987 m <sup>2</sup>
CENTRO DE MASA	X	828.91 mm	0.82891 m
	Y	516.43 mm	0.51643 m
	Z	-695.52 mm	-0.69552 m
EJES DE INERCIA	Ix	0.87,-0.49,-0.00	
	Iy	00.00, 0.00, -1.00	
	Iz	0.49, 0.87, 0.00	
MOMENTOS DE INERCIA	Px	67124571170.65 gr . mm	67124.5712 Kg m
	Py	90887720806.47 gr . mm	90887.7208 Kg m
	Pz	121243770602.00 gr . mm	121243.771 Kg m

### **c) Fuerzas aplicadas**

El material que se usa sobre el cual trabaja la pala es cualquier terreno para el que se contrate, no tiene restricciones de ningún tipo, puede trabajar con arena, con tierra, agregados o incluso mezclas de material, pero el condicionante que se determinó para analizar el desgaste no es la textura ni la fricción del material sino el esfuerzo con el que trabaja por lo que se referencia a la fuerza máxima que puede generar la máquina.

Según la investigación que se muestra como antecedente establecida por Coloma se determina que la fuerza que se genera en el labio se establece de acuerdo a la fuerza que puede generar el cilindro hidráulico con el cual se produce una fuerza de excavación de 133,4 KN, la investigación de Coloma argumenta que esta fuerza se puede encontrar en las fichas de la excavado y los manuales de la misma siendo su referente el catálogo de Hyundai – 210LC-9.

Hyundai – 210LC-9 se tomó esta esta fuente, aunque la maquina es Caterpillar por las características de operación similares ya que la diferencia radica no tanto en la fuerza sino en la en la forma de la cuchara.

#### **4.2 Establecer el análisis estático por medio de un análisis de métodos finitos con el software Solidworks.**

Como se establecen en los objetivos específicos se realiza el análisis estático para después realizar el análisis de fatiga este análisis se realizó de acuerdo a la metodología de elementos finitos proponiendo los escenarios que se pueden presentar durante el trabajo de la maquina ya que no existe normativa al respecto para ejecutar el análisis.

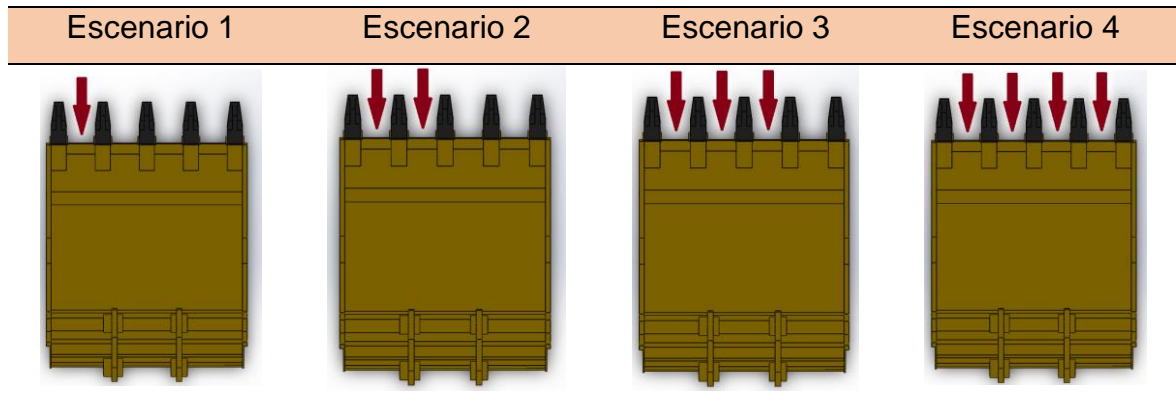
El ángulo de la pala no se tomó en referencia debido a que la posición de la fuerza que se establece en los análisis es la posición de reacción de la fuerza que ejerce la pala, dicha fuerza ingresa de manera perpendicular a la superficie como se ve en los análisis siguientes por lo que no importa el ángulo, debido a que la fuerza que se registra es la máxima perpendicular a la superficie del labio.

**a) Análisis de fuerza máxima por labio**

Este análisis estático se estableció primero cuatro escenarios considerando la aparición de la máxima carga que puede generar la excavadora y la manera en que dicha carga podría presentarse en la pala, los escenarios según la fuerza que se genera en el labio espada se establecen como sigue:

**Tabla 4.- Escenarios en los que se realizó el análisis estático**

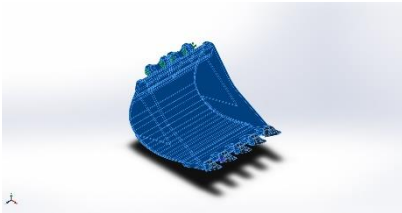
**a) Análisis de fuerza máxima por labio. Fuente: Propia**



El Acero AISI 1522 que es el material con el que se construye la cuchara y para el análisis se considera como un material isotrópico elástico lineal es decir en el que las propiedades de este no varían con la dirección para así poder tener las condiciones del material como módulo elástico, un coeficiente de Poisson igual en todas las direcciones de la cuchara. Considerando que este material es un material dúctil se establece el criterio de falla para materiales dúctiles de tensiones de Von Mises así se calculara las tensiones generadas por las fuerzas aplicadas en el cucharón y se coparan con el límite de fluencia del material para determinar los factores de seguridad:

Tabla 5.- *Propiedades del material utilizado para el análisis de la pala.*

Fuente: Propia

Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: <b>AISI 1522</b>
	Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b>
	Criterio de error: <b>Tensión de von Mises</b>
	predeterminado: <b>máx.</b>
	Límite elástico: <b>3.51571e+008 N/m<sup>2</sup></b>
	Límite de tracción: <b>4.20507e+008 N/m<sup>2</sup></b>
	Módulo elástico: <b>2e+011 N/m<sup>2</sup></b>
	Densidad: <b>8.03 kg/m<sup>3</sup></b>
	Módulo cortante: <b>7.3077e+010 N/m<sup>2</sup></b>

El sólido se sujetó de las bisagras como se describe.

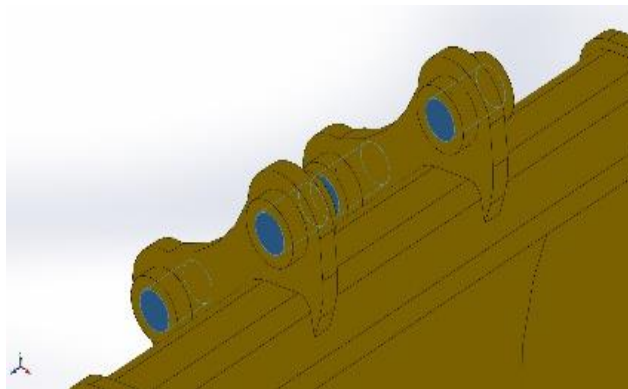


Figura 6.- Sujeciones para el análisis de la pala.

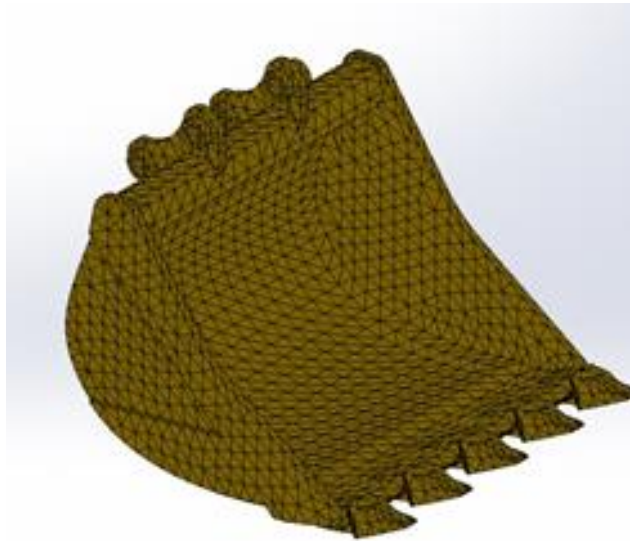
Fuente: Propia

Para realizar el análisis por métodos numéricos se malló el elemento con las características siguientes:

Tabla 6.- *Parámetros del mallado para el análisis estático.*

*Fuente: Propia*

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	79.2857 mm
<b>Tolerancia</b>	3.96428 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden
<b>Número total de nodos</b>	22679
<b>Número total de elementos</b>	11402
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	36.297
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	32.8
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	5.31
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0



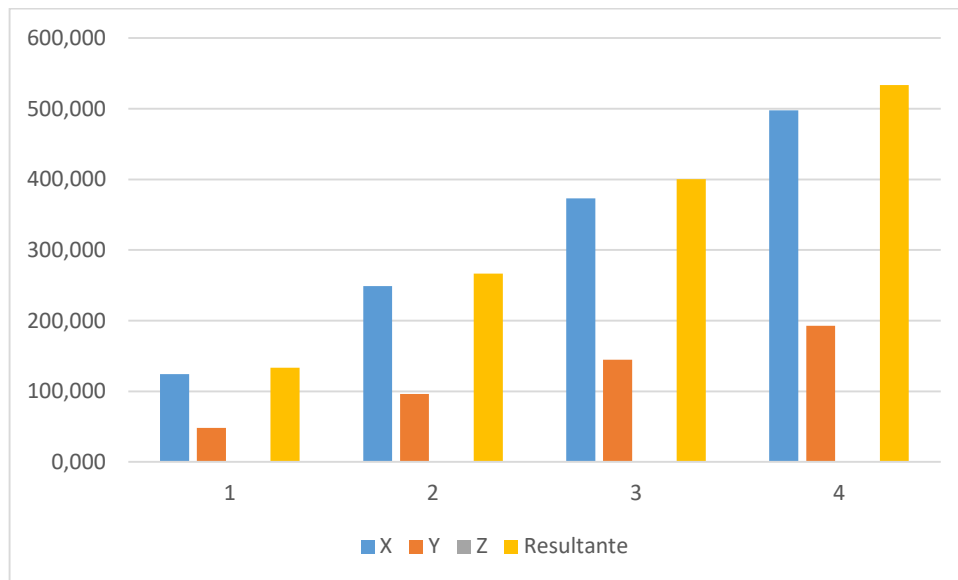
*Figura 7.- Mallado de la pala. Fuente: Propia*

Las fuerzas de reacción que se generaron en los cuatro escenarios fueron:

**Tabla 7.- Fuerzas de reacción generadas en las bisagras de la pala. Fuente: Propia**

Escenario	X	Y	Z	Resultante	Unidades
1	124.375	48.165	0.011	133.376	kN
2	248.773	96.377	0.002	266.790	kN
3	373.151	144.511	0.001	400.157	kN
4	497.568	192.679	0.025	533.572	kN

Se muestra el grafico de la tabla 7 para una mejor comprensión de la evolución de las reacciones en la pala.



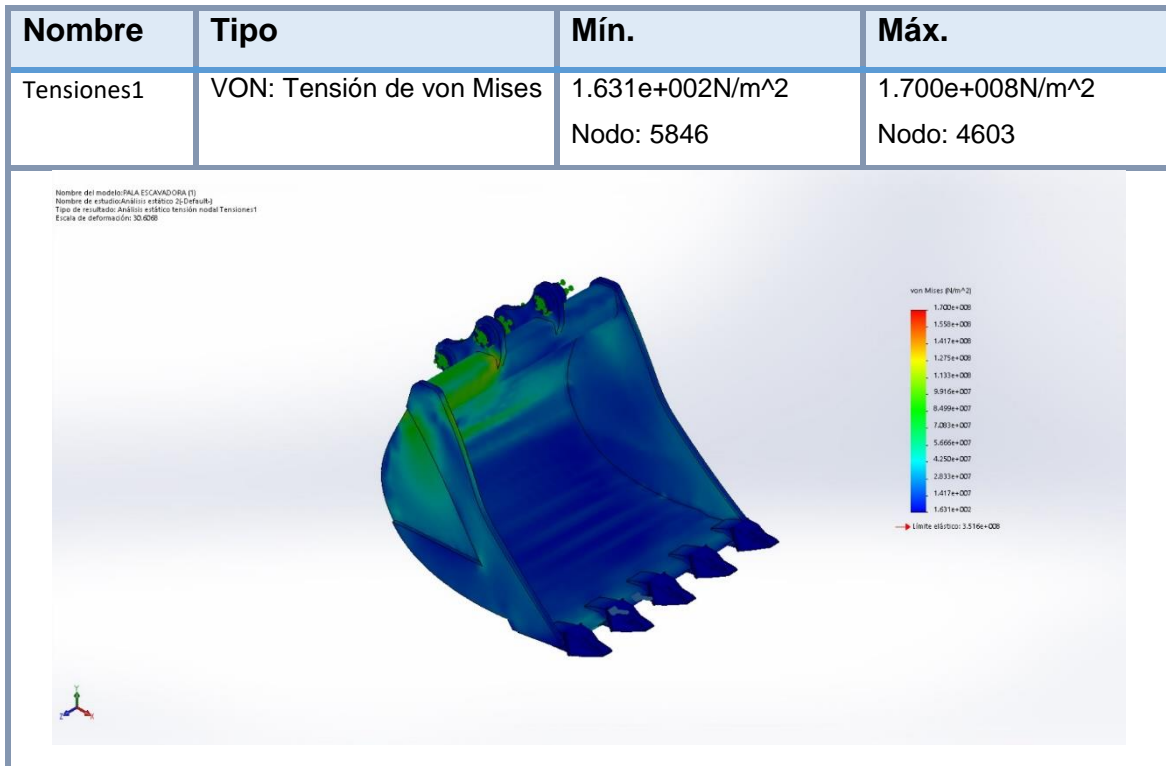
**Figura 8.- Grafico de las reacciones en las bisagras según los escenarios y los ejes donde se presentan. Fuente: Propia**

Se puede apreciar que en considerando con los ejes X y Y las fuerzas de reacción en el eje Z son despreciables por lo que no tienen relevancia en la resultante, mientras que en los cuatro escenarios las reacciones en el eje X son las que más aportan en la generación de la fuerza de reacción resultante.

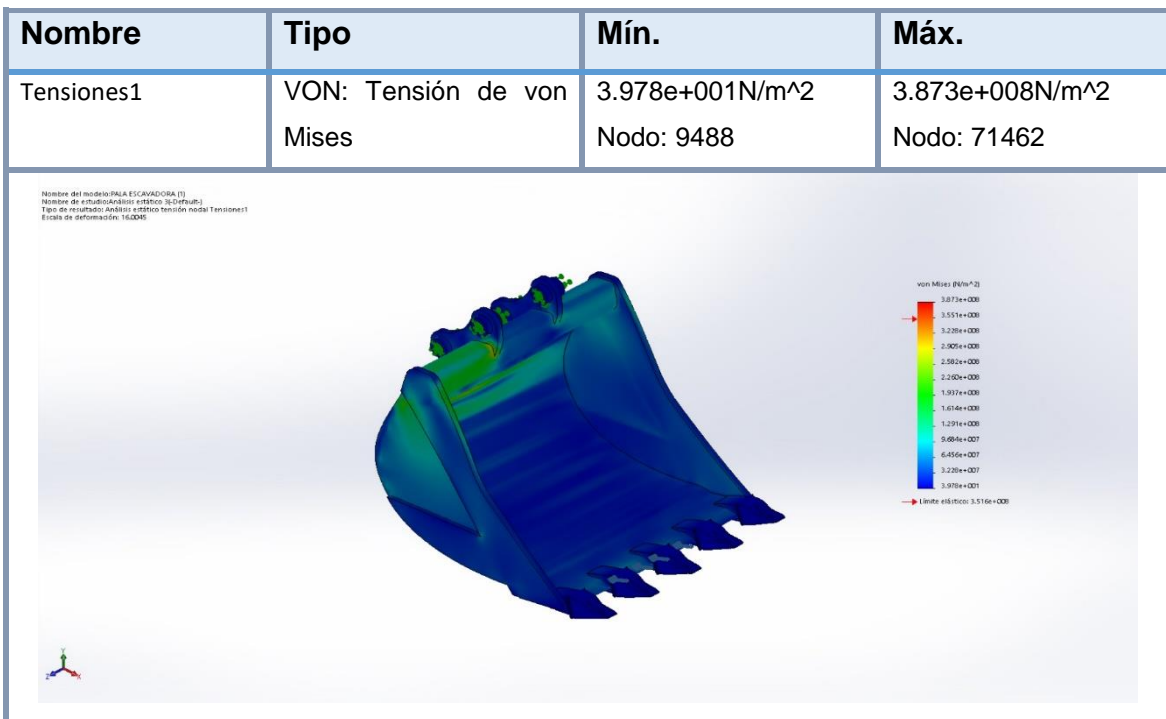
Los esfuerzos que se generan por las fuerzas aplicadas a cada escenario se llaman en diseño tensiones Von Mises por lo que se presentan las mencionadas en los siguientes gráficos.



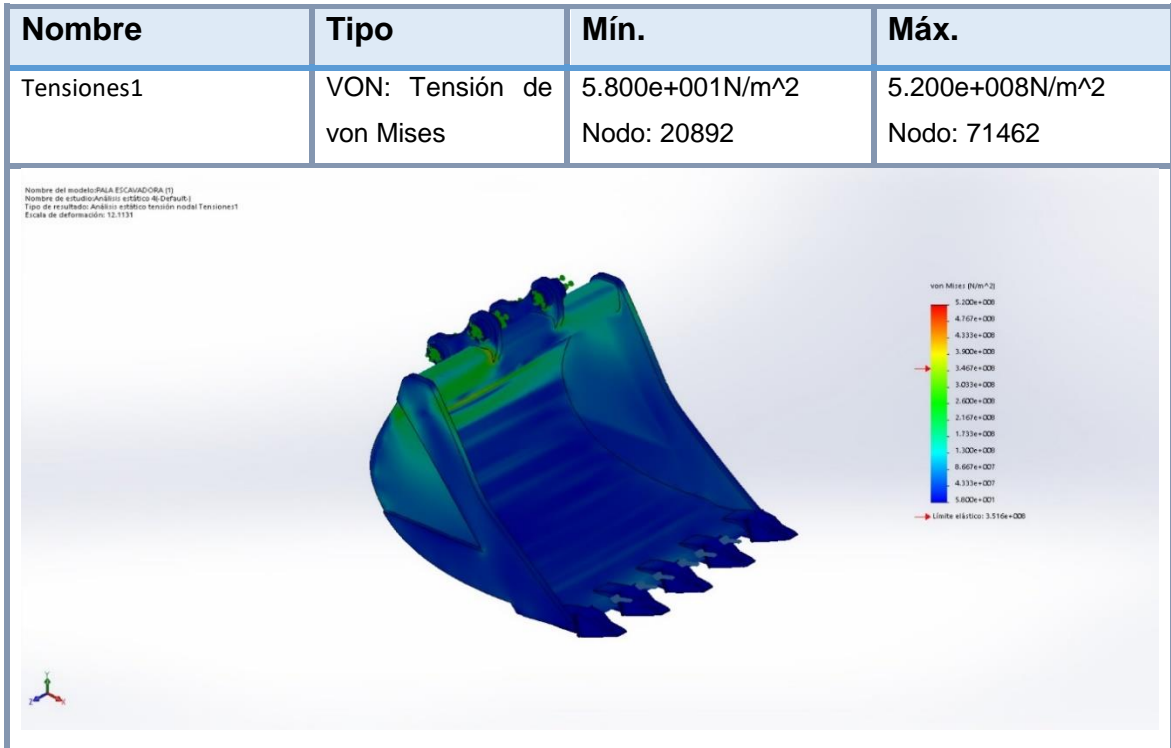
**Tabla 8.- Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el primer escenario. Fuente: Propia**



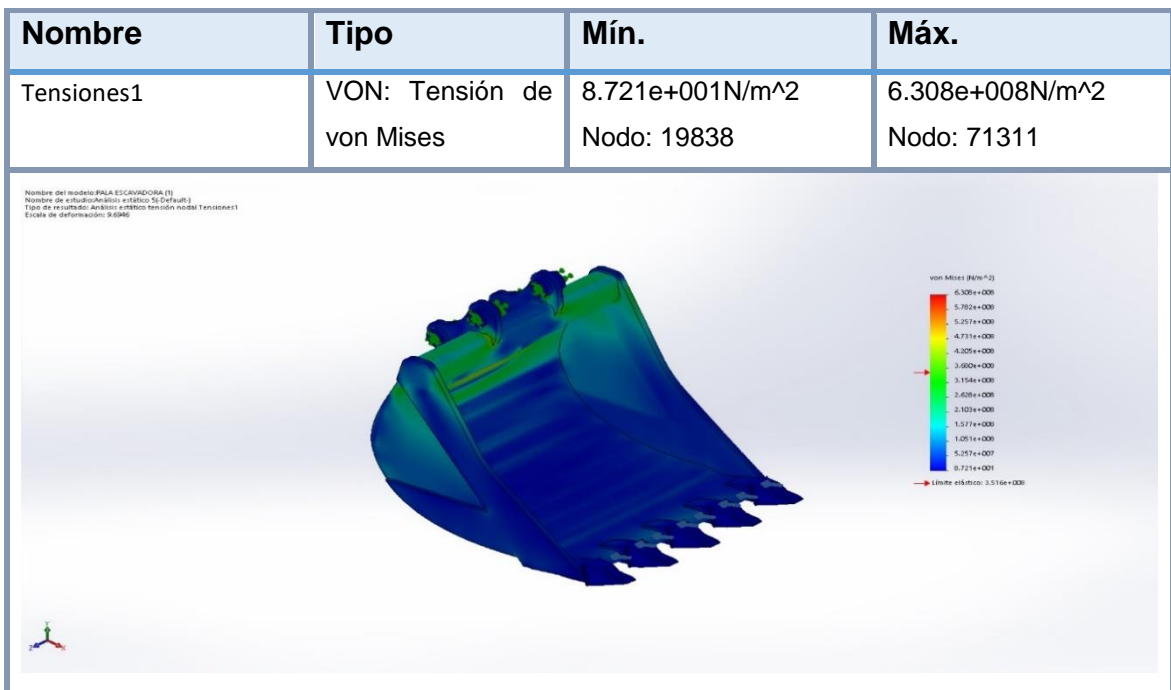
**Tabla 9.- Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el segundo escenario. Fuente: Propia**



**Tabla 10.- Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el tercer escenario. Fuente: Propia**



**Tabla 11.- Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el cuarto escenario. Fuente: Propia**

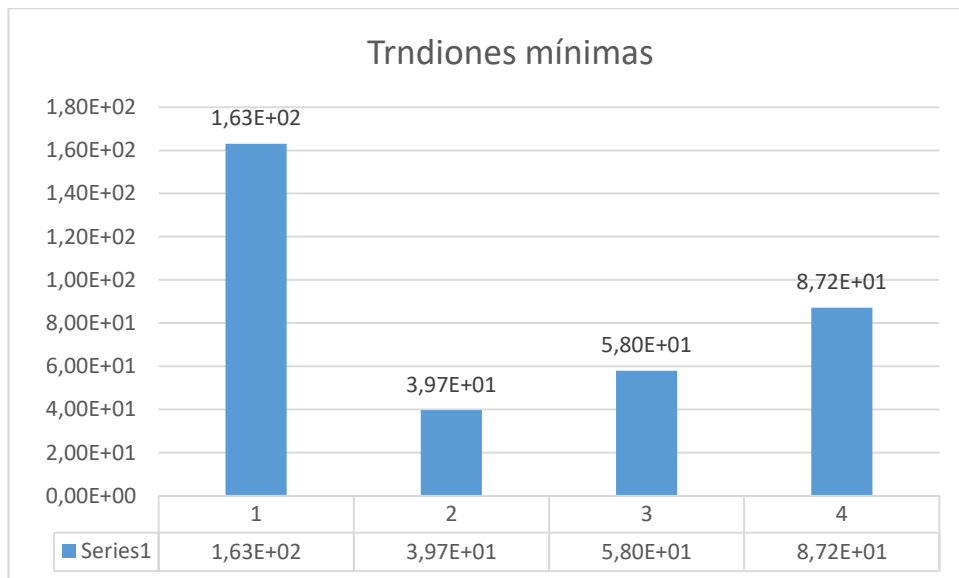


Los valores máximos y mínimos de estas tensiones se muestran en la siguiente tabla:

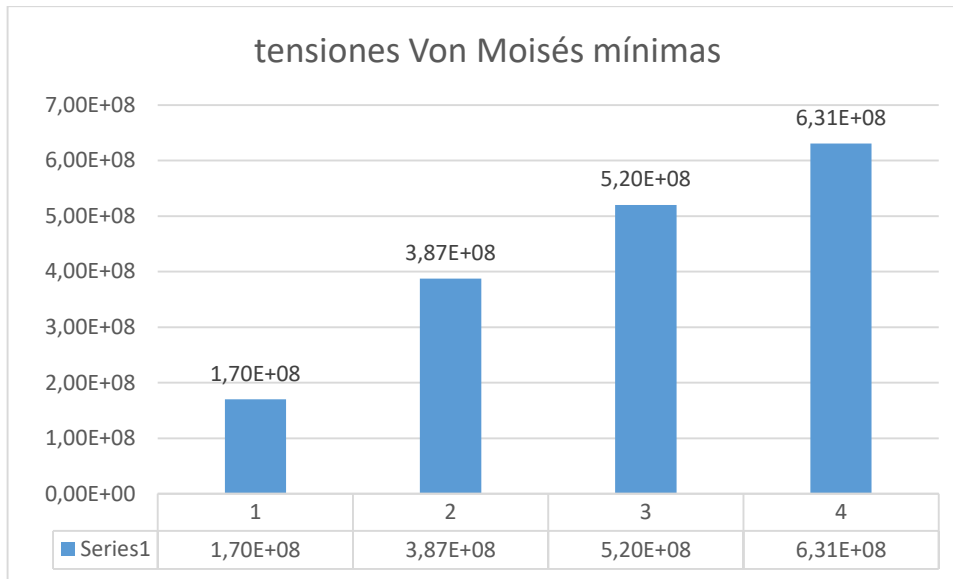
**Tabla 12.- Tensiones Von Mises generadas por las fuerzas de cada escenario. Fuente: Propia**

Condición	1	2	3	4	Unidades
Mínima	$1.63 \times 10^2$	$3.97 \times 10^1$	$5.80 \times 10^1$	$8.72 \times 10^1$	N/m <sup>2</sup>
Máxima	$1.70 \times 10^8$	$3.87 \times 10^8$	$5.20 \times 10^8$	$6.31 \times 10^8$	N/m <sup>2</sup>

Así tenemos que para las tensiones mínimas.



**Figura 9.- Grafico de las tensiones Von Moisés mínimas generadas en la pala de acuerdo a cada escenario. Fuente: Propia**



**Figura 10.- Grafico de las Tensiones Von Misés máximas generadas en la pala de acuerdo a cada escenario. Fuente: Propia**

Como se puede observar las tensiones máximas siguen un aumento evolutivo gradual de acuerdo al cambio de escenario que confiere un aumento de fuerza de trabajo de la pala mientras que los esfuerzos mínimos el primer escenario donde se aplica menos fuerza genera un esfuerzo Von Mises menor a los siguientes que si se muestran con una evolución acorde con el aumento de fuerza. Para los efectos de análisis las tensiones mínimas no son relevantes ya que el material debe soportar la máxima tensión así que la atención se dirige a la figura 10 donde se puede apreciar que, debido a la forma y composición de la pala, las tensiones se irán incrementando de manera gradual como se mencionó, pero no de una forma proporcional como se muestra en la siguiente tabla que muestra el porcentaje de aumento de fuerza en comparación con la anterior.

**Tabla 13.- Aumento proporcional de las tensiones Von Mises máximas. Fuente: Propia**

Escenario	Máxima	Incremento
1	$1.70 \times 10^8$	0%
2	$3.87 \times 10^8$	128%
3	$5.20 \times 10^8$	34%
4	$6.31 \times 10^8$	21%

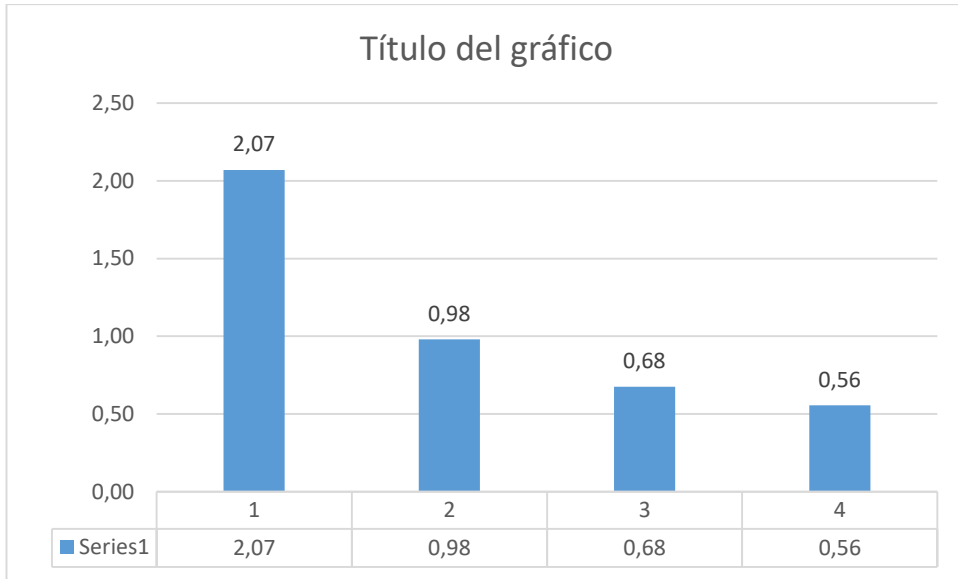
Como se puede observar en la tabla 13 el incremento de la tensión Von Mises del primer escenario al segundo es del 128% es decir un aumento en más del doble que en el primer escenario cuando la fuerza solo se ha duplicado, de este segundo escenario al tercero solo aumento 34% recordando que en el tercer escenario la carga se triplica y en comparación del tercer escenario con el cuarto solo se aumenta el 21% aun considerando que en este escenario la carga se cuadruplico. Esto se da por la posición de aplicación de la carga el desbalance que existe entre el primer escenario que soporta la carga completamente en un solo labio y el cuarto escenario que, si bien soporta cuatro veces la carga del primero, pero en todos los labios le la cuchara es lo que incide para la generación de las tensiones Von Mises.

Los análisis de los factores de seguridad se muestran a continuación también en un intervalo de mínimo y máximo:

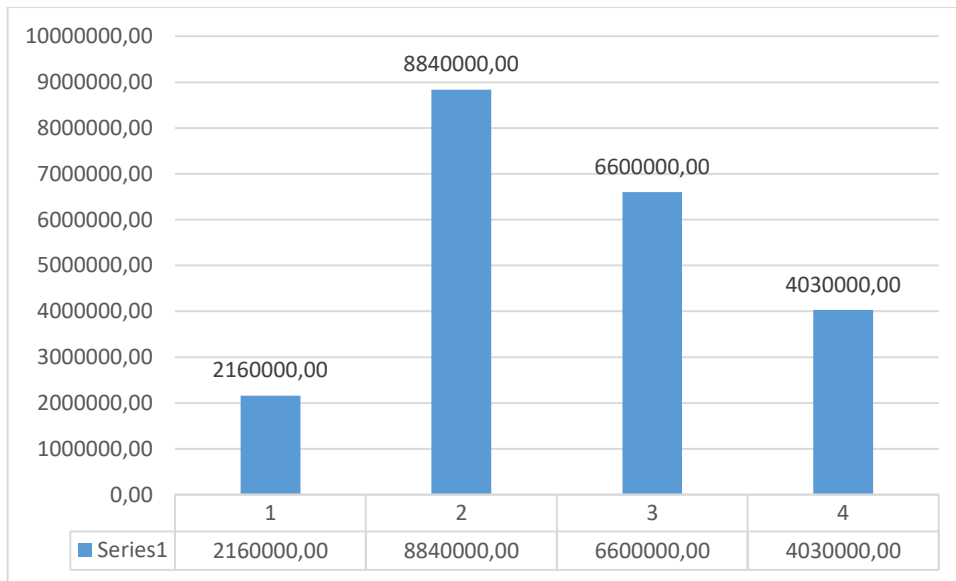
**Tabla 14.- Factores de seguridad según escenario. Fuente: Propia**

Condición	1	2	3	4
Mínima	2.07	0.98	0.68	0.56
Máxima	2160000.00	8840000.00	6600000.00	4030000.00

Como se muestra los factores de seguridad solo en el primer escenario se podría considerar que la pala se establece como segura ya que el concepto de diseño determina que un factor de seguridad mínimo en diseño mecánico debe de ser de dos, pero en los otros tres escenarios.



**Figura 11.- Grafico de la evolución de los factores de seguridad mínimos según el cambio de escenario. Fuente: Propia**



**Figura 12.- Grafico de la evolución de los factores de seguridad máximos según el cambio de escenario. Fuente: Propia**

En los gráficos se puede apreciar que el factor de seguridad mínimo va decreciendo consecuentemente al aumento de la fuerza, aunque disminuye a más de la mitad cuando la fuerza es el doble debido al escenario 2, mientras que en los factores de seguridad máximos el factor de seguridad máximo del

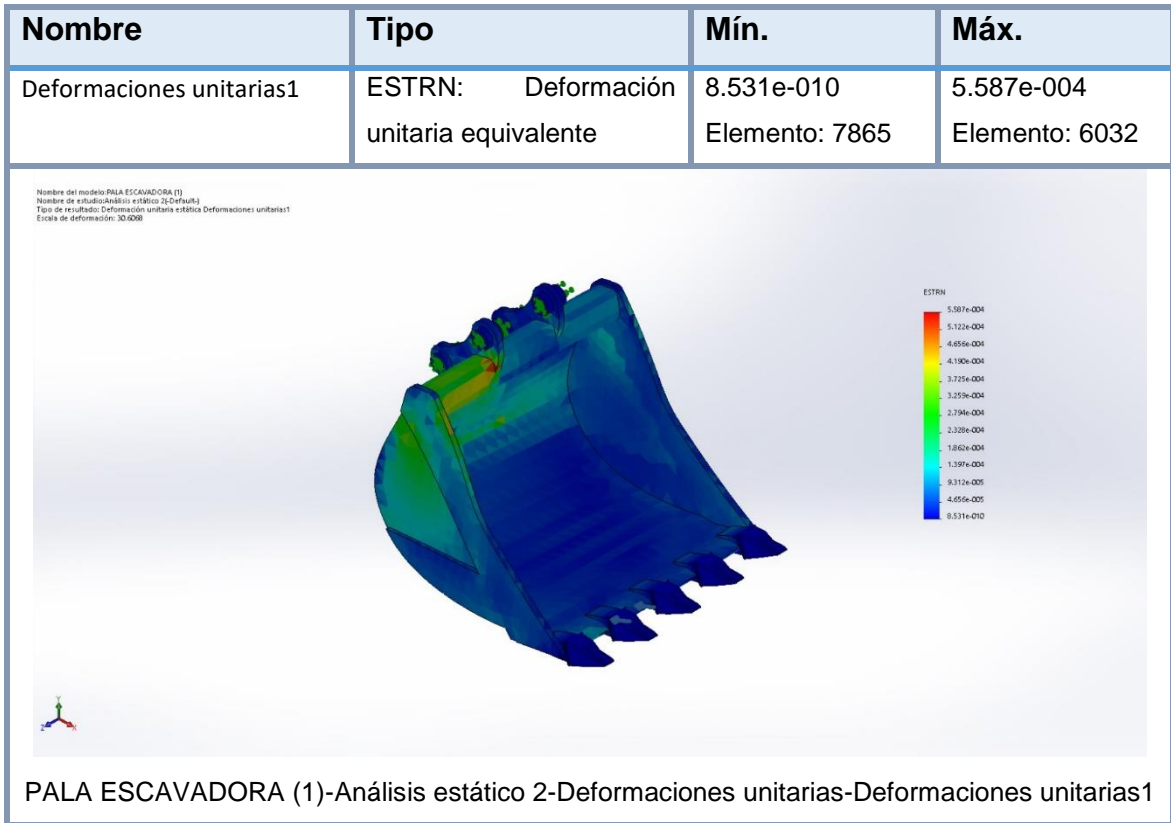
primer escenario es el menor de todos, aunque en este escenario se utilice menos fuerza que en los demás.

A diferencia de los esfuerzos en donde era de mayor interés los esfuerzos máximos en el caso del factor de seguridad que establece cuanto del esfuerzo que se genera es el que se puede soportar los de mayor interés son los factores de seguridad mínimos así se establece cuanto es lo mínimo que podría soportar en comparación del esfuerzo von mises máximo.

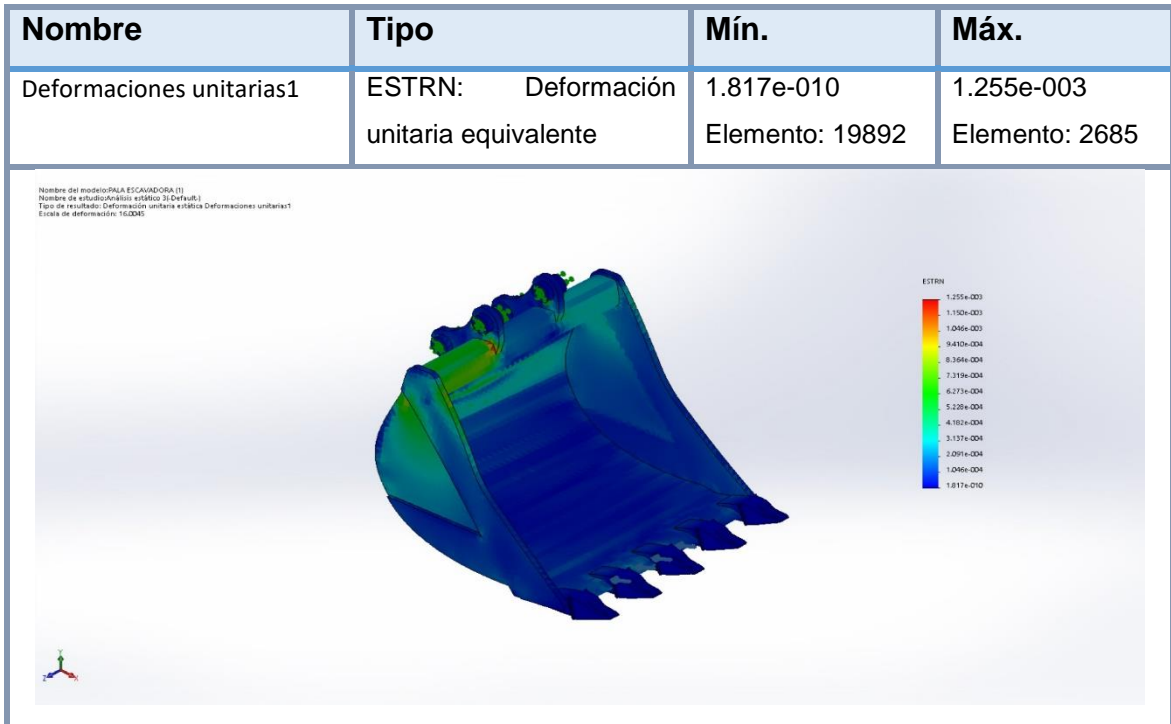
Es decir, según la figura 11 cuando se da el primer escenario se desarrolla un factor de seguridad mínimo de 2.07 lo que significa que el sólido soporta como mínimo más del doble del esfuerzo Von Mises máximo considerando el esfuerzo de fluencia del material. Es decir que el esfuerzo de fluencia es 2.07 más que el máximo esfuerzo Von Mises generado, en los otros tres escenarios se puede apreciar que el factor de seguridad es menor a uno lo que indica que el sólido no soportaría los esfuerzos Von Mises máximos que se generan el provocando deformación permanente en el sólido por lo que se considera que estos escenarios no deben presentarse durante el trabajo de la cuchara.

Se realizó el análisis de deformaciones teniendo:

**Tabla 15.- Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el primer escenario. Fuente: Propia**

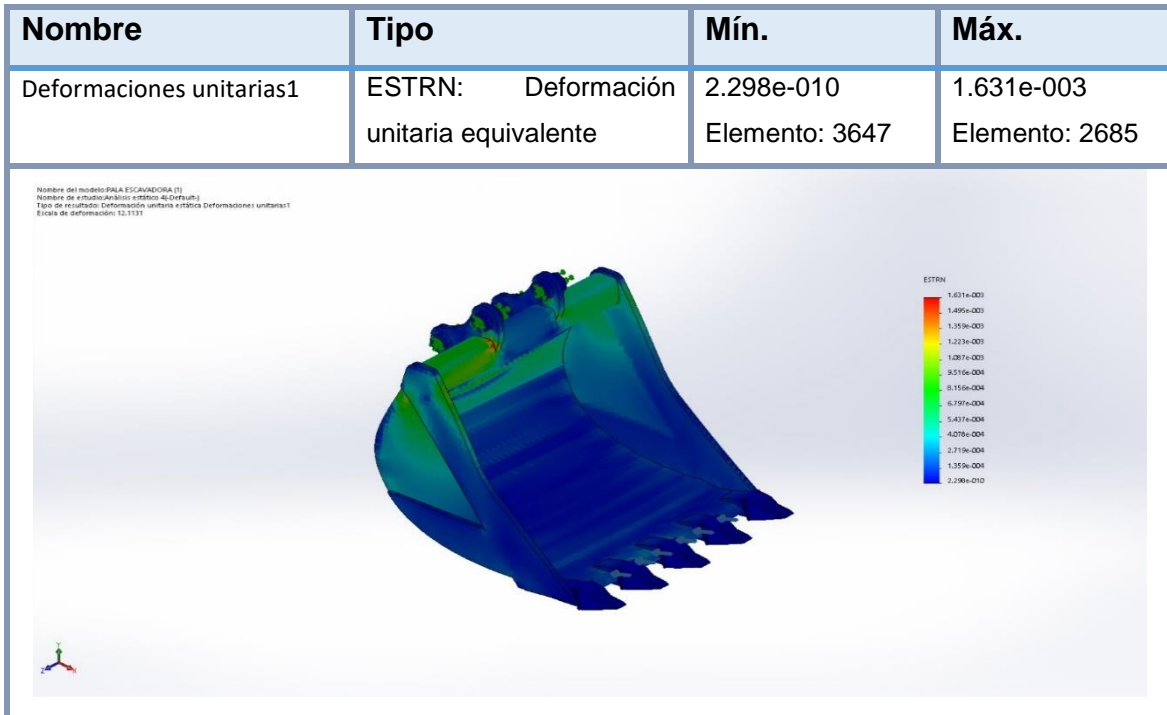


**Tabla 16.- Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el segundo escenario. Fuente: Propia**

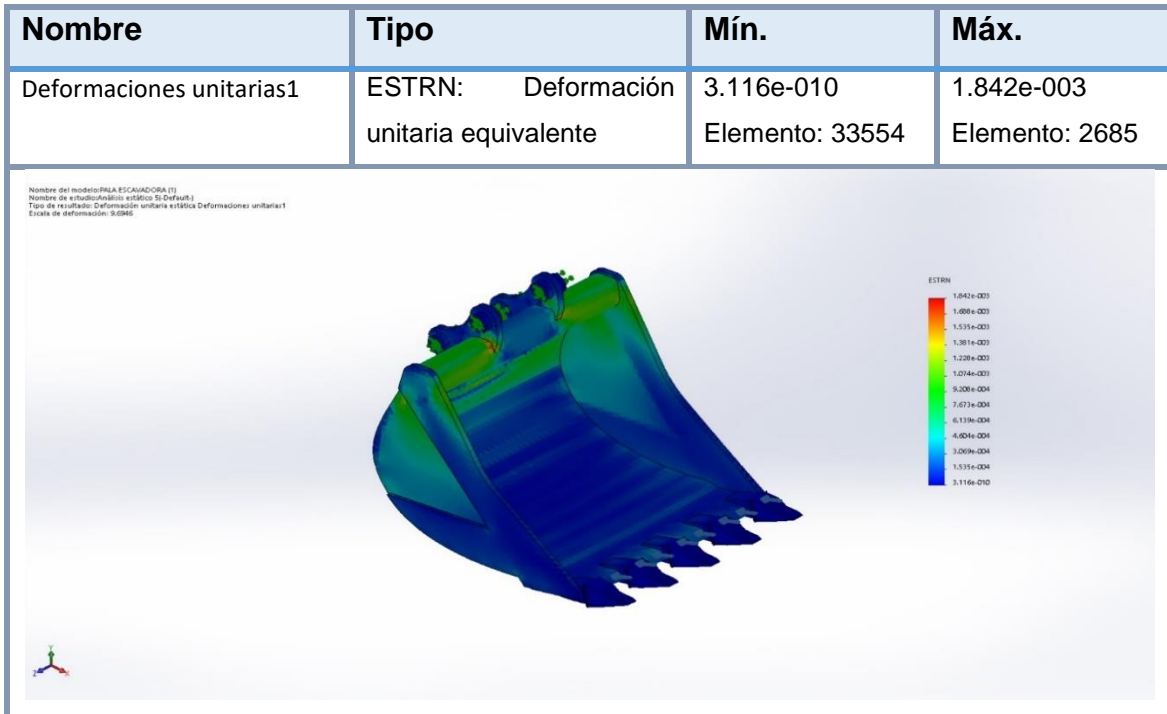




**Tabla 17.- Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el segundo escenario. Fuente: Propia**



**Tabla 18.- Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio en el cuarto escenario. Fuente: Propia**

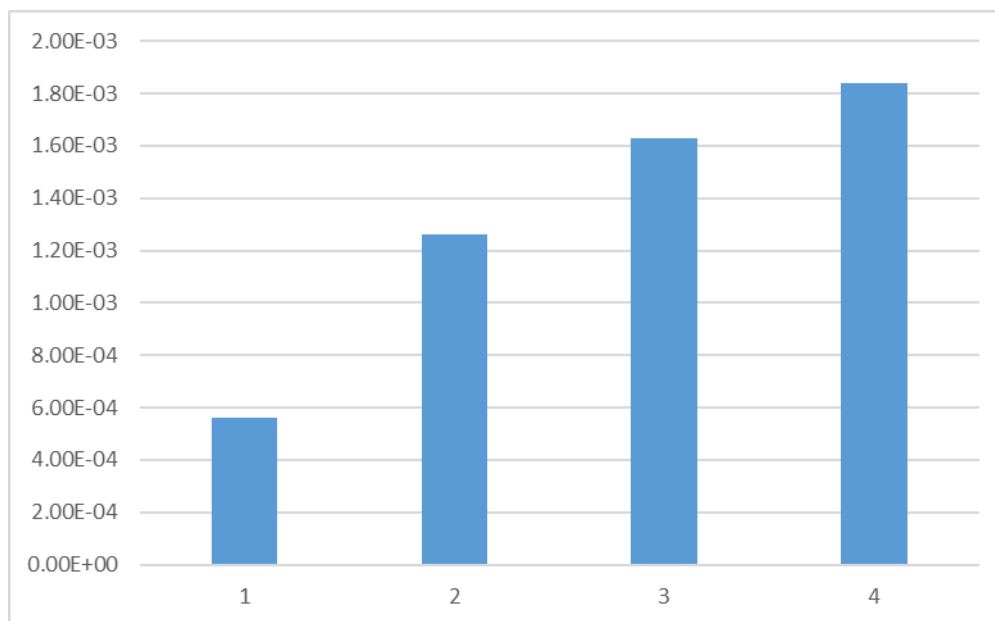


Estas deformaciones se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 19.- Deformaciones unitarias generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio. Fuente: Propia**

Condición	1	2	3	4
Mínima	$8.53 \times 10^{-10}$	$1.82 \times 10^{-10}$	$2.30 \times 10^{-10}$	$3.12 \times 10^{-10}$
Máxima	$5.59 \times 10^{-4}$	$1.26 \times 10^{-3}$	$1.63 \times 10^{-3}$	$1.84 \times 10^{-3}$

En esta característica los valores que son de relevancia son los valores máximos y se pueden apreciar en la siguiente figura:



**Figura 13.- Evaluación de las deformaciones máximas generadas en la pala utilizando la fuerza máxima por labio. Fuente: Propia**

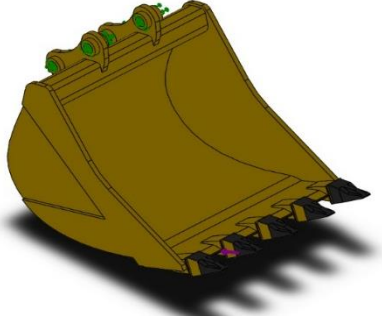
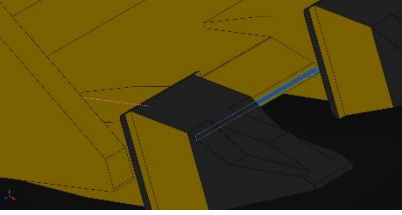
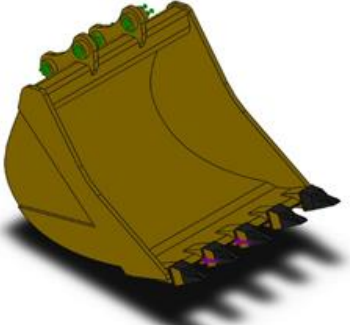
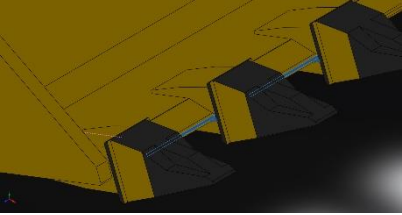
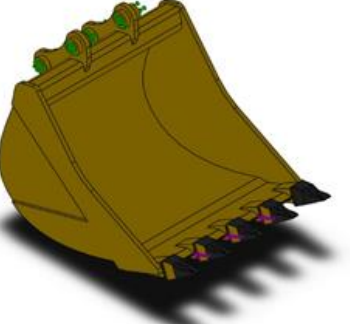
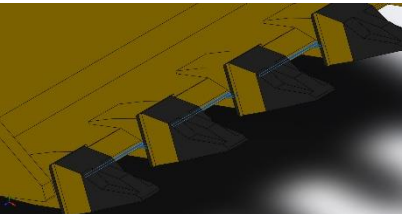
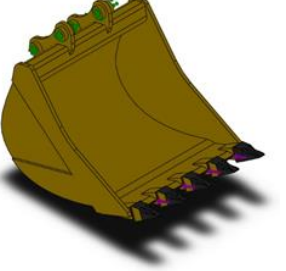
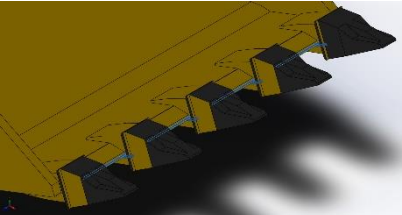
Se puede apreciar algo correspondiente a la lógica, mientras más fuerza se aplique a la pala mayor serán la deformación que se genere por lo que en el cuarto escenario se puede ver que la deformación unitaria es la máxima debido a que en este escenario se utiliza cuatro veces la fuerza máxima de la pala.

#### **b) Análisis bajo fuerza de trabajo distribuida**

Este análisis se desarrolló bajo la fuerza de trabajo como fuerza máxima en los labios del cucharón, la consideración que se toma es que esta fuerza es la máxima

y se distribuirá en todos los labios donde se esté aplicando así se propone nuevamente cuatro escenarios.

**Tabla 20.- Escenarios en los que se realizó el análisis estático bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia**

<p>Escenario 1</p>		
<p>Escenario 2</p>		
<p>Escenario 3</p>		
<p>Escenario 4</p>		

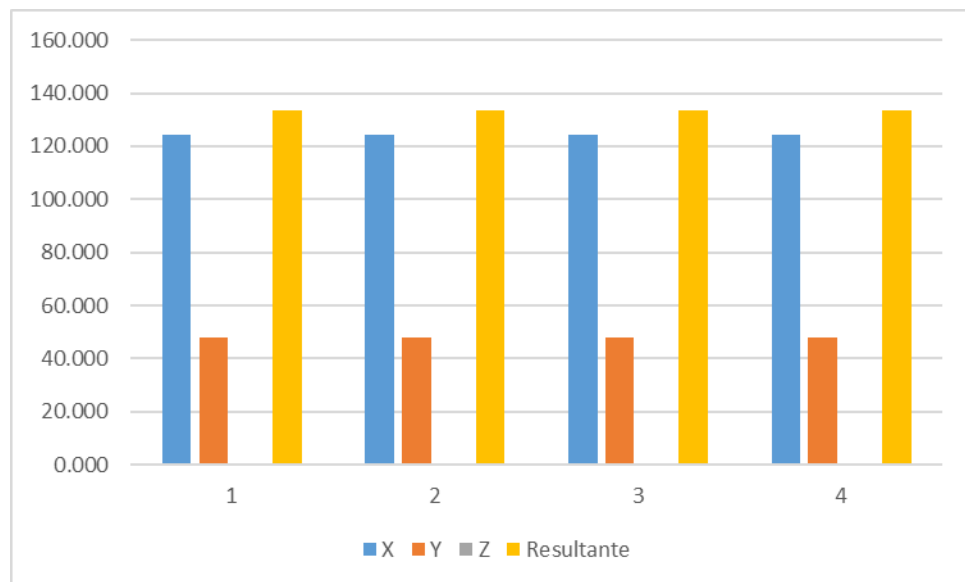
El análisis estático se formuló con las mismas características del análisis anterior es decir según lo planteado para la “Fuerza Máxima en el Labio” teniendo así las mismas características para el material y criterio de falla para el análisis.

La fuerza resultante evoluciono como se muestra:

**Tabla 21.- Fuerzas de reacción generadas en las bisagras de la pala para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia**

Escenario	1	2	3	4	Unidades
X	124.375	124.387	124.384	124.392	kN
Y	48.165	48.189	48.171	48.170	kN
Z	0.011	0.001	0.000	0.006	kN
Resultante	133.376	133.395	133.386	133.393	kN

En el grafico se muestra de manera más visual la evolución de la fuerza.



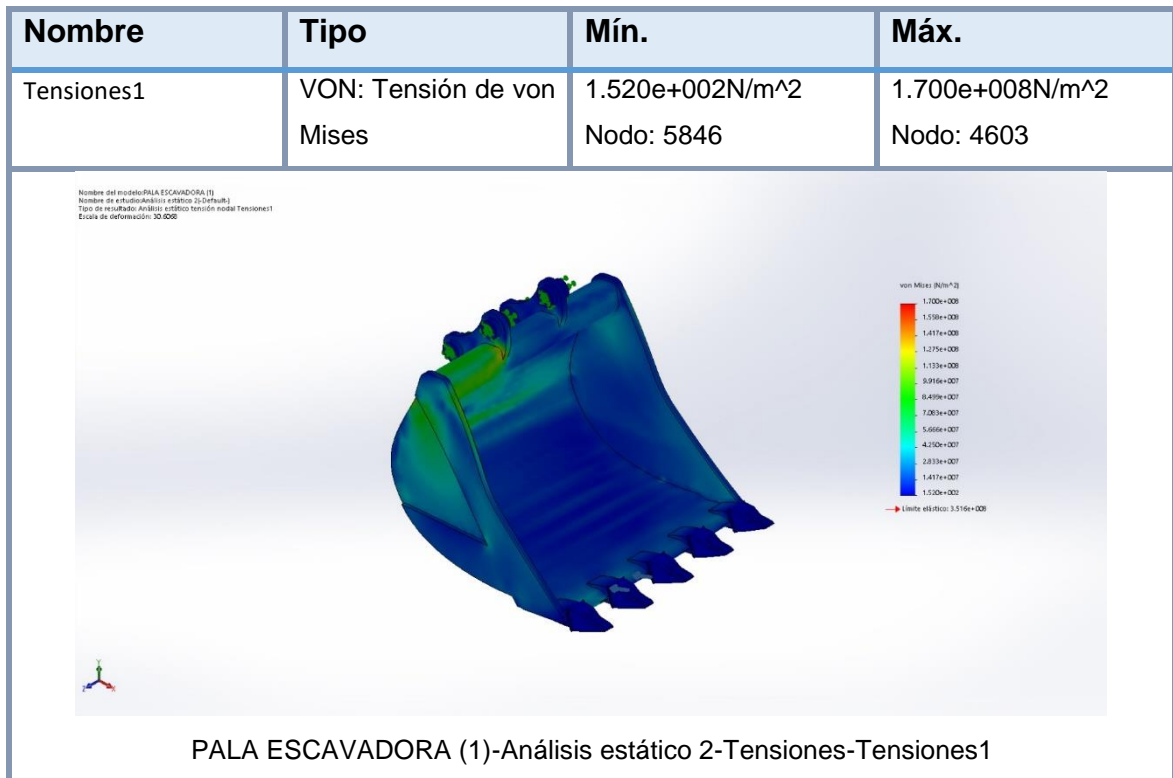
**Figura 14.- Grafico de las reacciones en las bisagras según los escenarios y los ejes donde se presentan para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia**

Las fuerzas de reacción que se muestran que durante la evolución de la fuerza las reacciones en los tres ejes se mantienen prácticamente constantes esto es debido

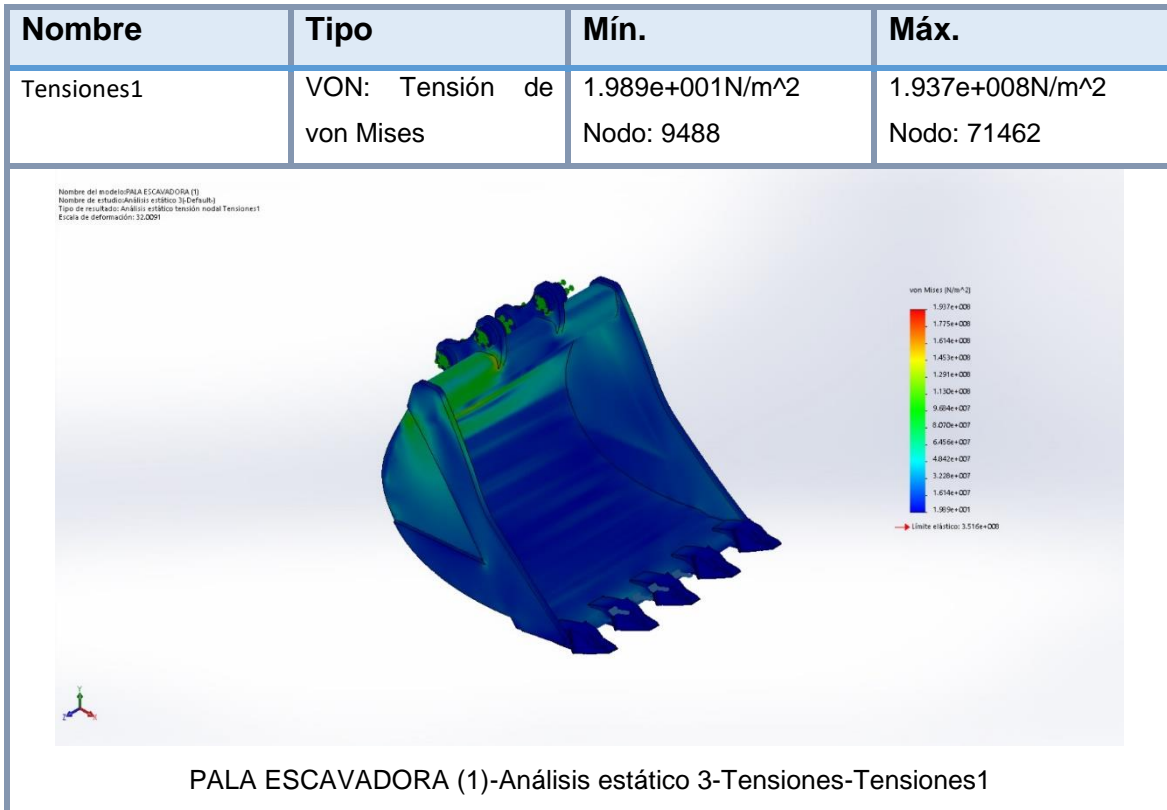
a que la fuerza que se está aplicando no aumenta solo se distribuye a lo largo de los labios del cucharon.

Análisis de las fuerzas Von Mises:

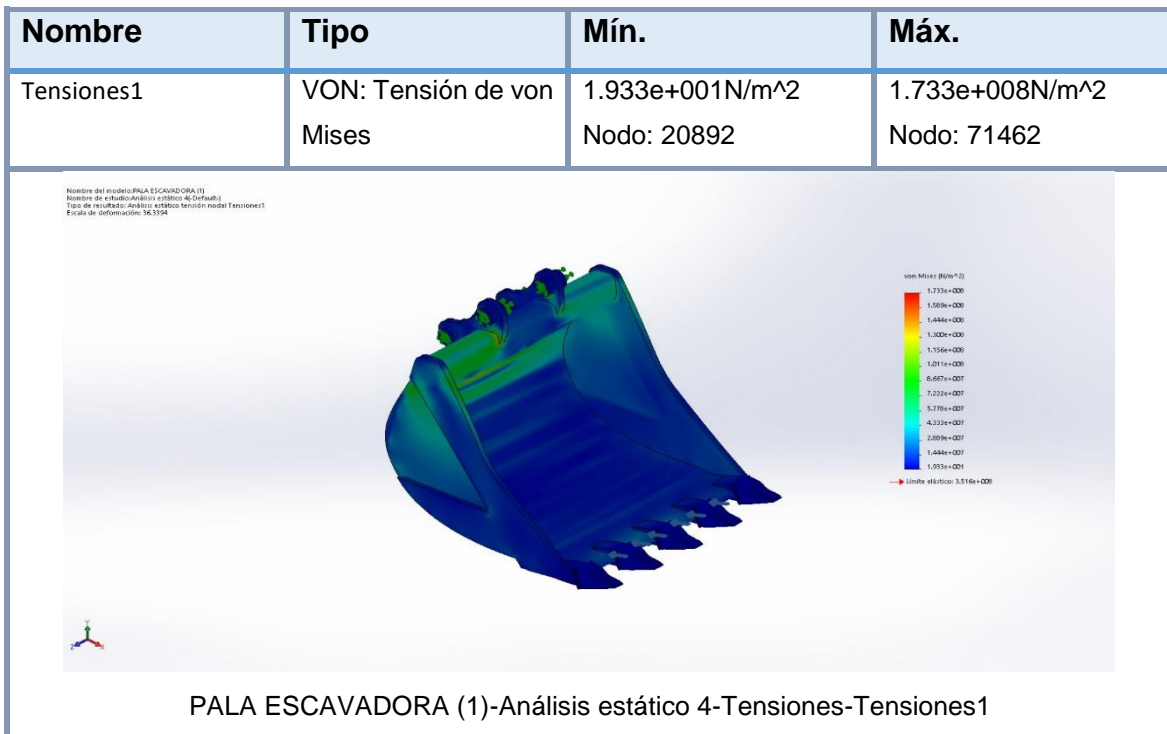
**Tabla 22.- Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida para el primer escenario. Fuente: Propia**



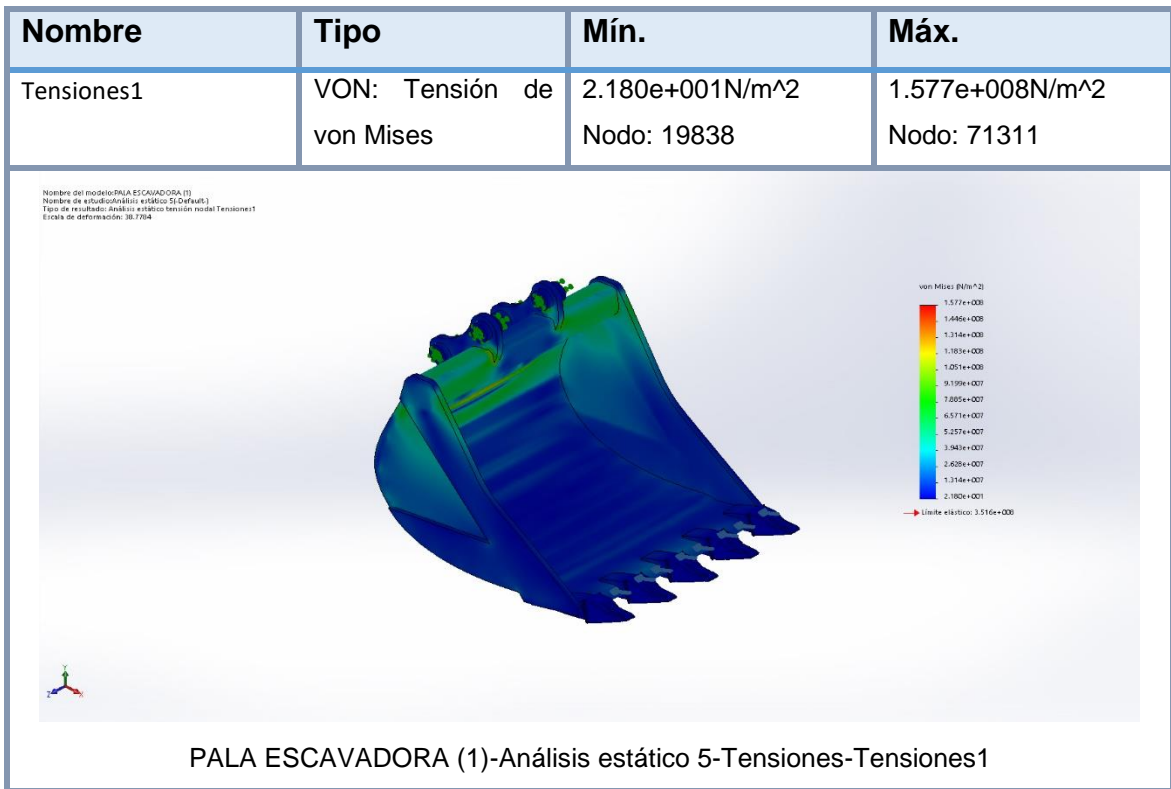
**Tabla 23.- Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida para el segundo escenario. Fuente: Propia**



**Tabla 24.- Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida para el tercer escenario. Fuente: Propia**



**Tabla 25.- Esfuerzos como tensiones Von Mises generados en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida para el cuarto escenario. Fuente: Propia**

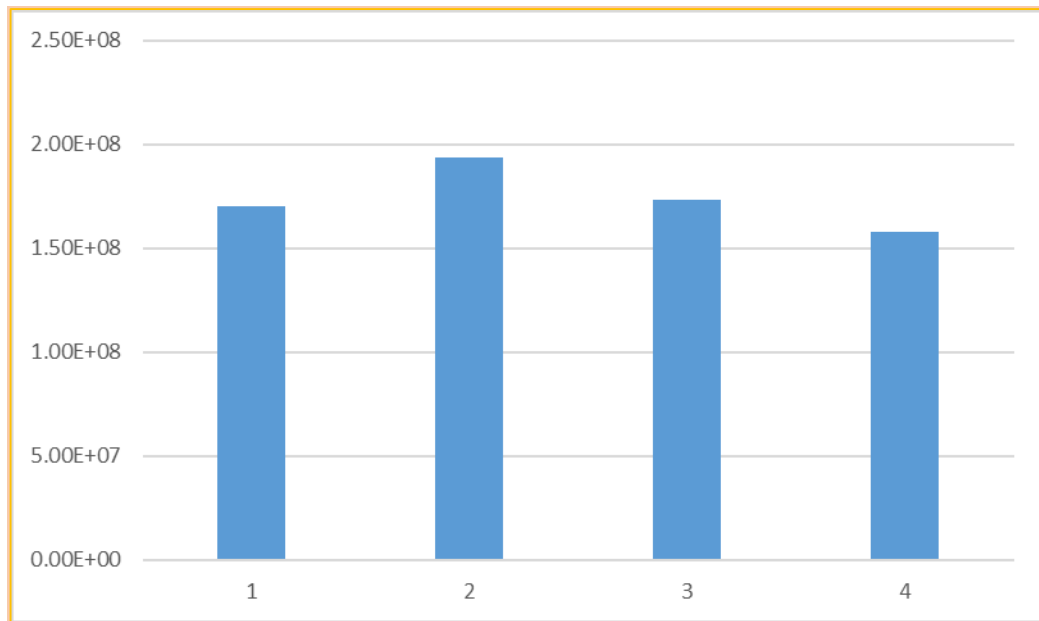


De manera resumida\* se muestran las deformaciones en la siguiente tabla:

**Tabla 26.- Tensiones Von Misés generadas por las fuerzas de cada escenario para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia**

Condición	1	2	3	4	Unidades
Mínima	1.52 x 10 <sup>2</sup>	1.99 x 10 <sup>1</sup>	1.93 x 10 <sup>1</sup>	2.18 x 10 <sup>1</sup>	N/m <sup>2</sup>
Máxima	1.70 x 10 <sup>8</sup>	1.94 x 10 <sup>8</sup>	1.73 x 10 <sup>8</sup>	1.58 x 10 <sup>8</sup>	N/m <sup>2</sup>

Como se mencionó anterior mente el análisis Von Mises se realiza para determinar la tensión Von Mises que se genera dentro del elemento en análisis que es la cuchara de la pala.



**Figura 15.- Grafico de las Tensiones Von Misés máximas generadas en la pala de acuerdo a cada escenario para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia**

Como se puede ver, aunque la fuerza no es mayor a la fuerza máxima de aplicación el hecho que se vuelva distribuida establece que exista una variación dependiente del escenario.

**Tabla 27.- Aumento proporcional de las tensiones Von Mises máximas para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia**

Máxima	Incremento
1.70 x 10 <sup>8</sup>	0%
1.94 x 10 <sup>8</sup>	14%
1.73 x 10 <sup>8</sup>	-11%
1.58 x 10 <sup>8</sup>	-9%

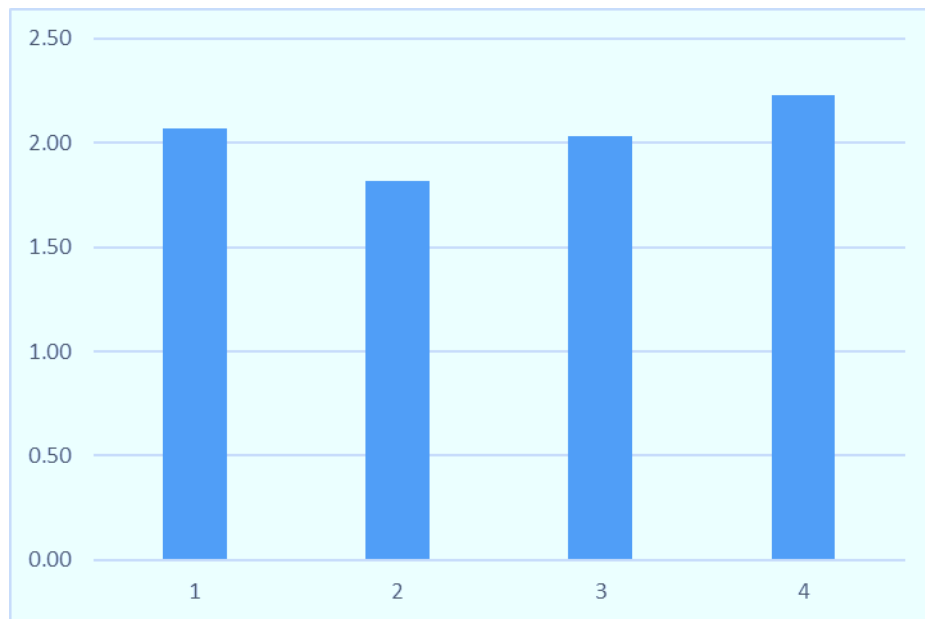
En la tabla 27 se puede observar como el aumenta del primer escenario al según escenario un 14% de la tensión Von Mises generada mientras que a partir de ahí consiento el segundo escenario la tensión máxima que se genera es menor en el tercer escenario, el cuarto escenario presenta la menor fuerza Von Mises máxima, lo que establece que es el más seguro, mientras el segundo escenario será el más crítico.



**Tabla 28.- Factores de seguridad según escenario para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia**

Condición	1	2	3	4
Mínima	2.07	1.82	2.03	2.23
Máxima	2310000.00	17700000.00	18200000.00	16100000.00

En la gráfica se puede apreciar de manera visual los factores de seguridad mínimos.

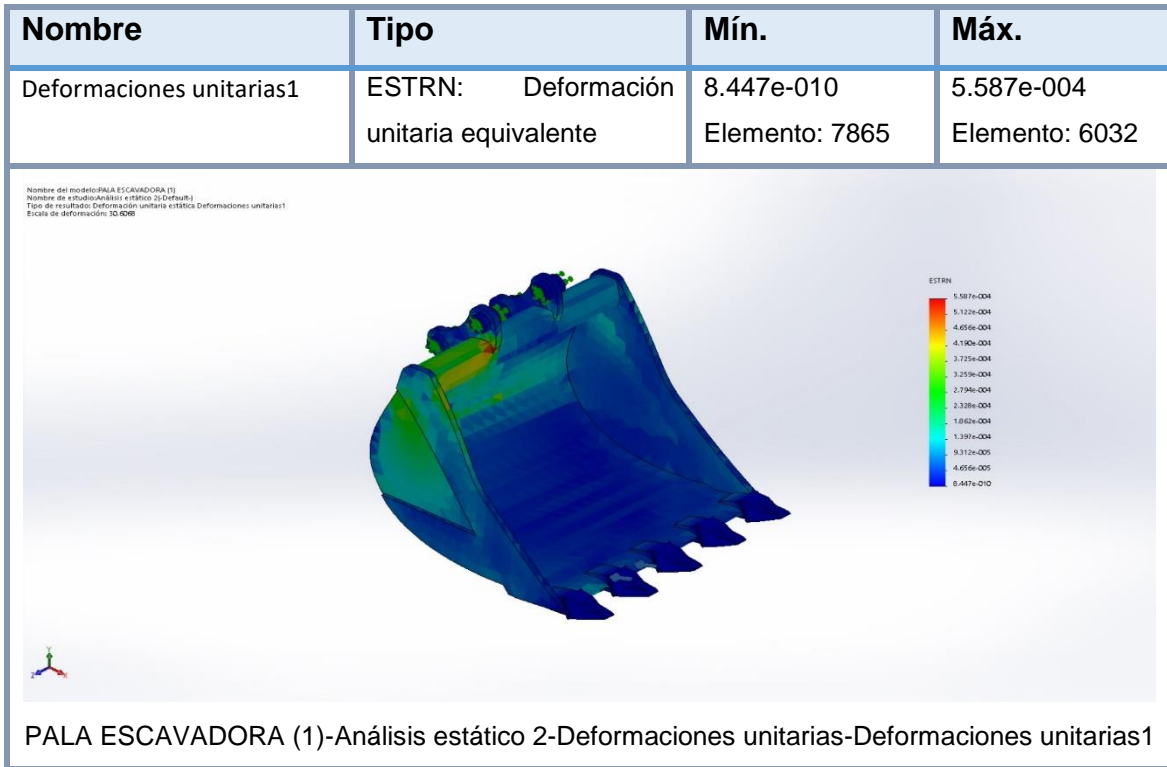


**Figura 16.- Grafico de la evolución de los factores de seguridad mínimos según el cambio de escenario para análisis bajo fuerza de trabajo distribuida. Fuente: Propia**

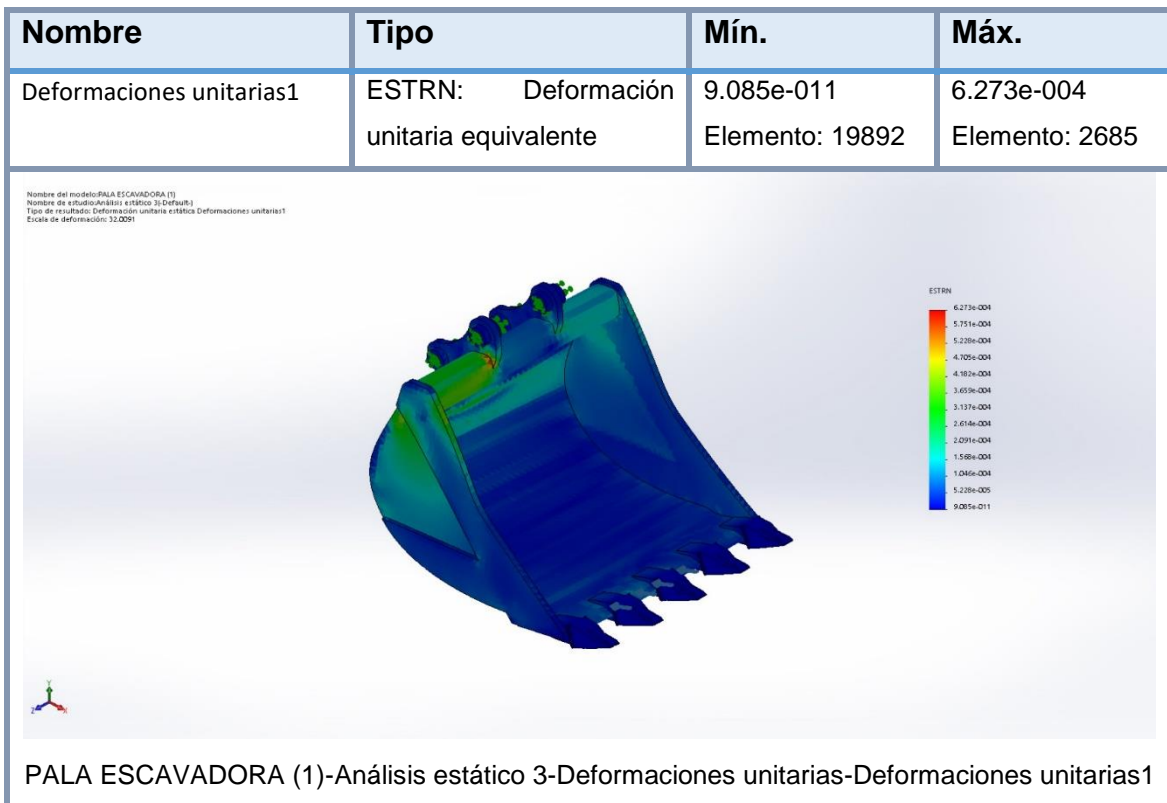
En el grafico se puede ver que, si existe una evolución en los factores de diseño debido a la variación de la aplicación de la fuerza en los labios de la pala, esto era esperado debido a que las tensiones Von Mises también variaban en el mismo. Y también como era de esperarse al ser el segundo escenario quien generaba mayor tensión Von Mises también es este escenario quien genera menor factor de diseño, aunque para el diseño mecánico se requiera como un mínimo de 2 para considerar un diseño optimo se puede establecer por aproximación o redondeo que todos los escenarios tienen un factor de diseño adecuado.

Se realiza también el análisis de las deformaciones:

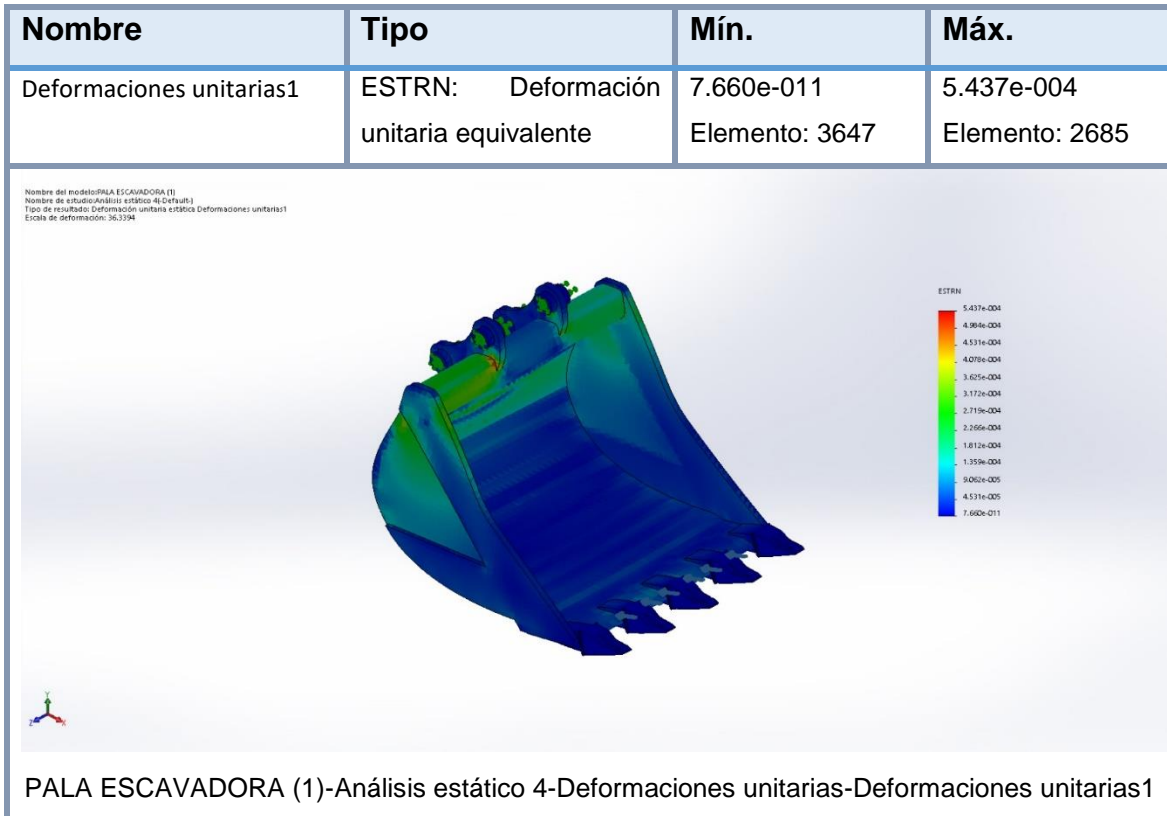
**Tabla 29.- Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida en el primer escenario. Fuente: Propia. Fuente: Propia**



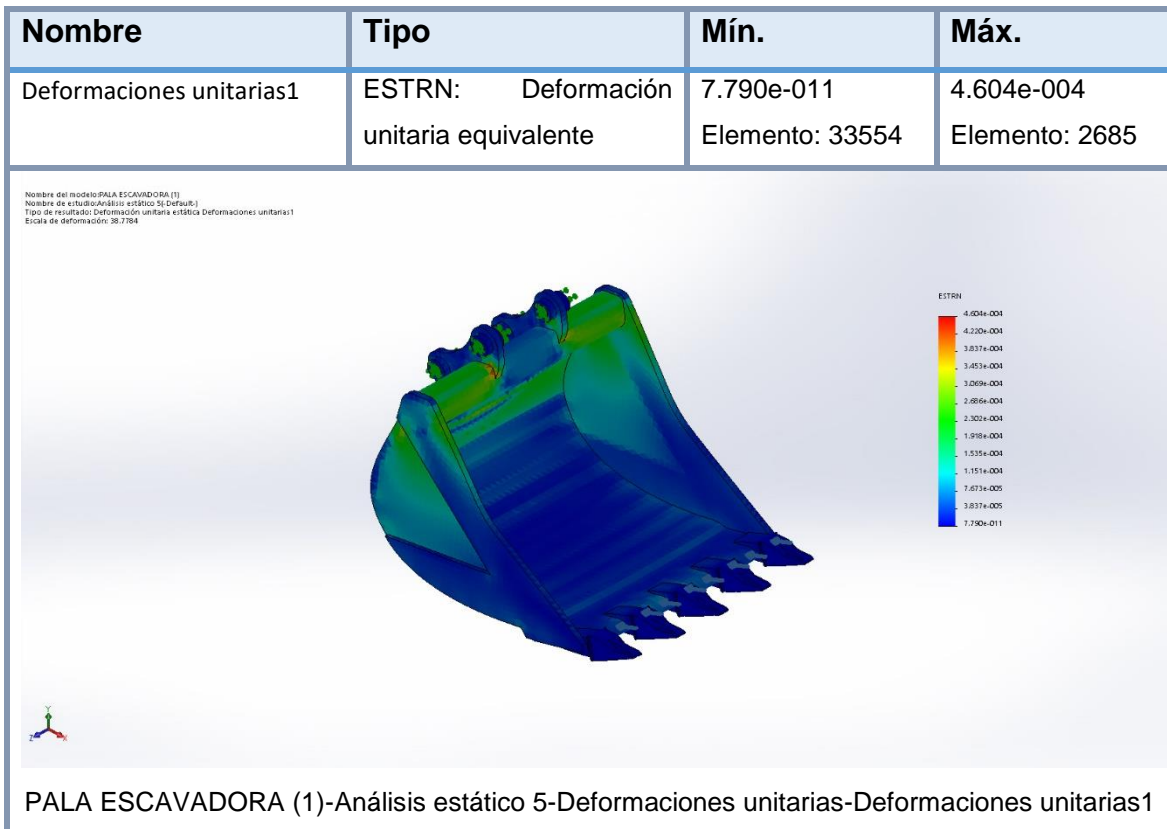
**Tabla 30.- Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida en el segundo escenario. Fuente: Propia. Fuente: Propia**



**Tabla 31.- Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida en el tercer escenario. Fuente: Propia. Fuente: Propia**



**Tabla 32.- Deformaciones generadas en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida en el cuarto escenario. Fuente: Propia. Fuente: Propia**

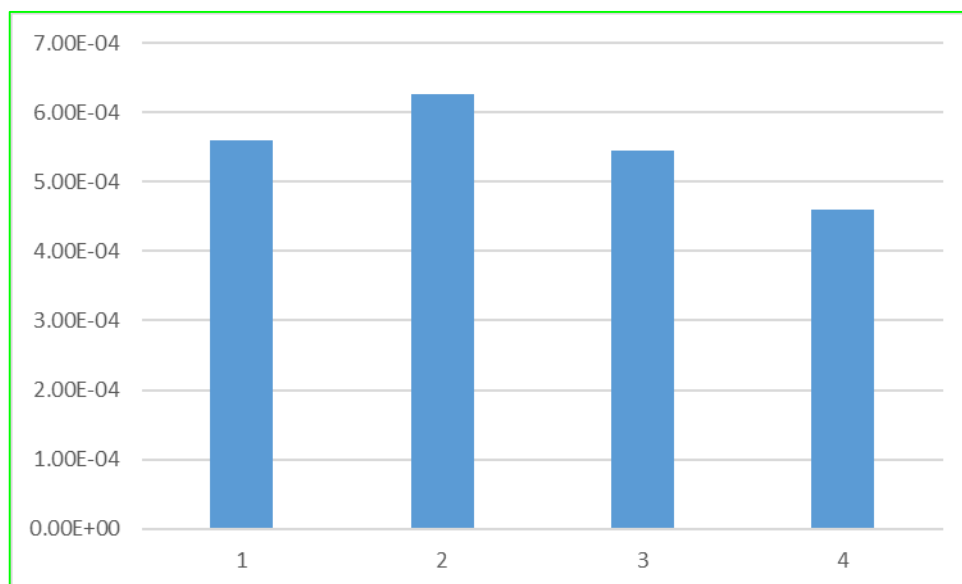


De forma resumida se presenta:

**Tabla 33.- Deformaciones unitarias generadas en la pala utilizando la fuerza máxima distribuida. Fuente: Propia**

Condición	1	2	3	4
Mínima	8.53E-10	9.09E-11	7.66E-11	7.79E-11
Máxima	5.59E-04	6.27E-04	5.44E-04	4.60E-04

Como en el anterior análisis de deformaciones las cantidades que se necesitan son las máximas por lo que la siguiente grafica presenta las deformaciones máximas para apreciar su evolución:



**Figura 17.- Evolución de las deformaciones máximas generadas por la fuerza máxima distribuida. Fuente: Propia**

En la figura se puede apreciar que en el escenario dos es cuando se generan la mayor deformación unitaria.

### 4.3 realizar el análisis de fátiga por medio de un análisis de métodos finitos Solidworks.

En el análisis estático se determinó que la fuerza bajo la que trabaja el cucharón solo puede ser la del primer escenario de fuerza puntual ya que a partir de ahí se generaría una falla en el sólido debido a que en el resto de escenarios se genera un fuerza Von Mises inferior a la que puede soportar el sólido en fluencia, esta fuerza se analiza en el segundo análisis estático como distribuida para establecer que durante todo el procedimiento de trabajo con la misma no se producen esfuerzo Von Mises superiores a la fluencia el material, confirmado esto se realiza el análisis de fatiga considerando el segundo análisis estático generado, es decir se establece el análisis de fatiga en función del trabajo que puede hacer la pala durante su funcionamiento.

Las características del análisis de fatiga que se genera son los siguientes:

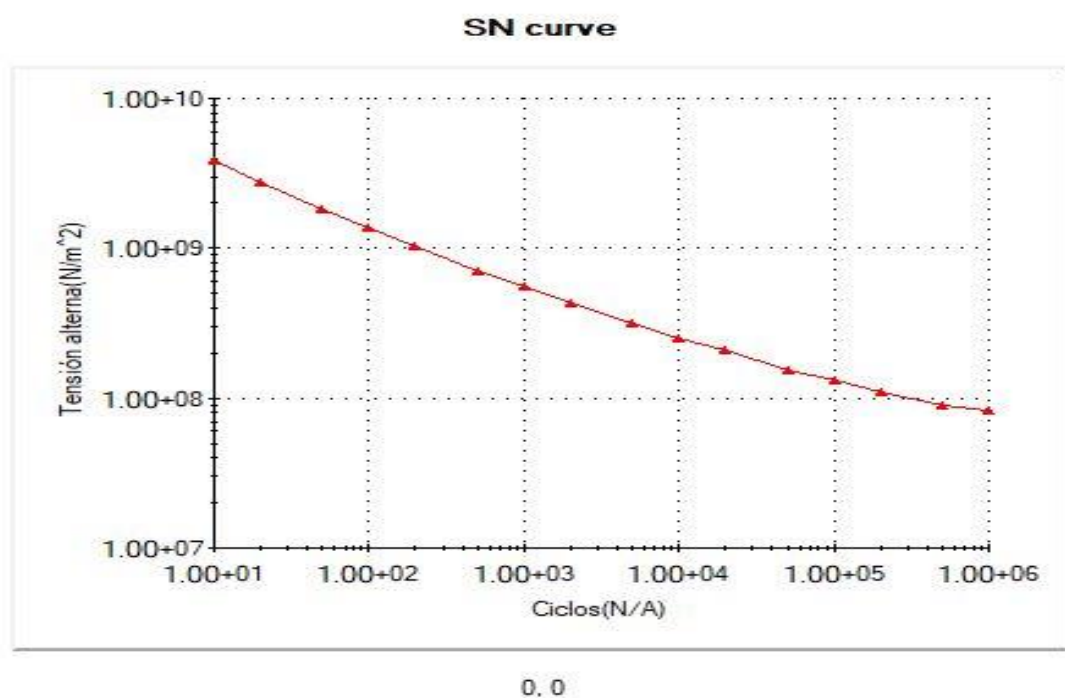
**Tabla 34.- Configuración para el análisis de fatiga en el programa SolidWork. Fuente: Propia**

Tipo de análisis	Fatiga (Amplitud constante)
Interacción entre sucesos	Aleatoria
Calcular tensiones alternas usando	Intensidad de tensión (P1-P3)
Cara de elemento SHELL	Cara superior
Corrección de la tensión media	Ninguno
Factor de reducción de resistencia a la fatiga	1
Vida infinita	Desactivar

En la tabla 34 se puede ver la configuración que se le dio al programa SolidWork esta configuración se establece para fatiga en amplitud constante es decir para tome la amplitud de la fuerza como contante y no en una variación de amplitud así determinar cuándo se logra la fatiga que es lo que causa el desgaste, la interacción de los sucesos se consideró aleatorio debido a las variables que pueden producirse en el trabajo de la excavadora, el factor de reducción a la resistencia se consideró como 1 por defecto mismo del programa, este para un análisis de fatiga normal ya

que no se tiene probado que el factor de fatiga se reduzca mediante la acción del trabajo, cuando este estudio se realice en el campo podría considerarse otro factor de reducción. La vida infinita se consideró desactivada debido a que se requiere observar el desgaste del labio y si se activa este ítem no se podría verificar como es que el labio cede a la fatiga hasta fracturar.

La curva de análisis que realiza o se propone para determinar el comportamiento del sólido a la fuerza repetitiva es:

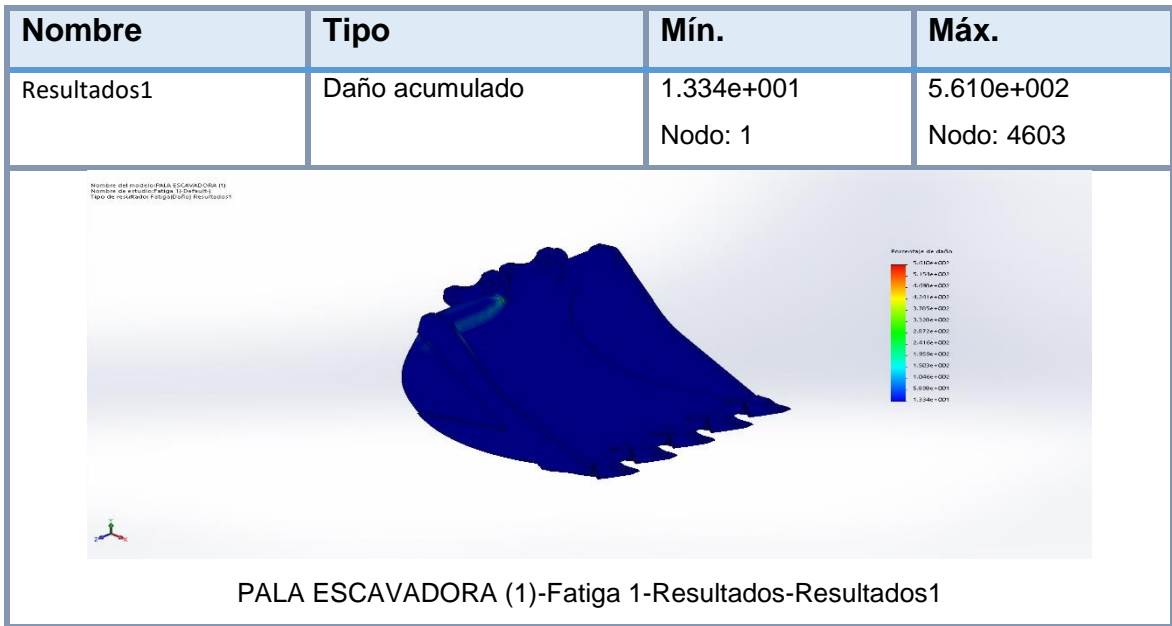


**Figura 18.-** Curva de comportamiento del material a la repetición de ciclo. Fuente: SolidWok.

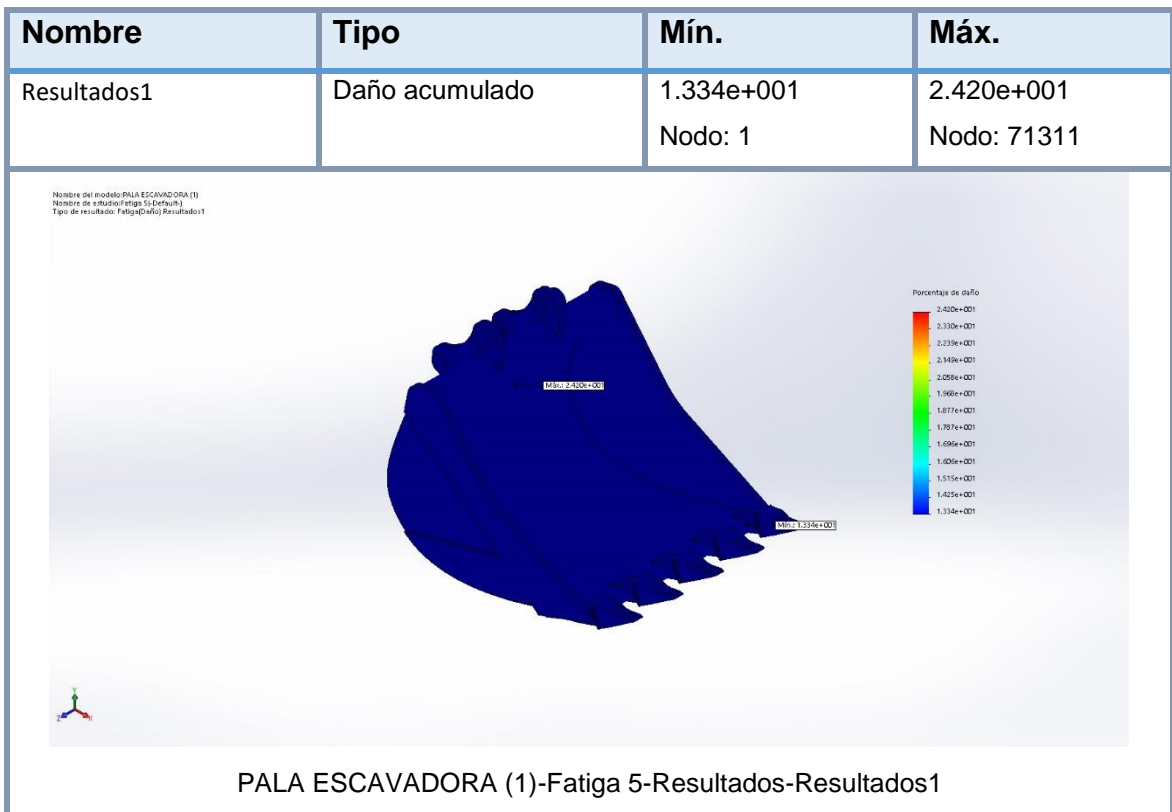
La curva que se muestra en la figura 18 muestra cómo es que se comporta el material a esfuerzos repetitivos así se realiza el análisis por medio de elementos finitos con el programa SolidWork considerando esta característica de comportamiento del material.

Primero se muestra el daño acumulado:

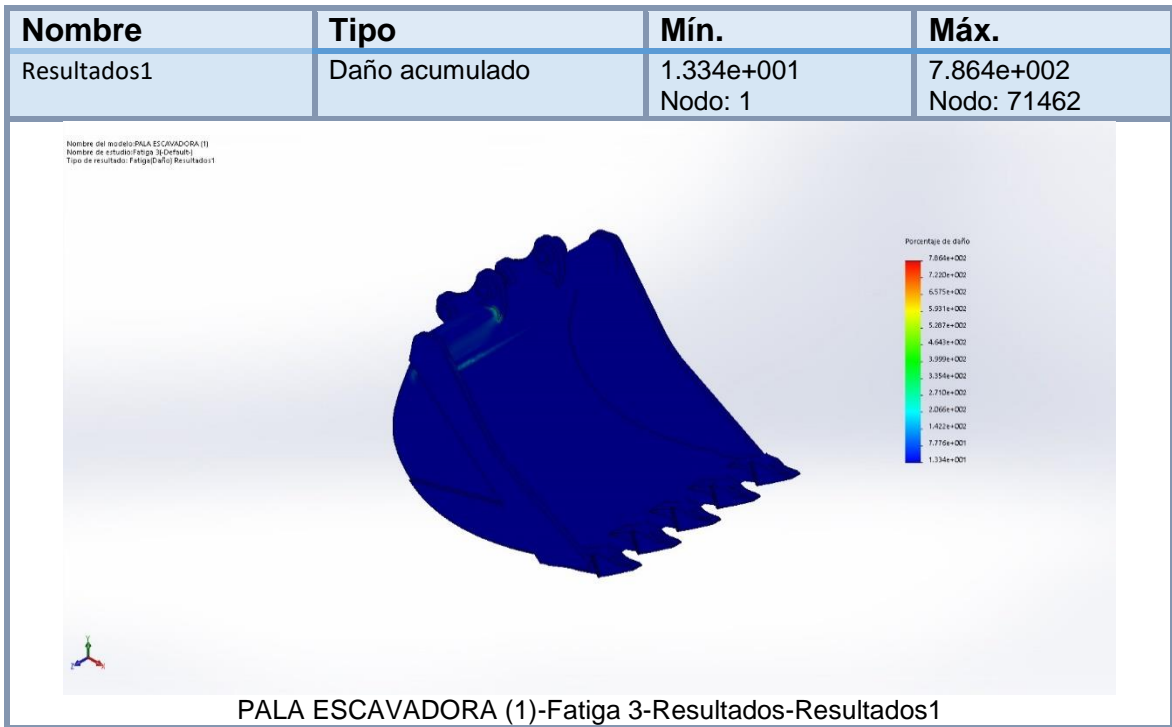
**Tabla 35.- Daño acumulado par el primer escenario de la fuerza distribuida. Fuente: Propia**



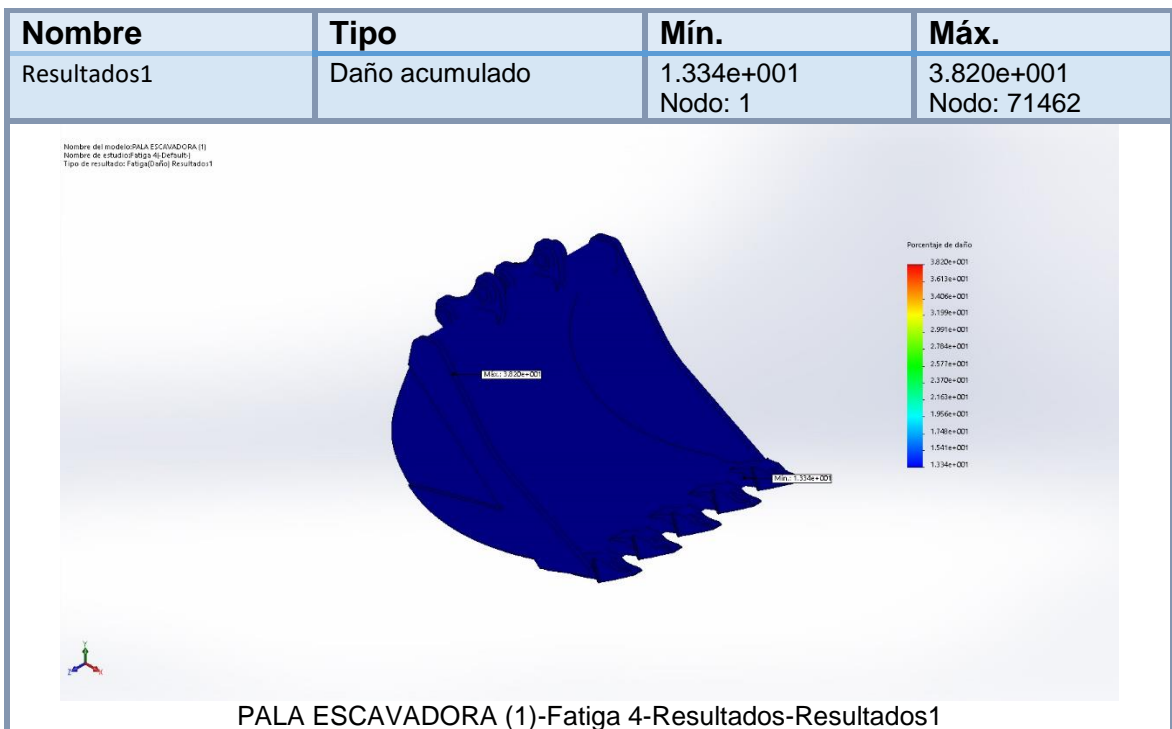
**Tabla 36.- Daño acumulado par el segundo escenario de la fuerza distribuida. Fuente: Propia**



**Tabla 37.- Daño acumulado par el tercer escenario de la fuerza distribuida. Fuente: Propia**



**Tabla 38.- Daño acumulado par el cuarto escenario de la fuerza distribuida. Fuente: Propia**

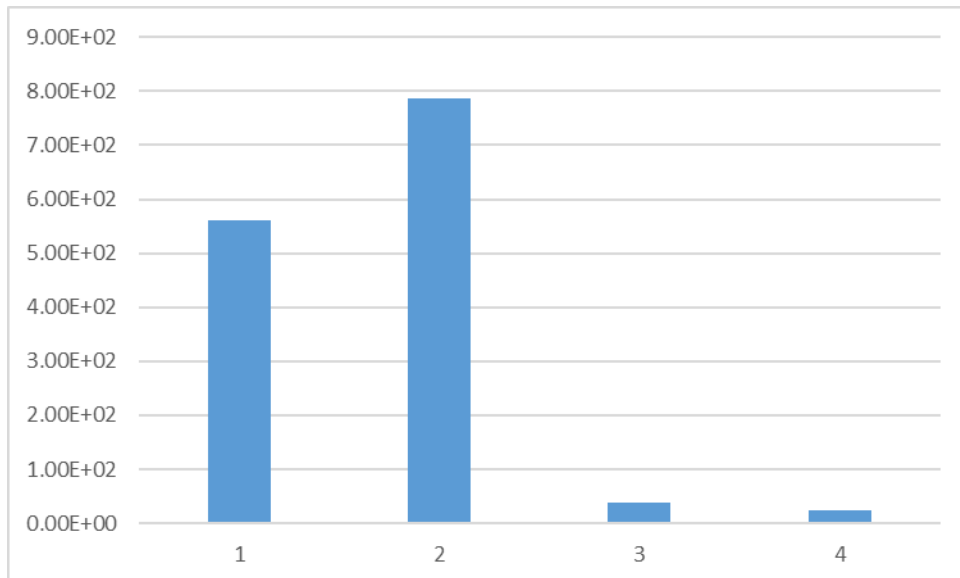




**Tabla 39.- Daño acumulado según escenarios estáticos de carga distribuida. Fuente: Propia**

Condición	1	2	3	4
Mínima	$1.33 \times 10^1$	$1.33 \times 10^1$	$1.33 \times 10^1$	$1.33 \times 10^1$
Máxima	$5.61 \times 10^2$	$7.86 \times 10^2$	$3.82 \times 10^1$	$2.42 \times 10^1$

Debido a el daño acumulado supone que el ciclo de tensión con una tensión alterna por sobre el límite de resistencia causa un daño permanente mensurable. Además, supone que el daño total causado por una cantidad de ciclos de tensión es igual a la suma de los daños causados por los ciclos de tensión individuales se puede ver que el daño mínimo es la ejercida por la primera aplicación de la fuerza en todos los escenarios se muestra el mismo debido que es la misma magnitud de fuerza distribuida.



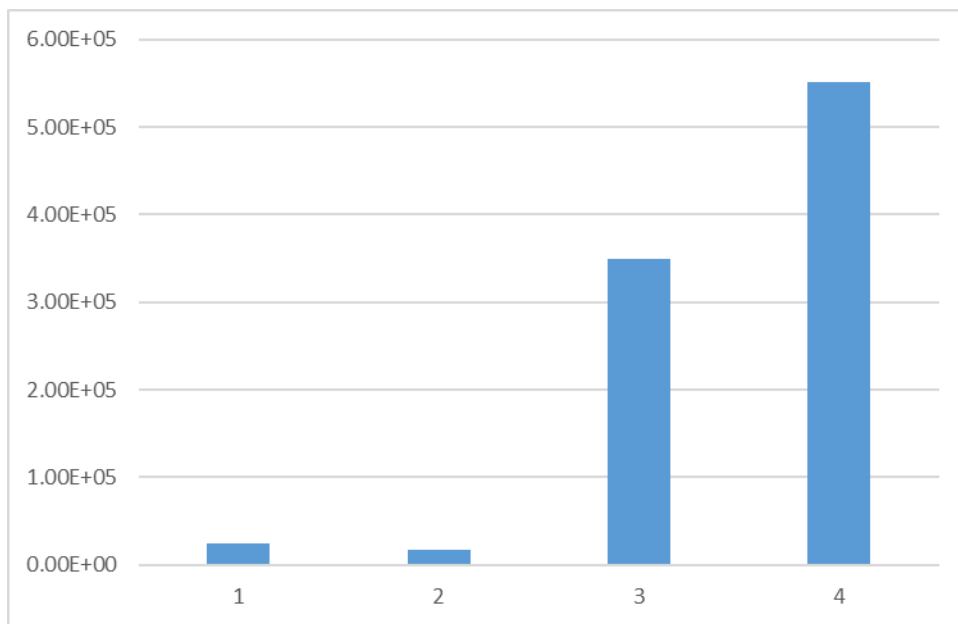
**Figura 19.- Grafica del daño acumulado máximo. Fuente: Propia**

En la figura 19 se puede ver que el daño acumulado durante los escenarios 3 y 4 son casi nulos debido a la vida total que causara en el elemento, en el análisis se coloca que se generara una vida total máxima de  $1 \times 10^6$  para establecer las repeticiones que se le da al sólido así calcular o definir cuantos son los ciclos mínimos que tendrá el cucharón en cada escenario.

**Tabla 40.- Vida total del sólido basado en los escenarios de análisis estático por fuerza distribuida. Fuente: Propia**

Condición	1	2	3	4	Unidades
Vida total	$2.37 \times 10^4$	$1.70 \times 10^4$	$3.49 \times 10^5$	$5.51 \times 10^5$	ciclos

En la siguiente figura se puede apreciar de manera visual la evolución de los ciclos de vida en consideración del cambio de escenario.



**Figura 20.- Vida total del cucharón para los escenarios de carga distribuida. Fuente: Propia**

Como se puede apreciar el ciclo de vida va aumentando mientras los escenarios cambian solo existe un escenario que no obedece a este cambio que es el segundo en este escenario la vida total que podrá tener el cucharón es menor que los otros tres considerando que si la fuerza se presenta como distribuida en dos labios del cucharón estos solamente podrán repetir este escenario durante 1700 veces que es la menor cantidad de ciclos que puede soportar el cucharón.

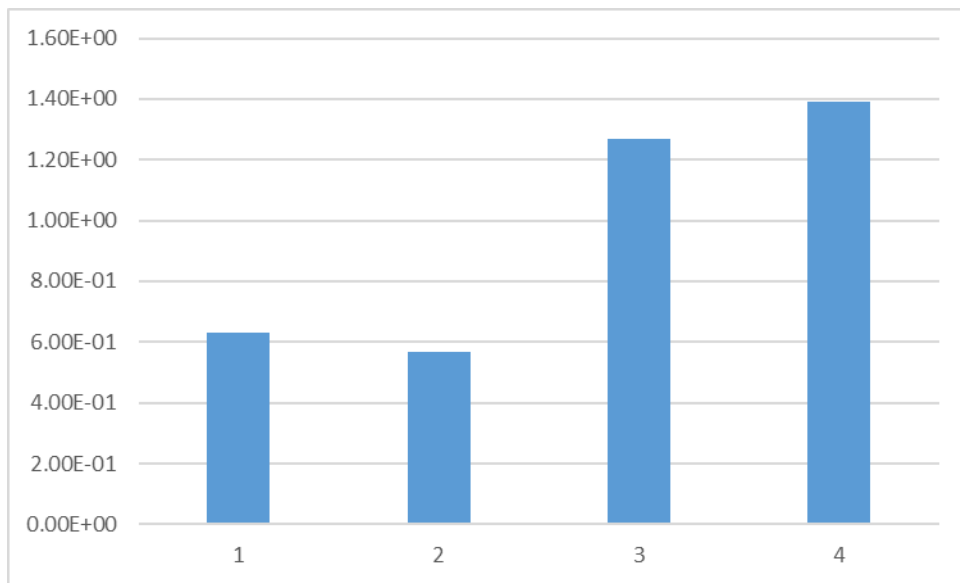
Se muestra la evolución del factor de carga este factor identifica la relación de como el sólido se comportó en durante el análisis en comparación de cómo se debería haber comportado en laboratorio es anuloso al factor de seguridad en el análisis

estático por lo que el establecer un factor de carga inferior a 1 haría que se incurra en falla así tenemos.

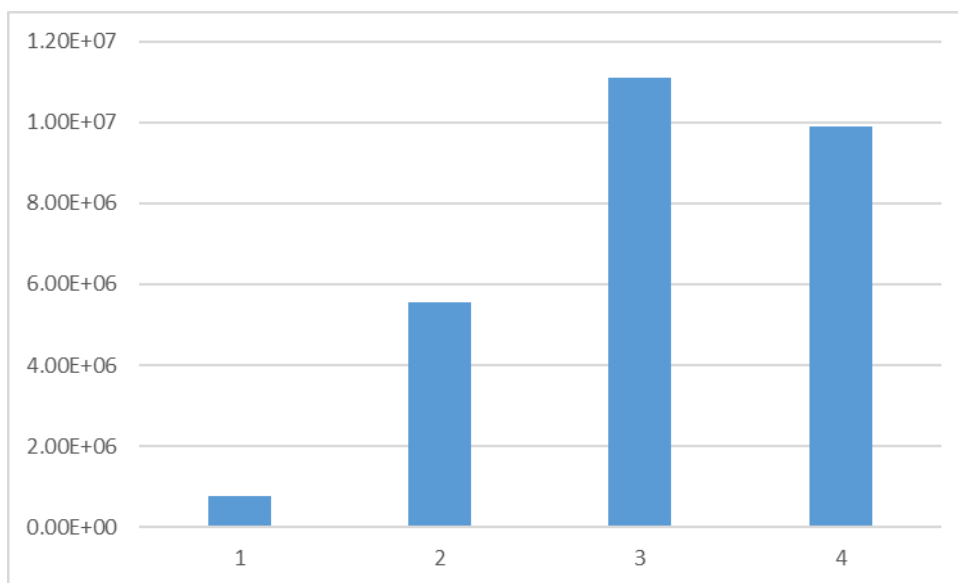
**Tabla 41.- Factor de carga para análisis de fatiga según fuerza distribuida. Fuente: Propia.**

Condición	1	2	3	4
Mínima	$6.30 \times 10^{-1}$	$5.68 \times 10^{-1}$	1.27	1.39
Máxima	$7.73 \times 10^5$	$5.56 \times 10^6$	$1.11 \times 10^7$	$9.91 \times 10^6$

Se muestra una gráfico donde se aprecia la evolución del factor de carga durante el análisis:



**Figura 21.- Evolución de factor de carga mínimo para fuerza distribuida. Fuente: Propia**



**Figura 22.- Evolución de factor de carga máximo para fuerza distribuida. Fuente: Propia**

Al igual que el factor de seguridad en el análisis estático este factor demuestra cuando la falla ocurrirá por fatiga es decir cuando se presentará el desgaste en el labio de la pala, según el análisis se realizará el desgaste en los dos primeros escenarios que son los de menor duración de ciclos de vida, o vida útil del componente.

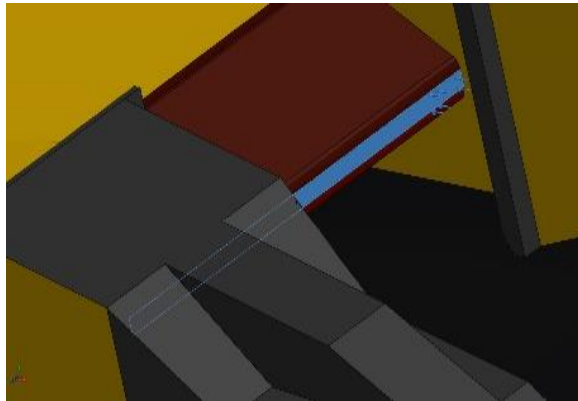
#### **4.4 Identificar las causas del desgaste del labio espada del cucharón de la excavadora.**

Como se observó en los análisis realizados en los labios de la pala se determinó que el desgaste no se realiza durante el análisis estático es decir no se realiza cuando se genera una fuerza de equilibrio con la máxima fuerza que puede generar la máquina, mientras esta trabaje por debajo de esta fuerza la falla no se presentará en ningún momento.

En el análisis de fatiga si se aprecia que existe una disminución del factor de carga que lleva a la falla al cucharón es ahí donde se concibe el refuerzo para disminuir la fatiga haciendo que el factor de carga se mantenga por encima de la unidad.

La propuesta que se rescata de la documentación establecida para reparación de fisuras es el uso de soldadura eléctrica por medio de electrodos de 5 a 8mm o más, ya que cubren un amplio rango de corriente. En este rango los electrodos de menores diámetros producen mayor penetración, se debe usar electrodos 7018, y en caso de la soldadura autógena se debe utilizar alambre ER 70S-6 o alambre tubular 71T1. El Ing. Marcelo Arguello, trabajador del GADPB por su amplia experiencia en el ámbito de maquinaria de minería recomienda el uso de la soldadura eléctrica el asegura que se obtiene una mayor vida útil (Coloma Morales, 2014)

Como se menciona se realiza el análisis por soldadura para determinar cómo se comporta durante la operación de la pala, se simuló el relleno de la pala en el software de la siguiente manera.



**Figura 23.- Labio relleno de soldadura eléctrica con electrodo de 7018. Fuente: Propia**

Los electrodos 7018 son utilizados en el ámbito de la construcción y maquinaria pesada para la fabricación y montaje de estructuras de gran espesor y refuerzo de placas con un amplio factor de seguridad, poseen un fundible voluminoso con alto contenido de polvo. Éstos elaboran un arco blando y sigiloso con mínimas salpicaduras y penetración media del arco. La mayoría de expertos soldadores utilizan electrodos 7018 ya que son electrodos producen soldaduras resistentes con grandes propiedades de impacto ya sea también a la vez en climas con demasiado frio; estos también pueden ser utilizados con metales de acero al carbón, y acero de alta resistencia.

De acuerdo a la composición química bajo normatividad A.W.S. el electrodo 7018 posee: Carbono, Cromo, Manganeso, Molibdeno, Azufre, Vanadio, Silicio, Fósforo, Níquel.

El material del electrodo se configuro de acuerdo a la ficha técnica del electrodo.

**Tabla 42.- Propiedades de la soldadura eléctrica con electrodo 7018. Fuente: Ficha técnica – Indura – Electrodo 7018**

Propiedad	Magnitud	Unidad
Límite de Fluencia	445	Mpa
Resistencia a la Tracción	535	Mpa
Agrietamiento en 50 mm	30	%
Energía Absorbida*	130	J

\* Considerado a -30 °C

Según el análisis de fatiga desarrollado se determinó solamente en los dos escenarios que dan un factor de carga muy bajo para asegurar que el relleno por soldadura permite reforzar el desgaste en el labio de la pala.

Para el primer escenario se comparan los factores de carga tanto del primer escenario sin soldadura y el según escenario con soldadura.

**Tabla 43.- Aumento del factor de carga para el primer escenario por fatiga por añadidura por soldadura con electrodo 7018. Fuente: Propia**

	Factor de carga mínimo
Análisis Fatiga	0.63
Análisis con soldadura	0.87
Cambio	28%

Se puede ver qué aumento a en un 28% y el factor de carga se puede considerar a uno si se aproxima, aunque el primer factor de carga también podría aproximarse a la unidad con el análisis de con soldadura se aprecia una mejora.

En el segundo escenario se muestra también un aumento.

**Tabla 44.- Aumento del factor de carga para el segundo escenario por fatiga por añadidura por soldadura con electrodo 7018. Fuente: Propia**

	Factor de carga mínimo
Análisis Fatiga	0.57
Análisis con soldadura	1.01
Cambio	44%

Como se aprecia en este segundo escenario el aumento si es mucho mayor ya que se refuerzan los dos labios o visto de otra manera al generarse la fisura el uso de relleno por soldadura le dará al labio de la pala una mejor respuesta al desgaste siempre y cuando se haga con soldadura eléctrica y con electrodo 7018.

En el anexo 07 se puede apreciar los gráficos que muestran de manera más adecuada como se generan las propiedades de análisis.

## V. DISCUSIÓN

El objetivo de esta investigación fue determinar cuáles son las causas para que se realice el desgaste del labio espada en el cucharón de una excavadora hidráulica CAT 320, este análisis de fallas se realizó aplicando un análisis de falla por el método de elementos finitos, para lograr este análisis de fallas utilizo un software que trabaja y modela los diseños mecánicos en base de esta teoría este software se llama SolidWork. Lo primero que se generó para poder lograr este estudio fue determinar la geometría exacta de un cucharón de la excavadora hidráulica CAT 320 la gran parte se determinó mediante observación directa ya que se tomaron las medidas de un cucharón de excavadora hidráulica CAT320 y se complementó por medio análisis de documentos utilizando el manual del fabricante para las medidas más grandes.

Para desarrollar la investigación se plantearon cuatro objetivos en el primero como ya se mencionó se estableció la geometría de la pala ya que es fundamental tener la forma de la pala en su detalle para poder generar el análisis en el software, en este punto los detalle son imprescindibles, después de determinar la geometría se estableció basándose en el estudio de Coloma que genero una investigación también sobre la metodología de elementos finitos en una pala de diferente forma, el acero que se utilizó para la pala fue un Acero AISI 1522 con características de 7.7 a 8.03 kg/m<sup>3</sup> de densidad y un límite de fluencia de 190 – 210 Gpa. es indispensable estas características para que el software pueda modelar el comportamiento de la pala al aplicarle la fuerza.

Para el segundo objetivo es desarrollo los análisis estáticos, el análisis estático se desarrolla porque si se requiere terminar cómo se comporta el elemento debido a la aplicación de una fuerza y cómo se generan las reacciones, además determinar cómo estas fuerzas generan tensiones dentro del elemento así se puede calcular los factores de seguridad que se establecen como valores máximos y mínimos, ahora de la simulación se desarrolló dos análisis estáticos el primer análisis estático se estableció por medio o utilizando la fuerza máxima que se genera en la excavadora para poder determinar si es que esta está en la capacidad de soportar

más de la fuerza máxima diseñada, este análisis determino que la excavadora solamente puedes soportar en su estructura la fuerza máxima generada, al aumentar la fuerza está produce factores de seguridad por debajo de la unidad lo que corresponde a una falla en el cucharón. Ya determinado que el cucharon no puede superar una fuerza establecida se analizó cuatro escenarios que muestran la fuerza máxima como distribuida en los labios espada entre los dientes del cucharón. Aquí se puede establecer Qué cucharón trabajando normalmente sí es que la fuerza máxima a la cual se diseñó no superada teniendo factores seguridad mínimo de dos lo que establece según la documentación de diseño mecánico que es un factor de seguridad correspondiente o qué determina que el diseño está establecido cómo correr.

Durante el primer objetivo también se analiza las deformaciones unitarias que se generan de acuerdo a la aplicación de cada escenario en el primer análisis estático utilizando las fuerza máxima por cada labio las deformaciones presentan un aumento progresivo con respecto al aumento de fuerza que se ejerce en los labios de la cuchara, esto es lógico porque se aumenta de fuerza total en cada escenario, mientras que en las deformaciones por la aplicación distribuida de la fuerza máxima del cucharon la deformación no es muy variable pero se presenta como máxima en el segundo escenario.

Utilizando el análisis de fatiga cómo se muestran el tercer objetivo se establece para los 4 escenarios que se desarrollaron en el análisis estático que en los 2 primeros escenario se generan factores de carga negativos; los que son parámetros análogos al factor de diseño para el análisis de fatiga; esto factores de carguen de los 2 primeros escenarios cómo se menciona fueron por debajo de la unidad esto corresponde a que la pala empieza a fallar en los 2 primeros escenario lo que genera desgaste para el cucharón.

Utilizándolo información correspondiente a la investigación de Coloma se hizo un análisis para ver cómo es que el relleno con soldadura con electrodos 7018 puede ser utilizado para mejorar el desgaste o aumentar los factores de carga en los labios espadas del cucharón. Se puede terminar qué para los 2 escenarios



correspondientes en factor de carga llego a aumentar desde 28% para el primer escenario y un 44% para el segundo escenario, aunque se confirmó el aumento para el primer escenario solamente se presenta una dificultad en cuanto a que esto no es muy evidente no llega de manera entera a la unidad cómo factor de carga ya que en aproximado y tiene un valor a 0.87 cómo factor de carga y puede ser redondeado a la unidad Lo que permite determinar que se han logrado o se logra aumentar la capacidad del desgaste ingresándole soldadura cómo relleno a la hora que se genere la falla.

Coincidiendo con la investigación de Coloma 2017 aquí en la investigación que se determina que la solución para el desgaste del labio espada se realiza por añadidura de soldadura eléctrica con electrodo 7018, en la investigación de Coloma se generar solamente un escenario para determinar el que la soldadura genera dicho aumento de resistencia al desgaste mientras que en esta investigación se realizan cuatro escenarios en los cuales dos mostraron deficiencias en el cucharón en estos fue que se realizó de manera específica el análisis de relleno por soldadura, cabe mencionar también que Coloma realiza no solo el estudio del labio espada del cucharón sino también el estudio de todo el cucharón a las dificultades durante su operación. Pero en generalidad las soluciones que presenta están de acuerdo a la solución analizada para este informe.

Al igual que Olvera (2016) el trabajo que se presente en este informe también busca generar soluciones al desgaste o fallas durante el trabajo del cucharón, la referencia de esta investigación sirvió para determinar la modalidad del trabajo que ejecuta el cucharón y establecer la dirección de las fuerzas que se generan durante el trabajo de la máquina. Conforme lo menciona Villa (2018) las retroexcavadoras hoy en día son una fuente de trabajo o una tecnología para el trabajo necesaria para el desempeño en grandes movimientos de tierras, la maquinaria pesada está también en constante evolución y el cucharón donde el diseño y material influyen muchísimo en el desenvolvimiento de la maquina por eso se concuerda en totalidad cuando se realiza el análisis y la búsqueda de una forma para aumentar o solucionar las fallas que se pueden generar en esta investigación la falla que se desarrolló para el análisis fue el de desgaste aunque el cucharón en realidad está expuesto a otro tipo de fallas que no se tocaron durante la investigación.

## V. CONCLUSIONES

1. Para determinar los parámetros de análisis del labio espada se determinó la geometría de la pala en tres piezas separadas y unidas con soldadura de alta calidad para establecerla como una pieza única, no es totalmente sólida, pero determina como tal por tener un espacio en la cuchara de muy poco espesor, el material que se determinó para la pala fue el Acero AISI 1522 con una densidad que varía entre 7.7 y 8.03 kg/m<sup>3</sup> un módulo de Poisson de 0.25 y un límite de fluencia entre 190 y 210 Gpa. al modelarse el cucharón se estableció un sólido de 1.935 toneladas y 19.35 m<sup>3</sup> de volumen. La fuerza que genera la retroexcavadora como fuerza máxima es de 133 KN según catálogo.
2. En el análisis estático se desarrollaron cuatro escenarios y se obtuvieron factores de diseño mínimos que al ampliar la fuerza en los labios espadas del cucharón de manera unitaria en cada labio espada de 2.07 al aplicar toda la fuerza en un solo labio y al aplicarla en dos, tres y cuatro labios se obtuvo 0.98, 0.68 y 0.56 respectivamente lo que establece que la fuerza máxima no debe elevarse a más de la establecida en el catálogo sino generar falla estática en el elemento no como desgaste sino como deformación, tomando cuatro escenarios nuevamente se desarrolló la fuerza máxima como distribuida lo que generó factores de diseño superiores a 2 exceptuando el segundo escenario que provocó un factor de diseño de 1.82 siendo este superior a 1 y aproximado a dos se asumió que cumple con el factor de diseño para diseño mecánico que proporciona o propone como mínimo un factor de diseño de 2. Las deformaciones que se encuentran en ambos análisis estáticos establecen una lógica en cuando al aumento de la fuerza en la pala para el primer análisis en el segundo las deformaciones también varían, pero en una proporción muy pequeña siendo el segundo escenario quien presenta la máxima del orden de  $6.27 \times 10^{-4}$ .

3. El análisis de fatiga se desarrolló en el segundo análisis estático aquí se generó factores de carga que son análogos al factor de diseño y establece que cuando este es menor a la unidad se genera falla o desgaste así en los dos primeros escenarios se tubo 0.630 y 0.568 lo que determina que en estos escenarios es donde se presentara el desgaste.
4. Se identificó los dos primeros escenarios de acuerdo al análisis de fatiga como los responsables de la falla por lo que la solución se establece según la documentación precedente en el relleno del desgaste por soldadura de arco eléctrico con electrodos 7018 lo que genera un aumento en los factores de carga del primer y según escenario en 24% y 44% respectivamente, aunque en el primer escenario se logra un aumento el factor de carga llega a 0.87 lo que aproxima a la unidad de manera consecuente para concluir que si logra generar una solución al desgaste.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. La geometría que se logra determinar del cucharón de la excavadora debe registrarse a mayores detalles para seguir analizando sus formas y generar más conocimiento de la máquina.
2. En análisis estático se debe desarrollar en más escenarios en futuras investigaciones para entender más el comportamiento de la máquina en situaciones críticas durante su trabajo.
3. El análisis de fatiga se debe considerar también con escenario, pero con repeticiones variables para determinar si también se producen fallas por fatiga cuando las fuerzas varían de acuerdo a una frecuencia.
4. Se debe utilizar como base los resultados propuestos para establecer un protocolo de reparación a la aparición del desgaste.

## REFERENCIAS

Cambio climático, medioambiente, sociedad y Energías renovables. **Stoechrel**.

Coloma Morales, Saul Andres (2014). *Simulación de recuperación por método de elemento finito de cucharones para maquinaria de minería*. Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba : s.n., 2014. pág. 87, Tesis de Pregrado.

El punto de despeque del sector construcción. Construye, Perú. (2018). Lima : s.n., Junio de 2018, pág. 5.

González Rodríguez , Laura Edith (2015). *Evaluación de un Sistema de Codigestión Anaerobia de residuos Agropecuarios*. Ciencias Químicas , Universidad Veracruzana . Veracruzana : s.n., 2015. pág. 126, Tesis de maestría.

Hernández Muñoz, Aurelio. (2016). *Optimación del Compostaje de Residuos Sólidos Urbanos en Proceso de serie Anaerobio - Aerobio*. Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Madrid . Madrid : s.n., 2016. pág. 407 , Tesis Doctoral.

La maquinaria Pesada en movimiento de tierras. Ferreyros, Consorcio. (2018). Mexico : s.n., 24 de 01 de 2018, pág. 74.

Reynoso , Martín Alejandro (2017). *Biodigestión anaeróbica*. Ingeniería en Recursos Naturales Renovables , Universidad Nacional de Cuyo . Mendoza : s.n., 2017. pág. 137 , Tesis para el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables.

Romo Legña, Diego Fabricio (2015). *Modelización de un sistema de generación distribuida basada en biogas como fuente de energía alternativa*. Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana. Quito : s.n., 2015. pág. 124, Tesis pregrado.

San Millán Cossío , Alfredo (2018). *Estudio técnico sobre biodigestores anaeróbicos, aplicado al tratamiento de la fracción orgánica de los residuos municipales*. Ingeniería de Minas y Energía , Universidad de Cantabria . Cantabria : s.n., 2018. pág. 63, Trabajo de fin de grado.

Veronica . (2018). 69, Chile: *Deporte, cultura y comunicación*, 30 de 11 de 2018, Vol. 1, pág. 97.

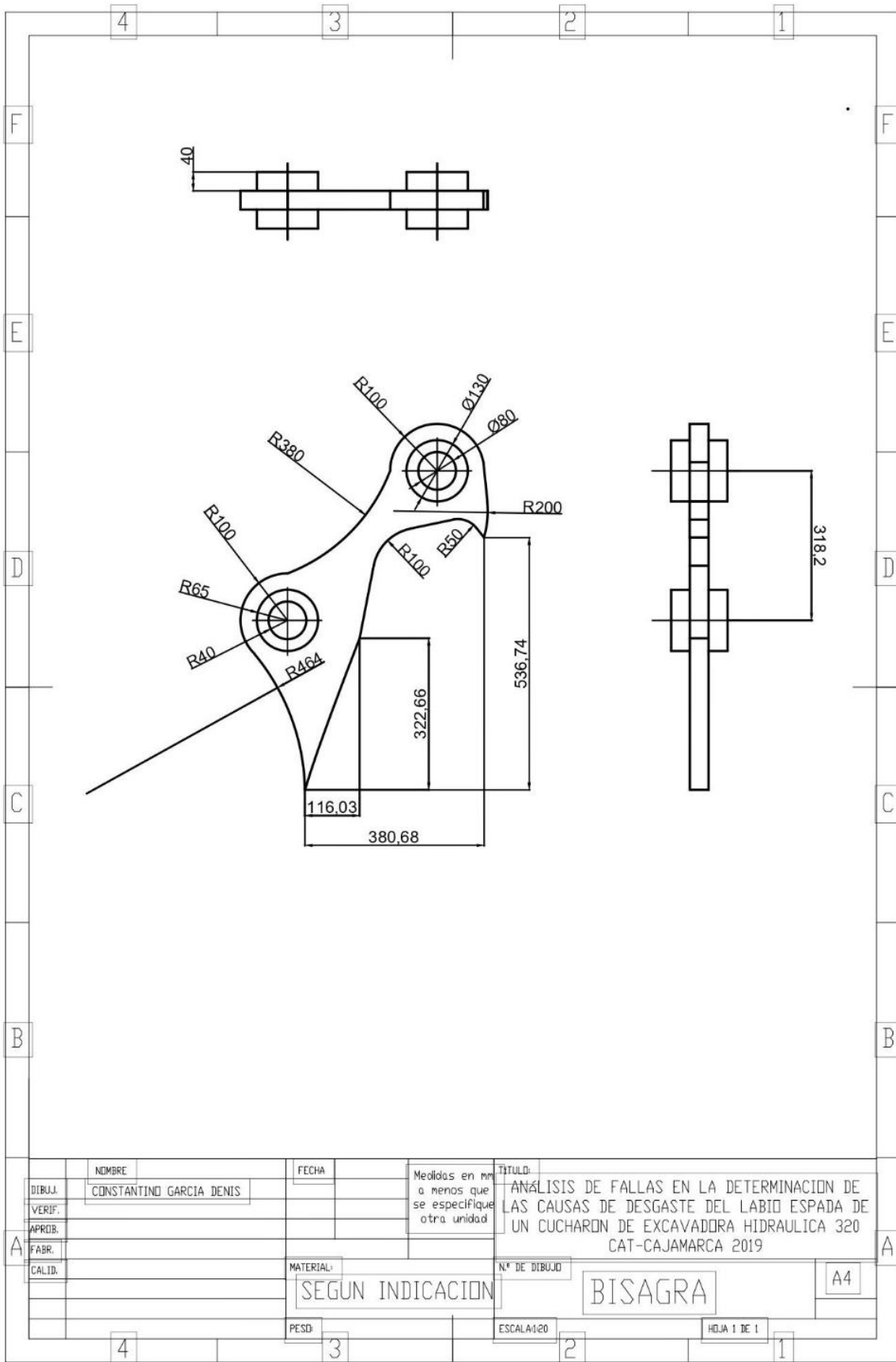
Yauyo Ramos , Luz Marina. (2016). *Elaboración de un Biodigestor Piloto Tubular para el manejo de estiércol porcino, en una de las viviendas de la asociación Agropecuaria Los Lúcumos de Pachacamac*. Ingeniería Ambiental , Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur . Villa el Salvador : s.n., 2016. pág. 131, Tesis para el Título de Ingeniero Ambiental

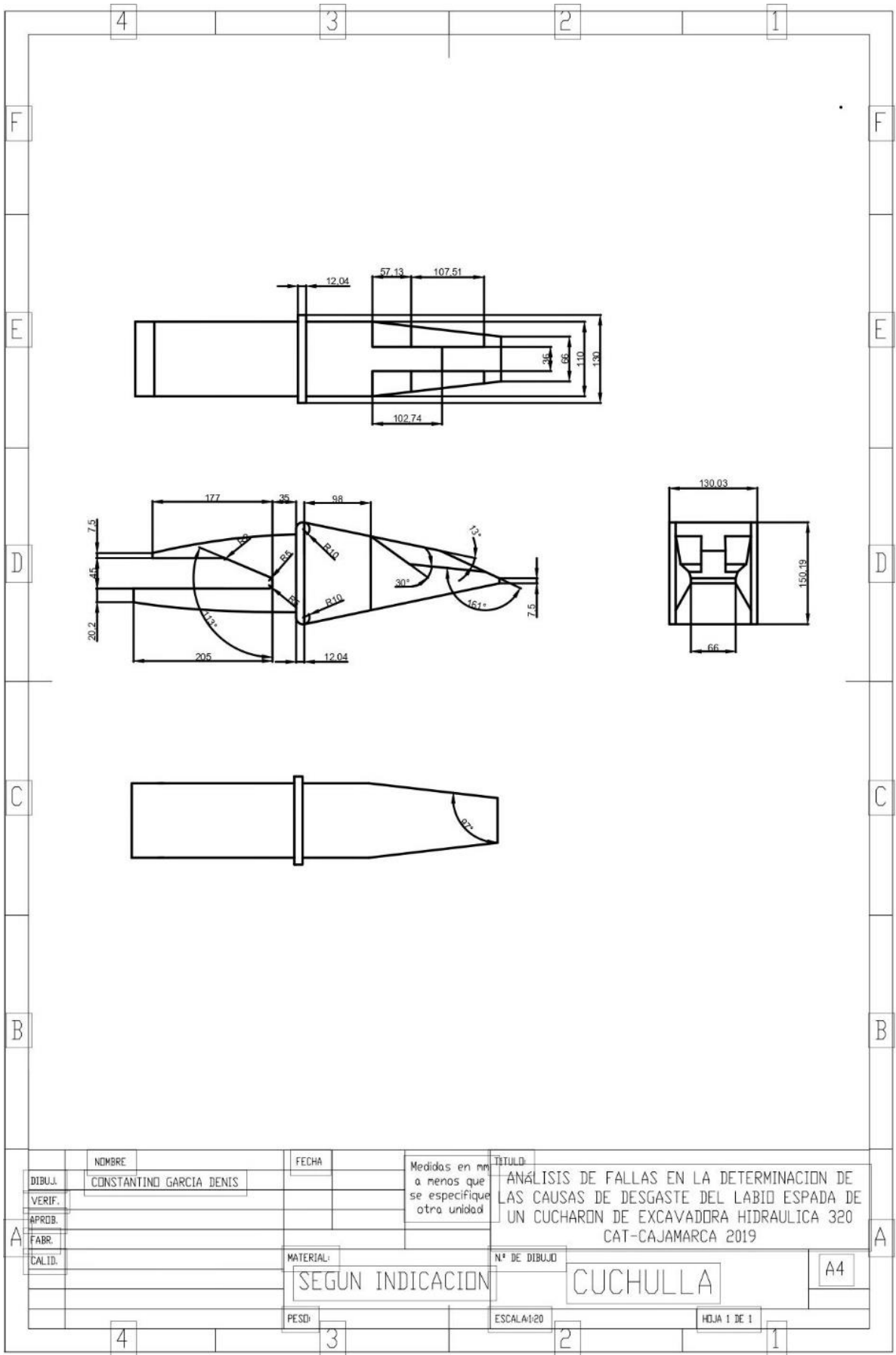
## ANEXOS

### Anexo 1. – Matriz de Operacionalización de Variables

<b>Variables independientes</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Indicador</b>	<b>Escala de Medición</b>
Análisis de falla en la determinación de causas por desgaste en labio espada de cucharón de excavadora	Examinar la pieza, su diseño, métodos de fabricación, material elegido, condiciones de operación y causas de la falla. Dentro de los procedimientos empleados para identificar todos los elementos relacionados con la falla, se emplean ensayos no destructivos (tintas penetrantes, partículas magnéticas, radiografía industrial, ultrasonido, etc.) y destructivos (ensayo de dureza, prueba de tracción, análisis metalográfico bajo el microscopio, prueba de doblez, prueba de impacto, ensayo de fatiga, etc.).	Determinar el desgaste del labio espada del cucharón	Milímetros (mm)	Razón
		Identificar que el tipo de material sobre el que trabaja	Duro/blando	Intervalo
		Examinar las probetas para determinar dureza y corrosión	Grados brinell  Desgaste / tiempo	Razón
<b>Variables dependientes</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Indicador</b>	<b>Escala de Medición</b>
Aumentar el tiempo de vida útil	La vida útil es el período en el que se espera utilizar el activo por parte de la empresa y, a su vez, el tiempo durante el cual se produce la amortización	Determinar el aumento de dureza	Grados brinell  Desgaste / tiempo	

## Anexo 2.- Planos del Cucharon de Excavadora 320d-CaT



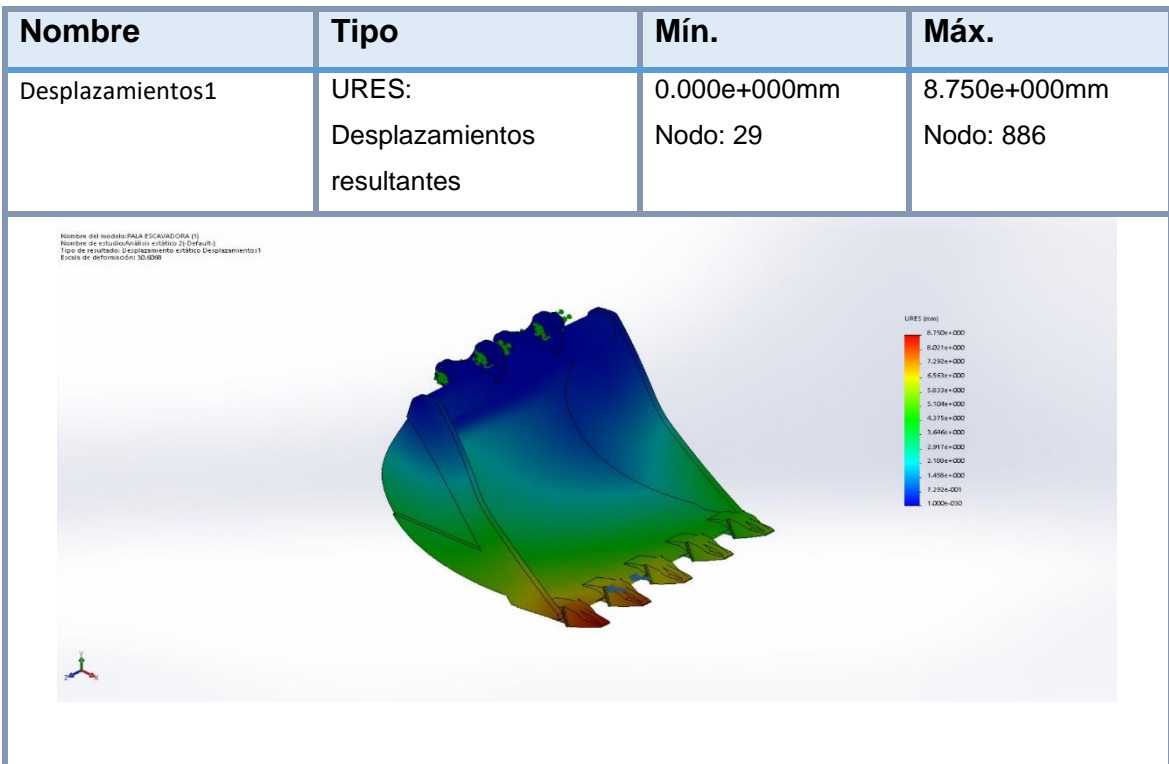
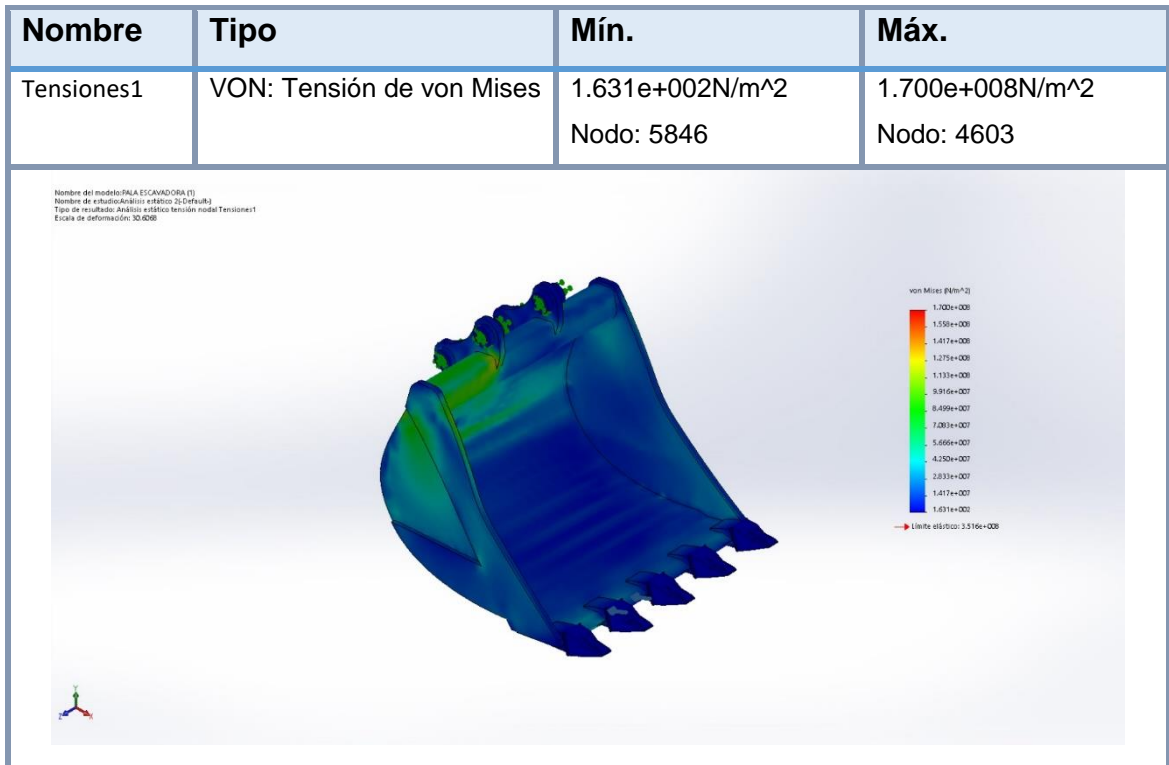


	NOMBRE	FECHA	Medidas en mm a menos que se especifique otra unidad	TÍTULO
DIBUJ.	CONSTANTINO GARCIA DENIS			ANÁLISIS DE FALLAS EN LA DETERMINACION DE LAS CAUSAS DE DESGASTE DEL LABIO ESPADA DE UN CUCHARON DE EXCAVADORA HIDRAULICA 320 CAT-CAJAMARCA 2019
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				
	MATERIAL		Nº DE DIBUJO	
	SEGUN INDICACION		CUCHULLA	A4
	PESO		ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1



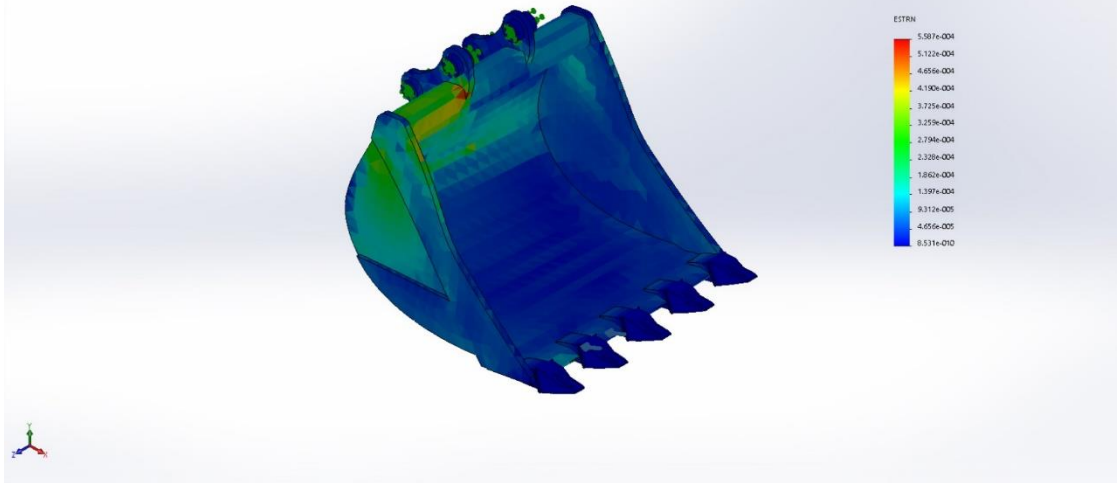
## Anexo3 .- Resultados de los Estudios Estáticos

### Escenario 1.- Análisis de fuerza máxima por labio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	8.531e-010 Elemento: 7865	5.587e-004 Elemento: 6032

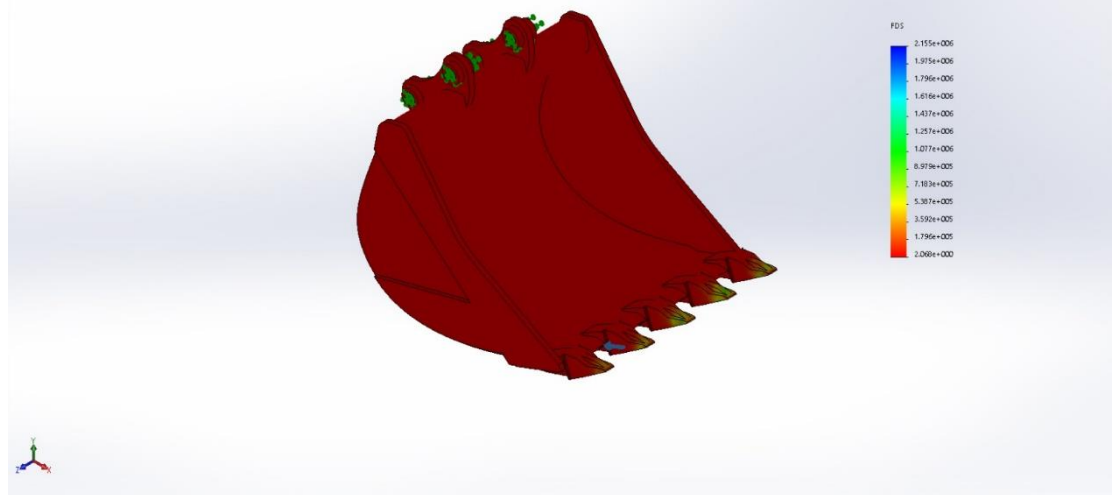
Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(Default)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 30.0000



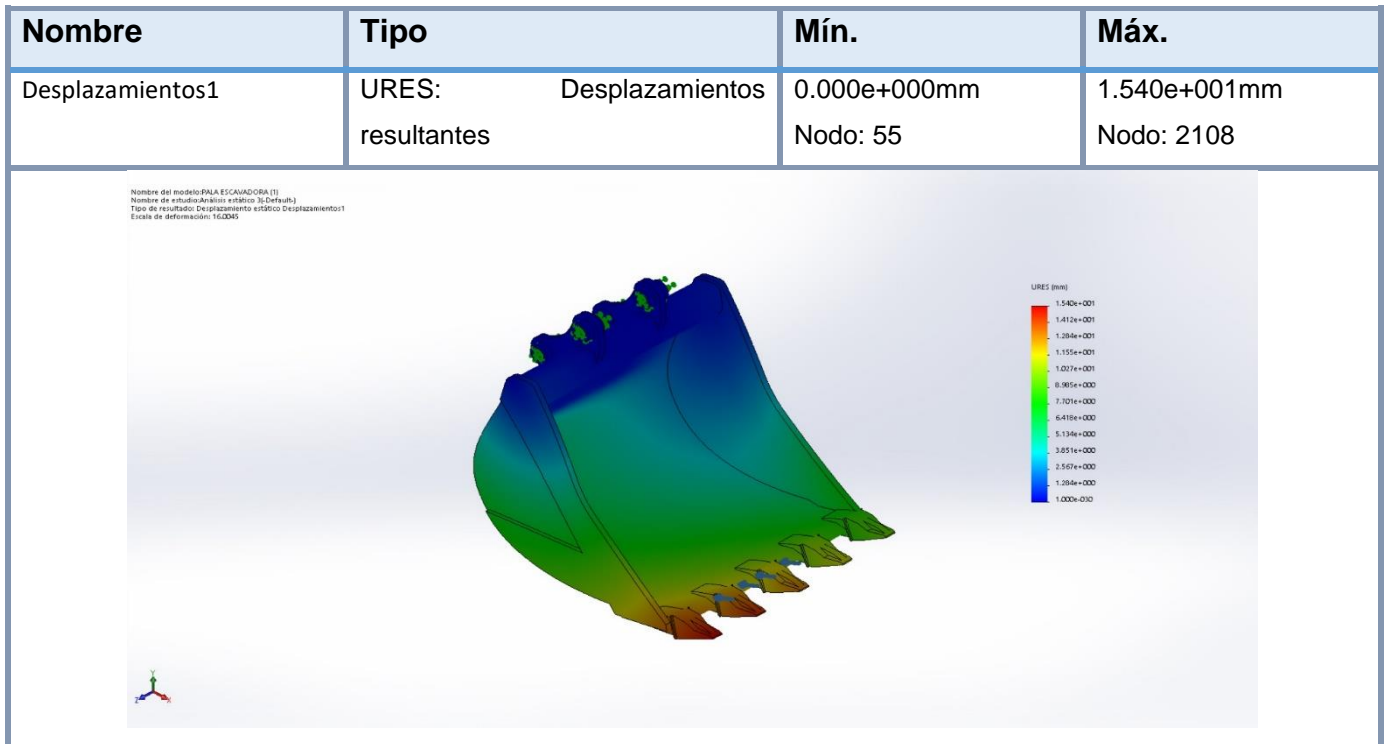
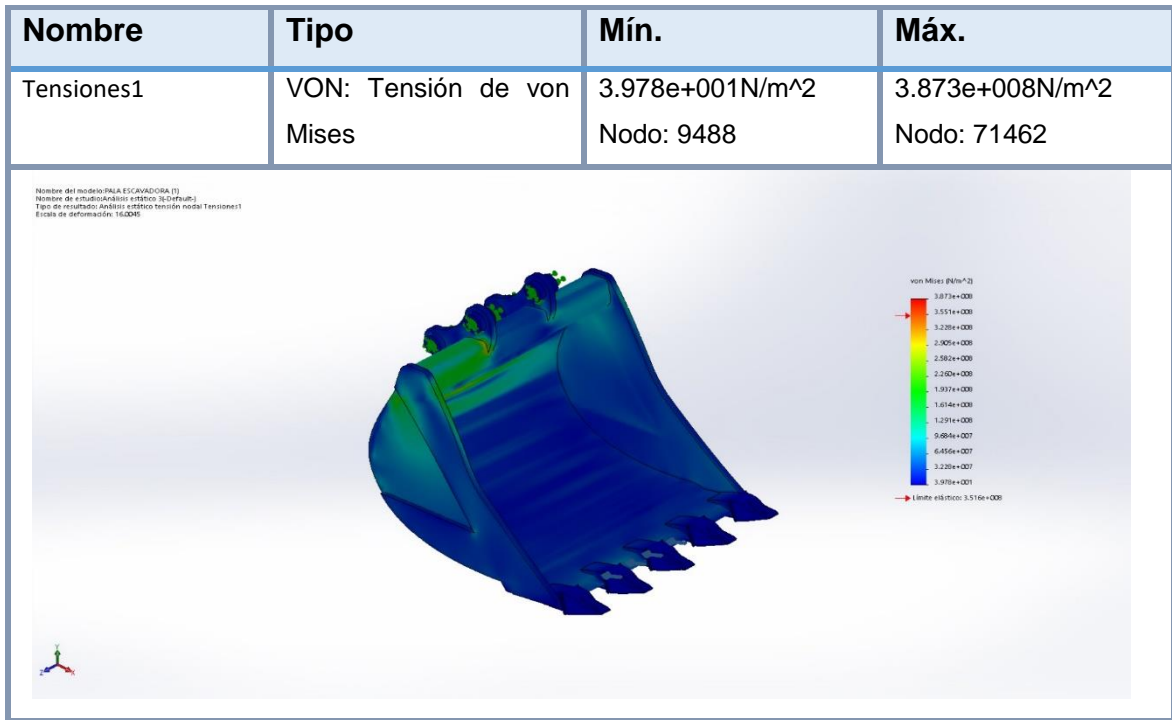
PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	2.068e+000 Nodo: 4603	2.155e+006 Nodo: 5846

Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Análisis estático 2(Default)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FOS mín = 2.1

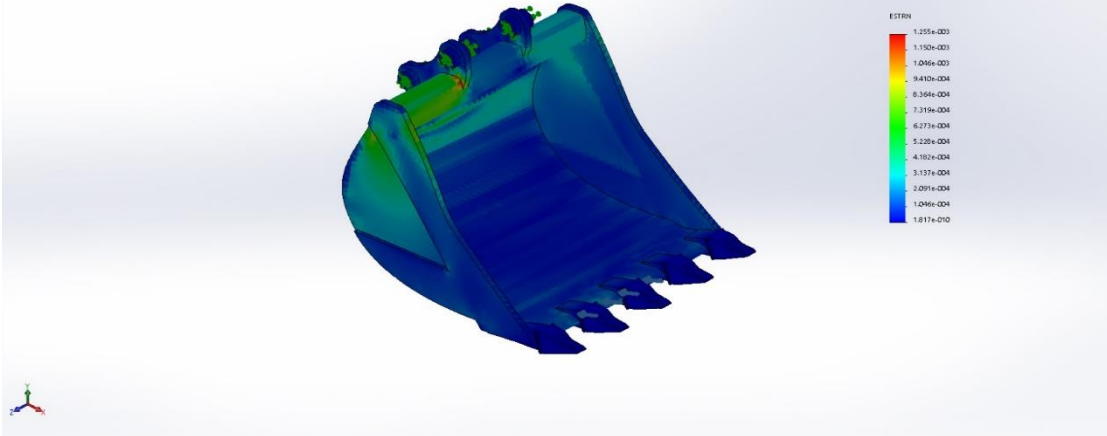


## Escenario 2.- Análisis de fuerza máxima por labio



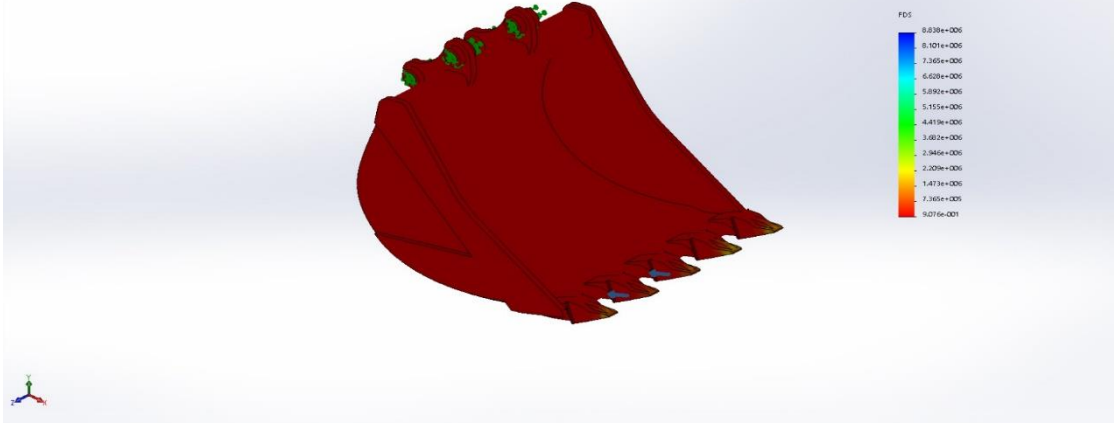
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.817e-010 Elemento: 19892	1.255e-003 Elemento: 2685

Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Analisis estático (1) (Default)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Deformaciones unitarias)  
Escala de deformación: 10.00%



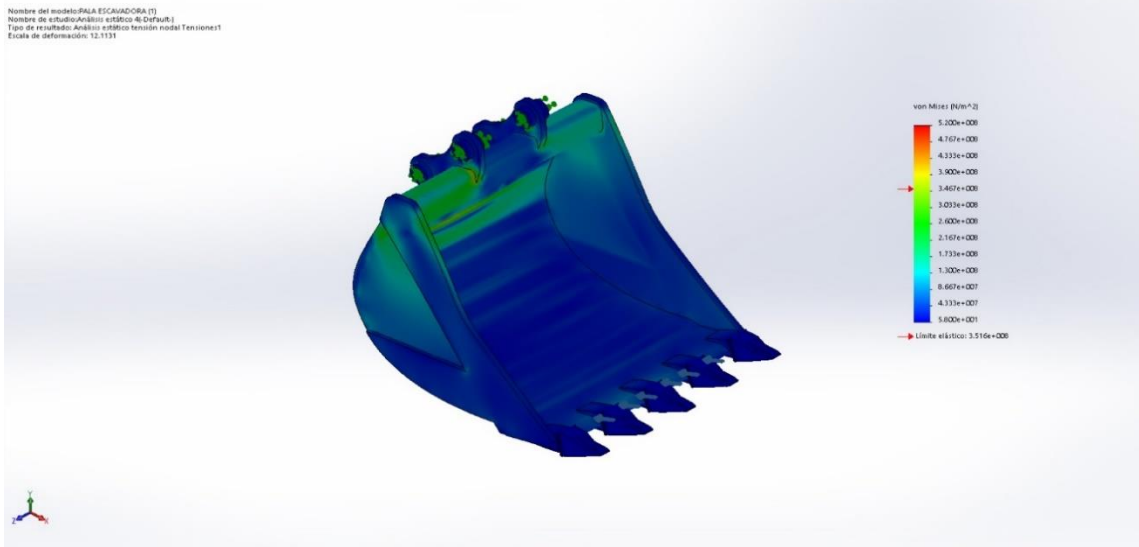
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	9.076e-001 Nodo: 71462	8.838e+006 Nodo: 9488

Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Analisis estático (1) (Default)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad (Factor de seguridad)  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 0.91

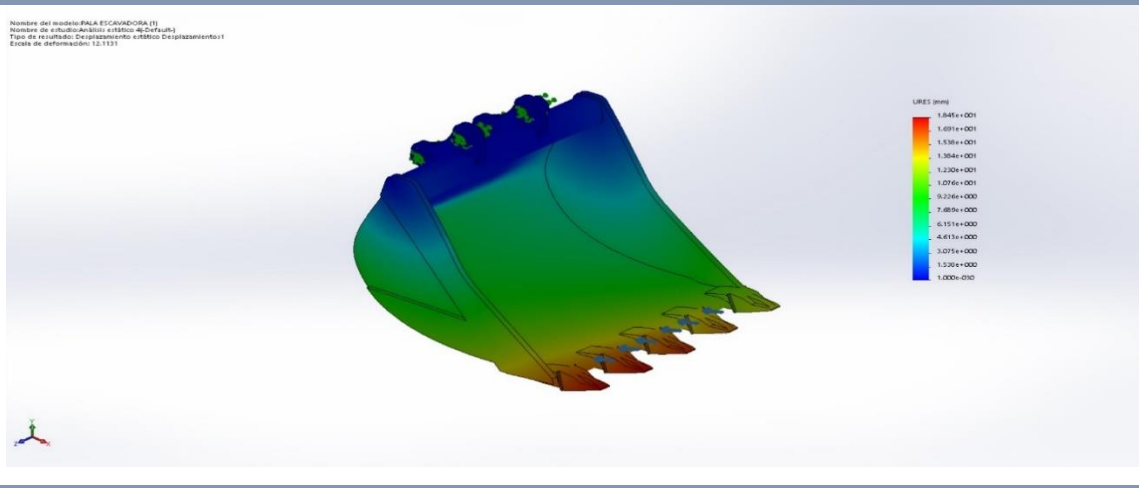


### Escenario 3.- Análisis de fuerza máxima por labio

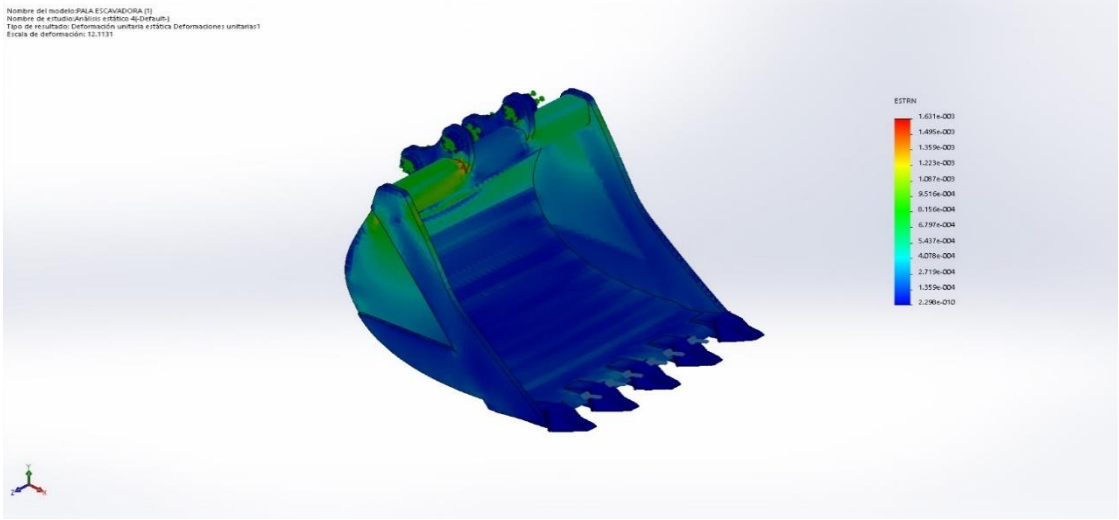
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	5.800e+001N/m <sup>2</sup> Nodo: 20892	5.200e+008N/m <sup>2</sup> Nodo: 71462



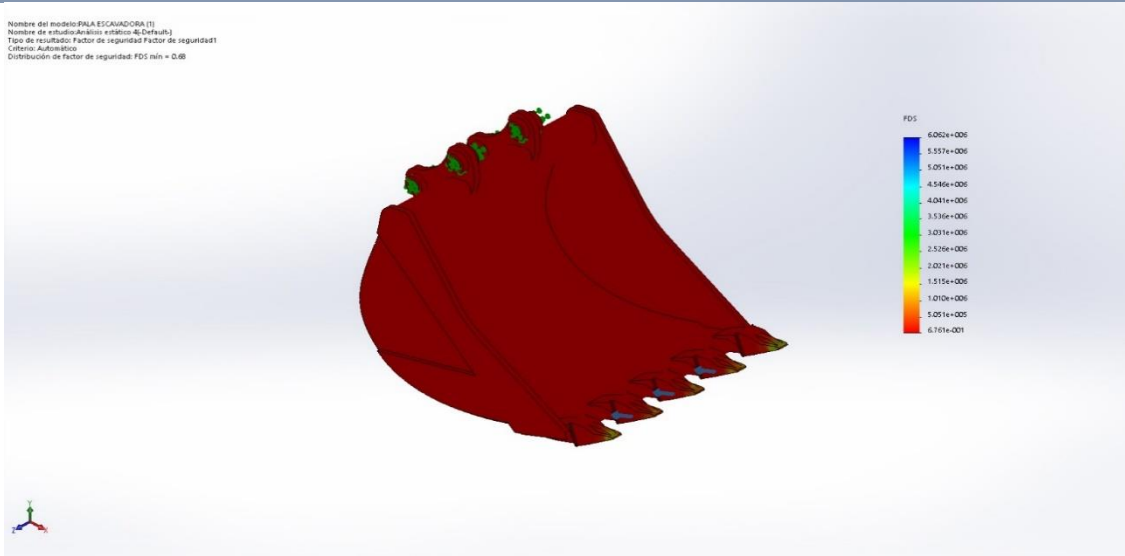
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+000mm Nodo: 55	1.845e+001mm Nodo: 2108



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.298e-010 Elemento: 3647	1.631e-003 Elemento: 2685

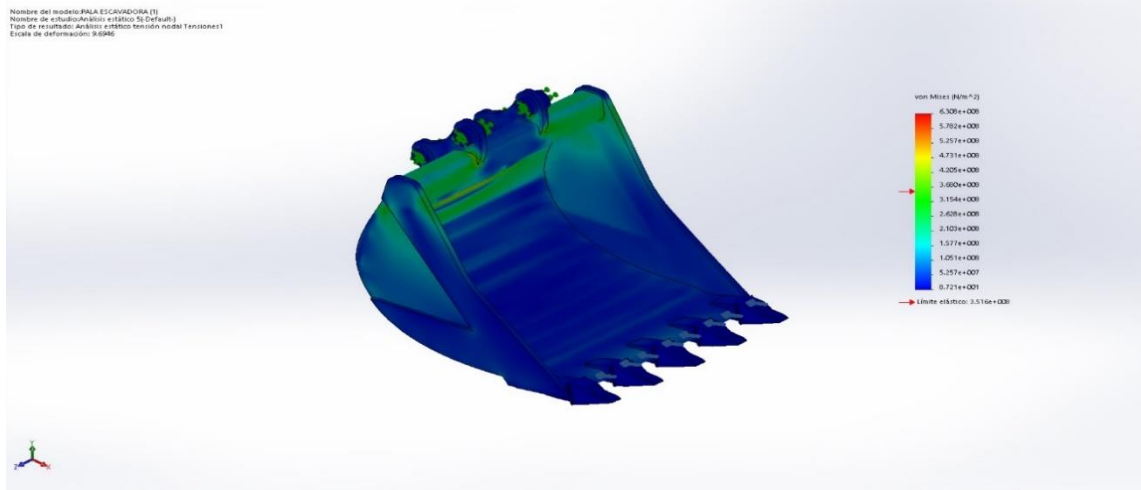


Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad1	Automático	6.761e-001 Nodo: 71462	6.062e+006 Nodo: 20892

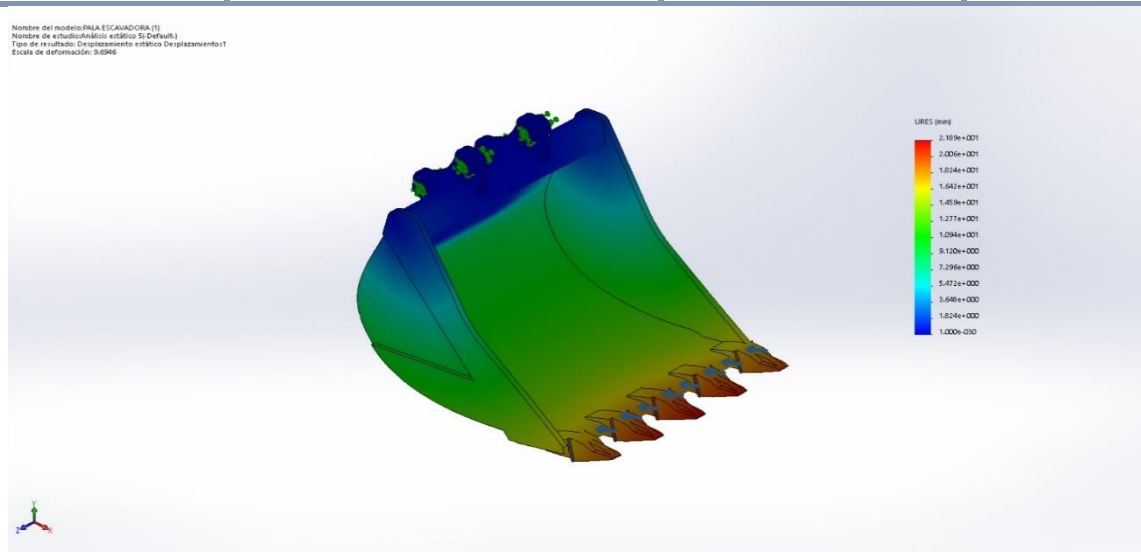


## Escenario 4.- Análisis de fuerza máxima por labio

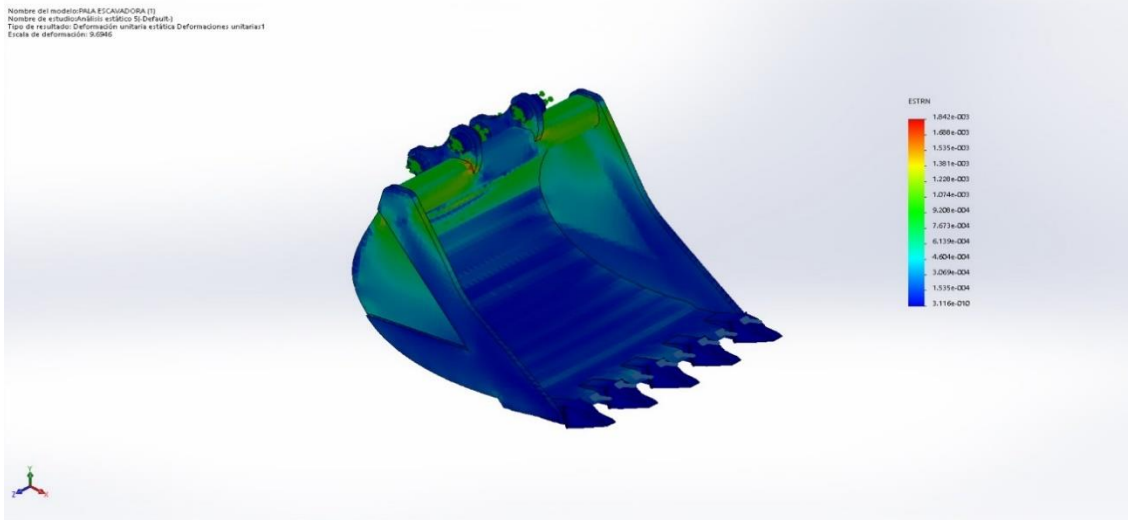
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	8.721e+001N/m <sup>2</sup> Nodo: 19838	6.308e+008N/m <sup>2</sup> Nodo: 71311



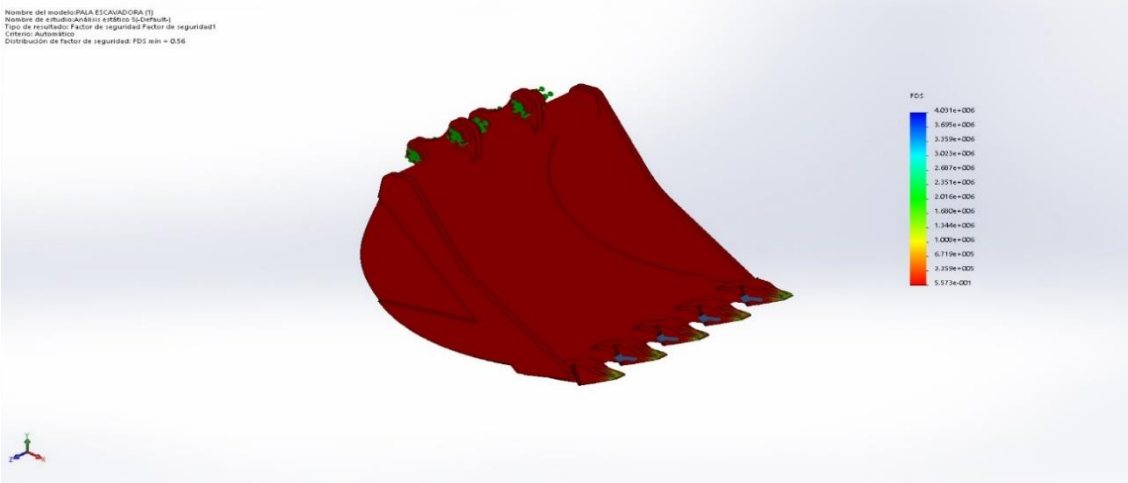
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+000mm Nodo: 55	2.189e+001mm Nodo: 2167



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.116e-010 Elemento: 33554	1.842e-003 Elemento: 2685



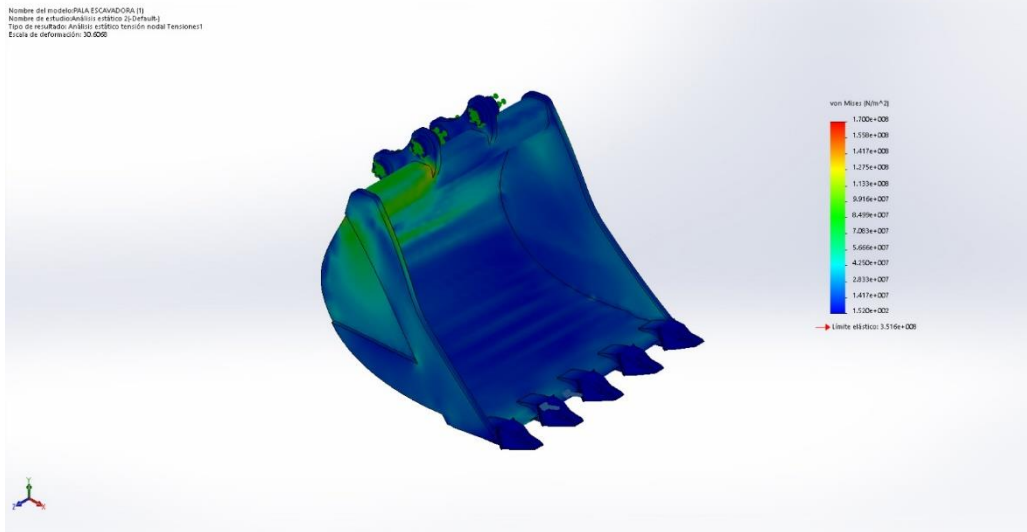
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	5.573e-001 Nodo: 71311	4.031e+006 Nodo: 19838





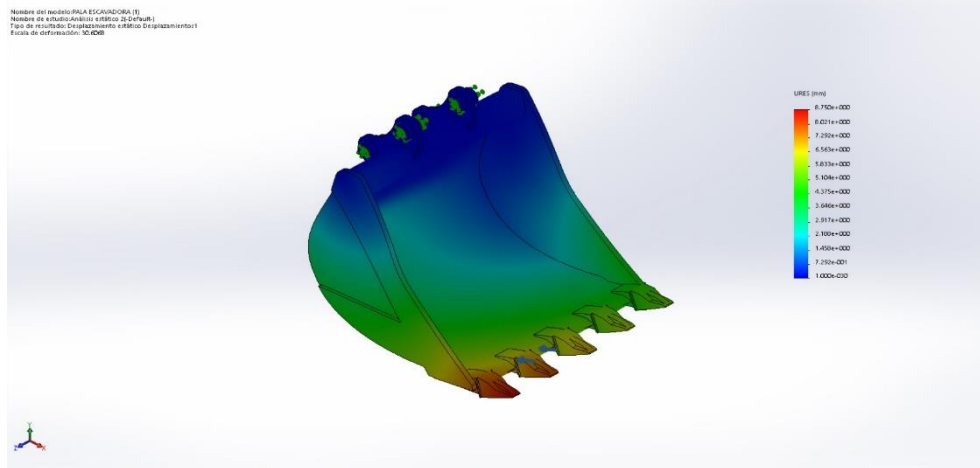
## Escenario 1.- Análisis bajo fuerza de trabajo distribuida

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1.520e+002N/m <sup>2</sup> Nodo: 5846	1.700e+008N/m <sup>2</sup> Nodo: 4603



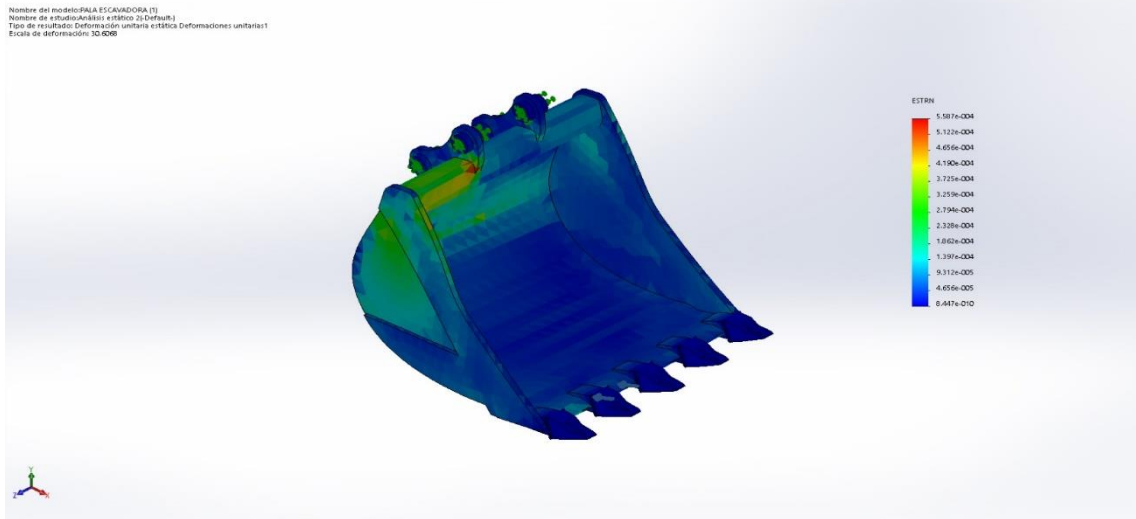
PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+000mm Nodo: 29	8.750e+000mm Nodo: 886



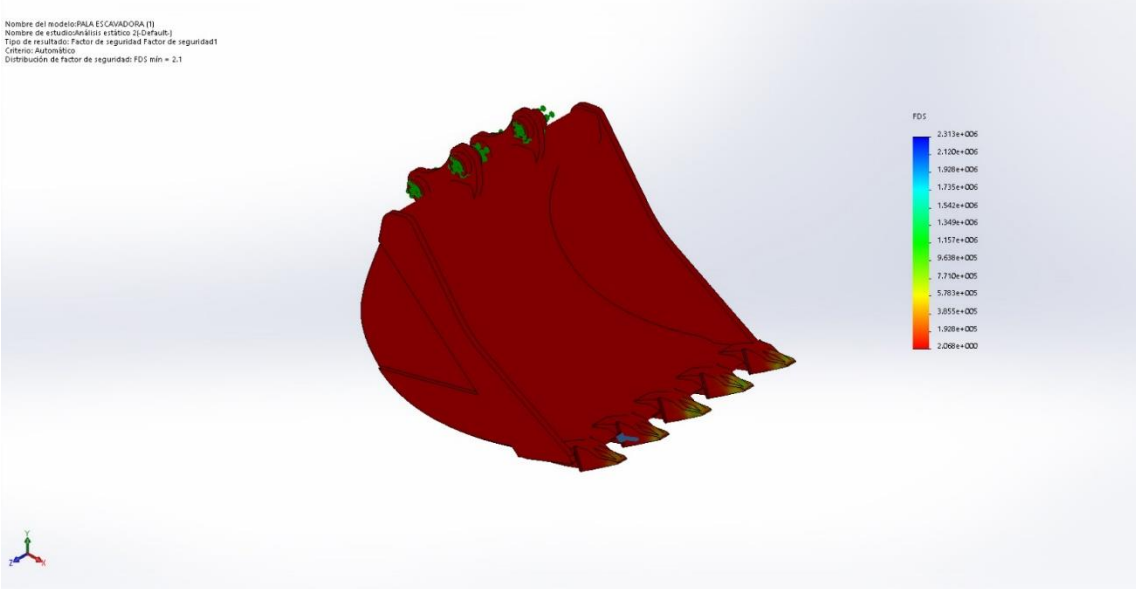
PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	8.447e-010 Elemento: 7865	5.587e-004 Elemento: 6032



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	2.068e+000 Nodo: 4603	2.313e+006 Nodo: 5846

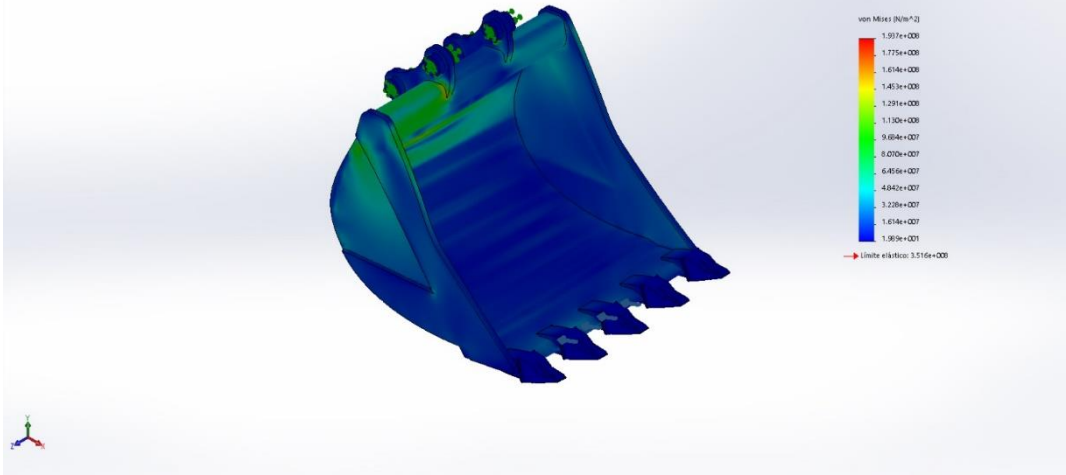


PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

## Escenario 2.- Análisis bajo fuerza de trabajo distribuida

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1.989e+001N/m <sup>2</sup> Nodo: 9488	1.937e+008N/m <sup>2</sup> Nodo: 71462

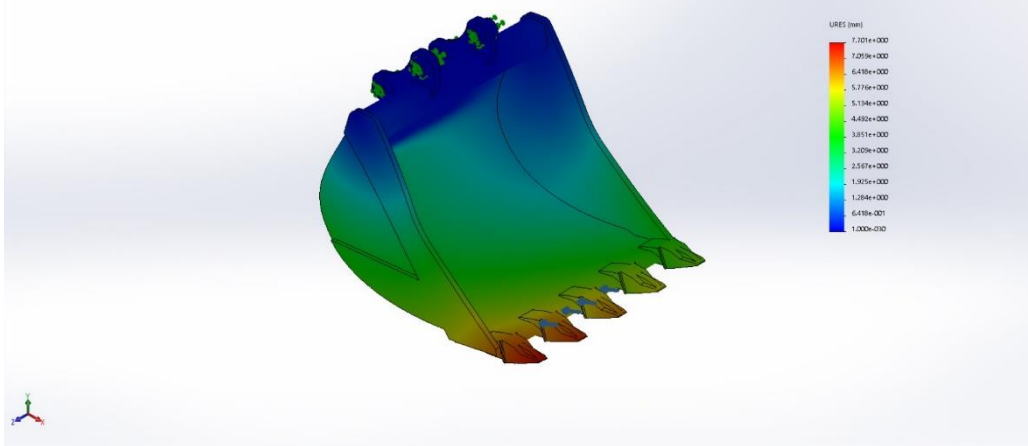
Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Análisis estático 3 (Default)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tension1  
Escala de deformación: 32.0091



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+000mm Nodo: 55	7.701e+000mm Nodo: 2108

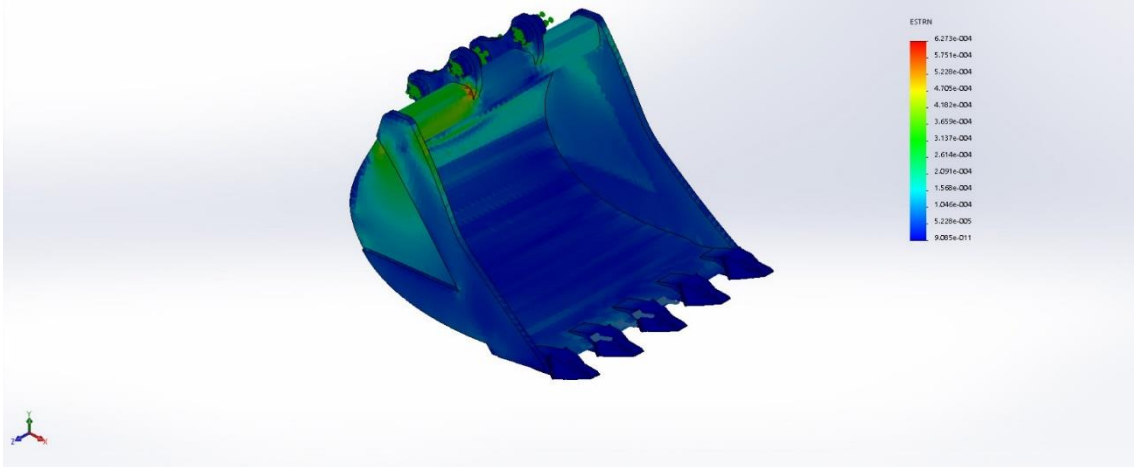
Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Análisis estático 3 (Default)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 32.0091



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	9.085e-011 Elemento: 19892	6.273e-004 Elemento: 2685

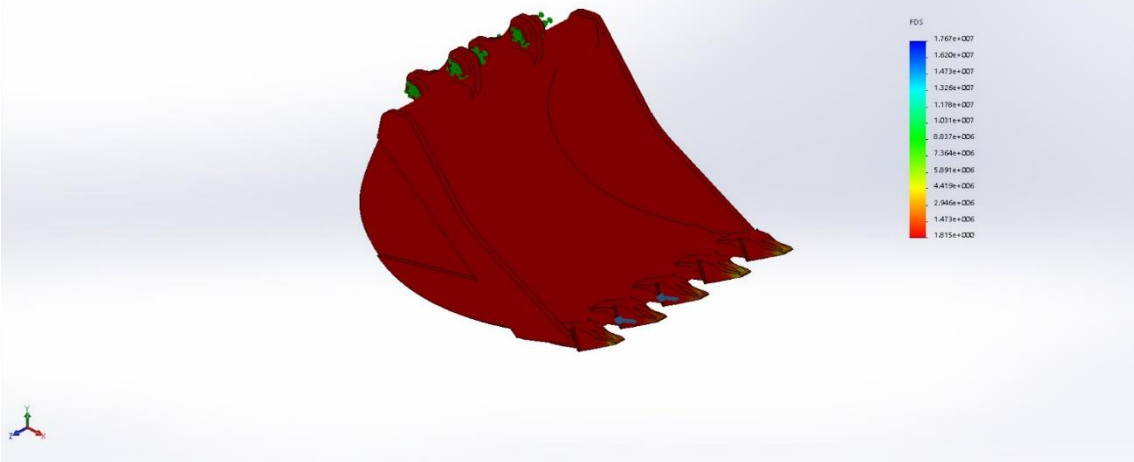
Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Análisis estático 3 (Default)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 32.0091



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.815e+000 Nodo: 71462	1.767e+007 Nodo: 9488

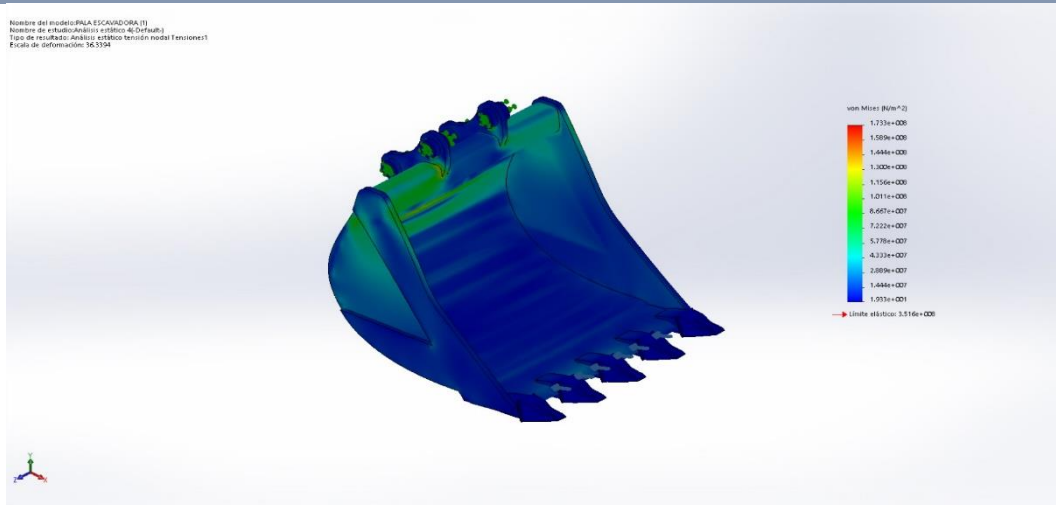
Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Análisis estático 3 (Default)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1.8



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

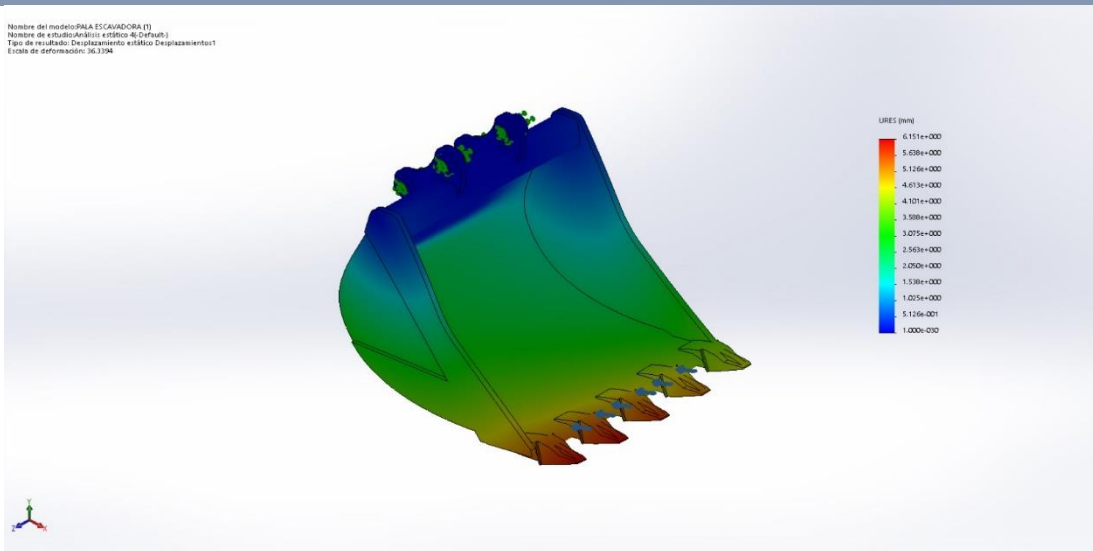
### Escenario 3.- Análisis bajo fuerza de trabajo distribuida

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1.933e+001N/m <sup>2</sup> Nodo: 20892	1.733e+008N/m <sup>2</sup> Nodo: 71462



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 4-Tensiones-Tensiones1

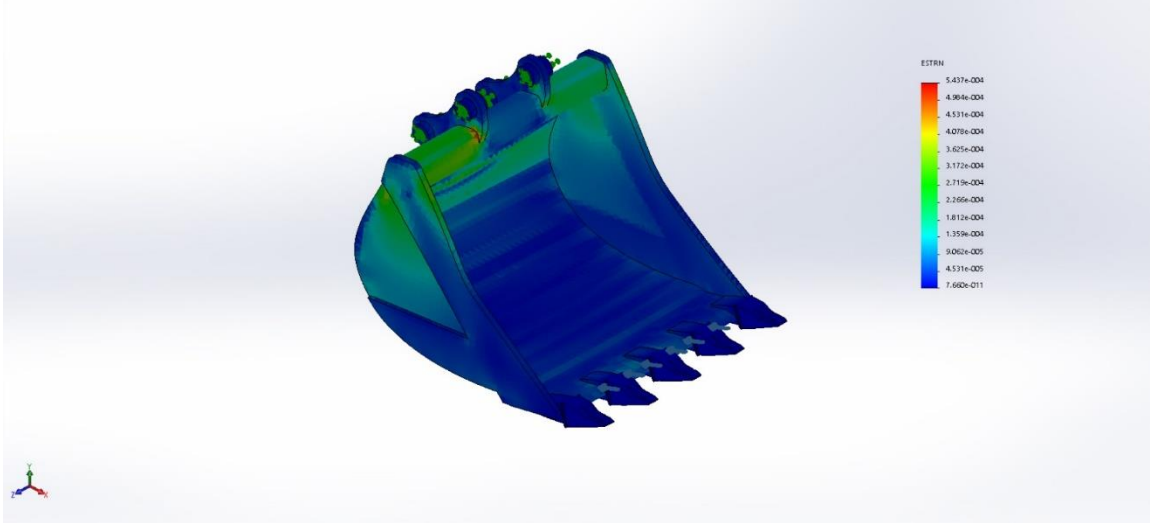
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+000mm Nodo: 55	6.151e+000mm Nodo: 2108



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 4-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7.660e-011 Elemento: 3647	5.437e-004 Elemento: 2685

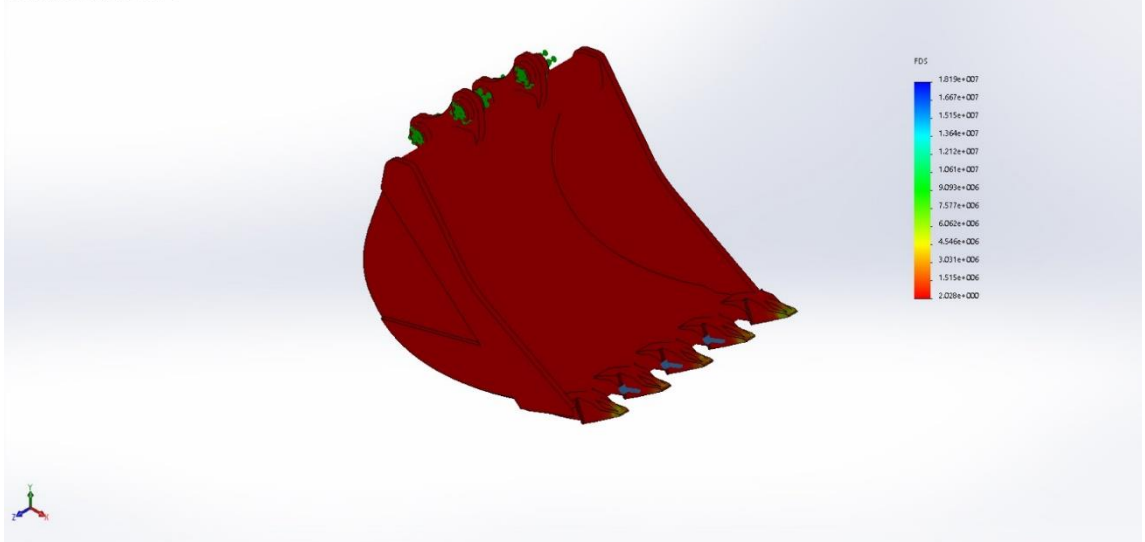
Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Análisis estático 4 (Default)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria ESTRN Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 36,3394



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 4-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	2.028e+000 Nodo: 71462	1.819e+007 Nodo: 20892

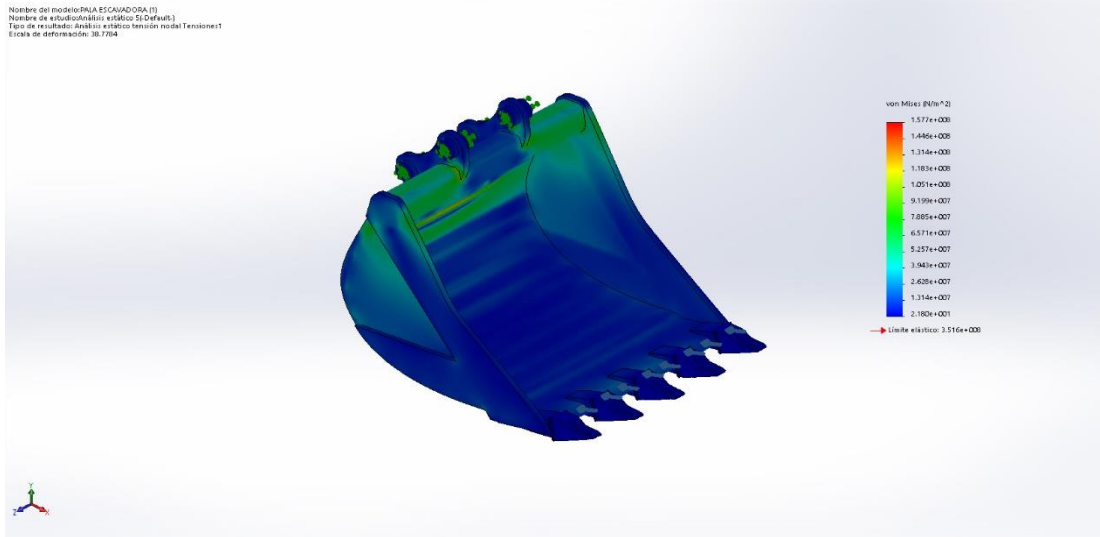
Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Análisis estático 4 (Default)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad1 Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 4-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

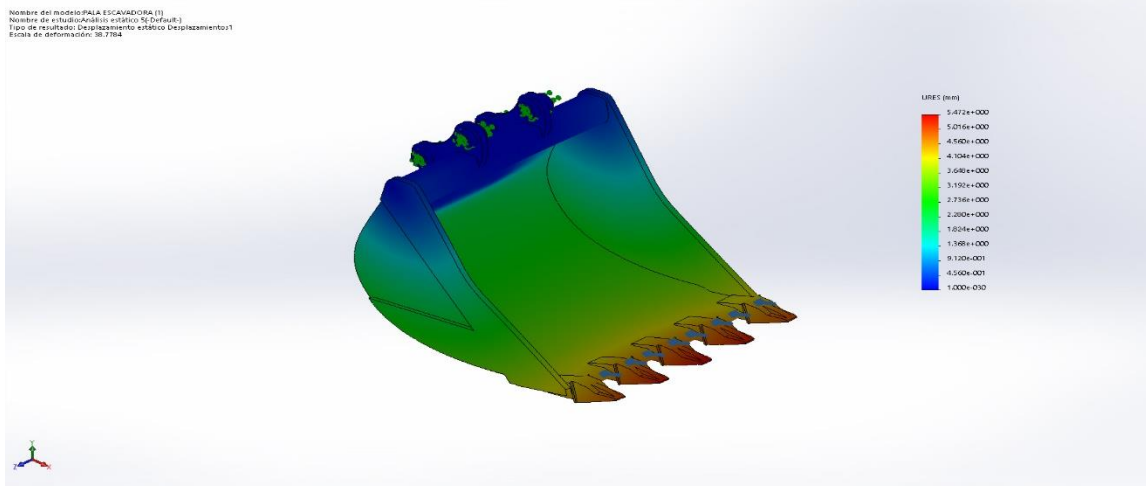
## Escenario 4.- Análisis bajo fuerza de trabajo distribuida

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2.180e+001N/m <sup>2</sup> Nodo: 19838	1.577e+008N/m <sup>2</sup> Nodo: 71311



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 5-Tensiones-Tensiones1

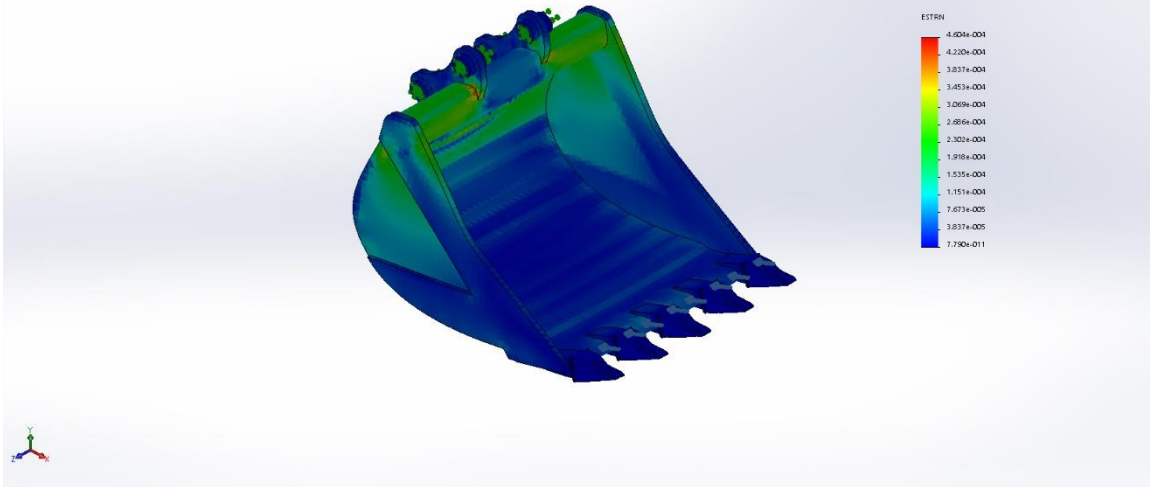
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+000mm Nodo: 55	5.472e+000mm Nodo: 2167



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 5-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7.790e-011 Elemento: 33554	4.604e-004 Elemento: 2685

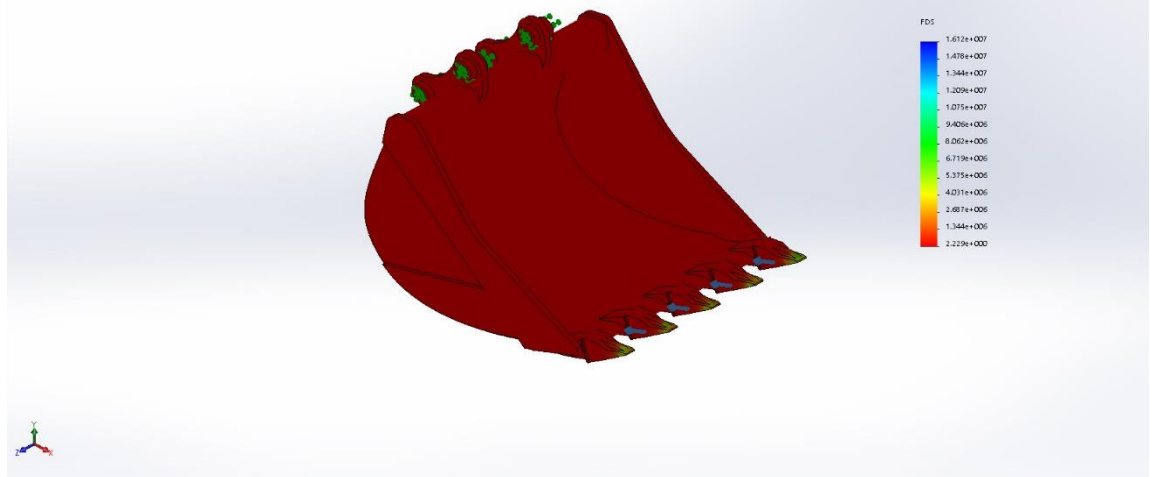
Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Analisis estático 5 (Default)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Deformaciones unitarias1)  
Escala de deformación: 20.7364



PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 5-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad1	Automático	2.229e+000 Nodo: 71311	1.612e+007 Nodo: 19838

Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Analisis estático 5 (Default)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad (Factor de seguridad1)  
Criterio: Automático  
Distribución de Factor de seguridad: FDS mín = 2.2



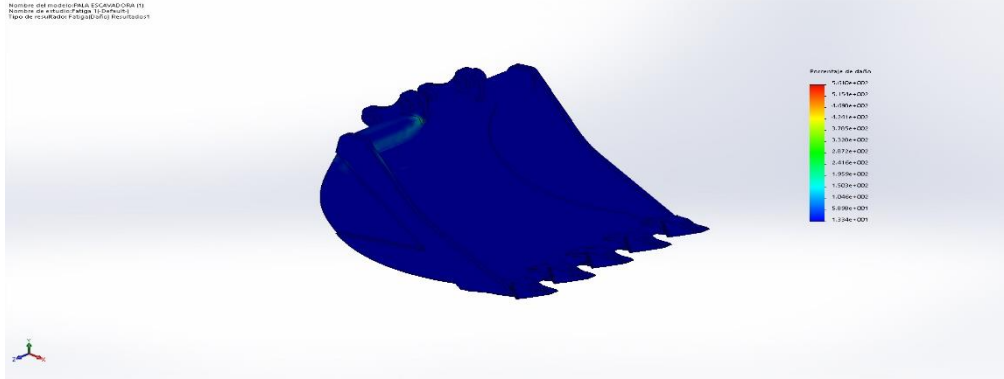
PALA ESCAVADORA (1)-Análisis estático 5-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

## Anexo 06.- Análisis de Fatiga para Fuerza Distribuida



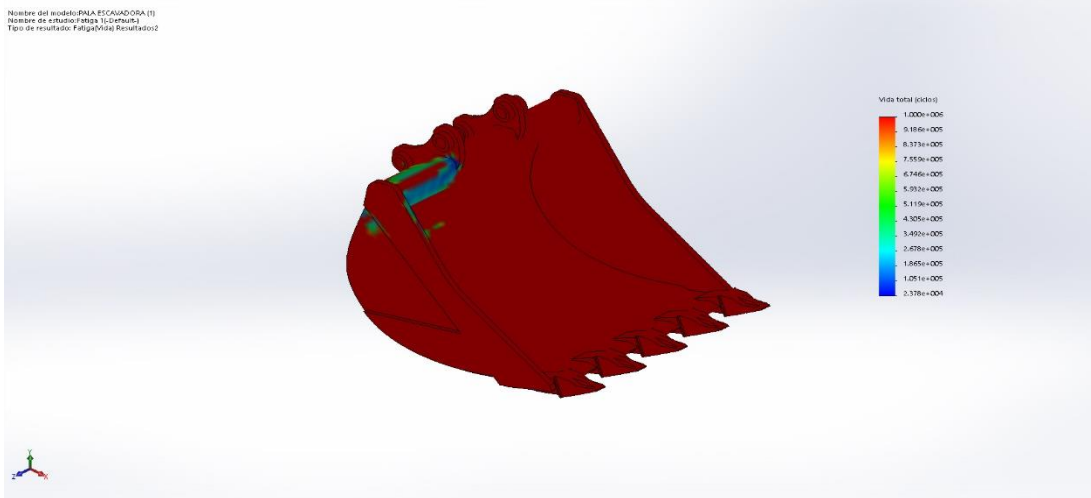
# Escenario 01

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Resultados1	Daño acumulado	1.334e+001 Nodo: 1	5.610e+002 Nodo: 4603



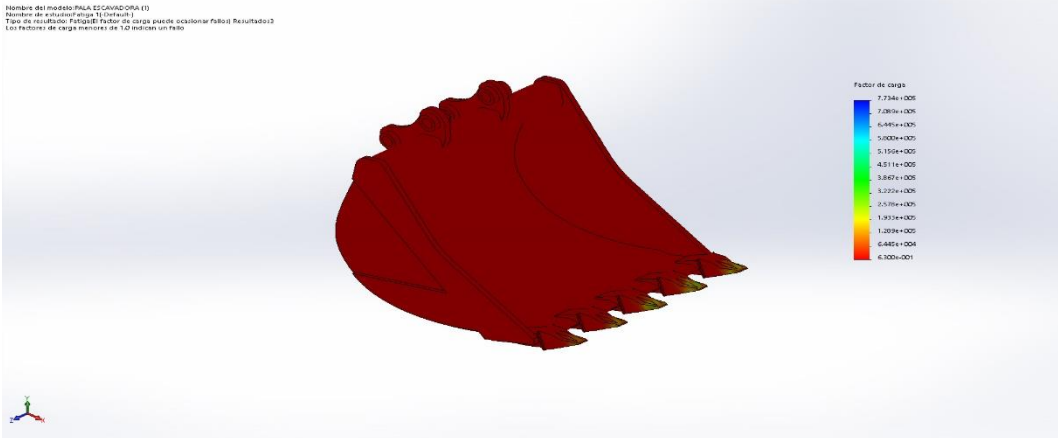
PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 1-Resultados-Resultados1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Resultados2	Vida total	2.378e+004ciclos Nodo: 4603	1.000e+006ciclos Nodo: 1



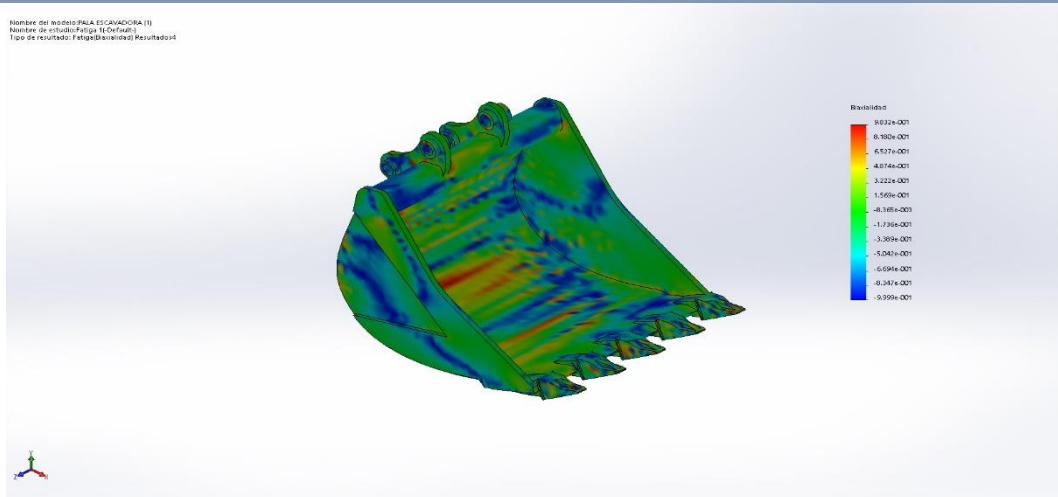
PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 1-Resultados-Resultados2

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Resultados3	Factor de carga	6.300e-001 Nodo: 4603	7.734e+005 Nodo: 5846



PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 1-Resultados-Resultados3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados4	Trazado de indicador de biaxialidad	-9.999e-001 Nodo: 1581	9.832e-001 Nodo: 8760



PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 1-Resultados-Resultados4

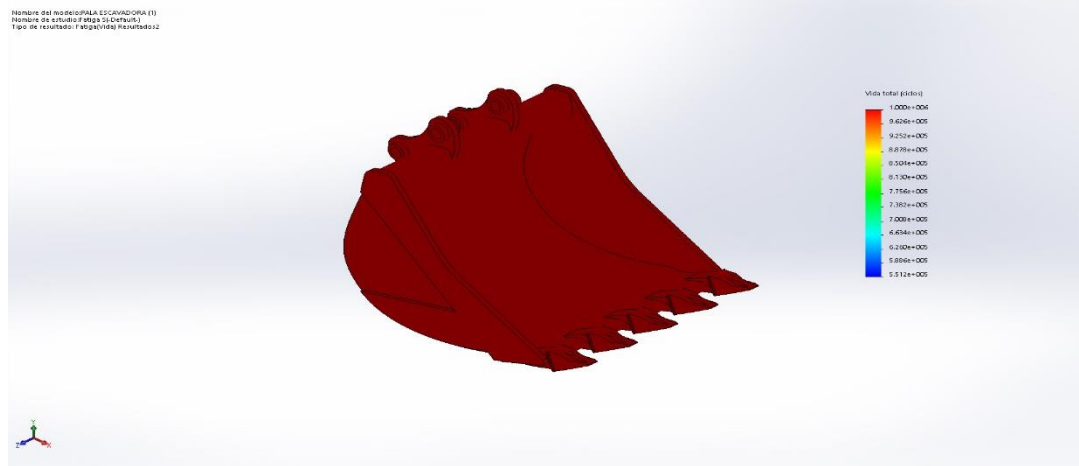
## Escenario 02

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados1	Daño acumulado	1.334e+001 Nodo: 1	2.420e+001 Nodo: 71311



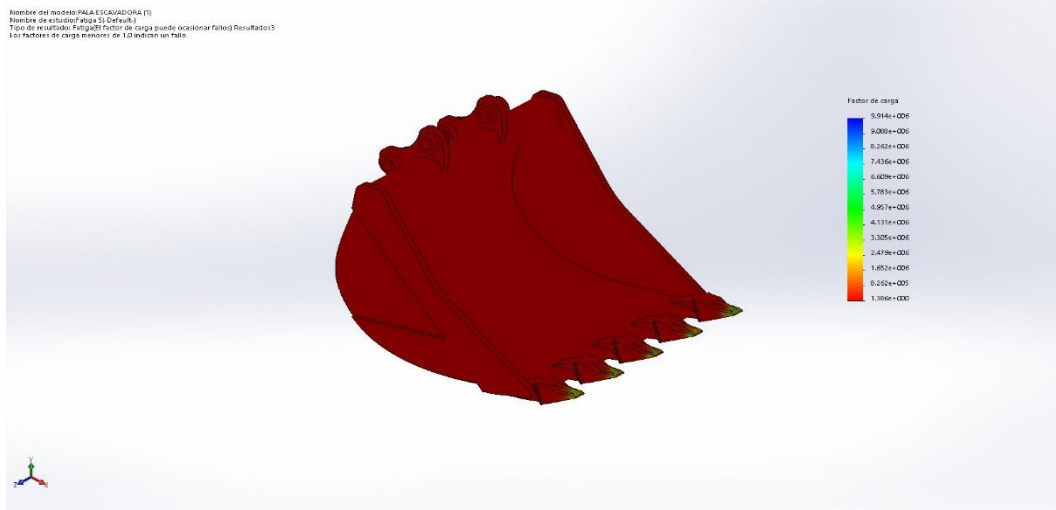
PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 5-Resultados-Resultados1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados2	Vida total	5.512e+005ciclos Nodo: 71311	1.000e+006ciclos Nodo: 1



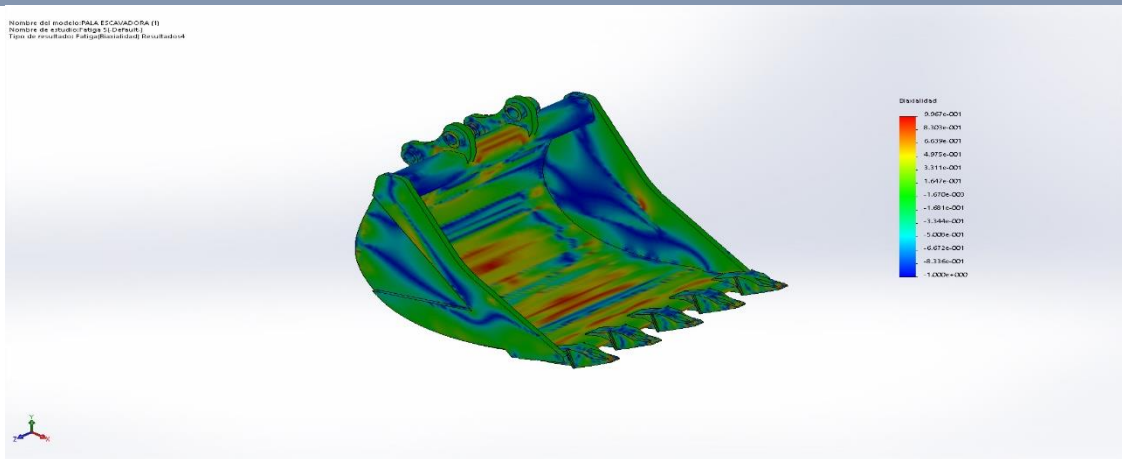
PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 5-Resultados-Resultados2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados3	Factor de carga	1.386e+000 Nodo: 71311	9.914e+006 Nodo: 19838



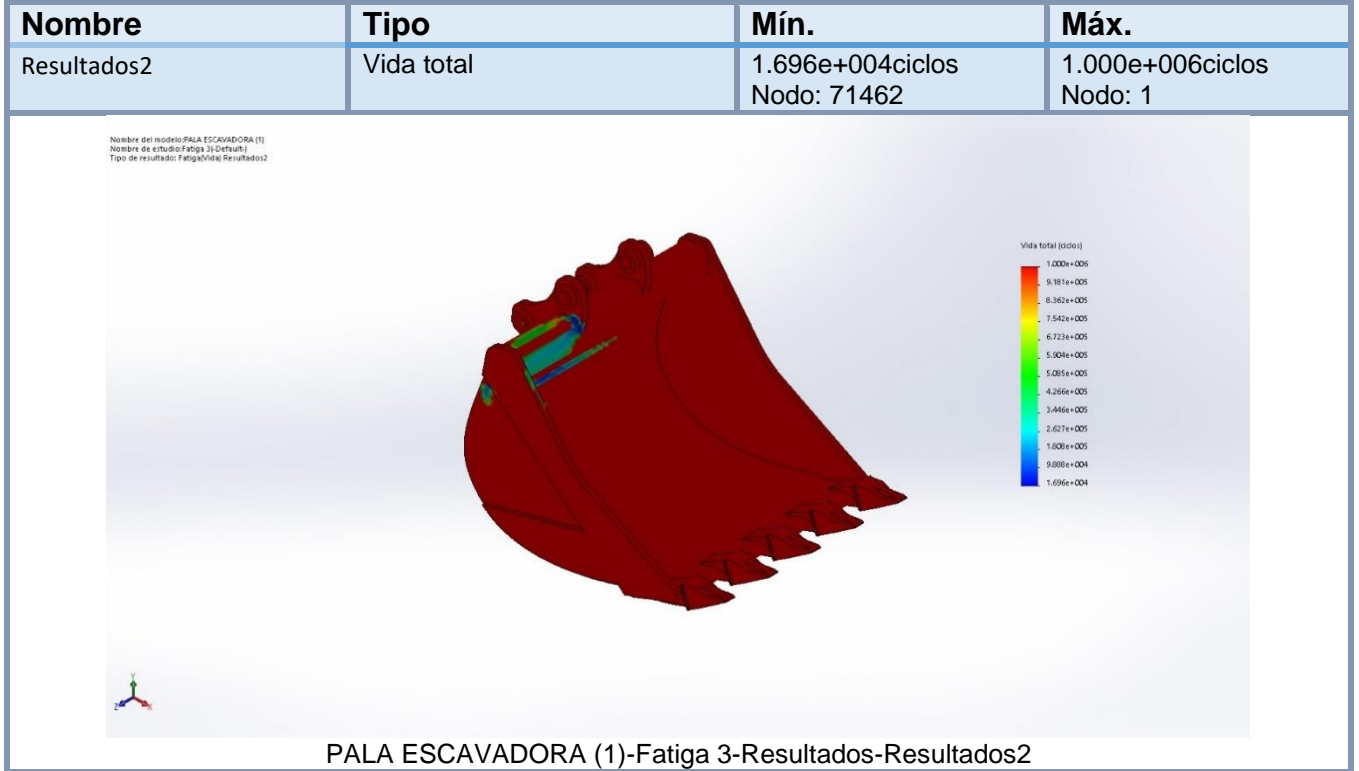
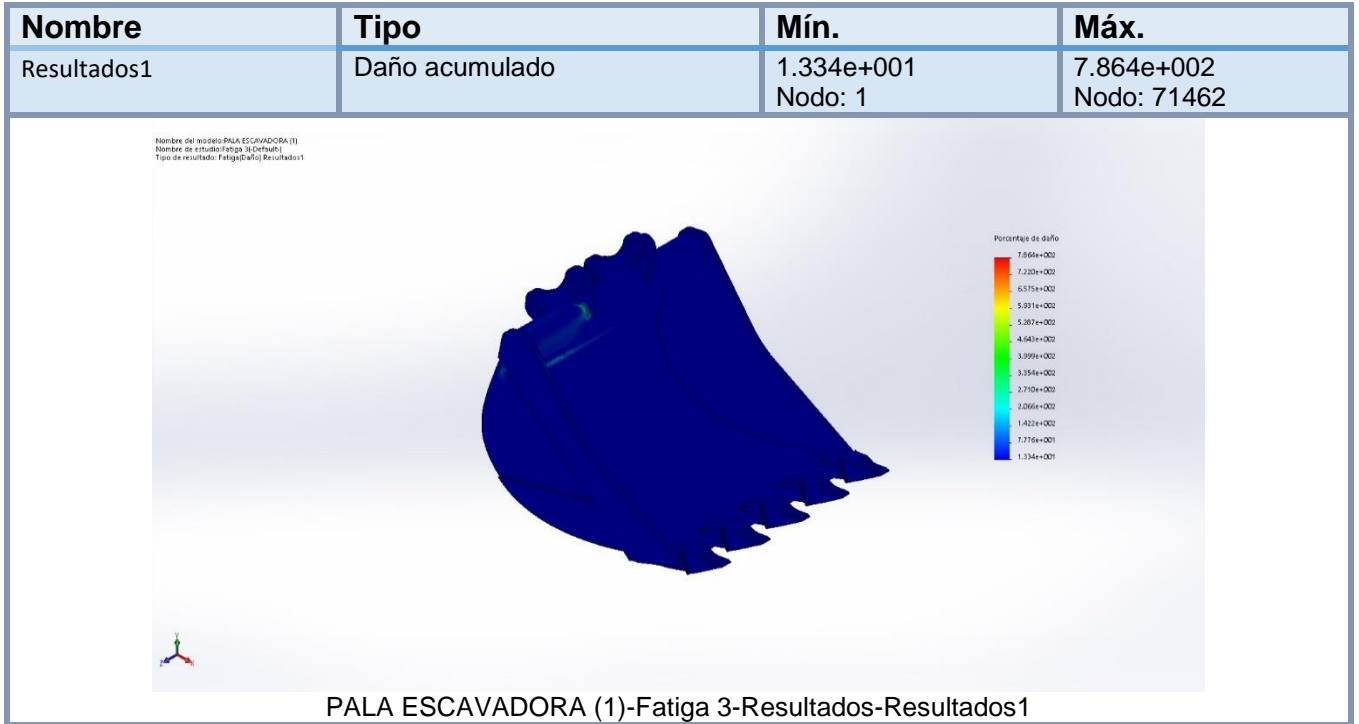
PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 5-Resultados-Resultados3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados4	Trazado de indicador de biaxialidad	-1.000e+000 Nodo: 16835	9.967e-001 Nodo: 27075

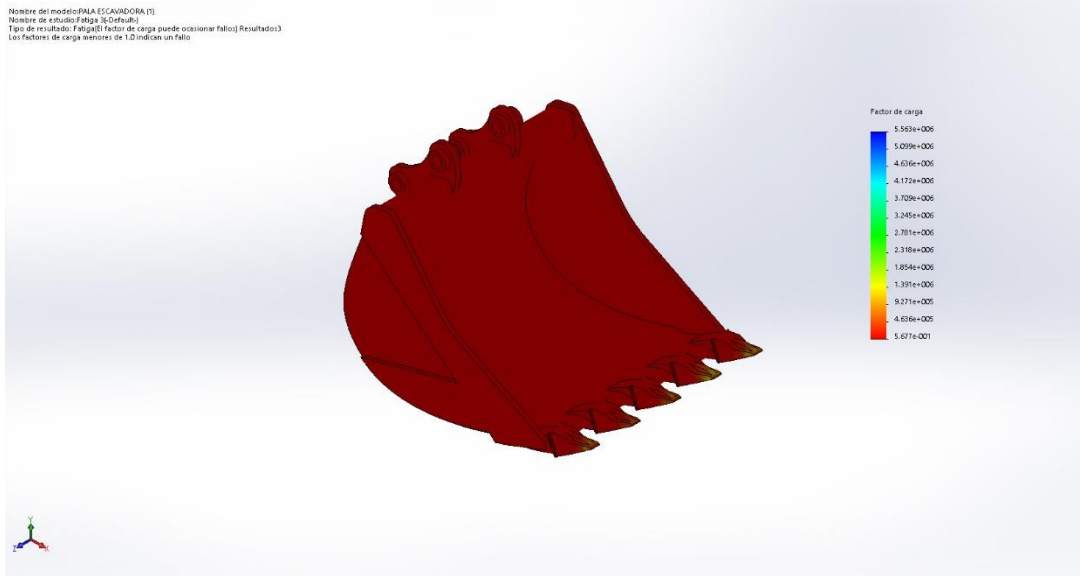


PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 5-Resultados-Resultados4

# Escenario 03

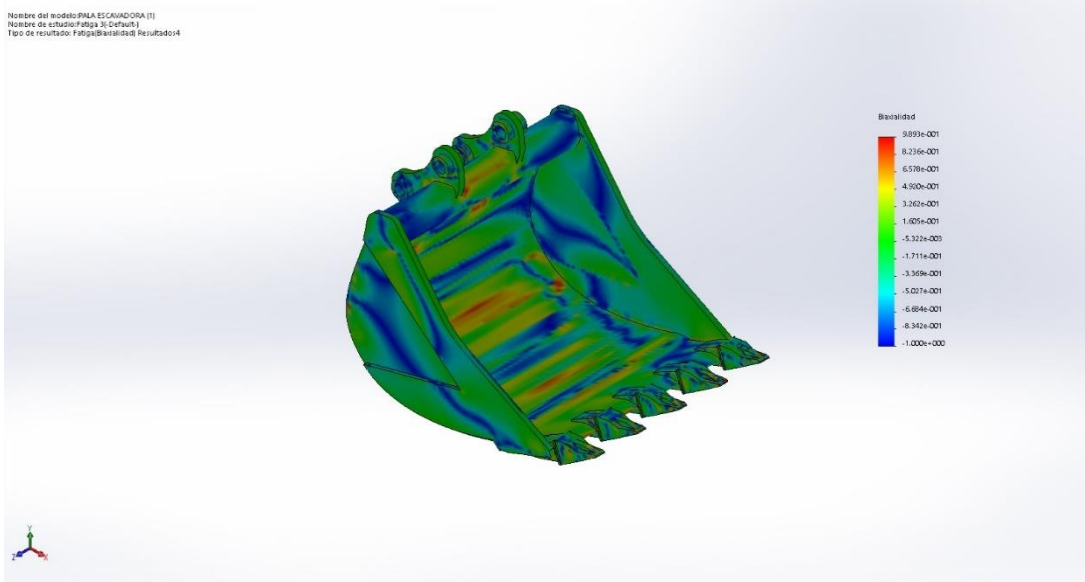


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados3	Factor de carga	5.677e-001 Nodo: 71462	5.563e+006 Nodo: 9488



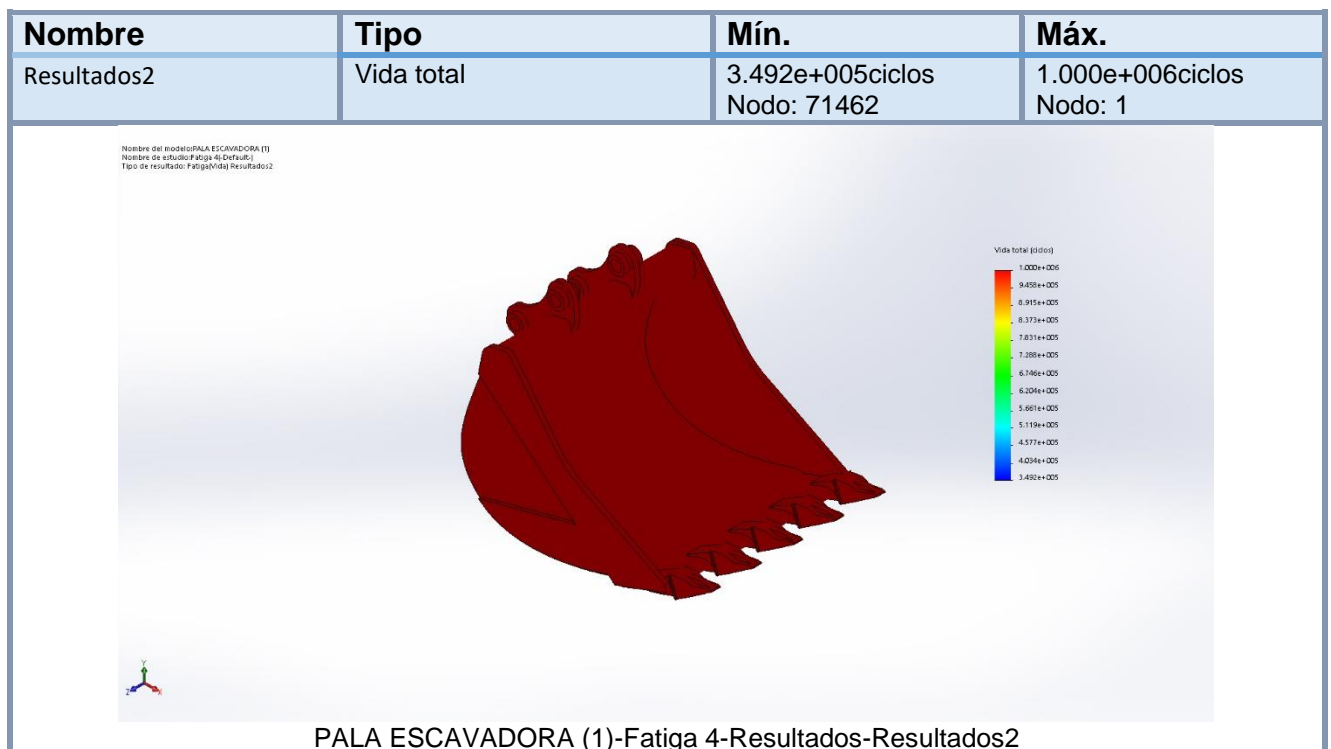
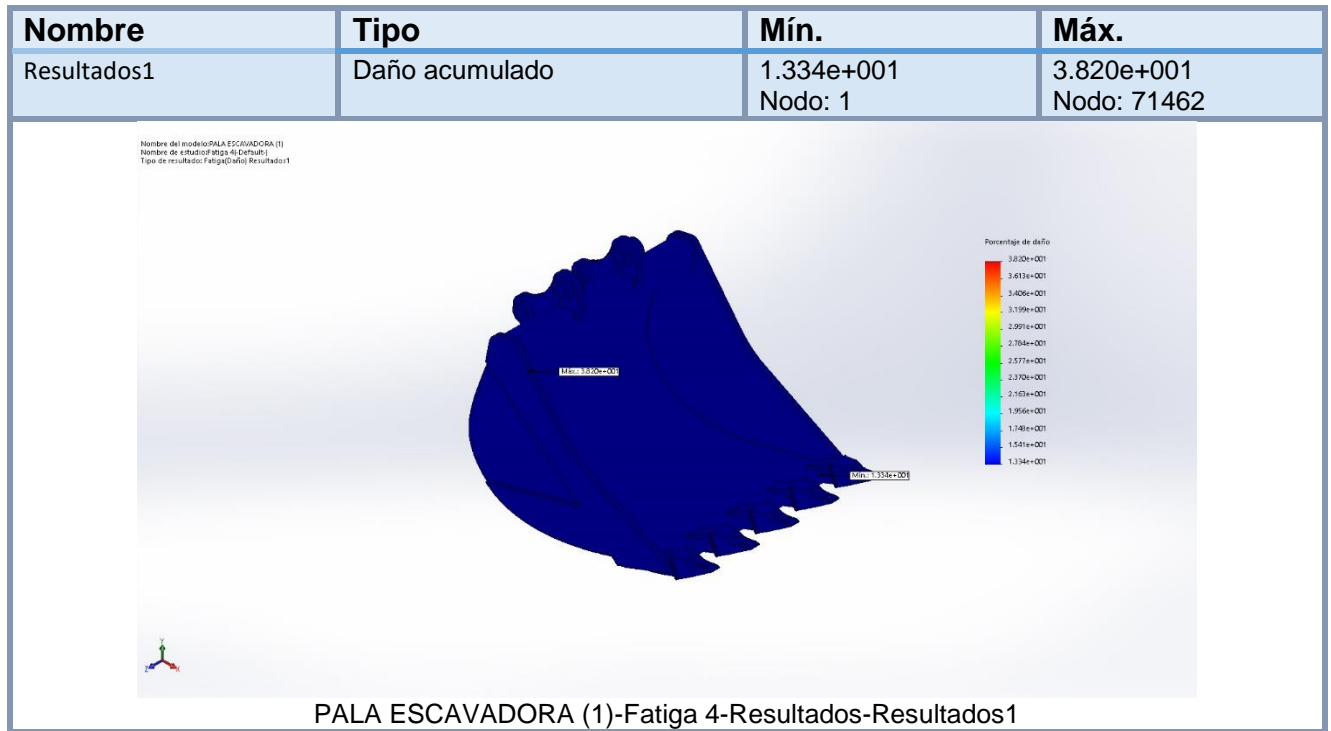
PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 3-Resultados-Resultados3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados4	Trazado de indicador de biaxialidad	-1.000e+000 Nodo: 38865	9.893e-001 Nodo: 11842



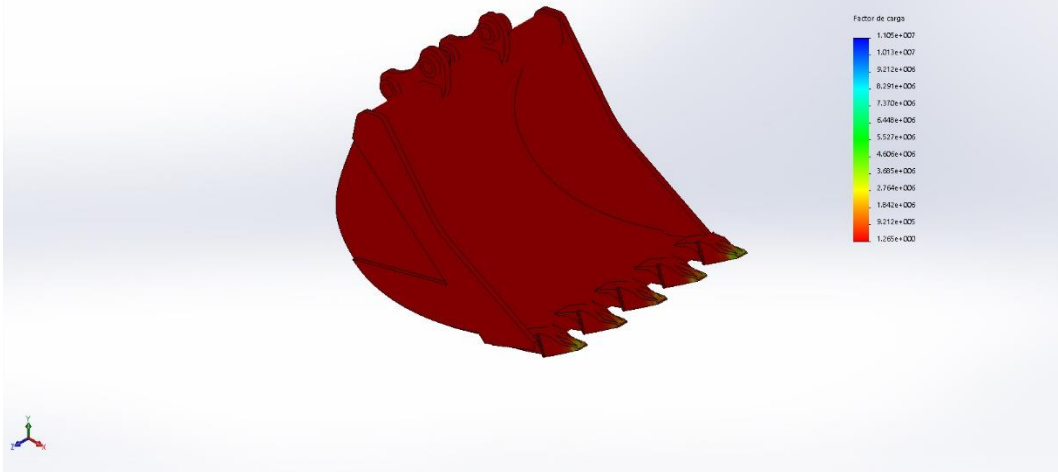
PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 3-Resultados-Resultados4

# Escenario 04



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados3	Factor de carga	1.265e+000 Nodo: 71462	1.105e+007 Nodo: 20892

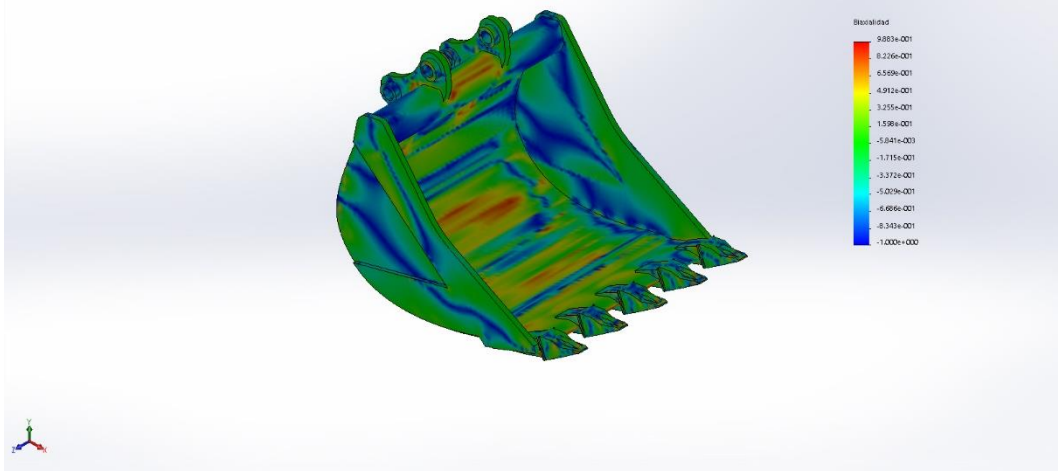
Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Fatiga 4 (Default)  
Tipo de resultado: Fatiga (El factor de carga puede ocasionar fallo) Resultados3  
Los Factores de carga menores de 1.0 indican un fallo



PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 4-Resultados-Resultados3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados4	Trazado de indicador de biaxialidad	-1.000e+000 Nodo: 66238	9.883e-001 Nodo: 57262

Nombre del modelo: PALA ESCAVADORA (1)  
Nombre de estudio: Fatiga 4 (Default)  
Tipo de resultado: Fatiga (Biaxialidad) Resultados4



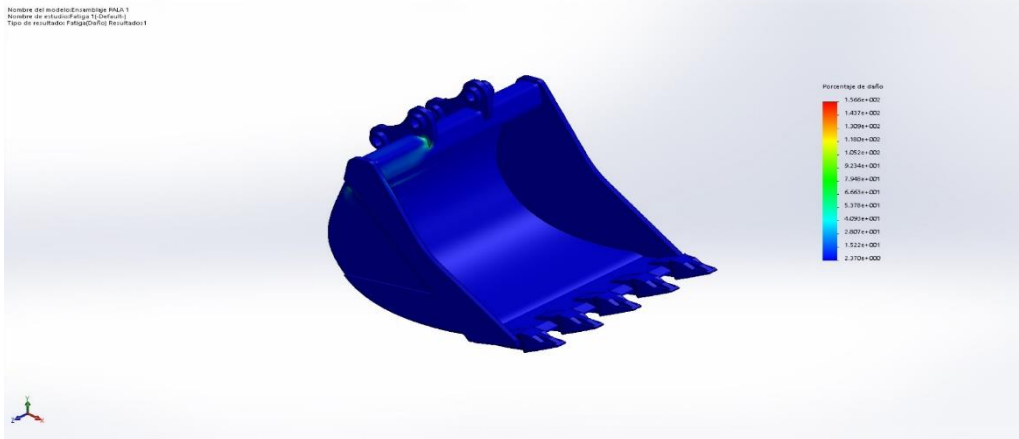
PALA ESCAVADORA (1)-Fatiga 4-Resultados-Resultados4



# Anexo 07.- Análisis de Añadidura de Soldadura

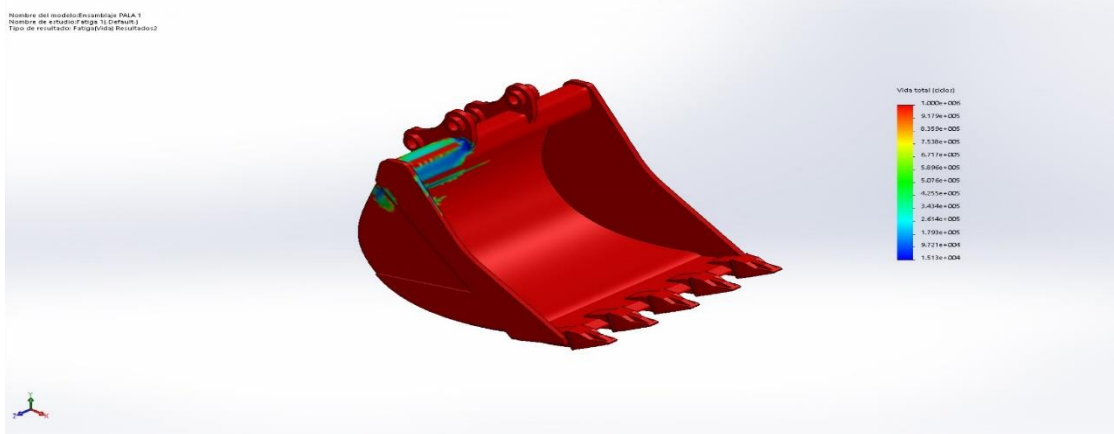
## Análisis para escenario 1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados1	Daño acumulado	2.370e+000 Nodo: 1	1.566e+002 Nodo: 58447



Ensamblaje PALA 1-Fatiga 1-Resultados-Resultados1

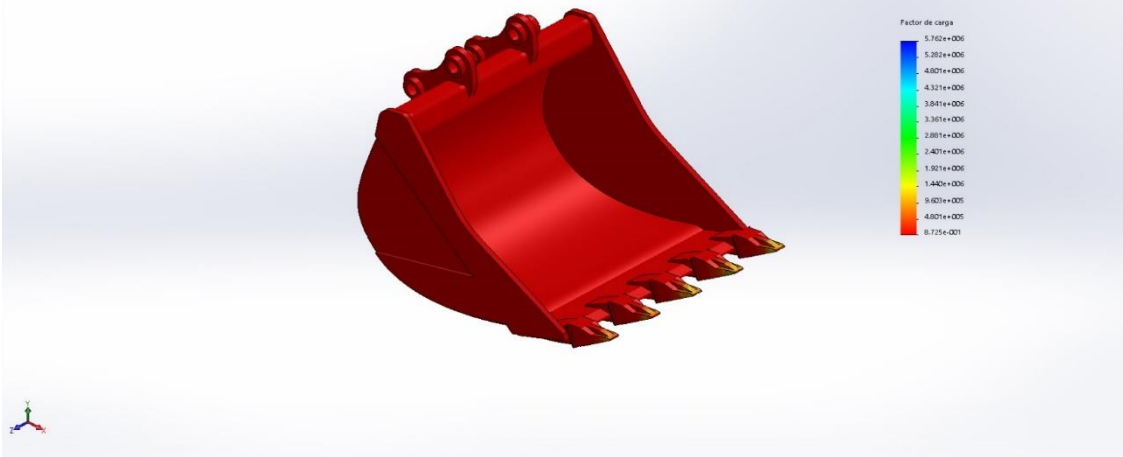
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados2	Vida total	1.513e+004ciclos Nodo: 58447	1.000e+006ciclos Nodo: 1



Ensamblaje PALA 1-Fatiga 1-Resultados-Resultados2

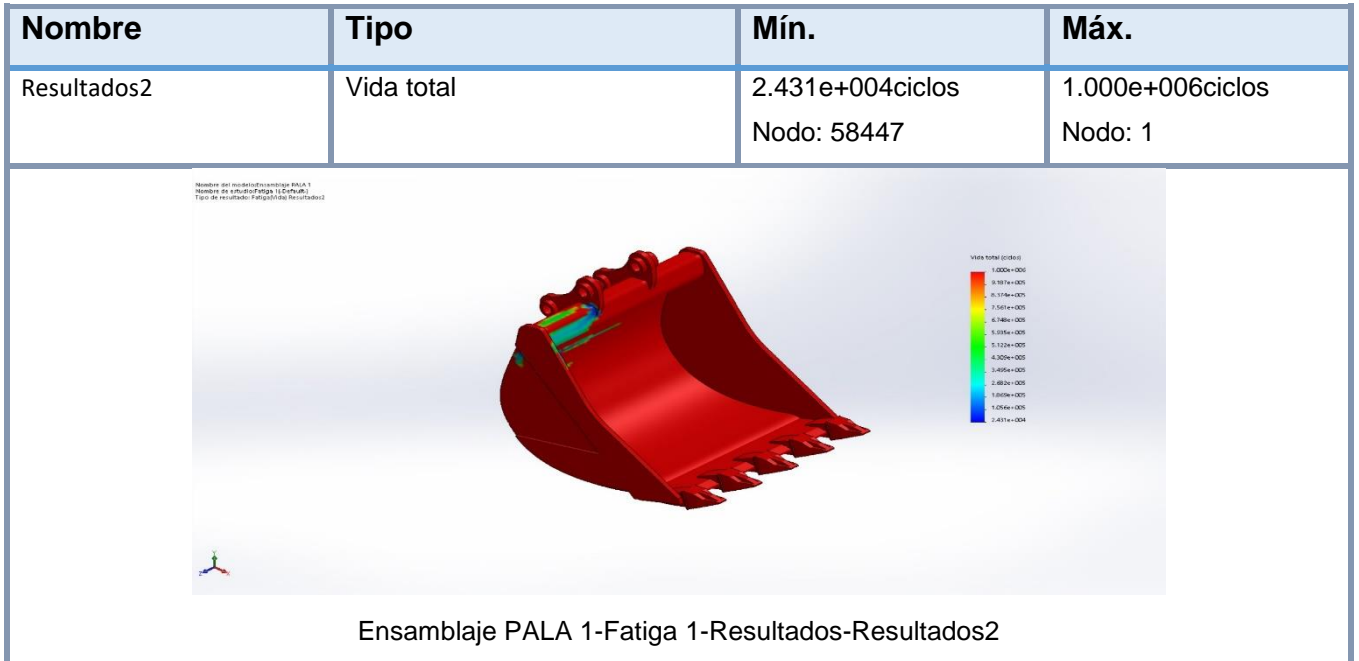
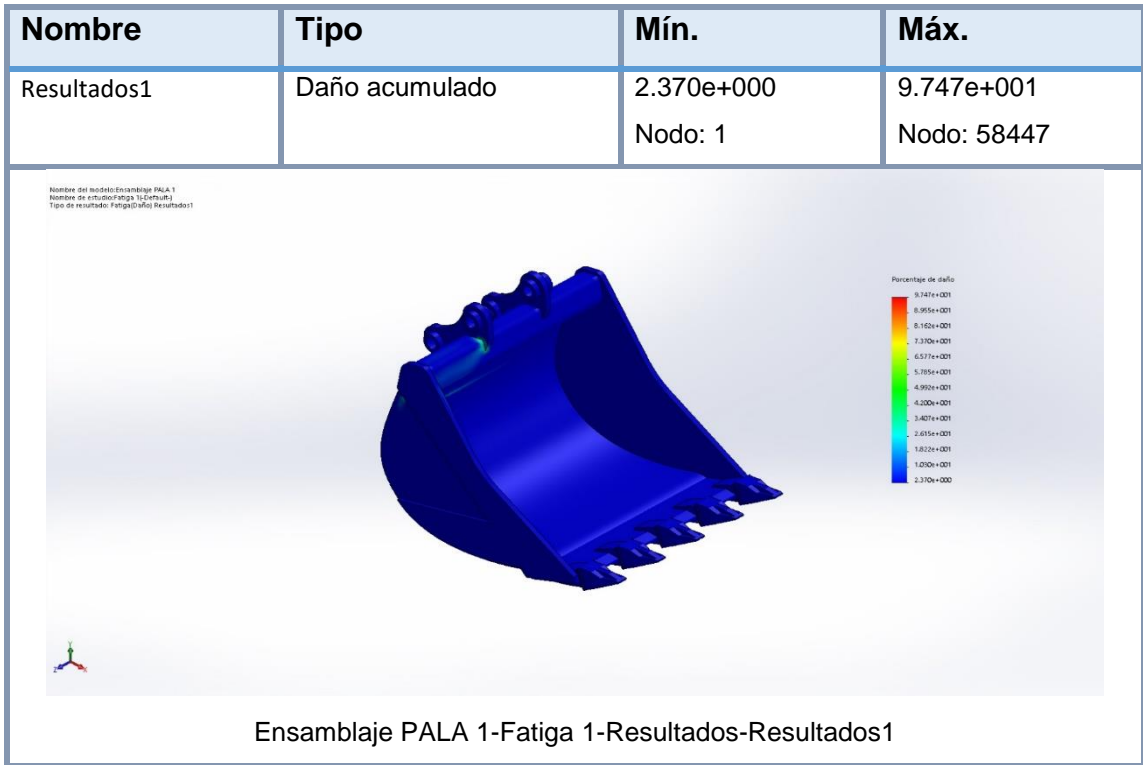
Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Resultados4	Factor de carga	8.725e-001	5.762e+006
		Nodo: 58447	Nodo: 20448

Nombre del modelo: Ensamblaje PALA 1  
Nombre de estudio: Fatiga 1 (Default)  
Tipo de resultado: Fatiga (El factor de carga puede ocasionar fallo) Resultados4  
Los factores de carga menores de 1.0 indican un fallo

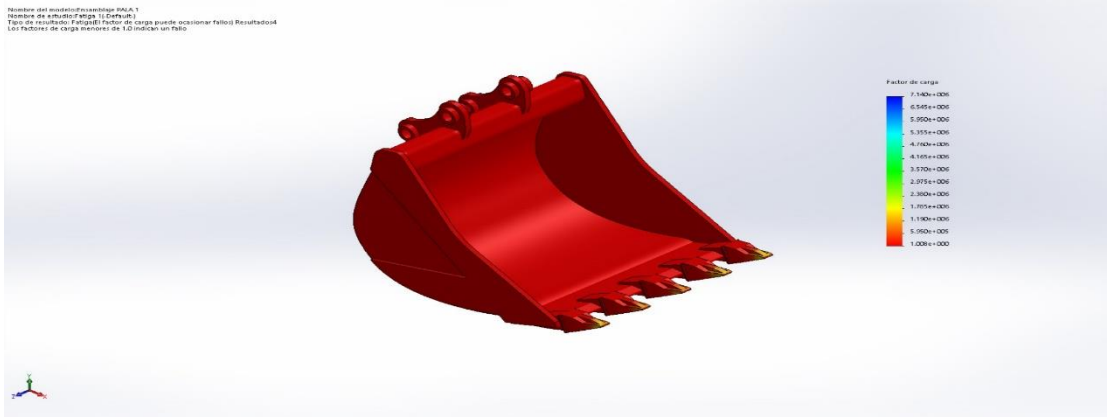


Ensamblaje PALA 1-Fatiga 1-Resultados-Resultados4

## Análisis de fatiga 2



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Resultados4	Factor de carga	1.008e+000	7.140e+006
		Nodo: 58447	Nodo: 20448



Ensamblaje PALA 1-Fatiga 1-Resultados-Resultados4