

**REDISEÑO, ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS Y PROTOTIPADO DE
PALANCA PARA FUMIGADORA MANUAL**

YESLY JULLIET TRIANA CASTRO

**Proyecto integral para optar al título de
INGENIERÍA MECÁNICA**

Orientador

Edgar Arturo Chala Bustamante

Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente Jurado

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá D.C. agosto de 2023

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Administrativo y de Investigaciones

Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN

Vicerrectora Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUÍS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

PhD. MARÍA ANGÉLICA ACOSTA PEREZ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro amada familia como una meta más conquistada.

Orgullosa de que Dios los haya elegido como mi familia y que estén a mi lado en este momento tan importante.

Gracias totales por ser quienes son y por creer en mí.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Antecedentes	12
1.3 Pregunta de investigación	14
1.4 Justificación	14
1.5 Objetivo general	14
1.6 Objetivos específicos	14
1.7 Delimitación	14
2. METODOLOGÍA REDISEÑO DE PRODUCTO	15
3. REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO	16
3.1 Asignación de material y propiedades	16
3.2 Modelado de Geometría	19
3.3 Contactos	20
3.4 Mallado de la geometría	22
3.5 Cargas y restricciones	23
3.6 Resultados	24
4. ALTERNATIVAS DE DISEÑO EN SOLID EDGE PALANCA METÁLICA	28
5. ELEMENTOS DINITOS (FEA)	30
6. VALIDACIÓN DE LA SELECCIÓN	32
6.1 Validación de diseño con condiciones de frontera	32
6.1.1 <i>Deformación total</i>	33
6.1.2 <i>Factor de seguridad</i>	34

6.1.3	<i>Esfuerzos (Von Mises)</i>	35
7.	PRUEBAS	37
7.1	Pruebas en campo	37
7.2	Pruebas de ciclado	37
7.3	Pruebas a 200 PSI	40
8.	ANÁLISIS DE COSTOS	41
8.1	Costos materia prima palanca prototipo	41
8.2	Costos manos de obra	41
8.3	Costos indirectos (CIF)	42
9.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	43
9.1	Simulación	43
9.2	Pruebas	43
9.3	Costos	45
10.	CONCLUSIONES	46
	BIBLIOGRAFÍA	47
	ANEXOS	48

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Palanca Actual.</i>	11
Figura 2 <i>Metodología Rediseño de Producto.</i>	15
Figura 3 <i>Dimensiones Palanca Actual</i>	16
Figura 4 <i>Creación de materiales en ANSYS.</i>	17
Figura 5 <i>Propiedades mecánicas del material en ANSYS.</i>	18
Figura 6 <i>Asignación del material a cada parte de la simulación en ANSYS.</i>	19
Figura 7 <i>Ensamble de componentes en ANSYS.</i>	20
Figura 8 <i>Asignación de elementos de contacto entre piezas en ANSYS.</i>	21
Figura 9 <i>Asignación de elementos de contacto entre piezas en ANSYS (2).</i>	21
Figura 10 <i>Asignación de elementos de contacto entre platina y varilla de conexión en ANSYS.</i>	22
Figura 11 <i>Mallado en ANSYS.</i>	23
Figura 12 <i>Cargas y restricciones en ANSYS</i>	24
Figura 13 <i>Resultado deformación de palanca actual en ANSYS</i>	25
Figura 14 <i>Resultado factor de seguridad de palanca actual en ANSYS</i>	26
Figura 15 <i>Resultado Von Mises de palanca actual en ANSYS.</i>	27
Figura 16 <i>Dimensiones palanca prototipo tipo C con ángulo más grande</i>	32
Figura 17 <i>Ensamble de palanca prototipo y platina en ANSYS.</i>	33
Figura 18 <i>Resultado de deformación de palanca prototipo en ANSYS.</i>	34
Figura 19 <i>Resultado de factor de seguridad de palanca prototipo en ANSYS</i>	35
Figura 20 <i>Resultado de Von Mises de palanca prototipo en ANSYS</i>	36
Figura 21 <i>Palancas prototipo para campo</i>	37
Figura 22 <i>Palancas prototipo para ciclado.</i>	38
Figura 23 <i>Bancos de prueba con fumigadoras manuales.</i>	39
Figura 24 <i>Palanca en pruebas con fumigadora</i>	40
Figura 25 <i>Palanqueo manual a 200 PSI</i>	44
Figura 26 <i>Visita a campo COTA, estado de palancas</i>	45

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Costos de la materia prima actual.</i>	12
Tabla 2 <i>Alternativas de diseño.</i>	28
Tabla 3 <i>Resultados de análisis Von Mises en Solid Edge</i>	30
Tabla 4 <i>Análisis de costos en materia prima</i>	41
Tabla 5 <i>Análisis de costos de mano de obra</i>	41
Tabla 6 <i>Análisis de costos final de palanca prototipo en C</i>	42
Tabla 7 <i>Resultados obtenidos de la palanca actual vs el prototipo.</i>	43
Tabla 8 <i>Ubicación de palancas en campo y horas trabajadas</i>	45

RESUMEN

Este proyecto tiene como fin la reducción de costos en componentes de fumigadora manual, ya que los materiales para la fabricación de dicho producto han tenido un incremento significativo en 2021 en un rango del 20% al 70% de acuerdo con el documento “El precio de algunas materias primas del plástico ha aumentado hasta 98% este año”. Se han tomado medidas como el aumento en el valor del producto final, pensando en el cliente y no seguir aumentando su precio. En cada pieza del producto se requiere hacer una reducción de materia prima y a su vez costos, en este documento en específico nos centraremos en la palanca de bombeo, mediante diferentes alternativas de diseño que sus propiedades mecánicas y ergonomía debe mantenerse o mejorar, se utiliza análisis de elementos finitos para el análisis de resultados entre la palanca actual y el prototipo.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo reporta una metodología y el procedimiento para el rediseño de una palanca de bombeo para fumigadora manual, Asimismo se reportan los resultados obtenidos del análisis de elementos finitos realizados para definir el rediseño final y pruebas de uso normal, permitiendo reducir sus costos manteniendo la calidad del producto.

1.1 Planteamiento del problema

Este trabajo busca herramientas y otras alternativas que ayuden en la gestión de disminución de costos en materia prima aportando ventajas económicas y competitivas en la industria.

Teniendo en cuenta del aumento de la materia prima se hace necesaria el rediseño de algunos componentes para disminuir el costo del producto final.

En este caso como producto final se toma una fumigadora manual, donde una de sus partes está compuesta por una palanca maciza en Acero A36 (Fig. 1) siendo un costo fijo.

Figura 1

Palanca Actual.



Nota. La figura evidencia la palanca actual en Solid Edge.

Por este motivo se ha tomado la decisión de diseñar una palanca igual o mejor funcionalmente, entendiendo que este tipo de reducción de costos es una solución a largo plazo, ya que se realiza una inversión inicial en diseño, prototipado y herramientas en proceso del rediseño.

Con respecto a la ergonomía de la palanca, se debe tener en cuenta que el punto de inicio ni el punto final no pueden cambiar, esto para que el usuario no tenga complicaciones al momento de realizar el ciclo. Esta palanca tiene un ángulo que se adecua al cuerpo del usuario, evitando roces que genere lesiones y una buena postura de la mano para ejercer la fuerza y alcanzar la presión de fumigación deseada.

La palanca tiene un peso de 374 g (sin manija) y costo total de 5.628 pesos que se dividen en materia prima platina de Acero A36, mano de obra interna en procesos de troquelado, mano de obra externa en cincado e indirectos (Tabla 3), se pretende que haya una disminución en costo y peso 15% para que la inversión sea óptima y racional, con respecto a lo actual, esto sin dejar de lado la calidad y funcionalidad del producto terminado.

Tabla 1

Costos de la materia prima actual.

Concepto	Valor
Materia prima	\$2.291
Mano de obra	\$1.256
Mo Externa	\$590
CIF	\$1.491
Costo total	\$5.628

Nota. En la tabla se evidencia los costos de la palanca actual

1.2 Antecedentes

La empresa para la cual se está realizando el desarrollo, fabrica máquinas manuales y en búsqueda de reducción de costos han trabajado en 3 propuestas, que no satisfacen las necesidades planteadas en este trabajo. A continuación, se presentan las alternativas:

1. Tienen una línea de fumigadoras manuales económicas, en esta máquina la palanca y la platina de conexión están integradas, reduciendo costos en platina, tornillos, tuercas y mano de obra. No se implementa en la línea de fumigadoras clásica ya que da la apariencia de “poco valor” a cómo está posicionada en el mercado.
2. Se realizó una palanca con perfil tipo C reduciendo material, llevaron a cabo el proyecto

hasta su industrialización, sin tener en cuenta que la resistencia mecánica cambiaba al reducir el espesor del producto final, esto llevó a que la palanca sufriera fatiga antes del tiempo requerido en la actual.

3. Se diseñó una palanca de PA con fibra de vidrio, logrando una resistencia mecánica óptima, incluso mejor que la actual, sin embargo, el costo total en materia prima, mano de obra y CIF supera el objetivo final que es generar una reducción de costos.

Realizando la investigación para el desarrollo de diseños a fines se resalta la siguiente información:

Los autores del artículo “Análisis de pilares con deformación por cortante mediante elementos finitos y acciones repartidas equivalentes”, Se aplica un procedimiento basado en el concepto de Acción Repartida Equivalente (ARE) al análisis, por el Método de Elementos Finitos (MEF) formulado en desplazamientos y solución nodal exacta, de pilares con deformación por cortante de acuerdo con la teoría de Timoshenko.

En el artículo “Elementos finitos con acciones repartidas equivalentes de cualquier orden. Aplicación a los modelos de vigas de Timoshenko y Bernoulli-Euler” contexto del Método de Elementos Finitos, dos alternativas posibles en relación con el concepto de acción repartida equivalente

Los autores del artículo “Método del elemento finito estocástico en geotecnia. Enfoque espectral”, Exponen las herramientas matemáticas que constituyen la base de la formulación del método del elemento finito estocástico espectral para problemas de elasticidad lineal.

En el artículo “elementos finitos estocásticos con múltiples propiedades aleatorias no gaussianas”, La formulación espectral del método estocástico de elementos finitos se aplica al problema de la conducción de calor en un medio aleatorio.

En el artículo “Elementos finitos estocásticos elásticos-plásticos”, se desarrolla un marco computacional para simulaciones del comportamiento de sólidos y estructuras hechas de materiales plásticos elásticos estocásticos.

1.3 Pregunta de investigación

En función de las necesidades planteadas por la empresa y de acuerdo al planteamiento del problema se define la siguiente pregunta: ¿Cuál es el diseño óptimo de la palanca, manteniendo las propiedades mecánicas y reduciendo costos?

1.4 Justificación

El aumento de costos en materias primas por parte de los proveedores ha llevado a la empresa a aumentar el precio en el producto final, sin embargo, esto no solventa en su totalidad los costos aumentados, dando pérdidas en la producción. Se debe mantener al cliente y las ganancias como industria.

El rediseño de la palanca, debe disminuir los costos manteniendo las propiedades mecánicas de la palanca actual para lo cual es importante realizar un análisis para determinar que material y que diseño es óptimo para el buen funcionamiento y reducción de costos. Sin afectar la calidad y la utilización de la fumigadora.

1.5 Objetivo general

Rediseñar palanca para fumigadora manual, de tal forma que no supere el límite de elasticidad alcanzado con la actual y reduzca los costos.

1.6 Objetivos específicos

1. Caracterizar las necesidades del rediseño.
2. Calcular y proponer alternativas de diseño y material que satisfaga las necesidades mecánicas de la palanca.
3. Análisis de las alternativas de diseño por elementos finitos y reducción de costos en el prototipo seleccionado.
4. Desarrollar los prototipos y someterlos a ensayos de uso real y de laboratorio.

1.7 Delimitación

1. Se realizará un rediseño de la palanca, a partir de las características mecánicas actuales.
2. Se realizará análisis y simulación de Elementos Finitos, a partir del módulo de fluencia actual.
3. Se realizará el desarrollo de pruebas con prototipos fabricados en taller convencional.
4. Se presentará análisis de reducción de costos, palanca actual vs palanca prototipo final.
5. Se dejará la misma manija de la palanca actual.

2. METODOLOGÍA REDISEÑO DE PRODUCTO

Teniendo en cuenta que es importante en el desarrollo del producto y su avance que se sigan unas variantes ya definidas. La fig. 2 presenta la metodología [1] propuesta para el desarrollo del presente trabajo.

Figura 2

Metodología Rediseño de Producto.



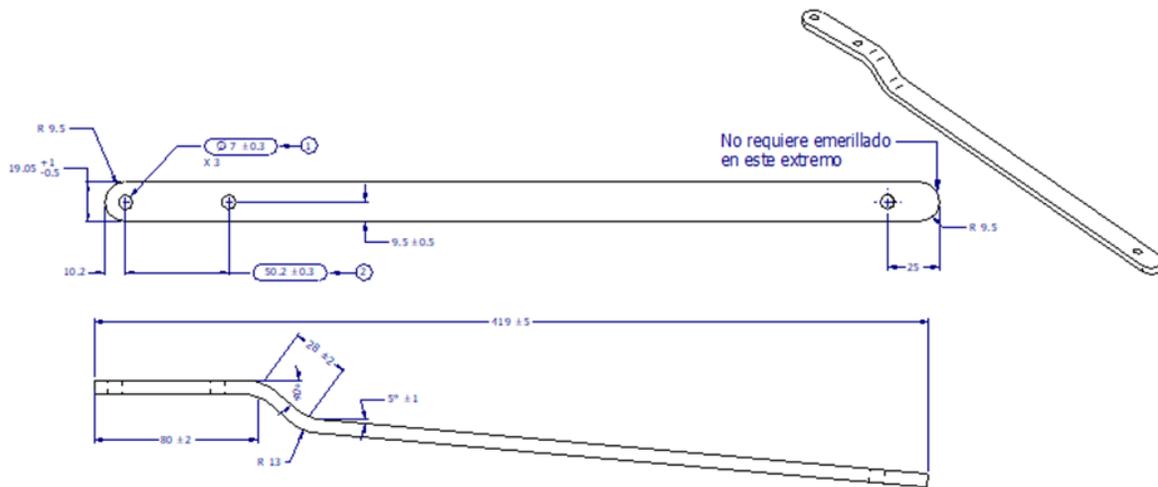
Nota. La figura evidencia el flujo de metodología para el rediseño de la palanca.

3. REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

Actualmente, esta palanca soporta un esfuerzo de 343 MPA, siendo superior al módulo de elasticidad del material que está en 262 MPA; esto en caso tal de que la palanca estuviera trabajando a presiones excesivas, alcanzando los 200 PSI, por lo general los clientes directos con el producto, trabajan en presiones entre los 45 a los 100 PSI.

Figura 3

Dimensiones Palanca Actual



Nota. La figura evidencia el plano de la palanca actual.

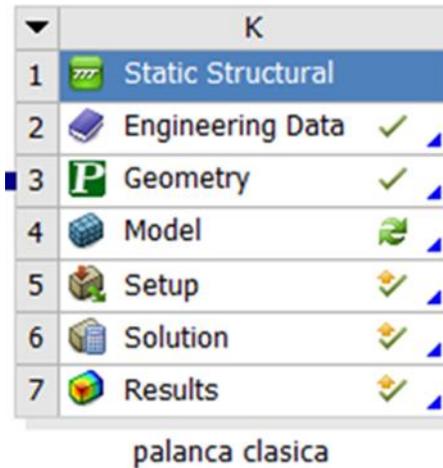
A continuación, se hace análisis por elementos finitos en ANSYS, para obtener datos de entrada en el Software de la palanca actual y poder comparar con la palanca prototipo final.

3.1 Asignación de material y propiedades

Para el análisis estructural, la primera etapa importante es la creación de materiales de las piezas y la asignación de sus propiedades. Para esto Ansys existe un módulo de creación de materiales, enlazado al bloque de operaciones.

Figura 4

Creación de materiales en ANSYS.



Nota. La figura evidencia el paso a paso para la creación de la simulación en ANSYS.

En la sección de Engineering Data permite definir las propiedades mecánicas de material a usar (Static Structural > Engineering data > Edit>Click here to add a new material), cuyas características se adjuntan a continuación:

Módulo de Elasticidad: E 210 MPa

Coefficiente de Poisson: ν 0,3

Densidad: ρ 7.850 kg/m³

Figura 5

Propiedades mecánicas del material en ANSYS.

The image shows two windows from the ANSYS Engineering Data interface. The top window, titled 'Outline of Schematic K2: Engineering Data', displays a tree view with columns A, B, C, D, and E. Row 3 is selected, showing the material 'Acero Palanca' and its source: 'Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1'. The bottom window, titled 'Properties of Outline Row 3: Acero Palanca', shows a detailed table of material properties.

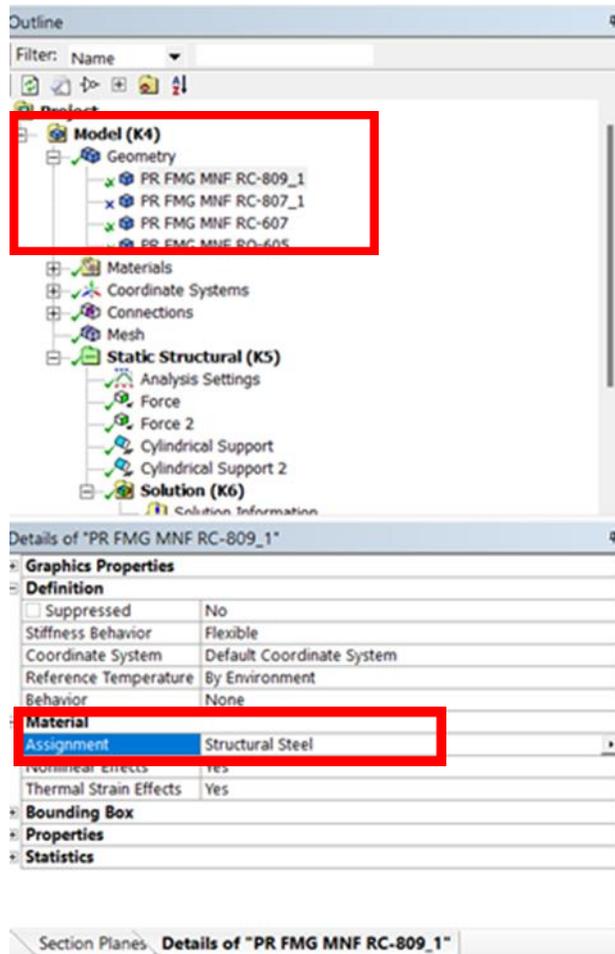
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	7850	kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulus and Po...	
Young's Modulus	2E+11	Pa
Poisson's Ratio	0,3	
Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
Strain-Life Parameters		
S-N Curve	Tabular	
Interpolation	Log-Log	
Scale	1	
Offset	0	Pa
Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa
Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa
Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa
Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Nota. La figura evidencia el paso a paso para la creación de la simulación en ANSYS

Se asigna el material a cada uno de los componentes geométricos como se muestra en la figura 5.

Figura 6

Asignación del material a cada parte de la simulación en ANSYS.



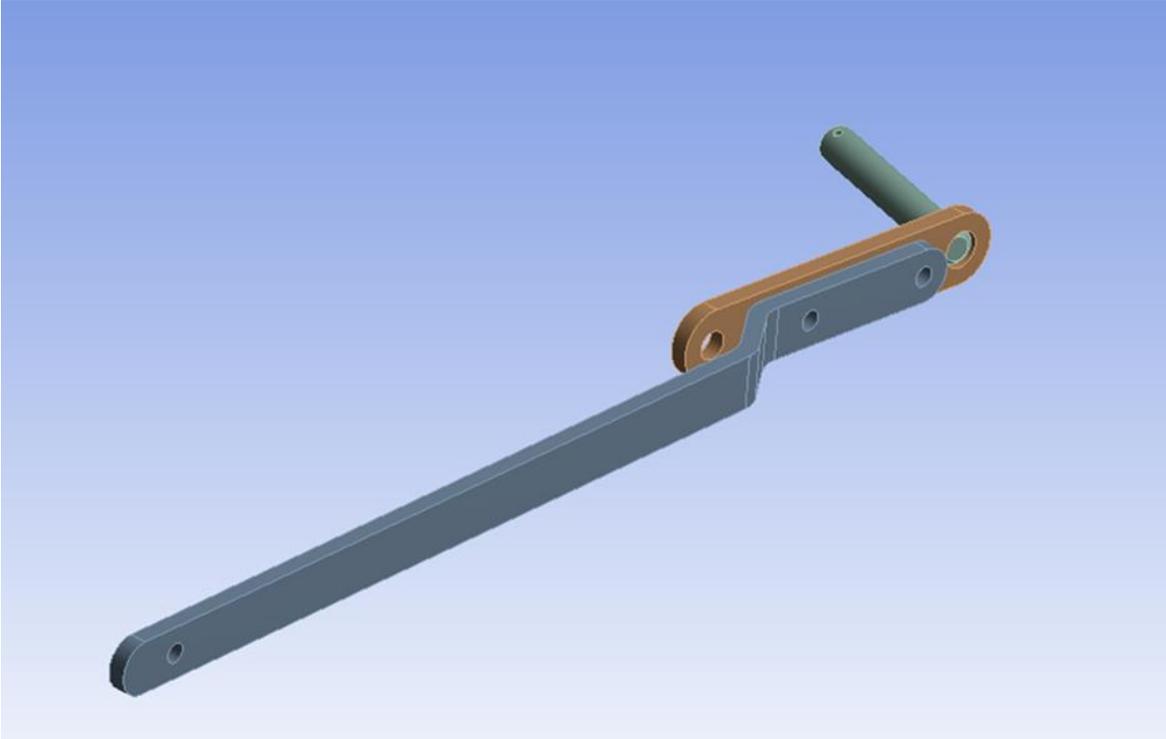
Nota. La figura evidencia el paso a paso para la creación de la simulación en ANSYS.

3.2 Modelado de Geometría

Para la simulación se modelaron las geometrías de la palanca y platina en 3 dimensiones con el uso del programa *Solid Edge* y se generaron los archivos con formato Parasolid que son aptos para ser importados a Ansys.

Figura 7

Ensamble de componentes en ANSYS.



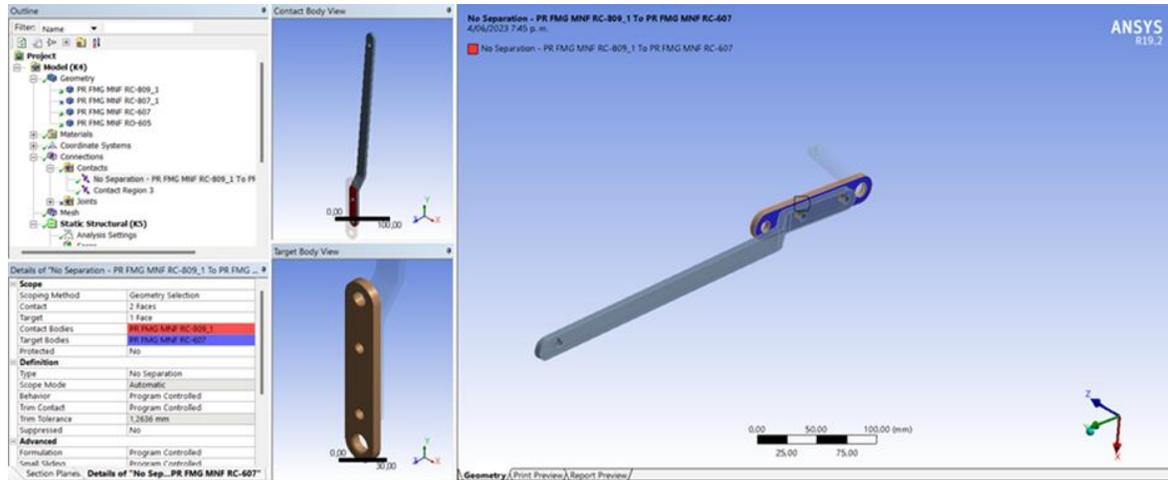
Nota. La figura evidencia el ensamble de los componentes para la simulación en ANSYS.

3.3 Contactos

El programa Ansys por defecto utiliza contactos automáticamente de tipo Bonded. Se realiza una nueva asignación de elementos de contacto de tipo “*No separation*” entre la platina y la palanca. Donde las dos caras están unidas con ligeros deslizamientos sin fricción a lo largo de las referencias de los contactos.

Figura 8

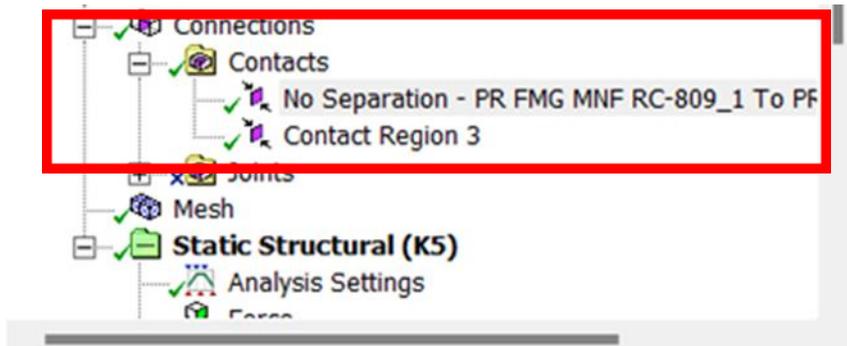
Asignación de elementos de contacto entre piezas en ANSYS.



Nota. La figura evidencia el ensamble de los componentes y asignación de contactos para la simulación en ANSYS.

Figura 9

Asignación de elementos de contacto entre piezas en ANSYS (2).

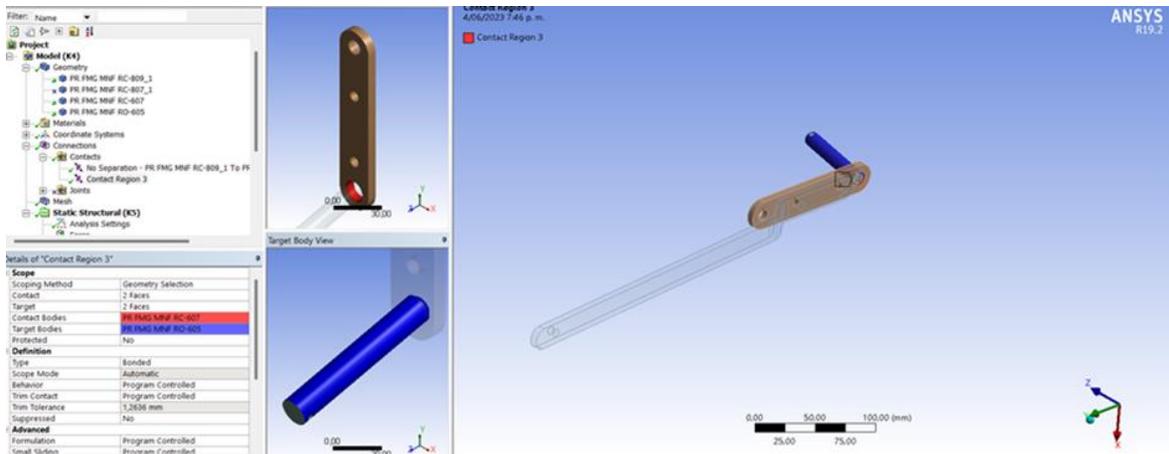


Nota. La figura evidencia la asignación de elementos de contactos entre las piezas palanca, platina de conexión y varilla de conexión ANSYS.

Entre la varilla y la platina se define elemento de contacto tipo bonded debido a la soldadura aplica entre los dos

Figura 10

Asignación de elementos de contacto entre platina y varilla de conexión en ANSYS.



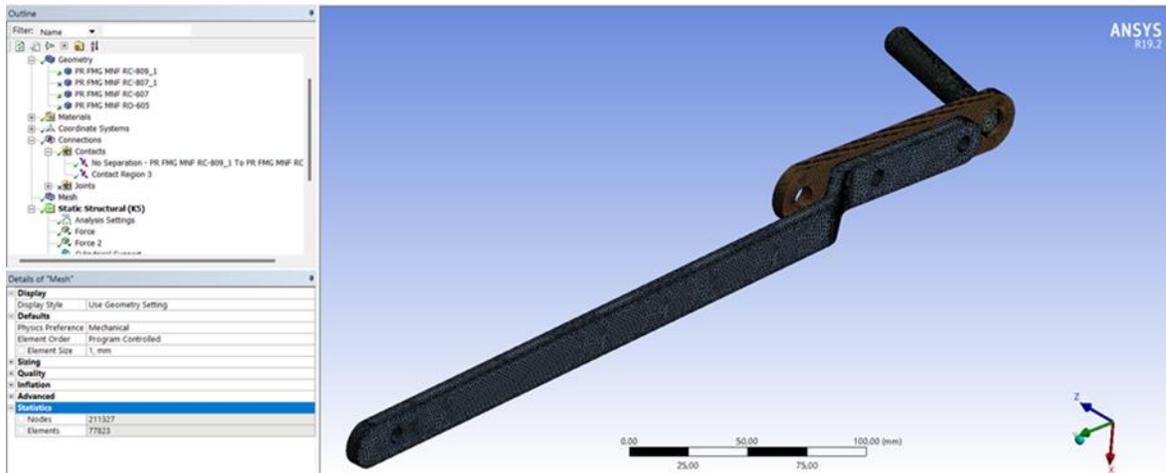
Nota. La figura evidencia la asignación de elementos de contactos entre las piezas palanca, platina de conexión y varilla de conexión ANSYS.

3.4 Mallado de la geometría

En esta sección la geometría se malla con un total de 211327 nudos y 77823 elementos y se crean los nombres de las diversas partes de la geometría.

Figura 11

Mallado en ANSYS.



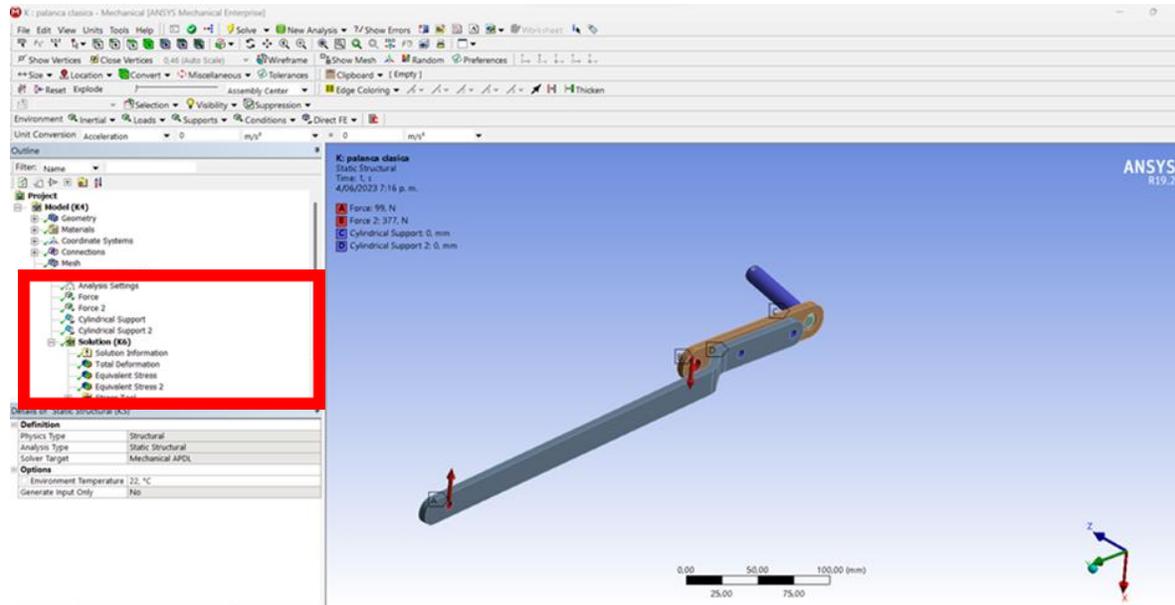
Nota. La figura evidencia el mallado del solido en ANSYS.

3.5 Cargas y restricciones

Las cargas y restricciones se aplican a entidades geométricas como operaciones que se asocian completamente a la geometría, y se ajustan automáticamente a cambios geométricos. En este caso se ubicó una restricción cilíndrica fija o desplazamiento en cero en el eje de platina y en las fijaciones mecánicas de los tornillos en la palanca, ya que el ensamble real solo existe rotación en El eje Z y desplazamientos X y Y en el momento de ser aplicada la fuerza. En la punta de la palanca y la conexión de la varilla de ascenso.

Figura 12

Cargas y restricciones en ANSYS



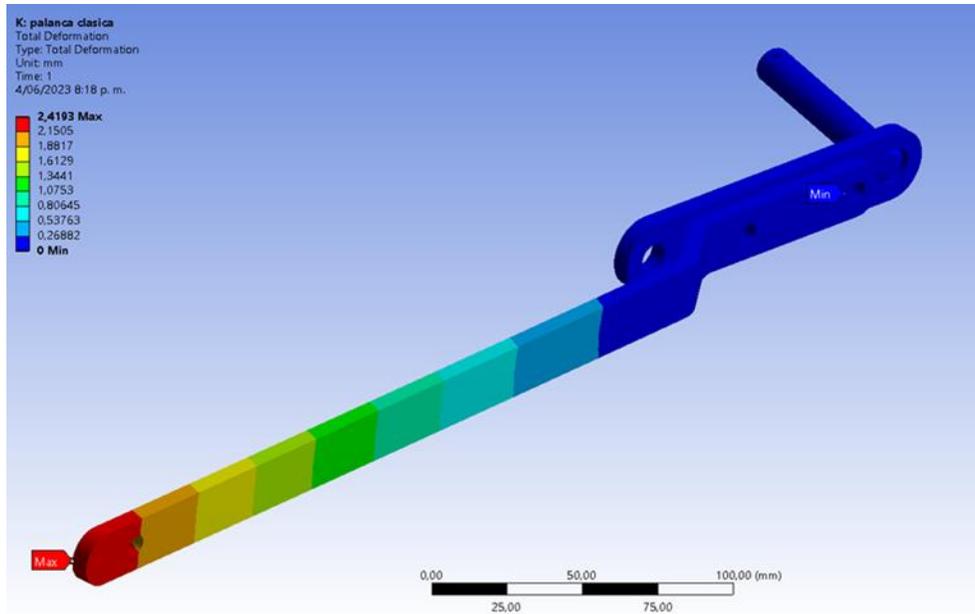
Nota. La figura evidencia la asignación de cargas y restricciones del solido para la simulación en ANSYS.

3.6 Resultados

En las figuras 13, 14 y 15 se muestran, respectivamente, deformación total, esfuerzo de Von Mises y Factor de seguridad.

Figura 13

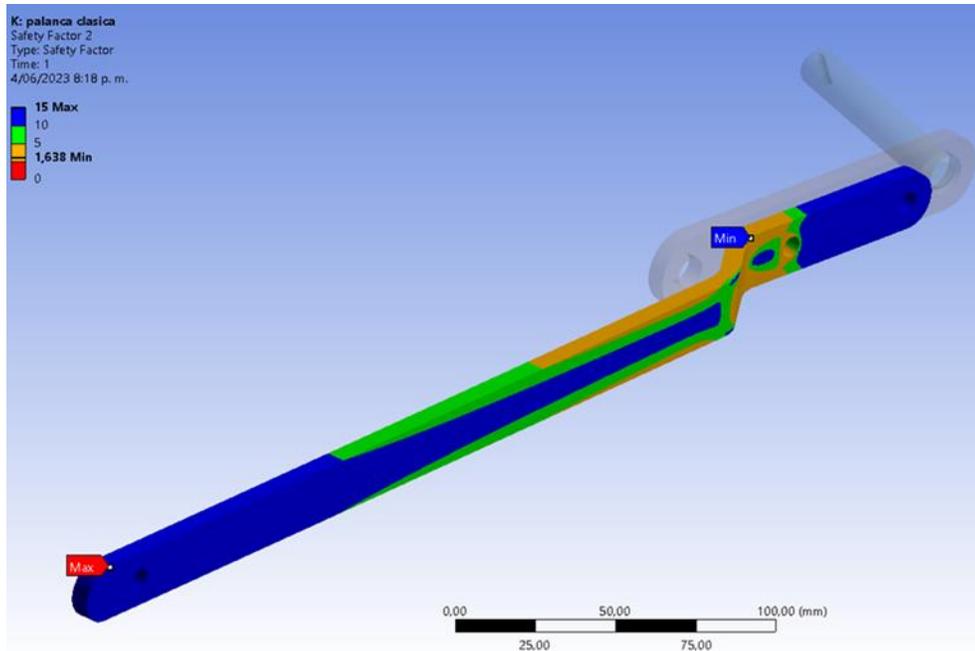
Resultado deformación de palanca actual en ANSYS



Nota. La figura evidencia el resultado de la deformación en mm después de aplicar las cargas en ANSYS.

Figura 14

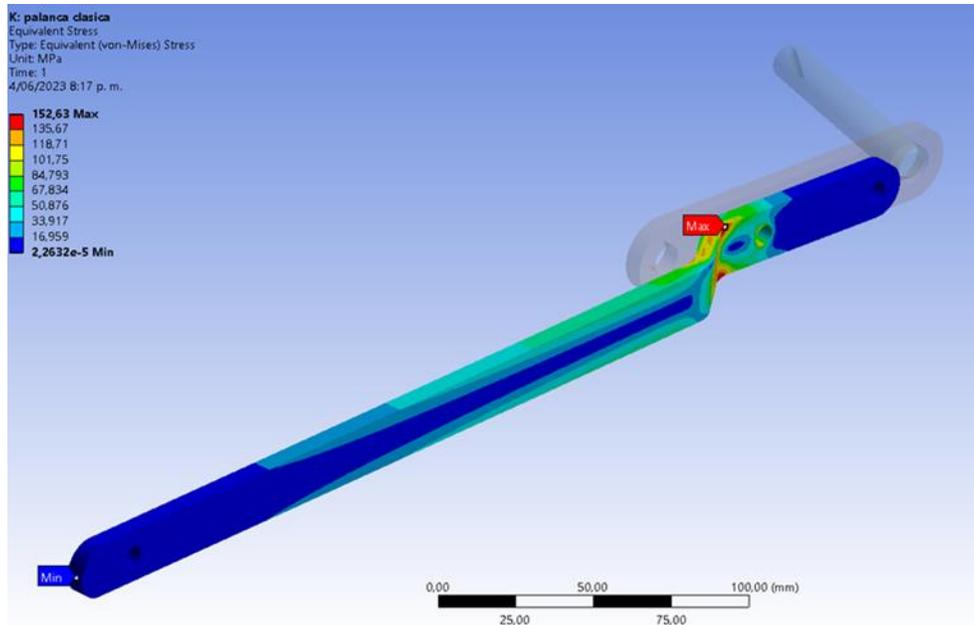
Resultado factor de seguridad de palanca actual en ANSYS



Nota. La figura evidencia el resultado del FS después de aplicar las cargas en ANSYS.

Figura 15

Resultado Von Mises de palanca actual en ANSYS.



Nota. La figura evidencia el resultado de Von Mises en MAp después de aplicar las cargas en ANSYS.

Se evidencia una deformación total de 2,4 mm, esfuerzos máximos de 192,63 MPa y factor de seguridad mínimo de 1,63.

4. ALTERNATIVAS DE DISEÑO EN SOLID EDGE PALANCA METÁLICA

A continuación, se presentan las alternativas de diseño con resultados de deformación con el fin de obtener la mejor alternativa en comparación a la actual, esta fase comienza con la elaboración y modelación en 3D del diseño definitivo.

Tabla 2

Alternativas de diseño.

Alternativa	Descripción	Diseño
Palanca Actual	Diseño actual de la palanca de bombeo manual	
Palanca tipo C con igual geometría	Se toma el diseño de la palanca actual y como referencia se deja el perfil, con un refuerzo de bujes en su unión a la platina de conexión de la palanca.	
Palanca tipo C con embutidos	Se toma el diseño de la palanca actual y como referencia se deja el perfil, con un refuerzo de bujes y embutidos siendo esto un conformado plástico en alto relieve para chapa metálica en su unión a la platina de conexión a la palanca.	

<p>Palanca tipo C con dobles en diferente posición</p>	<p>Se hace un dobles en el centro de los bujes y se da un ángulo diferente al dobles que da la ergonomía de la palanca evitando el roce de la palanca de bombeo con el usuario.</p>	
<p>Palanca tipo C con ángulo más grande</p>	<p>Se mantiene el dobles inicial de la conexión a la platina, cambiando el ángulo al dobles que da la ergonomía de la palanca evitando el roce de la palanca de bombeo con el usuario.</p>	

Nota. En la tabla se evidencia las diferentes alternativas de rediseño.

Para que las alternativas y el costeo logaran el objetivo se usó una lámina Cold Rolled Calibre 12.

5. ELEMENTOS DINITOS (FEA)

Simulando por elementos finitos su deformación mediante el método de tensión Von Mises [2], se compara la tensión de Von Mises con la tensión máxima admisible por el material está correspondiente al límite elástico, en cuanto a las tensiones principales σ_1 , σ_2 , σ_3 , la tensión de Von Mises teórica se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_{\text{VonMises}} = \{ [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] / 2 \}^{1/2}$$

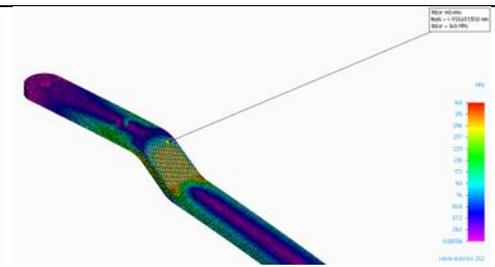
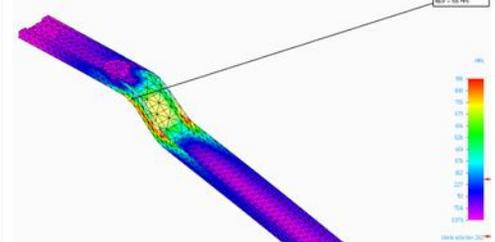
Esto expone que un material dúctil comienza a ceder en un punto cuando la tensión de Von Mises es igual al límite de tensión del material, teniendo como propiedad de ser un número que se obtiene combinando todas las tensiones en el espacio con direcciones en X, Y, Z, sin embargo, en el software Solid Edge nos permite utilizar el límite de tensión de ruptura o establecer su propio límite de tensión.

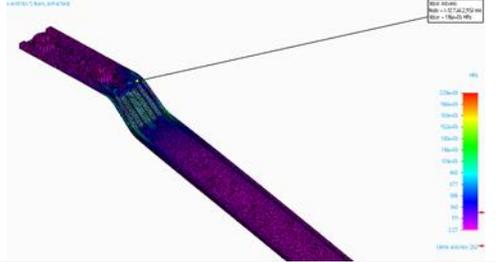
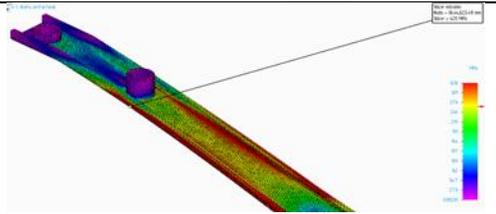
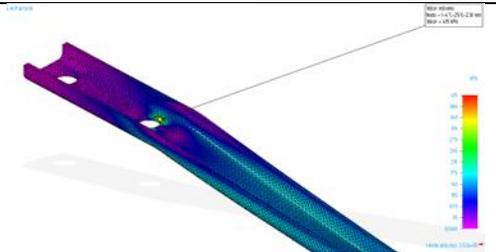
$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limit}}$$

Usualmente la máquina trabaja hasta en condiciones normales entre los 45 a 120 PSI, para asegurar un factor de seguridad mayor, en la simulación del Software se colocaron condiciones iniciales una fuerza de 227 N y restricciones cilíndricas en la unión de la platina de conexión.

Tabla 3

Resultados de análisis Von Mises en Solid Edge

Alternativa	Resultados Von Mises	Diseño
Palanca Actual	343 MPa	
Palanca tipo C con igual geometría	906 MPa	

<p>Palanca tipo C con embutidos</p>	<p>11803 MPa</p>	
<p>Palanca tipo C con dobles en diferente posición</p>	<p>420 MPa</p>	
<p>Palanca tipo C con ángulo más grande</p>	<p>334 MPa</p>	

Nota. En la tabla se evidencia los resultados de Von Mises en MPa.

6. VALIDACIÓN DE LA SELECCIÓN

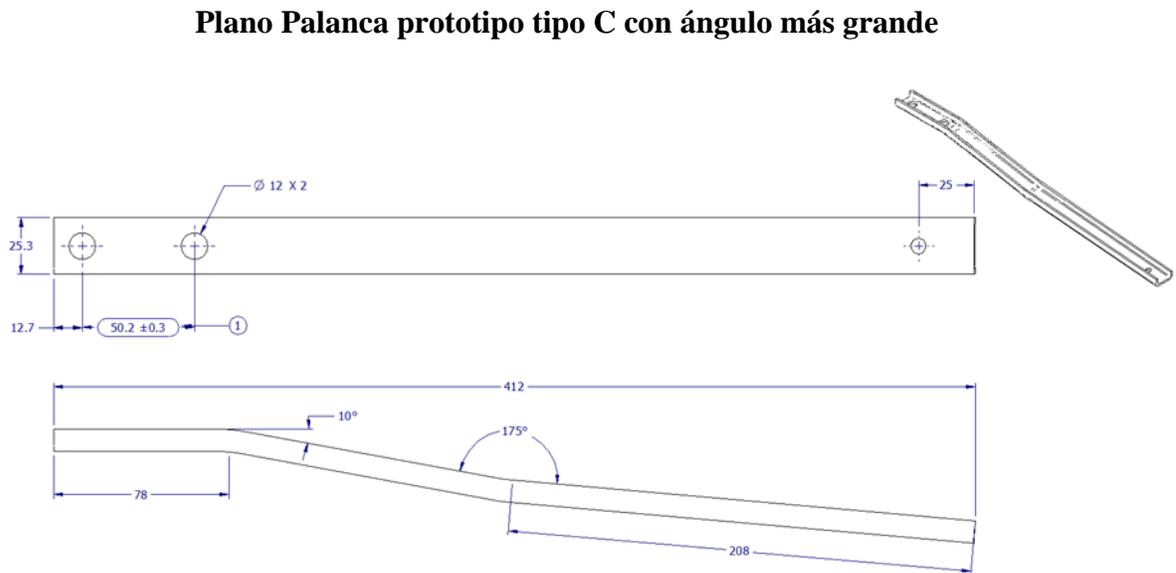
Teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 3. La alternativa óptima para su desarrollo en la “*Palanca tipo C con ángulo más grande*”, ya que, sin refuerzo con bujes, logra una resistencia mecánica mejor a la “*Palanca Actual*”, se realizó con los parámetros de material, contactos, malla, cargas y restricciones.

6.1 Validación de diseño con condiciones de frontera

Se tomó la alternativa modelada “*Palanca tipo C con ángulo más grande*” y platina en 3 dimensiones, se generaron los archivos en ensamble con formato Parasolid que sean aptos para ser importados a Ansys.

Figura 16

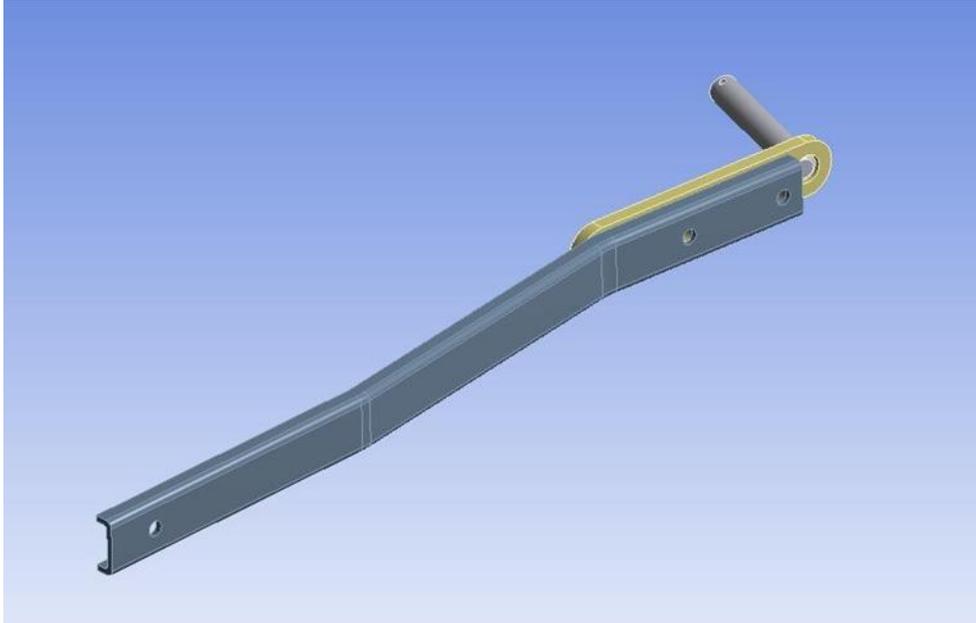
Dimensiones palanca prototipo tipo C con ángulo más grande



Nota. La figura evidencia el plano de prototipo de rediseño para la palanca.

Figura 17

Ensamble de palanca prototipo y platina en ANSYS.



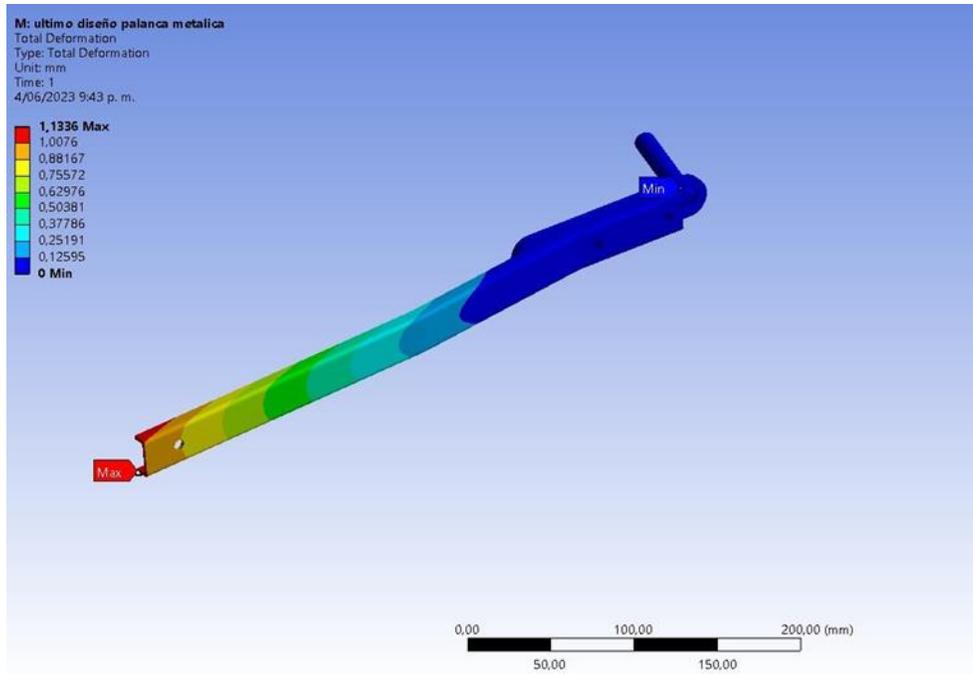
Nota. La figura evidencia el ensamble de los componentes con la palanca prototipo para la simulación en ANSYS.

6.1.1 Deformación total

Para el ensamble de la platina con la palanca prototipo se evidencia una deformación total de 1,133 mm Fig. 17, siendo menor a la de la palanca actual que es de 2,4 mm.

Figura 18

Resultado de deformación de palanca prototipo en ANSYS.



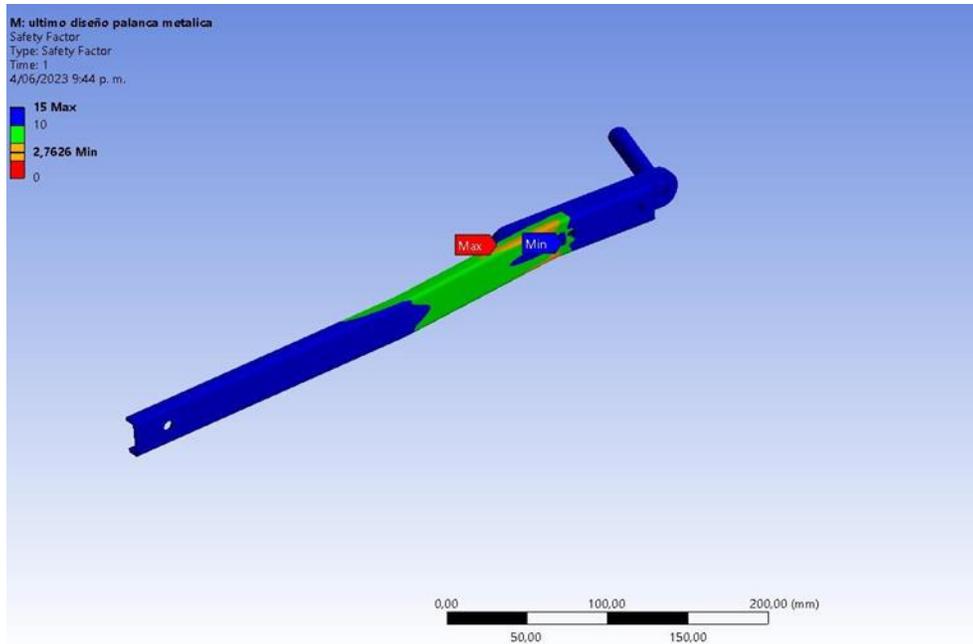
Nota. La figura evidencia el resultado de la deformación de la palanca prototipo en mm después de aplicar las cargas en ANSYS

6.1.2 Factor de seguridad

El resultado en comparación de la palanca actual con un factor de seguridad mínimo de 1,63 y el prototipo aumenta a un 2,76 Fig. 19.

Figura 19

Resultado de factor de seguridad de palanca prototipo en ANSYS



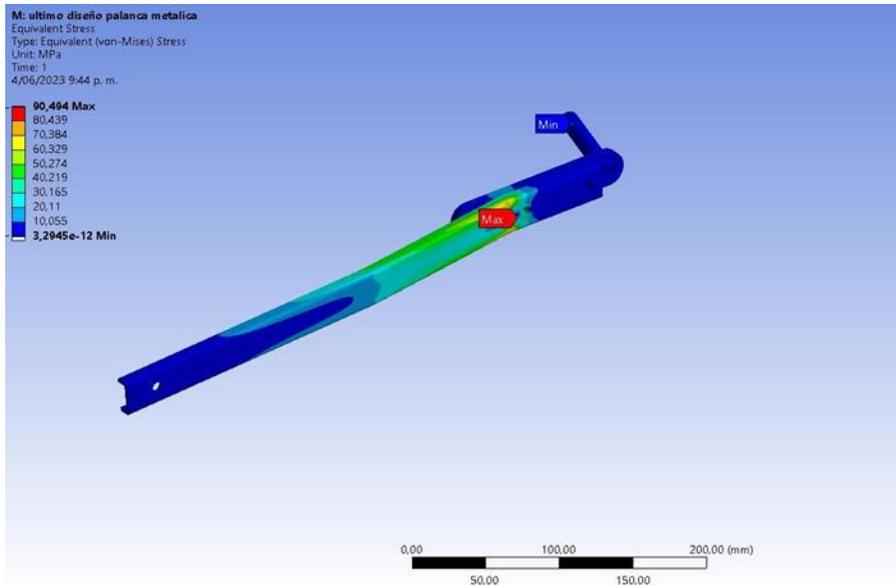
Nota. La figura evidencia el resultado del FS de la palanca prototipo después de aplicar las cargas en ANSYS.

6.1.3 Esfuerzos (Von Mises)

Teniendo en cuenta el ensamble se hacen unos bujes para evitar el choque de la platina con la varilla de ascenso émbolo, refuerzo en su conexión con la platina y distribución de cargas con la misma estos esfuerzos máximos disminuyen a un 90,494 MPa Fig. 20 en comparación a los esfuerzos máximos de la palanca actual 192,63 MPa, disminuye mostrando un mejor desempeño mecánico.

Figura 20

Resultado de Von Mises de palanca prototipo en ANSYS



Nota. La figura evidencia el resultado de Von Mises de la palanca prototipo en MAp después de aplicar las cargas en ANSYS.

7. PRUEBAS

Se hicieron pruebas experimentales para validar su funcionamiento mecánico, como las siguientes:

7.1 Pruebas en campo

Se envían 5 palancas prototipo a diferentes sectores donde usan fumigadoras manuales para cultivos y fumigación como lo son COTA, GRANADA, CÁQUEZA Y SUPATA.

Figura 21

Palancas prototipo para campo



Nota. La figura evidencia los prototipos enviados a pruebas en campo.

7.2 Pruebas de ciclado

Para identificar deformación, funcionalidad y resistencia mecánica de las palancas prototipos con respecto a la actual se montan en bancos de pruebas Fig. 23 dos palancas prototipos y una actual Fig. 22.

Figura 22

Palancas prototipo para ciclado.



Nota. La figura evidencia palancas prototipadas para ciclado en banco de pruebas.

Figura 23

Bancos de prueba con fumigadoras manuales.



Nota. La figura evidencia palancas prototipadas en banco.

La prueba consiste en someter las palancas prototipos y la actual a 3'000.000 de ciclos, con las siguientes especificaciones:

Boquilla: 1180 cc/min

Velocidad: 16 Ciclos por minuto

Descripción palancas prototipo:

Espesor: calibre de 12 en Acero CR

Agujero: 7mm

Bujes: -Ø Ext 16mm, Ø Int 7mm, Altura 8.5mm

Perfil en C

7.3 Pruebas a 200 PSI

Se somete la palanca en una fumigadora manual a un bombeo que soporte los 200 psi marcados en manómetro.

Figura 24

Palanca en pruebas con fumigadora



Nota. La figura evidencia palanca prototipada para ciclado en máquina.

En pruebas de ciclado su tiempo estimado de duración es de 3 meses, en campo 6 meses y de sobrepresión aproximadamente 30 Seg.

8. ANÁLISIS DE COSTOS

8.1 Costos materia prima palanca prototipo

Para el análisis de costos en materia prima se usó una lámina Cold Rolled calibre 12 de 1220 X 2440 mm, según el desarrollo propuesto para su corte se obtienen 193 Unidades, bujes y material para inyección de la manija.

Tabla 4

Análisis de costos en materia prima

COSTO MATERIA PRIMA ACTUAL				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Lamina 4X8	0,0051814	UND	\$ 274.400	\$ 1.422
MP PLS PPCO PLT VRG IMP NT IN2	0,0396	Kg	\$ 7.997	\$ 317
MP PLS MBPE PLT VRG NG MB-120-V	0,0004	Kg	\$ 10.331	\$ 4
Buje (2X)	0,016	Kg	\$ 6.319	\$ 202
TOTAL MP				\$ 1.945

Nota. La tabla evidencia los costos en materia prima de la palanca prototipo.

8.2 Costos manos de obra

Se estiman tiempos en producción para cada proceso de fabricación y según tasa horaria de cada centro de trabajo en una planta metalmecánica [3] se hace el estimado.

Tabla 5

Análisis de costos de mano de obra

COSTO PRODUCCIÓN ACTUAL	TIEMPO
CORTAR EN CIZALLA	12 seg
TROQUELAR Y HACER HUECOS	15 seg
TROQUELAR Embutir Bujes	15 seg
DOBLAR EN TROQUELADORA	4,5 seg
Mecanizar bujes (2X)	30 seg
Irizado	
INYECTAR MANIJA	10 seg
TOTAL OP	86,5 seg

Nota. La tabla evidencia los costos de mano de obra de la palanca prototipo.

8.3 Costos indirectos (CIF)

En los costos indirectos de fabricación estimados y teniendo en cuenta todos los costos anteriormente mencionados se obtiene una disminución de costos con respecto al actual.

Tabla 6

Análisis de costos final de palanca prototipo en C

Item	Costo	Porcentaje
Materia Prima	\$ 1.945	50,2%
Mano de Obra	\$ 795	20,5%
CIF	\$ 1.133	29,3%
Total	\$ 3.873	

Nota. La tabla evidencia el costo final de la palanca prototipo.

9. RESULTADOS Y DISCUSIONES

9.1 Simulación

Teniendo en cuenta el proceso de fumigación y las cargas generadas a la palanca, se comparan las mediciones de los resultados obtenidos de moldeo simulado de la palanca actual frente al diseño propuesto tipo C.

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos de la simulación de las distribuciones de Von mises, deformación total o los desplazamientos de los nodos en la dirección UX, UY y UZ y Factor de seguridad para la palanca actual y diseño tipo C respectivamente. La región alrededor de la curvatura de la palanca actual exhibe mayor esfuerzo que la propuesta tipo C, áreas críticas para el funcionamiento de la palanca. El diseño tipo C muestra 53% menor deformación total que el diseño actual. Los resultados de los factores de seguridad muestran para la palanca actual un valor de 1,63 y para el diseño propuesto un valor de 2,76 Tabla 6. El factor de seguridad de la palanca propuesta es más alto debido al cambio de la curvatura de la forma de la palanca.

Tabla 7

Resultados obtenidos de la palanca actual vs el prototipo.

Diseño	Deformación	Factor de Seguridad	Von Mises
Palanca Actual	2,4 mm	1,63	192.63 MPa
Palanca Prototipo	1.13 mm	2,76	90,494 MPa

Nota. La tabla evidencia los resultados obtenidos en funcionamiento mecánico de la palanca actual vs el prototipo.

9.2 Pruebas

Al someter la palanca a altas presiones aumenta la fuerza con que el usuario bombea la máquina, esto haciendo que la palanca tenga que soportar vencer esta fuerza.

Al momento de realizar la prueba, la palanca soporta el bombeo sin sufrir fatiga ni deformación dando un resultado óptimo.

Figura 25

Palanqueo manual a 200 PSI



Nota. La imagen evidencia el bombeo de la palanca a una presión de 200 PSI.

Por otra parte, se realizan visitas de campo y seguimiento a los usuarios por teléfono quienes evidencian un funcionamiento óptimo para el trabajo, desde el punto de vista de ellos es una palanca menos pesada teniendo en cuenta que la palanca actual pesa 374 g y el prototipo 260 g su disminución en peso es casi del 30%.

En Cota y Cáqueza, son los lugares donde más uso le han dado a la palanca en trabajo de campo, donde visualmente comparada con una palanca sin uso vs a las que están en campo en uso diario, no se evidencia un cambio significativo.

Tabla 8

Ubicación de palancas en campo y horas trabajadas

Usuario	Cantidad	Ubicación	Horas de Uso
Cota - Marco Beltran	1	Cota	288 horas
Granada - Victor Jimenez	1	Granada	190 horas
Granada - Pedro Ruiz -	1	Granada	150 horas
Caqueza - Edwin Prieto	1	Caqueza	230 horas
Supata - Ovidio Reyes	1	Supata	130 Horas

Nota. La tabla evidencia ubicación, cantidad y horas trabajadas de las palancas prototipo en campo

Figura 26

Visita a campo COTA, estado de palancas



Nota. La imagen evidencia las palancas instaladas en COTA en buen estado y funcionales.

9.3 Costos

Con respecto al costo actual de la palanca y el propuesto en el presente trabajo se tiene una diferencia del 30%, lo cual es óptimo para su fabricación e industrialización teniendo en cuenta el análisis propuesto.

10. CONCLUSIONES

Mediante la metodología usada se pudo llegar a un resultado óptimo, siguiendo el paso a paso evitando llevar a cabo un producto fallido tanto en resistencia mecánica como en calidad del producto final.

Por medio del Software Solid Edge se pudo diseñar varias alternativas de rediseño siendo verificadas por medio de simulaciones.

ANSYS con su amplia estructura para el análisis de elementos finitos, analiza desde deformaciones, factor de seguridad y esfuerzos máximos como la palanca actual y el prototipo podrían comportarse en condiciones normales de trabajo.

Al someter la palanca prototipo a pruebas y ensayos de uso real, se evidencio que los resultados arrojados por ANSYS son confiables y el prototipo puede ser usado incluso con resultados de calidad y ergonomía mejor que la palanca actual.

En las pruebas de campo, los usuarios percibieron la reducción de peso en la palanca, después de varias horas de trabajo el desgaste físico es menor.

Hubo una reducción en el costo de la palanca del 30% que se centra en la materia prima del producto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Rediseño de producto orientado a producción” Ojeda Escoto, P. A.a , López Parra, M.b, 2019
- [2]“Criterio de máxima tensión de von Mises” [En línea]https://help.solidworks.com/2013/spanish/solidworks/cworks/r_maximum_von_mises_stress_criterion.htm#:~:text=limit%20%2F%20%CF%83vonMises-,Cortadura,%3D%20%2C5777%20%CF%83yield%20.
- [3] “Sistema de costos por orden de producción para la empresa en la industria”, 2011

ANEXOS

ANEXO 1

LISTADO DE PLANOS

CÓDIGO	NOMBRE
P001	Plano Palanca Actual
P002	Plano Palanca prototipo tipo C con ángulo más grande

ANEXO 2

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer seguimiento en curvatura de ergonomía, si desde la palanca actual el usuario o cliente final, la percibe apta para su trabajo cotidiano.

Adaptar manija ajustándose a este nuevo perfil tipo C.