



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y VALIDACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE UN
DESHIERBADOR MANUAL PARA USO EN PEQUEÑAS ÁREAS
DE TERRENO”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA MECÁNICA

AUTORA: DANIELA ELIZABETH SEGOVIA HERNÁNDEZ

DIRECTOR: Ing. Msc. SÓCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Daniela Elizabeth Segovia Hernández

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Daniela Elizabeth Segovia Hernández, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

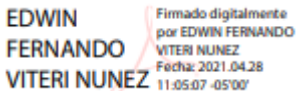
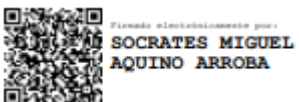
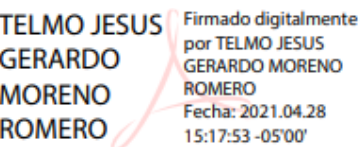
Riobamba, 4 de marzo de 2021

A handwritten signature in blue ink that reads "Daniela Segovia". The signature is written in a cursive style and is enclosed within a hand-drawn oval shape.

Daniela Elizabeth Segovia Hernández
180482765-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Tribunal del trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y VALIDACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE UN DESHIERBADOR MANUAL PARA USO EN PEQUEÑAS ÁREAS DE TERRENO**, realizado por: **DANIELA ELIZABETH SEGOVIA HERNÁNDEZ** ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Firmado digitalmente por EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Fecha: 2021.04.28 11:05:07 -05'00'	2021-03-04
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 SOCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA Firmado digitalmente por: SOCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA	2021-03-04
Ing. Telmo Jesús Gerardo Moreno Romero MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 TELMO JESUS GERARDO MORENO ROMERO Firmado digitalmente por TELMO JESUS GERARDO MORENO ROMERO Fecha: 2021.04.28 15:17:53 -05'00'	2021-03-04

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a mis padres Sonia y David por ser el pilar fundamental en mi vida y ser mi apoyo incondicional, a mi hermanita Maite por apoyarme siempre, a mi novio Darwin por estar siempre presente en mi vida y apoyarme, a mi ángel guardián en el cielo mi abuelita mi mamá Olguita por estar pendiente siempre de mí y ser un apoyo constante junto con mi abuelito papá Kleber, a mi tío Kleber por siempre motivarme y apoyarme, a mi tío Marco por siempre creer en mí.

Daniela

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y por todas las oportunidades que me ha brindado, a mis padres por apoyarme siempre en todo, a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica que me han impartido sus valiosos conocimientos para hacer de mí una excelente profesional, agradezco de manera especial a mi tutor de tesis el ingeniero Miguel Aquino y a mi asesor de tesis el ingeniero Telmo Moreno por brindarme la ayuda y los conocimientos para poder culminar esta tesis con éxito, agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas para poder formarme como Ingeniera Mecánica.

Daniela

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xxi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxii
RESUMEN.....	xxiii
SUMMARY / ABSTRACT.....	xxiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Formulación del problema	3
1.3.	Justificación	3
1.3.1.	<i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2.	<i>Justificación metodológica</i>	4
1.3.3.	<i>Justificación práctica</i>	4
1.4.	Alcance	4
1.5.	Objetivos	5
1.5.1.	<i>Objetivo General</i>	5
1.5.2.	<i>Objetivos específicos</i>	5

CAPITULO 2

2.	MARCO TEÓRICO	6
2.1.	El suelo	6
2.1.1.	<i>Clases de suelos</i>	6

2.1.2.	<i>Características físicas del suelo</i>	6
2.1.2.1.	<i>Densidad del suelo:</i>	6
2.1.2.2.	<i>Textura del suelo:</i>	7
2.1.2.3.	<i>Porosidad:</i>	8
2.1.2.4.	<i>Estructura:</i>	8
2.2.	Herramientas para el trabajo agrícola	8
2.2.1.	<i>Labrar el terreno</i>	8
2.2.2.	<i>Efecto de los aparejos en el terreno</i>	8
2.2.2.1.	<i>Mullido</i>	8
2.2.2.2.	<i>Laminación</i>	9
2.2.2.3.	<i>Volteo</i>	9
2.2.2.4.	<i>Nivelación</i>	9
2.2.2.5.	<i>Ubicación de tierra gruesa y fina del terreno</i>	9
2.2.3.	<i>Clasificación de los aparejos de labrado del terreno</i>	9
2.2.4.	<i>Modelos de cuchillas que se utilizan para el rotovator</i>	12
2.2.5.	<i>Rastra de disco</i>	13
2.2.6.	<i>Energía empleada en el labrado del terreno</i>	13
2.2.7.	<i>Capacidad teórica (St)</i>	14
2.2.8.	<i>Capacidad efectiva (Se)</i>	14
2.3.	Máquinas deshierbadoras	14
2.3.1.	<i>Máquinas mecánicas inteligentes</i>	14
2.3.2.	<i>Máquinas con visión artificial</i>	17
2.3.3.	<i>Máquinas con inteligencia artificial</i>	19
2.3.4.	<i>Máquinas que utilizan sensores</i>	20
2.4.	Fuerza ejercida por el ser humano hacia la máquina agrícola	22
2.4.1.	<i>Fuerza máxima recomendada según EN 1005-3</i>	22
2.4.1.1.	<i>Paso A</i>	22
2.4.1.2.	<i>Paso B</i>	23
2.4.1.3.	<i>Paso C</i>	24

2.5.	Análisis por elemento finito (MEF o FEA)	25
------	--	----

CAPITULO 3

3.	“DISEÑO Y VALIDACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE UN DESHIERBADOR MANUAL”	26
3.1.	Análisis QFD.....	26
3.1.1.	<i>Identificación de necesidades</i>	26
3.1.2.	<i>Voz del usuario</i>	26
3.1.3.	<i>Voz del ingeniero</i>	27
3.1.4.	<i>Análisis de la competencia</i>	28
3.1.4.1.	<i>Competencia 1</i>	28
3.1.4.2.	<i>Competencia 2</i>	28
3.1.5.	<i>Casa de la calidad</i>	29
3.2.	Diseño conceptual.....	30
3.2.1.	<i>Análisis funcional/ modular</i>	30
3.2.2.	<i>Matriz morfológica</i>	30
3.2.3.	<i>Selección de la mejor opción</i>	31
3.3.	Diseño mecánico del deshierbador.	34
3.3.1.	<i>Diseño estático y geométrico</i>	34
3.3.1.1.	<i>Determinación de medidas generales</i>	34
3.3.1.2.	<i>Análisis estático</i>	35
3.3.1.3.	<i>Análisis de transmisión de potencia</i>	36
3.3.1.4.	<i>Análisis de la resistencia al corte del suelo</i>	38
3.3.2.	<i>Diseño de ejes</i>	40
3.3.3.	<i>Selección de la cadena</i>	47
3.3.4.	<i>Selección de las chumaceras</i>	52
3.4.	Diseño CAD	53
3.5.	Validación mediante el software ANSYS de un deshierbador manual	55
3.5.1.	<i>Análisis estructural del elemento 1</i>	55

3.5.1.1.	<i>Parámetros de configuración.....</i>	55
3.5.2.	<i>Análisis estructural del elemento 2.....</i>	58
3.5.2.1.	<i>Parámetros de configuración.....</i>	58
3.5.3.	<i>Análisis estructural del elemento 3 y 4.....</i>	60
3.5.3.1.	<i>Parámetros de configuración.....</i>	61
3.5.4.	<i>Análisis estructural del elemento 5.....</i>	63
3.5.4.1.	<i>Parámetros de configuración.....</i>	63
3.6.	Análisis de Costos.....	66
3.6.1.	<i>Costo para producir el deshierbador manual propuesto</i>	66
3.6.2.	<i>Costo de un deshierbador de 3.5 HP</i>	67
3.6.3.	<i>Costo de un deshierbador de mango.....</i>	67
3.6.4.	<i>Costo de una desbrozadora</i>	68
3.6.5.	<i>Análisis comparativo de costos</i>	69

CAPÍTULO 4

4.	RESULTADOS	70
4.1.	Análisis estructural del elemento 1.....	70
4.1.1.	<i>Parámetros obtenidos o resultados obtenidos del elemento 1.....</i>	70
4.1.1.1.	<i>Análisis 1.....</i>	70
4.1.1.2.	<i>Análisis 2.....</i>	73
4.1.1.3.	<i>Análisis 3.....</i>	75
4.1.1.4.	<i>Análisis 4.....</i>	76
4.1.1.5.	<i>Análisis 5.....</i>	78
4.1.1.6.	<i>Análisis 6.....</i>	79
4.1.1.7.	<i>Análisis 7.....</i>	80
4.1.1.8.	<i>Análisis 8.....</i>	82
4.1.1.9.	<i>Análisis 9.....</i>	83
4.1.1.10.	<i>Análisis 10.....</i>	85
4.1.1.11.	<i>Análisis 11.....</i>	86

4.1.1.12.	<i>Análisis 12</i>	88
4.1.1.13.	<i>Análisis 13</i>	89
4.1.1.14.	<i>Análisis 14</i>	91
4.1.1.15.	<i>Análisis 15</i>	92
4.1.1.16.	<i>Análisis de resultados del elemento 1</i>	94
4.2.	Análisis estructural del elemento 2	96
4.2.1.	<i>Parámetros obtenidos o resultados obtenidos del elemento 2</i>	96
4.2.1.1.	<i>Análisis 1</i>	96
4.2.1.2.	<i>Análisis 2</i>	98
4.2.1.3.	<i>Análisis 3</i>	101
4.2.1.4.	<i>Análisis 4</i>	102
4.2.1.5.	<i>Análisis 5</i>	103
4.2.1.6.	<i>Análisis 6</i>	105
4.2.1.7.	<i>Análisis 7</i>	106
4.2.1.8.	<i>Análisis 8</i>	107
4.2.1.9.	<i>Análisis 9</i>	109
4.2.1.10.	<i>Análisis 10</i>	110
4.2.1.11.	<i>Análisis 11</i>	111
4.2.1.12.	<i>Análisis 12</i>	113
4.2.1.13.	<i>Análisis 13</i>	114
4.2.1.14.	<i>Análisis 14</i>	115
4.2.1.15.	<i>Análisis de resultados del elemento 2</i>	117
4.3.	Análisis estructural del elemento 3 y 4	119
4.3.1.	<i>Parámetros obtenidos o resultados obtenidos del elemento 3 y 4</i>	119
4.3.1.1.	<i>Análisis 1</i>	119
4.3.1.2.	<i>Análisis 2</i>	122
4.3.1.3.	<i>Análisis 3</i>	125
4.3.1.4.	<i>Análisis 4</i>	127
4.3.1.5.	<i>Análisis 5</i>	128

4.3.1.6.	Análisis 6.....	129
4.3.1.7.	Análisis 7.....	131
4.3.1.8.	Análisis 8.....	133
4.3.1.9.	Análisis 9.....	134
4.3.1.10.	Análisis 10.....	135
4.3.1.11.	Análisis 11.....	137
4.3.1.12.	Análisis 12.....	138
4.3.1.13.	Análisis 13.....	140
4.3.1.14.	Análisis 14.....	141
4.3.1.15.	Análisis 15.....	143
4.3.1.16.	Análisis de resultados del elemento 3 y 4	144
4.4.	Análisis estructural del elemento 5.....	146
4.4.1.	Parámetros obtenidos o resultados obtenidos del elemento 5.....	146
4.4.1.1.	Análisis 1.....	146
4.4.1.2.	Análisis 2.....	149
4.4.1.3.	Análisis 3.....	151
4.4.1.4.	Análisis 4.....	153
4.4.1.5.	Análisis 5.....	154
4.4.1.6.	Análisis 6.....	155
4.4.1.7.	Análisis de resultados del elemento 5.....	157
CONCLUSIONES.....		159
RECOMENDACIONES.....		160
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		
PLANOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clasificación de los aparejos de labrado más empleados	10
Tabla 2-2:	Valores promedio de la resistencia específica varios tipos de suelos	14
Tabla 1-3:	Voz del ingeniero	27
Tabla 2-3:	Matriz Morfológica	31
Tabla 3-3:	Evaluación del peso específico por cada criterio	32
Tabla 4-3:	Evaluación del peso específico del criterio de durabilidad	32
Tabla 5-3:	Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento	32
Tabla 6-3:	Evaluación del peso específico del criterio costo	33
Tabla 7-3:	Evaluación del peso específico del criterio capacidad	33
Tabla 8-3:	Evaluación del peso específico del criterio peso	33
Tabla 9-3:	Tabla de conclusiones	33
Tabla 10-3:	Propiedades del acero inoxidable 304	55
Tabla 11-3:	Fuerzas aplicadas sobre el elemento 1	56
Tabla 12-3:	Propiedades del acero inoxidable 304	58
Tabla 13-3:	Fuerza aplicada sobre el elemento 2	59
Tabla 14-3:	Propiedades del acero inoxidable 304	61
Tabla 15-3:	Fuerza aplicada sobre el elemento 3 y 4	62
Tabla 16-3:	Propiedades del acero estructural A36	64
Tabla 17-3:	Fuerza aplicada sobre el elemento 5	65
Tabla 18-3:	Costos directos para la fabricación de un deshierbador manual	66
Tabla 19-3:	Análisis comparativo de costos	69
Tabla 1-4:	Resultados obtenidos del elemento 1	94
Tabla 2-4:	Resultados obtenidos del elemento 2	117
Tabla 3-4:	Resultados obtenidos del elemento 3 y 4	145
Tabla 4-4:	Resultados obtenidos del elemento 5	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Texturas del suelo de la ciudad de Riobamba.....	7
Figura 2-2:	Modelos de cuchillas de trabajo.....	12
Figura 3-2:	Deshierbador intrahilera mecánico inteligente.....	15
Figura 4-2:	(Izquierda). Foto de la parte trasera de la desbrozadora mecánica (derecha). Vista lateral de la desbrozadora, que muestra el montaje de una cámara orientada hacia abajo que se utilizó para evaluar el rendimiento de la máquina.....	17
Figura 5-2:	Fuerza de empuje	22
Figura 6-2:	Determinación de la fuerza de empuje.....	23
Figura 7-2:	Factores para la capacidad corregida.	24
Figura 8-2:	Factores para la fuerza recomendada	24
Figura 1-3:	Máquina deshierbadora manual	28
Figura 2-3:	Máquina deshierbadora	28
Figura 3-3:	Modelado de la mejor alternativa	34
Figura 4-3:	Esquema de medidas generales del deshierbador	34
Figura 5-3:	Diagrama de cuerpo libre del deshierbador	35
Figura 6-3:	Diagrama de análisis de transmisión de potencia	36
Figura 7-3:	Diagrama de cuerpo libre de la rueda principal	37
Figura 8-3:	Diagrama de la rueda de corte	37
Figura 9-3:	Dimensiones del aspa de corte	39
Figura 10-3:	Dimensiones de la cuchilla	39
Figura 11-3:	Gráfico de la rueda principal	40
Figura 12-3:	Diagrama cortante y de momentos en el plano XY del eje 1	41
Figura 13-3:	Diagrama cortante y de momentos en el plano XZ del eje 1	42
Figura 14-3:	Fluctuación de los esfuerzos normales	42
Figura 15-3:	Fluctuación de los esfuerzos torsionales	43
Figura 16-3:	Diagrama cortante y de momentos en el plano XY del eje 2	44
Figura 17-3:	Diagrama cortante y de momentos en el plano XY del eje 3 y 4	46
Figura 18-3:	Valores para C7	48
Figura 19-3:	Determinación del número de cadena	49
Figura 20-3:	Determinación de algunos parámetros	50
Figura 21-3:	Determinación de los factores	51
Figura 22-3:	Selección de chumacera	52

Figura 23-3:	Diseño CAD del deshierbador manual	53
Figura 24-3:	Elemento 1	54
Figura 25-3:	Elemento 2	54
Figura 26-3:	Elemento 3 y 4 en 2 vistas	54
Figura 27-3:	Elemento 5	55
Figura 28-3:	Geometría del elemento 1	56
Figura 29-3:	Aspas en contacto con la tierra del elemento 1	57
Figura 30-3:	Elemento 1 con las chumaceras	57
Figura 31-3:	Malla por defecto del elemento 1	58
Figura 32-3:	Geometría del elemento 2	59
Figura 33-3:	Aspas en contacto con la tierra.	59
Figura 34-3:	Elemento 2 con las chumaceras	60
Figura 35-3:	Malla por defecto del elemento 2	60
Figura 36-3:	Geometría del elemento 3 y 4	61
Figura 37-3:	Discos en contacto con la tierra.	62
Figura 38-3:	Elemento 3 y 4 con las tuercas de sujeción.	62
Figura 39-3:	Malla por defecto del elemento 3 y 4.	63
Figura 40-3:	Geometría del elemento 5	64
Figura 41-3:	Fuerza aplicada en el manubrio de la estructura.	65
Figura 42-3:	Estructura del deshierbador con las chumaceras	65
Figura 43-3:	Malla refinada del elemento 5	66
Figura 44-3:	Deshierbador de 3.5 HP	67
Figura 45-3:	Deshierbador de mango	68
Figura 46-3:	Desbrozadora	68
Figura 1-4:	Calidad de la Malla por defecto del elemento 1	70
Figura 2-4:	Resultados de deformación total para el análisis 1 del elemento 1	71
Figura 3-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 1 del elemento 1	71
Figura 4-4:	Resultados de deformación unitaria para el análisis 1 del elemento 1	72
Figura 5-4:	Resultados de factor de seguridad para el análisis 1 del elemento 1	72
Figura 6-4:	Calidad de la malla con Element Quality del elemento 1	73
Figura 7-4:	Estadística de la malla con Element Quality del elemento 1	73
Figura 8-4:	Resultados de deformación total para el análisis 2 del elemento 1	73
Figura 9-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 2 del elemento 1	74
Figura 10-4:	Resultados de deformación unitaria para el análisis 2 del elemento 1	74
Figura 11-4:	Resultados de factor de seguridad para el análisis 2 del elemento 1	75
Figura 12-4:	Calidad de la malla refinada del elemento 1	75
Figura 13-4:	Resultados de deformación total para el análisis 3 del elemento 1	76

Figura 14-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 3 del elemento 1	76
Figura 15-4:	Calidad de la malla refinada en las cuchillas del elemento 1	77
Figura 16-4:	Resultados de deformación total para el análisis 4 del elemento 1	77
Figura 17-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 4 del elemento 1	77
Figura 18-4:	Calidad de la malla con sizing 2mm del elemento 1	78
Figura 19-4:	Resultados de deformación total para el análisis 5 del elemento 1	78
Figura 20-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 5 del elemento 1	79
Figura 21-4:	Calidad de la malla con sizing 2.5mm del elemento 1	79
Figura 22-4:	Resultados de deformación total para el análisis 6 del elemento 1	80
Figura 23-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 6 del elemento 1	80
Figura 24-4:	Calidad de la malla con sizing 3mm del elemento 1	81
Figura 25-4:	Resultados de deformación total para el análisis 7 del elemento 1	81
Figura 26-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 7 del elemento 1	82
Figura 27-4:	Calidad de la malla con sizing 3.5mm del elemento 1	82
Figura 28-4:	Resultados de deformación total para el análisis 8 del elemento 1	83
Figura 29-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 8 del elemento 1	83
Figura 30-4:	Calidad de la malla con sizing 4mm del elemento 1	84
Figura 31-4:	Resultados de deformación total para el análisis 9 del elemento 1	84
Figura 32-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 9 del elemento 1	85
Figura 33-4:	Calidad de la malla con sizing 5mm del elemento 1	85
Figura 34-4:	Resultados de deformación total para el análisis 10 del elemento 1	86
Figura 35-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 10 del elemento 1	86
Figura 36-4:	Calidad de la malla con sizing 6mm del elemento 1	87
Figura 37-4:	Resultados de deformación total para el análisis 11 del elemento 1	87
Figura 38-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 11 del elemento 1	88
Figura 39-4:	Calidad de la malla con sizing 7mm del elemento 1	88
Figura 40-4:	Resultados de deformación total para el análisis 12 del elemento 1	89
Figura 41-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 12 del elemento 1	89
Figura 42-4:	Calidad de la malla con sizing 8mm del elemento 1	90
Figura 43-4:	Resultados de deformación total para el análisis 13 del elemento 1	90
Figura 44-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 13 del elemento 1	91
Figura 45-4:	Calidad de la malla con sizing 9mm del elemento 1	91
Figura 46-4:	Resultados de deformación total para el análisis 14 del elemento 1	92
Figura 47-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 14 del elemento 1	92
Figura 48-4:	Calidad de la malla con sizing 10mm del elemento 1	93
Figura 49-4:	Resultados de deformación total para el análisis 15 del elemento 1	93
Figura 50-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 15 del elemento 1	94

Figura 51-4:	Calidad de la Malla por defecto del elemento 2	96
Figura 52-4:	Resultados de deformación total para el análisis 1 del elemento 2	97
Figura 53-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 1 del elemento 2	97
Figura 54-4:	Resultados de deformación unitaria para el análisis 1 del elemento 2	98
Figura 55-4:	Resultados de factor de seguridad para el análisis 1 del elemento 2	98
Figura 56-4:	Calidad de la malla con Element Quality del elemento 2	99
Figura 57-4:	Estadística de la malla con Element Quality del elemento 2	99
Figura 58-4:	Resultados de deformación total para el análisis 2 del elemento 2	99
Figura 59-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 2 del elemento 2	100
Figura 60-4:	Resultados de deformación unitaria para el análisis 2 del elemento 2	100
Figura 61-4:	Resultados de factor de seguridad para el análisis 2 del elemento 2	100
Figura 62-4:	Calidad de la malla refinada del elemento 2	101
Figura 63-4:	Resultados de deformación total para el análisis 3 del elemento 2	101
Figura 64-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 3 del elemento 2	102
Figura 65-4:	Calidad de la malla refinada en las cuchillas del elemento 2	102
Figura 66-4:	Resultados de deformación total para el análisis 4 del elemento 2	103
Figura 67-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 4 del elemento 2	103
Figura 68-4:	Calidad de la malla con sizing 2mm del elemento 2	104
Figura 69-4:	Resultados de deformación total para el análisis 5 del elemento 2	104
Figura 70-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 5 del elemento 2	104
Figura 71-4:	Calidad de la malla con sizing 2.5mm del elemento 2	105
Figura 72-4:	Resultados de deformación total para el análisis 6 del elemento 2	105
Figura 73-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 6 del elemento 2	106
Figura 74-4:	Calidad de la malla con sizing 3mm del elemento 2	106
Figura 75-4:	Resultados de deformación total para el análisis 7 del elemento 2	107
Figura 76-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 7 del elemento 2	107
Figura 77-4:	Calidad de la malla con sizing 3.5mm del elemento 2	108
Figura 78-4:	Resultados de deformación total para el análisis 8 del elemento 2	108
Figura 79-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 8 del elemento 2	108
Figura 80-4:	Calidad de la malla con sizing 4mm del elemento 2	109
Figura 81-4:	Resultados de deformación total para el análisis 9 del elemento 2	109
Figura 82-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 9 del elemento 2	110
Figura 83-4:	Calidad de la malla con sizing 5mm del elemento 2	110
Figura 84-4:	Resultados de deformación total para el análisis 10 del elemento 2	111
Figura 85-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 10 del elemento 2	111
Figura 86-4:	Calidad de la malla con sizing 6mm del elemento 2	112
Figura 87-4:	Resultados de deformación total para el análisis 11 del elemento 2	112

Figura 88-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 11 del elemento 2	112
Figura 89-4:	Calidad de la malla con sizing 7mm del elemento 2	113
Figura 90-4:	Resultados de deformación total para el análisis 12 del elemento 2	113
Figura 91-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 12 del elemento 2	114
Figura 92-4:	Calidad de la malla con sizing 8mm del elemento 2	114
Figura 93-4:	Resultados de deformación total para el análisis 13 del elemento 2	115
Figura 94-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 13 del elemento 2	115
Figura 95-4:	Calidad de la malla con sizing 9mm del elemento 2	116
Figura 96-4:	Resultados de deformación total para el análisis 14 del elemento 2	116
Figura 97-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 14 del elemento 2	116
Figura 98-4:	Calidad de la Malla por defecto para el elemento 3 y 4	119
Figura 99-4:	Resultados de deformación total para el análisis 1 del elemento 3 y 4	120
Figura 100-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 1 del elemento 3 y 4	120
Figura 101-4:	Resultados de deformación unitaria para el análisis 1 del elemento 3 y 4	121
Figura 102-4:	Resultados de factor de seguridad para el análisis 1 del elemento 3 y 4	122
Figura 103-4:	Calidad de la malla con Element Quality del elemento 3 y 4	122
Figura 104-4:	Estadística de la malla con Element Quality del elemento 3 y 4	123
Figura 105-4:	Resultados de deformación total para el análisis 2 del elemento 3 y 4	123
Figura 106-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 2 del elemento 3 y 4	124
Figura 107-4:	Resultados de deformación unitaria para el análisis 2 del elemento 3 y 4	124
Figura 108-4:	Resultados de factor de seguridad para el análisis 2 del elemento 3 y 4	125
Figura 109-4:	Calidad de la malla refinada del elemento 3 y 4	125
Figura 110-4:	Resultados de deformación total para el análisis 3 del elemento 3 y 4	126
Figura 111-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 3 del elemento 3 y 4	126
Figura 112-4:	Calidad de la malla refinada en las cuchillas del elemento 3 y 4	127
Figura 113-4:	Resultados de deformación total para el análisis 4 del elemento 3 y 4	127
Figura 114-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 4 del elemento 3 y 4	128
Figura 115-4:	Calidad de la malla con sizing 2mm del elemento 3 y 4	128
Figura 116-4:	Resultados de deformación total para el análisis 5 del elemento 3 y 4	129
Figura 117-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 5 del elemento 3 y 4	129
Figura 118-4:	Calidad de la malla con sizing 2.5mm del elemento 3 y 4	130
Figura 119-4:	Resultados de deformación total para el análisis 6 del elemento 3 y 4	130
Figura 120-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 6 del elemento 3 y 4	131
Figura 121-4:	Calidad de la malla con sizing 3mm del elemento 3 y 4	131
Figura 122-4:	Resultados de deformación total para el análisis 7 del elemento 3 y 4	132
Figura 123-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 7 del elemento 3 y 4	132
Figura 124-4:	Calidad de la malla con sizing 3.5mm del elemento 3 y 4	133

Figura 125-4:	Resultados de deformación total para el análisis 8 del elemento 3 y 4.....	133
Figura 126-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 8 del elemento 3 y 4	134
Figura 127-4:	Calidad de la malla con sizing 4mm del elemento 3 y 4	134
Figura 128-4:	Resultados de deformación total para el análisis 9 del elemento 3 y 4.....	135
Figura 129-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 9 del elemento 3 y 4	135
Figura 130-4:	Calidad de la malla con sizing 5mm del elemento 3 y 4	136
Figura 131-4:	Resultados de deformación total para el análisis 10 del elemento 3 y 4.....	136
Figura 132-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 10 del elemento 3 y 4	137
Figura 133-4:	Calidad de la malla con sizing 6mm del elemento 3 y 4	137
Figura 134-4:	Resultados de deformación total para el análisis 11 del elemento 3 y 4.....	138
Figura 135-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 11 del elemento 3 y 4	138
Figura 136-4:	Calidad de la malla con sizing 7mm del elemento 3 y 4	139
Figura 137-4:	Resultados de deformación total para el análisis 12 del elemento 3 y 4.....	139
Figura 138-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 12 del elemento 3 y 4	140
Figura 139-4:	Calidad de la malla con sizing 8mm del elemento 3 y 4	140
Figura 140-4:	Resultados de deformación total para el análisis 13 del elemento 3 y 4.....	141
Figura 141-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 13 del elemento 3 y 4	141
Figura 142-4:	Calidad de la malla con sizing 9mm del elemento 3 y 4	142
Figura 143-4:	Resultados de deformación total para el análisis 14 del elemento 3 y 4.....	142
Figura 144-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 14 del elemento 3 y 4	143
Figura 145-4:	Calidad de la malla con sizing 10mm del elemento 3 y 4	143
Figura 146-4:	Resultados de deformación total para el análisis 15 del elemento 3 y 4.....	144
Figura 147-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 15 del elemento 3 y 4	144
Figura 148-4:	Calidad de la Malla por defecto del elemento 5	147
Figura 149-4:	Resultados de deformación total para el análisis 1 del elemento 5	147
Figura 150-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 1 del elemento 5	148
Figura 151-4:	Resultados de deformación unitaria para el análisis 1 del elemento 5.....	148
Figura 152-4:	Resultados de factor de seguridad para el análisis 1 del elemento 5.....	149
Figura 153-4:	Calidad de la malla con Element Quality del elemento 5	149
Figura 154-4:	Estadística de la malla con Element Quality del elemento 5	150
Figura 155-4:	Resultados de deformación total para el análisis 2 del elemento 5	150
Figura 156-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 2 del elemento 5	150
Figura 157-4:	Resultados de deformación unitaria para el análisis 2 del elemento 5.....	151
Figura 158-4:	Resultados de factor de seguridad para el análisis 2 del elemento 5	151
Figura 159-4:	Calidad de la malla refinada en los soportes de conexión del elemento 5	152
Figura 160-4:	Resultados de deformación total para el análisis 3 del elemento 5	152
Figura 161-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 3 del elemento 5	152

Figura 162-4:	Calidad de la malla con sizing 2mm del elemento 5	153
Figura 163-4:	Resultados de deformación total para el análisis 4 del elemento 5	153
Figura 164-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 4 del elemento 5	154
Figura 165-4:	Calidad de la malla con sizing 2.5mm del elemento 5	154
Figura 166-4:	Resultados de deformación total para el análisis 5 del elemento 5	155
Figura 167-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 5 del elemento 5	155
Figura 168-4:	Calidad de la malla con sizing 3mm del elemento 5	156
Figura 169-4:	Resultados de deformación total para el análisis 6 del elemento 5	156
Figura 170-4:	Resultados de esfuerzo para el análisis 6 del elemento 5	156

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3.	Análisis de las encuestas	27
Gráfico 2-3.	Casa de la calidad	29
Gráfico 3-3.	Análisis funcional	30
Gráfico 1-4.	No. De nodos vs Deformación	95
Gráfico 2-4.	No. De nodos vs Esfuerzo	95
Gráfico 3-4.	No. De nodos vs Deformación	118
Gráfico 4-4.	No. De nodos vs Esfuerzo	118
Gráfico 5-4.	No. De nodos vs Deformación	145
Gráfico 6-4.	No. De nodos vs Esfuerzo	146
Gráfico 7-4.	No. De nodos vs Deformación	158
Gráfico 8-4.	No. De nodos vs Esfuerzo	158

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ENCUESTA PARA PRODUCTORES AGRÍCOLAS

ANEXO B: CASA DE LA CALIDAD “QFD”

ANEXO C: MANUAL DE OPERACIÓN

ANEXO D: MANUAL DE MANTENIMIENTO

ANEXO E: CATÁLOGO DE LA CHUMACERA

ANEXO F: PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DEL DESHIERBADOR MANUAL

RESUMEN

Debido a la excesiva maleza presente en los cultivos se ha visto la necesidad de diseñar y validar mediante el software ANSYS un deshierbador manual empleado en el sector agrícola especialmente para su uso en pequeñas áreas de terreno que están siendo cultivadas. Como el Ecuador es un país agrícola se busca aportar con esta máquina a los agricultores para que sus labores sean productivas en el menor tiempo posible. De esta manera se investigó sobre el suelo, sus clases y características y sobre las herramientas agrícolas. Se realizó un análisis QFD para determinar cuál es la mejor alternativa que cumpla con los requerimientos técnicos que necesita el usuario; se ejecutó también el diseño mecánico del deshierbador manual para luego proceder con el diseño CAD en el software NX de acuerdo a las especificaciones requeridas por el usuario. Para validar el diseño del deshierbador manual se empleó el software ANSYS mediante el módulo de Static Structural, obteniendo algunos parámetros importantes como la deformación total, el esfuerzo y el coeficiente de seguridad de cada elemento que conforma el deshierbador manual; los resultados obtenidos en este software fueron fiables gracias al análisis de convergencia que se realizó para verificar la confiabilidad de los mismos, mostrando una variación mínima entre ellos, también se estableció un rango de resultados debido a que el MEF casi nunca da resultados exactos porque se basa en métodos numéricos. Se analizó finalmente la estructura y se observó que es mejor trabajar mediante superficie debido a que la misma está formada por perfiles estructurales, dando al primer análisis un resultado satisfactorio. Se recomienda analizar la estructura a través del software SAP 2000 para verificar los resultados obtenidos en ANSYS.

PALABRAS CLAVES: <INGENIERÍA MECÁNICA>, <DESHIERBADOR MANUAL>, <AGRICULTURA>, <ANÁLISIS QFD>, <DISEÑO MECÁNICO>, <DISEÑO CAD>, <NX (SOFTWARE)>, <MÉTODO DE ELEMENTO FINITO (MEF)>, <ANSYS (SOFTWARE)>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



15-04-2021

1015-DBRAI-UTP-2021

SUMMARY / ABSTRACT

Due to the excessive weeds present in the crops, it has been seen the need to design and validate through the ANSYS software a manual weeding used in the agricultural sector especially for use in small areas of land that are being cultivated. As Ecuador is an agricultural country, it is sought to contribute with this machine to farmers so that their work is productive in the shortest possible time. In this way, the soil, its classes and characteristics, and agricultural tools were investigated. A QFD analysis was carried out to determine which is the best alternative that meets the technical requirements that the user needs; The mechanical design of the manual weeder was also executed and then proceeded with the CAD design in the NX software according to the specifications required by the user. To validate the design of the manual weeder, the ANSYS software was used through the Static Structural module, obtaining some important parameters such as total deformation, stress and the safety factor of each element that makes up the manual weeder; the results obtained in this software were reliable thanks to the convergence analysis that was carried out to verify their reliability, showing a minimum variation between them, a range of results was also established because the MEF almost never gives exact results because it is based on numerical methods. The structure was finally analyzed, and it was observed that it is better to work by surface because it is made up of structural profiles, giving the first analysis a satisfactory result. It is recommended to analyze the structure through SAP 2000 software to verify the results obtained in ANSYS.

KEYWORDS: <MECHANICAL ENGINEERING>, <MANUAL WEEDER>, <AGRICULTURE>, <QFD ANALYSIS>, <MECHANICAL DESIGN>, <CAD DESIGN>, <NX (SOFTWARE)>, <FINITE ELEMENT METHOD (MEF)>, < ANSYS (SOFTWARE)>.

INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento mundial de la población ha impulsado al desarrollo de la tecnología y la agricultura no se puede quedar atrás es por eso que también existe tecnificación en este sector productivo para mejorar la calidad de los productos y la utilidad de los agricultores (Fahad et al. 2015).

Un problema constante que tiene el agricultor es la mala hierba conocida como maleza debido al crecimiento acelerado que esta tiene en los cultivos, la maleza consume los minerales del suelo evitando el crecimiento de los cultivos (Young y Pierce 2014). El agricultor emplea varios métodos convencionales para la eliminación de la maleza por ejemplo el uso de químicos los mismos que perjudican al medio ambiente y por lo tanto a los cultivos (Melander, Lattanzi y Pannacci 2015); y con el pasar del tiempo se utilizó la tecnología con la cual se pudo controlar la maleza presente en los cultivos de una manera eficiente, es por ello que la universidad impulsa el desarrollo de proyectos que ayuden al sector productivo del país en este caso la creación de máquinas y equipos que faciliten las labores agrícolas (Pannacci y Tei 2014).

El uso continuo de químicos para el control de la maleza ha provocado daños en los cultivos causando enfermedades en los mismos y en las personas que los consumen (Annett, Habibi y Hontela 2014). En la actualidad el gobierno brinda créditos y capacitaciones a los agricultores, los mismos que en su mayoría han optado por la producción orgánica (Harker y O'Donovan 2013) de tal manera que se mejore el estilo de vida y salud de los consumidores de los productos agrícolas (Sacco et al. 2015).

El ingeniero mecánico al poseer diversidad de conocimientos técnicos y tecnológicos que pueden ser utilizados en distintas áreas de ingeniería vinculándose de manera directa o indirecta con el sector agrícola, en el desarrollo de nuevos mecanismos y sistemas que aportarán en la eficiencia y eficacia que el agricultor requiere, reduciendo tiempos y costos en la producción de tal manera que se pueda lograr mayor utilidad.

Con el pasar del tiempo la innovación agrícola ha sido cada vez más notoria evidenciándose el uso de maquinaria en las labores agrícolas de tal manera que se reduzca el tiempo en relación al método manual, de esta manera los ingenieros mecánicos estamos capacitados para aportar con nuestros conocimientos y elaborar maquinarias que sirvan al agricultor y de esta manera aportar al desarrollo económico del país.

CAPÍTULO 1

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La agricultura siempre ha sido y es en el Ecuador una de las fuentes principales de producción y de economía, gracias al empleo de la riqueza en minerales que posee los suelos del país. La agricultura genera la mayor parte del Producto Interno Bruto del país, produce aproximadamente el 28% de empleos en el país, en especial en el área rural (Ecuador 2009); a pesar de ello, en esta área es donde se observa elevados índices de pobreza con el 64,2% y un 22,2% de excesiva pobreza en el país.

El Ecuador no aprovecha todos los recursos que posee para mejorar su economía como por ejemplo la fertilidad del suelo y las condiciones aptas de clima para la producción agrícola. Algunos agricultores han tenido que dejar el campo y sus labores por falta de dinero, debido a que el apoyo económico que reciben para las labores agrícolas es casi nulo. Otro de los factores de deserción de los agricultores es la falta de tecnificación que tienen para las labores agrícolas, razón por la cual las universidades buscan a través de la investigación crear máquinas agrícolas que incrementen la productividad en dicho sector, haciendo que estas máquinas sean eficientes y amigables con el medio ambiente.

El principal problema de los agricultores ha sido la maleza que está en los cultivos provocando mermas en la siembra, y quitándole a los cultivos la posibilidad de absorber los nutrientes del suelo para su desarrollo. El agricultor por muchos años ha empleado herramientas comunes para la eliminación de la maleza presente en los cultivos (Sogamoso 2015), por ejemplo por técnica manual y gracias al constante progreso tecnológico surgieron nuevas estrategias para controlar y remover la maleza de forma más eficiente y menos costosa. Por mucho tiempo se ha empleado productos químicos para mitigar y erradicar la maleza presente en los cultivos, pero esto ha repercutido en enfermedades en los sembríos y alteraciones medioambientales (Sogamoso 2015).

Actualmente se han incrementado estudios sobre la innovación y tecnificación en la agricultura para mitigar las consecuencias del uso de productos químicos en el control de la maleza. Gracias a la tecnificación de la agricultura aplicando el control mecánico para vigilar y controlar la maleza, evitando así que los cultivos se vean afectados en su desarrollo.

Por tal motivo, se hace necesario el desarrollo de un mecanismo para remover la maleza, debido a que Ecuador es un país agrícola por los diversos climas y suelos que presenta el país, pero sus procesos de labranza no se encuentran tecnificados y son poco convencionales.

Se analizaron varios trabajos entre los cuales se encuentra la tesis de (Cajas y Pullas 2012), en la cual se diseña un apero para la formación de camas de cultivo, dicho apero es anclado a un motocultor. Otro de los trabajos analizados es la tesis de (Sogamoso 2015) que propone el diseño de un mecanismo para controlar la maleza mediante actuadores electromecánicos. En vista de que no existe un deshierbador manual diseñado en el país con un método efectivo de remoción de maleza en el presente trabajo de investigación se diseñará y validará un deshierbador manual para pequeñas áreas de terreno que están siendo cultivadas para ayudar a los agricultores en las labores de deshierbe, disminuyendo los tiempos y costos de producción agrícola.

1.2. Formulación del problema

En vista de que la economía de la provincia de Chimborazo depende en gran parte de su agricultura, se necesita tener productos de alta calidad para poder competir en el mercado nacional, para lo cual se realizan distintos tipos de investigaciones para mejorar la producción agrícola de la misma. Para ayudar a este desarrollo se ha optado por crear una máquina que quite la maleza excesiva de los cultivos, dicha maleza requiere mayor cuidado del personal que realiza las actividades agrícolas en los cultivos, desembocando mayor cansancio en los trabajadores, lo cual causa costos más elevados en la producción agrícola.

1.3. Justificación

En esta sección se presenta las justificaciones teórica, metodológica y práctica del proyecto de tesis propuesto.

1.3.1. Justificación teórica

Esta propuesta tecnológica se realiza con el propósito de ayudar al mejoramiento de la producción agrícola. Con la utilización del mecanismo que remueva la maleza presente en los cultivos, se mejorará el mantenimiento del terreno, se tendrá tecnificación para ejecutar las actividades agrícolas, reduciendo así los costos y los tiempos de la producción agrícola. Con el desarrollo de este proyecto se demostrará los conocimientos adquiridos durante la carrera plasmándolo en el producto final que será el diseño de la máquina deshierbadora, tecnificando así la agricultura con la utilización de la misma, además se reducirá el trabajo del agricultor que lo venía realizando manualmente.

1.3.2. Justificación metodológica

Para la elaboración de este proyecto se va a utilizar un método experimental, que tiene que ver con la búsqueda del mecanismo más eficiente que remueva la maleza de los cultivos, además se utilizará las metodologías activas ya que consiste en el auto aprendizaje y también con una base de conocimientos sólida en lo científico y técnico adquirido. Para este proyecto de titulación se hará uso de los conocimientos adquiridos en las materias de Mecanismos, Dinámica, Diseño de Elementos de Máquinas, Ingeniería de Materiales y el empleo de los softwares Solidworks y/o Nx, AutoCAD, para realizar el modelamiento de los elementos de la máquina y la obtención de los planos de detalle.

1.3.3. Justificación práctica

Para la elaboración de este proyecto se toma en cuenta la maleza excesiva presente en los cultivos, como aplicación práctica de este proyecto es el desarrollo de un mecanismo para remover la maleza, el mismo que generará beneficios productivos y económicos en los agricultores, permitiendo disminuir los tiempos y los costos de la producción agrícola. Para realizar este proyecto se iniciará con una búsqueda de información bibliográfica, en tesis nacionales e internaciones y artículos científicos indexados para recopilar toda la información necesaria y además con los requerimientos de la localidad poder diseñar el deshierbador. La información que se obtenga permitirá buscar soluciones o alternativas que nos ayudarán a desarrollar una máquina que quite la maleza de los cultivos, para facilitar el trabajo que realizan los agricultores de una manera eficiente. Se realizará el despliegue de la función de calidad QFD para determinar el modelo más factible que cumpla con los requisitos técnicos. Se desarrollará un diseño inicial conceptual, para luego realizar diferentes etapas de diseño básico, seguidamente se realizará el diseño en un software CAD para proceder a los respectivos análisis cinemáticos y dinámicos que requiera el modelo.

1.4. Alcance

El proyecto tiene como finalidad diseñar un deshierbador manual que servirá para que el agricultor reduzca su carga de trabajo obteniendo mejores resultados en sus cultivos, disminuyendo tiempos y costos de producción, es decir se va a implementar en las labores de deshierbe una máquina manual que permita quitar la maleza excesiva de los cultivos, ayudando notablemente en la producción agrícola; el deshierbador manual está enfocado para pequeñas áreas de terreno que están siendo cultivadas, no incluye grandes hectáreas de terreno.

1.5. Objetivos

Los objetivos de este proyecto de tesis, enfocados en la ejecución de un deshierbador manual son:

1.5.1. Objetivo General

Diseñar y validar mediante software un deshierbador manual empleado en el sector agrícola especialmente para su uso en pequeñas áreas de terreno.

1.5.2. Objetivos específicos

- Efectuar el estudio bibliográfico del suelo, sus clases y características; y de las herramientas para el trabajo agrícola.
- Diseñar y/o seleccionar los elementos mecánicos constitutivos del deshierbador manual en base a su geometría y funcionalidad.
- Realizar el diseño CAD del deshierbador manual empleando el software Nx.
- Validar el deshierbador manual mediante el software ANSYS.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se presenta el marco teórico de este proyecto de tesis enfocado en el diseño y validación de un deshierbador manual para el sector agrícola especialmente para pequeñas áreas de terreno que están siendo cultivadas.

2.1. El suelo

El suelo es la última capa de la corteza terrestre que es visible, se la conoce como tierra, está formado por materia orgánica, minerales, pequeños seres vivos como plantas y animales, agua y aire; los cuales lo hacen muy productivo para el cultivo de varios alimentos. El suelo es una fina capa producto de la disgregación de rocas y residuos orgánicos (Aulla y Morejón 2016; FAO 2016). El suelo de cada lugar puede variar dependiendo de la temperatura, clima, estación del año.

2.1.1. Clases de suelos

Los suelos más comunes son:

Arenoso: este tipo de suelo tiene más del 70% de arena en su composición, se lo puede encontrar por su textura arenosa y arenoso-franco (Analuiza y Benavides 2017).

Arcilloso: este tipo de suelo tiene más del 40% de arcilla en su composición, se lo puede encontrar por su textura arcillosa, arcilloso-limoso y arcilloso-arenoso (Analuiza y Benavides 2017).

Franco: este tipo de suelo es una combinación de limo, arcilla y arena, es considerado un suelo ideal para los cultivos, se lo puede encontrar en varias texturas que son óptimas para el cultivo de varios productos y/o alimentos agrícolas (Analuiza y Benavides 2017).

2.1.2. Características físicas del suelo

Son propiedades características del suelo que definen el grado de productividad que posee el suelo, por lo cual es de suma importancia conocerlas (Aulla y Morejón 2016).

2.1.2.1. Densidad del suelo:

La densidad puede ser aparente y real; la densidad aparente fluctúa entre 1100 y 1900 kg/m³, es una unidad de masa comprendida en una unidad de volumen de suelo en cambio la densidad real fluctúa entre 2500 y 2700 kg/m³ y contempla los elementos sólidos del suelo (Aulla y Morejón 2016).

2.1.2.2. Textura del suelo:

La textura es la mezcla de los diferentes tipos de suelo para formar un suelo con mejores características que sus componentes, existen varios tipos de texturas de suelo, la que más se recomienda para la agricultura es la textura de suelo franco (Aulla y Morejón 2016).

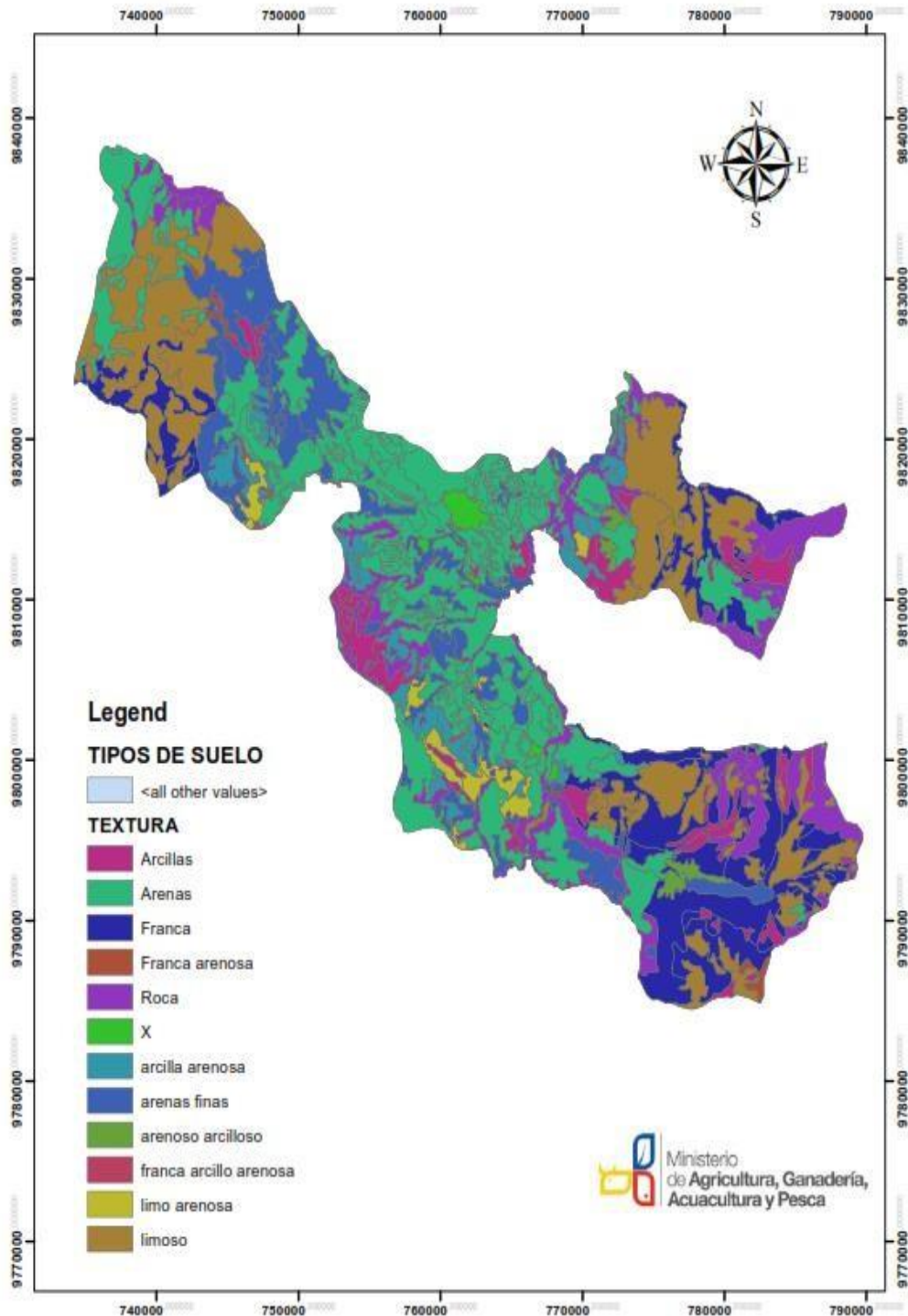


Figura 1-2: Texturas del suelo de la ciudad de Riobamba.

Fuente: (Aulla y Morejón 2016); MAGAP

2.1.2.3. Porosidad:

La porosidad del suelo se relaciona con el aire y el agua presente en el suelo, depende de la estructura, textura, tipo de siembra y labranza (Aulla y Morejón 2016).

2.1.2.4. Estructura:

La estructura es la unión de agregados los cuales están compuestos de limo, arena y arcilla, además está presente agua y aire en el suelo; se relaciona de manera directa con la compactación del mismo. La estructura del suelo es una característica primordial para la agricultura, ésta se ve maltratada por el excesivo uso de herramientas agrícolas en el suelo (Aulla y Morejón 2016).

2.2. Herramientas para el trabajo agrícola

2.2.1. Labrar el terreno

El labrado o trabajo del terreno es preparar el terreno para sembrar y cultivar diversas plantas como maíz, papas, arveja, entre otras; para realizar dicha actividad se emplean herramientas propias de la agricultura como son los aparejos o accesorios, el azadón, un tractor, un deshierbador, entre otros; algunos de ellos no requieren mucho esfuerzo del hombre por lo que se les considera herramientas mecánicas, en cambio las otras son herramientas manuales (Ortiz-Cañavate 2003).

2.2.2. Efecto de los aparejos en el terreno

La parte superficial del terreno es labrada por los aparejos, presentándose algunos efectos en el suelo como:

2.2.2.1. Mullido

El mullido se basa en separar el terreno formando tierra fina, logrando así incrementar la impregnación de agua y aire en las capas inferiores y posibilita el desarrollo del sistema radical. Si se realiza el mullido de forma mecánica, este proceso contempla varias acciones como (Ortiz-Cañavate 2003):

Fisuración: Se visualiza delante y oblicuamente de la herramienta agrícola. Se observa que las fisuras se desarrollan en distancias regulares. Por ejemplo se puede observar en terrenos que están labrados con aparejos de labrado vertical (Ortiz-Cañavate 2003).

Humedad: es un factor clave en la constitución de las fisuras. Se forman grandes fisuras en zonas que poseen menor resistencia como en terrenos compactos y secos. Cuando incrementa la humedad, disminuye la cohesión y la resistencia interna que presenta el suelo. A medida que la

humedad aumenta, la cohesión se reduce y con ello la resistencia interna del suelo (Ortiz-Cañavate 2003).

Corte: Es la desintegración del suelo producto del trabajo de la herramienta agrícola, es decir de los aparejos que poseen cuchillas filas. Este proceso es fundamental de la labranza de vertedera, empleando una reja y una cuchilla, las cuales producen una desintegración inicial del suelo (Ortiz-Cañavate 2003).

Impacto: es aplicar una carga específica en los agregados en un momento dado. Los agregados deben ser frágiles para lograr un impacto eficaz (Ortiz-Cañavate 2003).

Compresión: es cuando la humedad es inferior a la humedad del límite plástico y se origina fractura por compresión, por lo general los aparejos más utilizados para esto son los rodillos (Ortiz-Cañavate 2003).

Fricción: es cuando los agregados se rozan entre sí o con la herramienta agrícola originándose una fractura por fricción, disminuyendo así el volumen de los agregados (Ortiz-Cañavate 2003).

2.2.2.2. Laminación

El aplanado o laminado se ejecuta en el momento que la herramienta agrícola se traslada en el suelo logrando una fuerza de compresión en el suelo (Ortiz-Cañavate 2003).

2.2.2.3. Volteo

Es la alteración de las capas presentes en suelo para remover los residuos presentes en el mismo y sepultar los fertilizantes y la vegetación esporádica del suelo (Ortiz-Cañavate 2003).

2.2.2.4. Nivelación

Es el proceso de igualación del suelo para formar los surcos que servirán para sembrar los diversos cultivos, es decir se lo realiza moviendo la superficie del suelo hasta lograr una superficie uniforme, se lo ejecuta con las herramientas y aparejos agrícolas para nivelar el terreno en donde se sembrará (Ortiz-Cañavate 2003).








2.2.2.5. Ubicación de tierra gruesa y fina del terreno









Se debe localizar la tierra gruesa y fina, clasificarla según su grosor en la superficie del suelo que se trabajará. Se recomienda que la tierra más fina esté en la parte de abajo, es decir en contacto con las semillas y la tierra gruesa esté en la superficie del terreno para el proceso de nacimiento de los cultivos (Ortiz-Cañavate 2003).



2.2.3. Clasificación de los aparejos de labrado del terreno

Los aparejos de las herramientas agrícolas más empleados se los muestra en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Clasificación de los aparejos de labrado más empleados.

Profundidad de labranza	Tipos de accionamientos de trabajo	Aparejos	Esquema del aparejo
Muy profunda de 40 a 60 cm de la capa superficial	Fijos	Subsolador	
		Descompactador	
Profunda de 30 a 35 cm de la capa superficial	Fijos (arados)	Vertedera	
		Disco	
		Cinzel	
	Accionados por tdf	Cavadora	
Labranza superficial de 5 a 15 cm de la capa superficial	Fijos	Cultivador	

		Vibrocultivador	
		Rastra de púas	
	Giratorios	Grada de discos	
		Rastra de estrellas rotativas	
		Rodillo	
		Rotocultor	
Labranza superficial de 5 a 15 cm de la capa superficial	Accionados por tdf	Fresadora	
		Rotocultor de formones	

		Grada rotativa	
		Grada de púas oscilantes	

Fuente: (Ortiz-Cañavate 2003; Guano y Saquina 2017).

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

2.2.4. Modelos de cuchillas que se utilizan para el rotovator

El rotovator es una herramienta muy empleada en la agricultura, el cual posee cuchillas tanto izquierdas como derechas para un mejor trabajo. Los modelos de cuchillas que se puede encontrar son: en escuadra, curvada, recta y en formones. Dependiendo del modelo será la eficiencia de las cuchillas y la aplicación para la cual será destinada, por ejemplo las cuchillas curvadas y grandes remueven cantidad considerable de residuos que son enterrados en el suelo, las cuchillas rectas se emplean para la fase de transición cuando el suelo no presenta una estructura definida y está degradado también este tipo de cuchillas se las utiliza para aflojar el suelo cortándolo, las cuchillas en escuadra ejecutan un menor trabajo en el terreno; las cuchillas se las acopla mediante pernos que las sujetan al rotovator (Aulla y Morejón 2016). Los modelos de cuchillas que se menciona se visualizan en la figura 2-2.

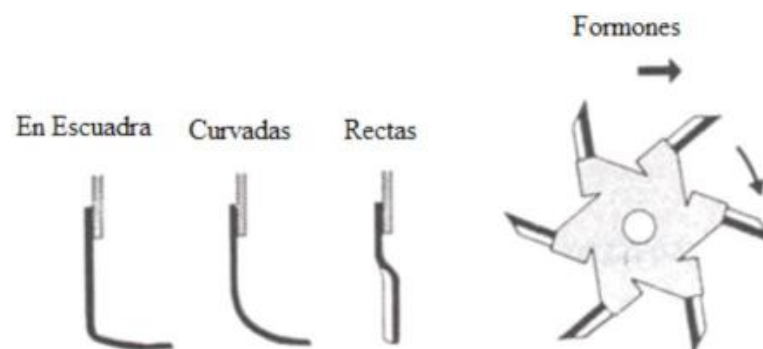


Figura 2-2: Modelos de cuchillas de trabajo

Fuente: (Cajas y Pullas 2012).

2.2.5. Rastra de disco

Este tipo de herramienta agrícola se la emplea principalmente para quitar la maleza presente en los cultivos, labrar y surcar el terreno. Los discos de esta herramienta están ensamblados en un eje, separados a igual distancia uno del otro; el ensamble de conjunto es rígido para que gire de forma solidaria (Guano y Saquinga 2017).

El grado de penetración de esta herramienta en el suelo se lo define por:

- El peso de la herramienta.
- El diámetro que poseen los discos.
- La velocidad de aplicación. (Una velocidad baja involucra una excelente penetración).
- El ángulo existente entre los objetos en contacto (Guano y Saquinga 2017).

2.2.6. Energía empleada en el labrado del terreno

La fuerza F que se realiza para ejecutar el labrado del terreno es igual a la resistencia específica del terreno μ por la sección de terreno labrado S es decir la sección que está en contacto en este caso todo lo que engloba el suelo y la cuchilla. La energía de labrado se fundamenta en la resistencia específica del terreno μ , la cual se la puede encontrar aplicando las ecuaciones que se muestran en la tabla, dependiendo del tipo de suelo del terreno y de la velocidad a la cual se ejecuta el trabajo, se encuentra en unidades de km/h (Ortiz-Cañavate 2003).

$$F = \mu \times S \quad (1)$$

La sección de labranza para un aparejo es:

$$S = n \times a \times p \quad (2)$$

Donde:

n : número de elementos del aparejo

a : ancho de cada elemento

p : profundidad de labrado (Ortiz-Cañavate 2003).

Tabla 2-2: Valores promedio de la resistencia específica varios tipos de suelos

Tipo de Suelo	μ [N/cm ²]
Arcillo-limoso	$\mu = 7 + 0,049 \times V^2$
Franco-arcilloso	$\mu = 6 + 0,049 \times V^2$
Franco-arcilloso-limoso	$\mu = 4,8 + 0,024 \times V^2$
Franco	$\mu = 3 + 0,02 \times V^2$
Limo-arenoso	$\mu = 3 + 0,032 \times V^2$
Franco-arenoso	$\mu = 2,8 + 0,013 \times V^2$
Arenoso	$\mu = 2 + 0,013 \times V^2$

Fuente: (Ortiz-Cañavate 2003; Guano y Saquinga 2017).

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

2.2.7. Capacidad teórica (S_t)

La capacidad teórica de una máquina agrícola es cuando la máquina funciona en condiciones óptimas, es decir con velocidad uniforme y con máxima capacidad de trabajo; las unidades pueden ser hectáreas por hora (ha/h), se la puede calcular con la siguiente fórmula, donde v es la velocidad de labranza y a es el ancho de la herramienta (Ortiz-Cañavate 2003).

$$S_t = \frac{a \cdot v}{10} \quad (3)$$

2.2.8. Capacidad efectiva (S_e)

La capacidad efectiva de una máquina agrícola es cuando la máquina trabaja en condiciones reales, pudiendo presentarse inconvenientes en su uso. El rendimiento de la máquina se lo puede encontrar dividiendo la capacidad efectiva para la capacidad teórica de la máquina agrícola (Ortiz-Cañavate 2003).

$$n_e = \frac{S_e}{S_t} \quad (4)$$

2.3. Máquinas deshierbadoras

2.3.1. Máquinas mecánicas inteligentes

En el trabajo “Control de malezas intrahilera mecánico inteligente versus no inteligente en cebollas y repollos trasplantados” realizado por (Melander, Lattanzi y Pannacci 2015) se destaca: la comparación del rendimiento de deshierbe de una desbrozadora mecánica inteligente (figura 3-2) con herramientas no inteligentes como una rastra, desbrozadoras de dedos y de torsión. Se

ejecutaron dos experimentos en cebolla trasplantada y dos en repollo blanco trasplantado, centrándose en los efectos de las malas hierbas y los cultivos. En términos generales, el deshierbe inteligente no fue superior a las herramientas más simples de la cebolla, y solo se encontraron pequeñas diferencias que podrían atribuirse a la configuración de los implementos no inteligentes. Solo fue posible estimar los efectos sobre las malezas en el experimento de un repollo con deshierbe inteligente, que no mostró diferencias notables entre la herramienta inteligente y las más simples. Se demostró también que el deshierbe inteligente capaz de cultivar el suelo cerca de las plantas de repollo puede proporcionar un control de malezas satisfactorio sin necesidad de deshierbe manual posterior. Sin embargo, un control de malezas mecánico inteligente capaz de operar muy cerca de cada trasplante individual sería suficiente en las coles de trasplante y otros cultivos que producen hojas que se expanden rápidamente y alcanzan el cierre del dosel relativamente temprano. La mejor estrategia de control de malezas lograda en Ascard y Fogelberg (2008) consistió en una pasada de rastra de malezas seguida de tres pasadas de desmalezado por torsión controlando el 85% de las malezas dentro de la hilera y reduciendo el tiempo de escarda manual en un 73%. Rasmussen y col. (2012) defienden que los beneficios de agregar inteligencia al control mecánico de malezas serían más profundos si se usaran dispositivos de deshierbe con un corte en lugar de una acción basada en púas. También es digno de mención que el deshierbe inteligente funcionó casi tan eficazmente como el tratamiento con herbicidas en el repollo, en realidad no dejó malezas residuales cerca de la cosecha en 2013. No obstante, el deshierbe inteligente dentro de la hilera tiene varios beneficios importantes sobre las herramientas no inteligentes que deben tenerse en cuenta al analizar las perspectivas de emplear el deshierbe inteligente en vegetales trasplantados. Los comentarios de los productores y los servicios de extensión experimentados con el deshierbe inteligente dentro de la hilera incluyen ventajas, como más horas de operación (operación incluso durante la noche), más fácil de implementar en la práctica, menos riesgo de daño al cultivo, solo se necesita un operador, más flexibilidad el momento del tratamiento en relación con la etapa de crecimiento de las malezas y la única alternativa a la remoción manual pura de malezas en la lechuga (Melander, Lattanzi y Pannacci 2015).

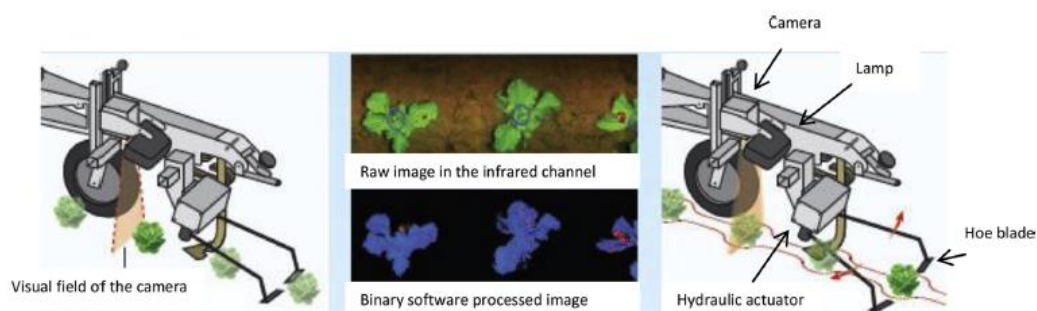


Figura 3-2: Deshierbador intrahilera mecánico inteligente

Fuente: (Melander, Lattanzi y Pannacci 2015).

En la investigación “*Diseño y prueba de una desbrozadora mecánica intrahilera para maíz*”, ejecutada por (Cordill y Grift 2011), se desarrolló y probó con éxito una máquina mecánica de control de malezas que contiene una disposición de detección de tallos, un algoritmo de control y un mecanismo de deshierbe mecánico. El objetivo fue eliminar de forma no específica las plantas de malezas dentro de la hilera permitiendo que los portadores de púas dobles se engancharan al suelo mientras evitaban los tallos de maíz. Los tallos de maíz se distinguieron de las malezas y hojas de maíz utilizando 1) el tallo casi cilíndrico vertical típico de la planta de maíz, 2) el rango limitado de diámetros de los tallos de maíz, y 3) asumiendo un espaciamiento constante entre las plantas. Los experimentos se realizaron utilizando tres arreglos: 1) tres hileras sin malezas, 2) tres hileras con malezas de hoja ancha (simuladas mediante la siembra de soja) y 3) tres hileras con malezas herbáceas. El porcentaje de plantas que resultaron fatalmente dañadas fue de 8.8%, 23.7% y 23.7% en los casos 1, 2, 3 respectivamente. Además, el porcentaje de plantas que sufrieron daños mínimos fue del 17,6%, 20% y 25,9% en los casos 1, 2,3 respectivamente (Cordill y Grift 2011).

Mecanismo de deshierbe mecánico: Para evitar que las púas de deshierbe dañen las raíces del maíz, se decidió que el mecanismo debería dejar un círculo de 50 mm de diámetro alrededor de la base del tallo de maíz, denominada zona de “no paso”. Esto dejó aproximadamente 100 mm de área potencialmente infestada de malezas a tratar entre los tallos de maíz posteriores. Dado que los cultivadores en hileras se pueden utilizar eficazmente para eliminar las malezas en el área entre las hileras, el área de labranza se definió como que alcanza los 50 mm a cada lado de la línea central de la hilera. Dado que el implemento de deshierbe debe tirarse paralelo a las filas para que funcione el mecanismo de detección, se consideró que un movimiento perpendicular a la fila era el más eficiente. Para este propósito, se utilizó un mecanismo de manivela, que cambia un movimiento de rotación en un movimiento cuasi sinusoidal. Sin embargo, la creación de las trayectorias como se muestra requirió el control de la posición tanto lateral como longitudinal de las púas, ya que, en primer lugar, el espacio entre las plantas puede haber variado en la dirección longitudinal y, en segundo lugar, la máquina necesitaba centrarse exactamente sobre la fila, lo que puede no siempre sea el caso. Para asegurar una alineación adecuada sobre la fila, se agregó un segundo conjunto idéntico de sensores de interrupción láser, que no es perpendicular a la fila, sino en un ángulo de 15. Las señales de los dos conjuntos de sensores estaban en fase cuando la máquina estaba por encima de la línea central de la fila y fuera de fase durante la desalineación (Cordill y Grift 2011).

La figura 4-2 muestra una vista posterior de la desbrozadora mecánica completa. La foto de la izquierda muestra cómo los brazos de deshierbe estaban montados sobre una mesa que permitía mover la máquina por encima del centro de la fila. En la parte delantera de la máquina, se colocaron las carcasas de los transmisores y receptores láser. Entre ellos, se colocaron dos

baterías, junto con placas de controlador de motor y hardware auxiliar. Se colocó una cubierta acrílica sobre todas las partes de control y alimentación electrónica (Cordill y Grift 2011).

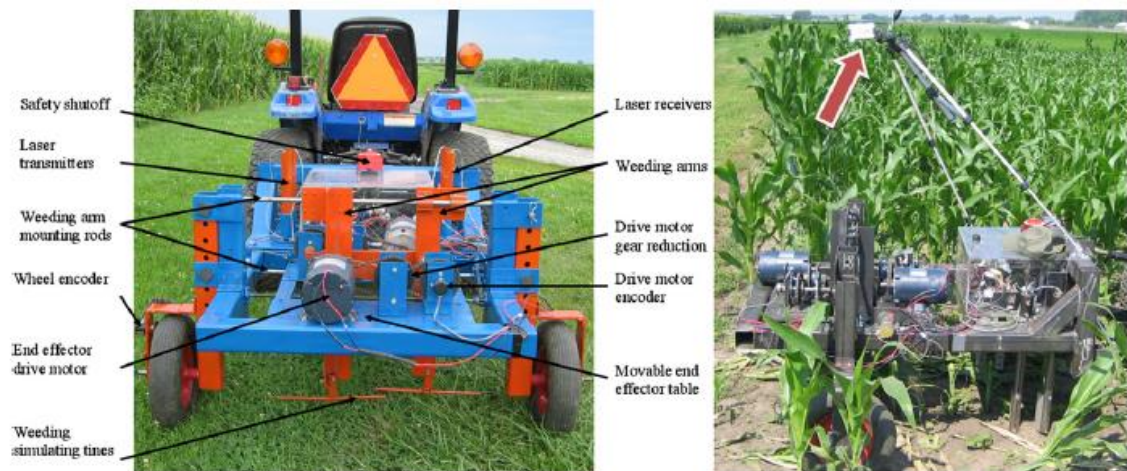


Figura 4-2: (Izquierda). Foto de la parte trasera de la desbrozadora mecánica (derecha). Vista lateral de la desbrozadora, que muestra el montaje de una cámara orientada hacia abajo que se utilizó para evaluar el rendimiento de la máquina.

Fuente: (Cordill y Grift 2011).

2.3.2. Máquinas con visión artificial

En el paper “Una revisión sobre la detección de malezas utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y visión artificial terrestres”, realizado por (Wang, Zhang y Wei 2019), señala que con los avances en las tecnologías electrónicas y de la información, la visión artificial combinada con las técnicas de procesamiento de imágenes se ha convertido en una herramienta prometedora para la detección precisa de malezas y cultivos en tiempo real en el campo, proporcionando información de detección valiosa para el manejo de malezas en sitios específicos. Concretamente, se presentaron en detalle los cuatro procedimientos, es decir, preprocesamiento, segmentación, extracción de características y clasificación, para la detección de malezas. Para separar la vegetación del fondo, se desarrollaron diferentes índices de color y enfoques de clasificación, como los basados en índices de color, los basados en umbrales y los basados en el aprendizaje. La dificultad de la detección de malezas radica en discriminar entre cultivos y malezas que a menudo tienen propiedades similares. En general, se utilizaron para la tarea cuatro categorías de características, es decir, morfología biológica, características espectrales, texturas visuales y contextos espaciales, que se analizaron en esta revisión. También, se discutieron los desafíos y soluciones proporcionados por los investigadores para la detección de malezas en el campo, incluida la oclusión y superposición de hojas, las diferentes condiciones de iluminación y las

diferentes etapas de crecimiento. Algunos productos comercializados que utilizan técnicas de procesamiento de imágenes y visión artificial para la detección de malezas y el posterior SSWM, como "Sense & Decide" de Blue River Technology (EEUU), El robot de hierba autónomo de "ecoRobotix" (Suiza). Estos productos inteligentes satisfacen la demanda de SSWM y seguramente abrirán un nuevo mercado para las máquinas desbrozadoras en el futuro. En general, la visión artificial con algoritmos de procesamiento de imágenes adecuados es una herramienta muy prometedora para la detección precisa de malezas y cultivos en tiempo real en el campo, lo que proporciona información de detección valiosa para SSWM (Wang, Zhang y Wei 2019).

En el trabajo "*Desarrollo y evaluación de campo de un sistema de detección de malezas durante la temporada basado en visión artificial para arándanos silvestres*", ejecutado por: (Rehman et al. 2019), se desarrolló un sistema integrado de detección de malezas basado en visión artificial para apuntar específicamente a la maleza de la vara de oro. Se utilizaron matrices de co-ocurrencia de color y clasificadores estadísticos para la detección de la vara de oro. Los clasificadores lineales y cuadráticos se desarrollaron utilizando diferentes subconjuntos reducidos de características de textura. Los clasificadores se evaluaron utilizando precisión, especificidad, sensibilidad y proporción de falsos negativos a escala de laboratorio. También se evaluó el rendimiento del sistema de detección de malezas desarrollado en dos campos de arándanos silvestres. Los resultados indicaron que el clasificador cuadrático con el modelo DM-HSISD mostró el mejor rendimiento a escala de laboratorio con precisiones de clasificación de 94,98% y 93,80% para conjuntos de datos de entrenamiento y prueba, respectivamente. Otro clasificador cuadrático (con el modelo DM-HSI) que contiene las 39 características de textura resultó ser el segundo mejor con precisiones de 94,29% y 91,46% en conjuntos de datos de entrenamiento y prueba, respectivamente. Los clasificadores lineales no funcionaron bien en comparación con sus respectivas contrapartes cuadráticas. El rendimiento de campo del sistema desarrollado equipado con el clasificador cuadrático DM-HSISD indicó que no hay diferencias significativas entre la tasa variable (VR) y la aplicación uniforme (UA) en términos de cobertura de área porcentual media (PAC) para los puntos de la vara de oro objetivo en ambos campos. Los ahorros químicos potenciales y reales estuvieron en rangos entre 46.71% y 74.83%; y 30.12% y 60.58% dependiendo de la maleza y el área rociada, respectivamente. Estos resultados demostraron que el sistema de detección de malezas desarrollado tiene potencial para la aplicación específica de agroquímicos para controlar la vara de oro en los campos de arándanos silvestres. El sistema desarrollado también podría ayudar a reducir el costo de los insumos y aumentar la rentabilidad agrícola de los productores de arándanos silvestres (Rehman et al. 2019).

En la investigación “*Un método de detección de malezas en campos de trigo con visión artificial*”, desarrollada por (Wu et al. 2011) propone un algoritmo de detección de malas hierbas, el cual trata la imagen en escala de grises desde el paso de gris de la imagen. La velocidad del sistema se ha mejorado en gran medida para garantizar los requisitos de tiempo real en las operaciones al momento. En el proceso de separación de malezas y cultivos, el algoritmo hace uso de las características de posición de las malezas y cultivos y los bordes del cultivo, por lo que la precisión aumenta, en comparación con el método de reconocimiento tradicional que depende de las diferencias de color de las malezas y cultivos. Además, para otras plantas sembradas en líneas, como soja, maíz, etc., el algoritmo de reconocimiento de malezas propuesto en este trabajo también tiene buena adaptabilidad. Se estudió un método de detección de malezas basado en la posición y la característica del borde. En primer lugar, los píxeles de la planta se separan del fondo del suelo utilizando la diferencia de color de la planta verde y el suelo. En segundo lugar, de acuerdo con la siembra, los cultivos se organizan en filas, este documento utiliza el método de histograma de píxeles para seleccionar la línea central de las filas de cultivo y establecer la línea central como punto de partida y el borde de las filas de recorte como punto final, luego rellenar el área de recorte y eliminar los píxeles de recorte. Finalmente, la detección de malezas se completa mediante la característica de que las malezas tienden a crecer en pequeñas asociaciones y distribuirse de cerca. Los experimentos muestran que el algoritmo obtiene una buena tasa de reconocimiento de malezas (Wu et al. 2011).

2.3.3. Máquinas con inteligencia artificial

En el trabajo “*Evaluación de la máquina de vectores de soporte y las redes neuronales artificiales en la detección de malezas utilizando características de forma*”, realizado por (Bakhshipour y Jafari 2018), deduce que la detección de malezas sigue siendo un problema desafiante para la eliminación robótica de malezas. Las estrechas similitudes entre las características de forma de la remolacha azucarera y las malezas comunes hacen que sea imposible definir una característica exclusiva para poder detectar de manera eficiente todas las malezas con una precisión aceptable. Por lo tanto, en este estudio se integró varias características de forma para establecer un patrón para cada variedad de plantas. Para habilitar el sistema de visión en la detección de las malas hierbas en función de su patrón, se emplearon dos métodos sustanciales de reconocimiento de patrones no lineales, es decir una máquina de vectores de soporte (SVM) y una red neuronal artificial (ANN). Se estudiaron cuatro especies de malezas comunes en los campos de remolacha azucarera. Los conjuntos de características de forma incluían descriptores de Fourier y características invariantes de momento. Los resultados mostraron que la precisión de clasificación general de ANN fue del 92,92%, donde el 92,50% de las malezas se clasificaron correctamente. Se obtuvieron mayores

precisiones cuando se utilizó el SVM como clasificador con una precisión global del 95,00%, mientras que el 93,33% de las malas hierbas se clasificaron correctamente. Además, el 93,33% y el 96,67% de las plantas de remolacha azucarera fueron correctamente clasificadas por ANN y SVM respectivamente. Aunque ambos clasificadores lograron casi el mismo resultado, la ligera prominencia de SVM fomenta su uso en este caso de detección de malezas basada en la forma en los campos de remolacha azucarera (Bakhshipour y Jafari 2018).

2.3.4. Máquinas que utilizan sensores

En la investigación “*Evaluación de sensores para la detección del corte de álamo que se utilizarán en la máquina de control de malezas dentro de la hilera*”, realizada por (Assirelli et al. 2015), revela que se prestó mucha atención al deshierbe no químico dentro de las hileras, pero el bajo nivel de eficiencia de la maquinaria disponible ha llevado al desarrollo de sistemas automáticos que son capaces de escardar los espacios en la hilera y evitar las plantas. Hay varios tipos de sensores disponibles para el manejo específico de malezas: sensores espectrométricos, optoelectrónicos, de fluorescencia y de imágenes. Algunos de estos recibieron gran interés debido a sus implicaciones comerciales, pero también existen algunas limitaciones. Por ejemplo, los sensores de imágenes pueden discriminar entre malezas, o entre malezas y cultivos, pero se requiere mucho análisis computacional. Por otro lado, los sensores espectrales y de fluorescencia tienen sistemas de adquisición de datos más simples, pero son más sensibles a los problemas ambientales o requieren condiciones específicas. Existen requisitos previos fundamentales para la usabilidad técnica y comercial de los sensores para el manejo de malezas: deben ser simples de manejar y fáciles de mantener. Además, los sensores montados en vehículos deben ser fáciles de usar, económicos y duraderos. En el marco de este estudio se probó un sensor fotoeléctrico y uno capacitivo (este último desarrollado específicamente para la identificación de estacas de álamo). Cada sensor identificó la planta según sus propios parámetros funcionales. La divergencia entre la respuesta de los sensores y la posición real de los recortes permitió evaluar la precisión de la detección. El sensor capacitivo mostró una mayor amplitud de respuesta en presencia de un corte de álamo que el sensor fotoeléctrico. El estudio se llevó a cabo utilizando los principales parámetros operativos (velocidad efectiva de trabajo y distancia de la hilera) simulando el arado entre hileras utilizado para viñedos y frutales. No se observaron diferencias significativas para las distintas distancias (0.15, 0.20 y 0.25 m) del sistema de detección desde la hilera y para las distintas velocidades (1 y 1.5 km/h) del carril. Los primeros resultados mostraron que el aparato de prueba detectó con precisión los cortes de álamo a la misma velocidad utilizada por las máquinas de control de malezas mecánicas comunes. Los sensores probados demostraron ser

adecuados para ser incluidos en máquinas desbrozadoras dentro de la hilera. El sistema de detección analizado en este estudio estaba compuesto por componentes electrónicos de bajo costo. Esto confirma la necesidad de desarrollar sistemas automáticos sencillos y económicamente sostenibles que sean capaces de asegurar la protección de las plantas (Assirelli et al. 2015).

El trabajo “*Clasificación de máquinas de vectores de soporte secuencial para la discriminación de especies de malezas de grano pequeño con especial atención a *Cirsium arvense* y *Galium aparine*”*”, ejecutado por: (Rumpf et al. 2012), muestra que es factible una detección temprana y clasificación de diferentes especies de malezas utilizando el procesamiento de imágenes y la clasificación basada en características de forma. Este estudio se centra en la detección automática de diferentes especies con sensores de imagen. Los algoritmos de procesamiento de imágenes determinan las características de la forma de las plantas en las imágenes. Con estas descripciones de formas, se pueden entrenar algoritmos de clasificación para identificar las especies de malezas y cultivos. Se analizaron series de imágenes de diferentes medidas con muestras de plantas en diferentes etapas de crecimiento. Para la clasificación se eligió un enfoque de clasificación secuencial, que involucra tres modelos diferentes de máquinas de vectores de soporte (SVM). En un primer paso se identificaron con éxito grupos de especies vegetales similares (monocotiledóneas, dicotiledóneas y cebada). Las distinciones dentro de la clase de dicotiledóneas resultaron ser particularmente difíciles. A tal efecto, las especies de este grupo se sometieron a un segundo y tercer paso de clasificación. Para cada uno de estos pasos, se encontró que las características más importantes eran diferentes. La ponderación de características se realizó con el algoritmo RELIEF-F y la ponderación de SVM. La atención se centró en la identificación temprana de las dos especies más dañinas, *Cirsium arvense* y *Galium aparine*, con una precisión óptima que utilizando un enfoque de clasificación no secuencial. Se logró una precisión de clasificación general del 97,7% en el primer paso. Para los dos clasificadores posteriores se obtuvieron tasas de precisión del 80% y más para *C. arvense* y *G. aparine*. El enfoque presentado divide la complejidad general del problema de clasificación en partes menos complejas, mejorando así la precisión de la clasificación y las tasas de detección. Los resultados de la clasificación pueden ser utilizados por sistemas de apoyo a la toma de decisiones para el manejo de malezas específico del sitio. Esto conducirá a una mejora del ahorro de herbicidas en términos de reducción de costes y minimización del impacto medioambiental (Rumpf et al. 2012).

2.4. Fuerza ejercida por el ser humano hacia la máquina agrícola

2.4.1. Fuerza máxima recomendada según EN 1005-3

2.4.1.1. Paso A

Determinación de la acción de fuerza

Puesto que la máquina es de carácter manual, fue diseñada para que el usuario realice una acción de empuje principalmente, como se muestra en la figura 5-2 (UNE 2009).



Figura 5-2: Fuerza de empuje

Fuente: (UNE 2009).

Cálculo de la Fuerza Máxima Isométrica (FB)

Utilizando la alternativa 1 de cálculo que establece la norma EN 1005-3, y en base a la tabla de valores de FB establecidos, se procede según el tipo de acción a realizar a seleccionar la fuerza máxima isométrica (UNE 2009).






Grupo	Tipo de Acción		Ámbito	
	Acción		Profesional	Doméstico
Trabajo con la mano	Asir con toda la mano		250 N	184 N
Trabajo con el brazo en posición sentada	Hacia arriba		50 N	31 N
	Hacia abajo		75 N	44 N
Trabajo con el cuerpo completo de pie	Empujando		200 N	119 N
	Tirando		145 N	96 N

Figura 6-2: Determinación de la fuerza de empuje

Fuente: (UNE 2009).

De la figura 6-2 y en función del tipo de acción se determinó que la fuerza máxima isométrica es de 200 N para actividades profesionales (UNE 2009).

2.4.1.2. Paso B

Determinación de la capacidad corregida F_{Br}

En este paso se incluyen factores de reducción que están en función de la velocidad de trabajo, la frecuencia y el tiempo de duración de la actividad, y se calcula con la siguiente fórmula (UNE 2009):

$$F_{Br} = F_B * m_v * m_f * m_d \quad (5)$$

Donde los factores m_v , m_f y m_d , se los selecciona de las siguientes tablas que se muestran en la figura 7-2:

Velocidad del movimiento	m_v
Inmovilidad o movimiento muy lento	1
Movimiento apreciable	0,8

Frecuencia de la acción (min^{-1})	Duración de la acción (min)	
	$\leq 0,05$	$> 0,05$
$\leq 0,2$	1,0	0,6
$> 0,2 - 2$	0,8	0,4
$> 2 - 20$	0,5	0,2
> 20	0,3	no aplicable

Duración (h)	≤ 1	$> 1 - 2$	$> 2 - 8$
m_d	1,0	0,8	0,5

Figura 7-2: Factores para la capacidad corregida.

Fuente: (UNE 2009).

Finalmente reemplazando en la fórmula se obtiene

$$F_{Br} = 200 * 0,8 * 0,5 * 1$$

$$F_{Br} = 80 \text{ N}$$

2.4.1.3. Paso C

En este paso se calculará la fuerza recomendada, la cual se obtiene de la siguiente fórmula (UNE 2009):

$$F_R = m_r * F_{Br} \quad (6)$$

De donde m_r se obtiene de la figura 8-2:

Zona de Riesgo	m_r
Recomendada	$\leq 0,5$
No recomendada	$> 0,5 - 0,7$
A evitar	$> 0,7$

Figura 8-2: Factores para la fuerza recomendada

Fuente: (UNE 2009).

$$F_R = 0,50 * 80$$

$$F_R = 40 \text{ N}$$

Entonces según la norma EN 1005-3 la máquina en condiciones de funcionamiento normal, debe requerir como máximo 40 N de fuerza por parte del operario para que no le genere lesiones ni fatiga muscular.

2.5. Análisis por elemento finito (MEF o FEA)

Generalmente un programa de elementos finitos tiene un pre-procesador, un procesador y un post-procesador, cada uno con su función como: configuración de todos los parámetros requeridos para el análisis, generación de resultados y análisis e interpretación de resultados respectivamente.

Este tipo de análisis comprende tres etapas:

- 1) Pre-Proceso: definición de la geometría, cargas y/o fuerzas, restricciones, material, mallado, (configuración del programa para obtener los resultados).
- 2) Proceso: el programa realiza la resolución de matrices y ecuaciones diferenciales.
- 3) Post-Proceso: análisis de los resultados (esfuerzos, deformaciones, coeficiente de seguridad).

Las ventajas del empleo de elementos finitos son:

- Disminución de precios tanto en el diseño como en la manufactura de productos, ya que el programa ayuda enormemente en la experimentación de diversas soluciones, pudiendo el usuario decidir la mejor solución que satisfaga las necesidades del mismo.
- Brinda vasto conocimiento al usuario sobre el comportamiento del elemento analizado.
- Decremento del tiempo de diseño del elemento.
- Posibilidad de analizar el elemento desde varias condiciones posibles para verificar su seguridad, vida útil, condiciones de uso, entre otras.
- Optimización geométrica del elemento para disminuir el peso y el costo del mismo.
- Resultados óptimos y confiables en menor tiempo (Murillo Martínez 2018).

CAPITULO 3

3. “DISEÑO Y VALIDACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE UN DESHIERBADOR MANUAL”

3.1. Análisis QFD

3.1.1. *Identificación de necesidades*

En la agricultura actualmente existe un número grande de máquinas que ayudan a las actividades en los diferentes procesos para obtener un producto, pero estas máquinas funcionan mediante un motor haciendo esto costoso para la adquisición del agricultor. Una etapa que requiere trabajo es el deshierbe, el cual es fundamental en el cultivo de los productos alimenticios principalmente, pero para dejarlo de hacer de forma manual se utiliza máquinas que emplean gasolina o diésel para su funcionamiento por esta razón se encuentra la necesidad de diseñar una herramienta que no funcione con motor que ayude con la optimización del tiempo en sus labores diarias.

En el área de agricultura en la ciudad de Riobamba se requiere las siguientes necesidades:

- Buena capacidad
- Fácil de Operar
- Ligera
- Ocupe el menor espacio posible
- Silenciosa
- Materiales Resistente
- Fácil mantenimiento
- Fácil Montaje y estabilidad
- Bajo costo
- Fácil de transportar

3.1.2. *Voz del usuario*

Después de analizar las encuestas se pudo tener los parámetros que se debe tener en cuenta para el diseño, los cuales se observa en el gráfico 1-3.

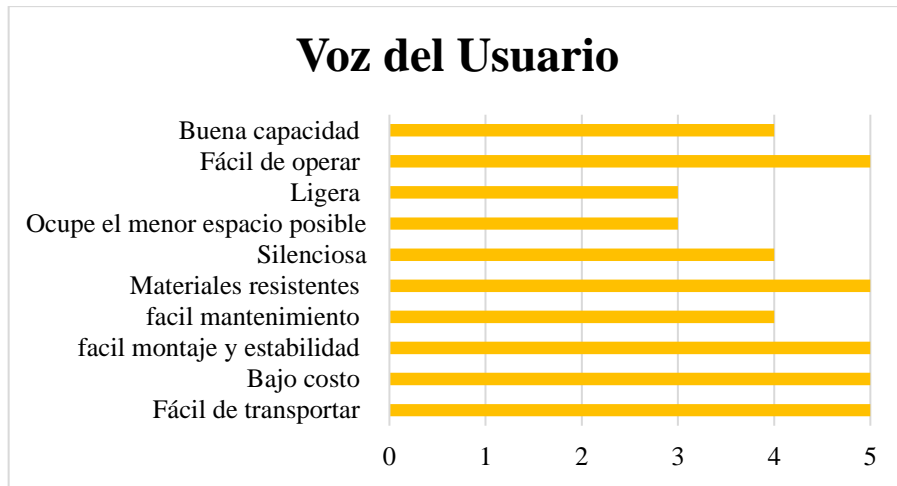


Gráfico 1-3. Análisis de las encuestas

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.1.3. *Voz del ingeniero*

En la tabla 1-3 se puede apreciar los requerimientos técnicos para el diseño, es decir, los requerimientos del usuario se han traducido a un lenguaje técnico.

Tabla 1-3: Voz del ingeniero

Capacidad
Ergonómico
Peso
Volumen
Nivel de Ruido
Resistencia de las cuchillas
Mantenimiento
Estabilidad
Costo de la máquina
Ligera

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.1.4. Análisis de la competencia

Se ejecutó un análisis de mercado obteniéndose las competencias que se observa en las figuras 1-3 y 2-3.

3.1.4.1. Competencia 1



Figura 1-3: Máquina deshierbadora manual

Fuente: (Amazon 2021)

3.1.4.2. Competencia 2

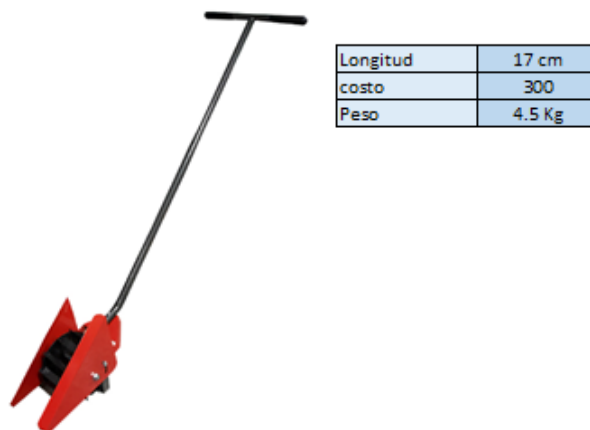


Figura 2-3: Máquina deshierbadora

Fuente: (Truper 2021)

3.1.5. Casa de la calidad

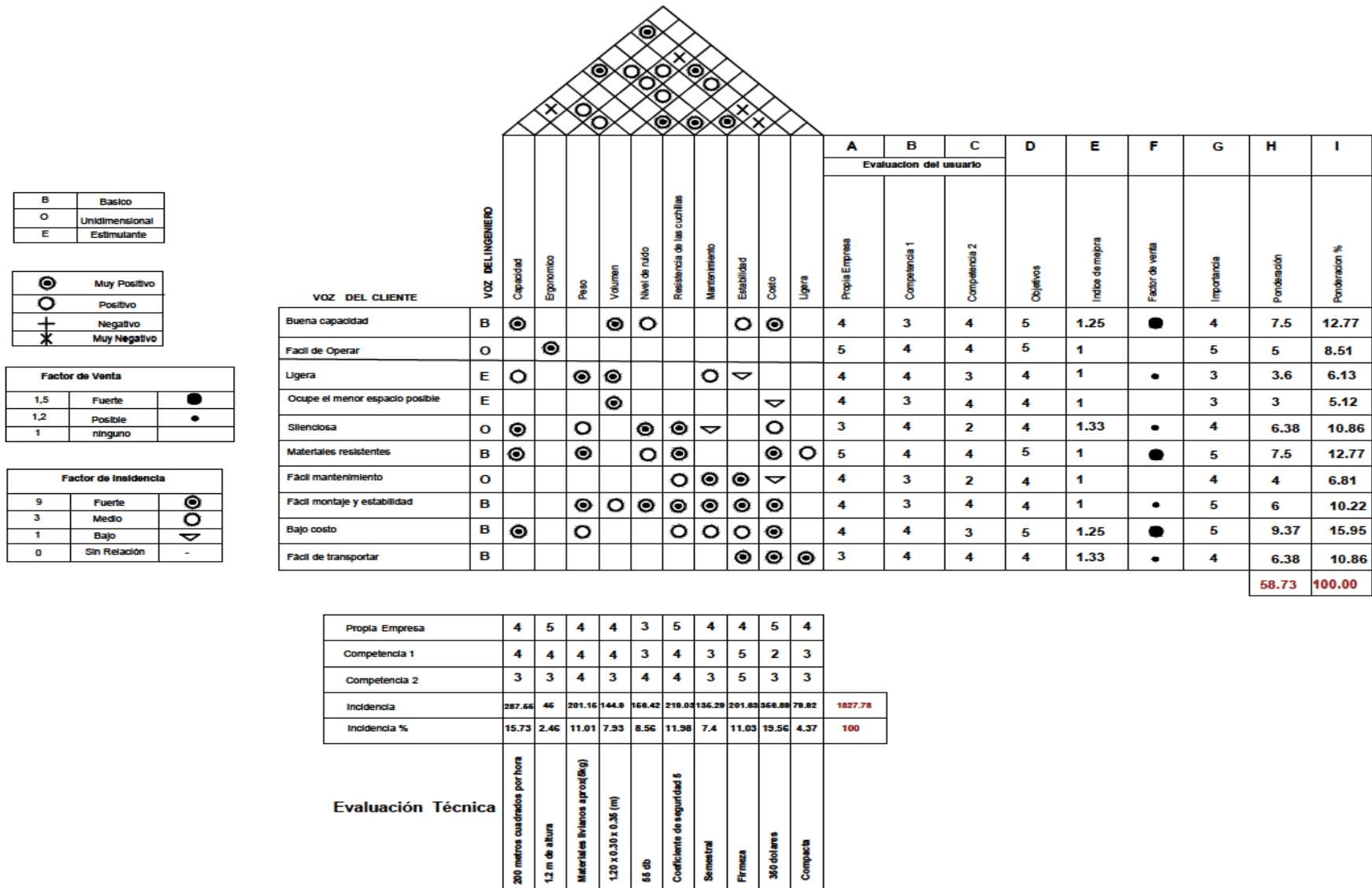


Gráfico 2-3. Casa de la calidad

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Como se puede observar en el gráfico 2-3 se presenta la casa de la calidad para crear una máquina deshierbadora que sea innovadora, cumpliendo con todos los requerimientos del usuario, en este caso el agricultor que la empleará para quitar la maleza presente en los cultivos, esta máquina tendrá un costo accesible, con mejor calidad y rendimiento que las máquinas agrícolas manuales existentes en el mercado. Teniendo los requerimientos del agricultor, se transformó en requerimientos técnicos utilizados por el ingeniero, se establecen las correlaciones y los compromisos existentes entre los mismos, y se ejecutó un análisis de competitividad empleando las encuestas realizadas a los agricultores, finalmente se obtuvo una valoración técnica para tener las especificaciones del deshierbador manual.

3.2. Diseño conceptual

3.2.1. Análisis funcional/ modular

Con las especificaciones técnicas del deshierbador manual obtenidas a través de la Casa de la Calidad, se define los módulos para la solución del problema que en este caso es un terreno sin maleza, el análisis funcional se le puede observar en el gráfico 3-3, en el cual se requiere de un nivel 0 para la solución del problema.

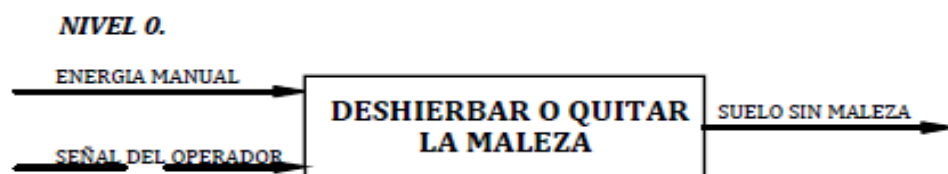



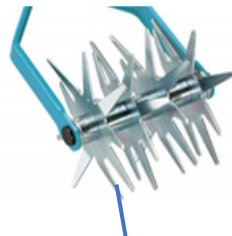




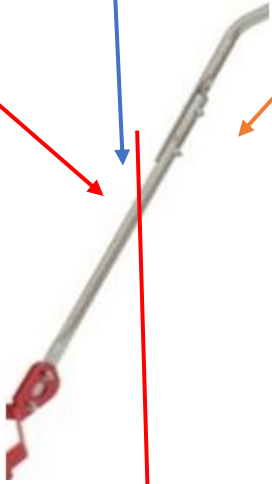


Gráfico 3-3. Análisis funcional

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.2.2. Matriz morfológica

Se realiza la matriz morfológica que se visualiza en la tabla 2-3 para encontrar la mejor solución de máquina que realice el deshierbe de las malezas presentes en el terreno.

Tabla 2-3: Matriz Morfológica

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Cuchillas			
Mecanismo de unión de las cuchillas			
Soporte			
Mecanismo de dirección (Manubrio)			

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.2.3. Selección de la mejor opción

ALTERNATIVAS:

- Alternativa A.
- Alternativa B.
- Alternativa C.

CRITERIOS DE EVALUACION:

- Durabilidad
- Mantenimiento
- Costo
- Capacidad
- Peso

Tabla 3-3: Evaluación del peso específico por cada criterio

Criterio	Durabilidad	Mantenimiento	Costo	Capacidad	Peso	$\Sigma+1$	Ponderación
Durabilidad		0,5	1	0,5	1	4	0,35
Mantenimiento	0,5		1	0	0,5	3	0,2
Costo	0,5	0,5		1	0,5	3,5	0,35
Capacidad	0	0	1		0	2	0,15
Peso	1	0,5	1	0		2,5	0,17
					Total	15	1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Tabla 4-3: Evaluación del peso específico del criterio de durabilidad

Durabilidad	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A		0,5	1	2,5	0,13
B	1		1	3	0,25
C	0,5	0,5		2	0,27
			Total	7,5	1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Tabla 5-3: Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento

Mantenimiento	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	1	3	0,33
B	1		1	3	0,33
C	1	1		3	0,33
			Total	9	1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Tabla 6-3: Evaluación del peso específico del criterio costo

Costo	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	1	3	0,4
B	0,5		1	2,5	0,33
C	0,5	0,5		2	0,27
Total				7,5	1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Tabla 7-3: Evaluación del peso específico del criterio capacidad

Capacidad	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A		0	0	1	0,33
B	1		1	3	0,5
C	0,5	0,5		2	0,17
Total				6	1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Tabla 8-3: Evaluación del peso específico del criterio peso

Peso	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A		0,5	1	2,5	0,33
B	1		1	3	0,4
C	0,5	0,5		2	0,27
Total				7,5	1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Tabla 9-3: Tabla de conclusiones

Conclusión	Durabilidad	Mantenimiento	Costo	Capacidad	Peso	Σ	Prioridad
A	0,27(0,33)	0,2(0,33)	0,23(0,4)	0,13(0,17)	0,17(0,33)	0,38	1
B	0,27(0,4)	0,2(0,33)	0,23(0,33)	0,13(0,5)	0,17(0,4)	0,32	2
C	0,27(0,27)	0,2(0,33)	0,23(0,27)	0,13(0,33)	0,17(0,27)	0,30	3

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Entonces se puede concluir que la solución A corresponde a la alternativa 1 es la mejor opción.

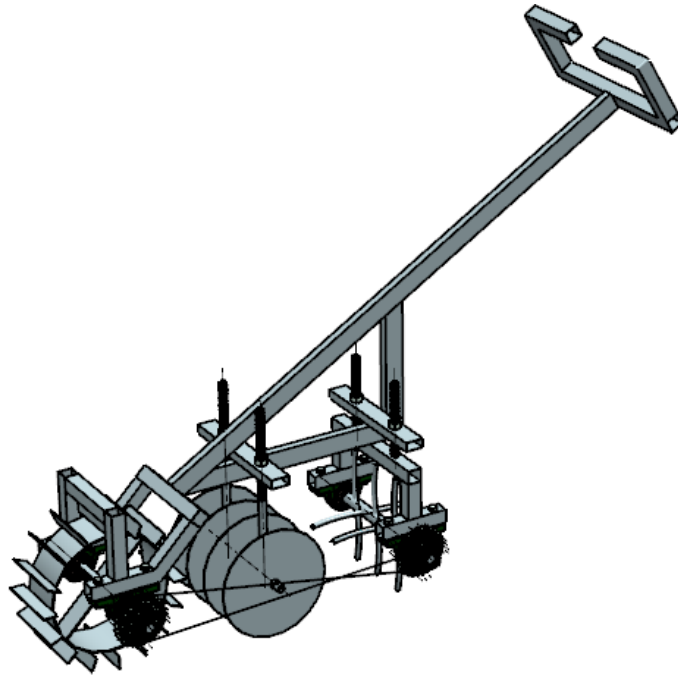


Figura 3-3: Modelado de la mejor alternativa

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.3. Diseño mecánico del deshierbador.

3.3.1. Diseño estático y geométrico

3.3.1.1. Determinación de medidas generales

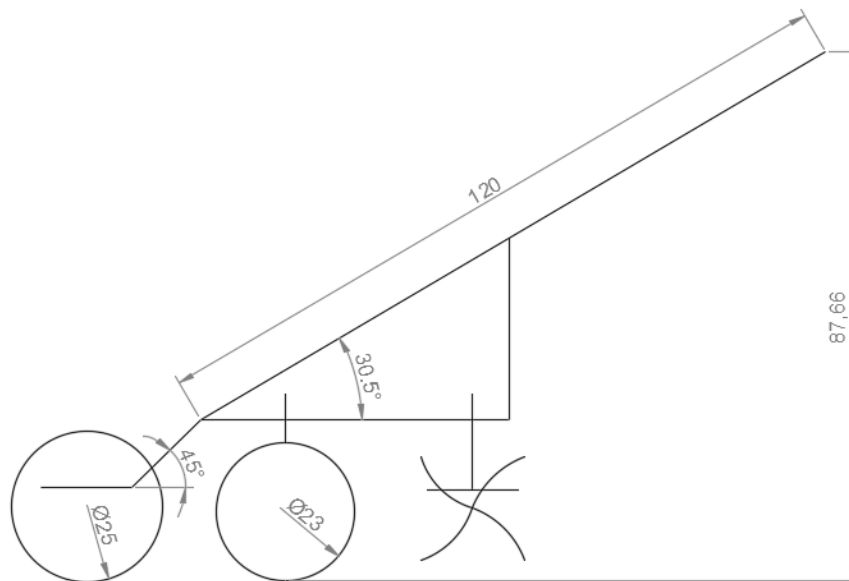


Figura 4-3: Esquema de medidas generales del deshierbador

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

$$h = 87.66 \text{ cm}$$

$$D = 25 \text{ cm}$$

$$d = 23 \text{ cm}$$

$$L = 120 \text{ cm}$$

3.3.1.2. Análisis estático

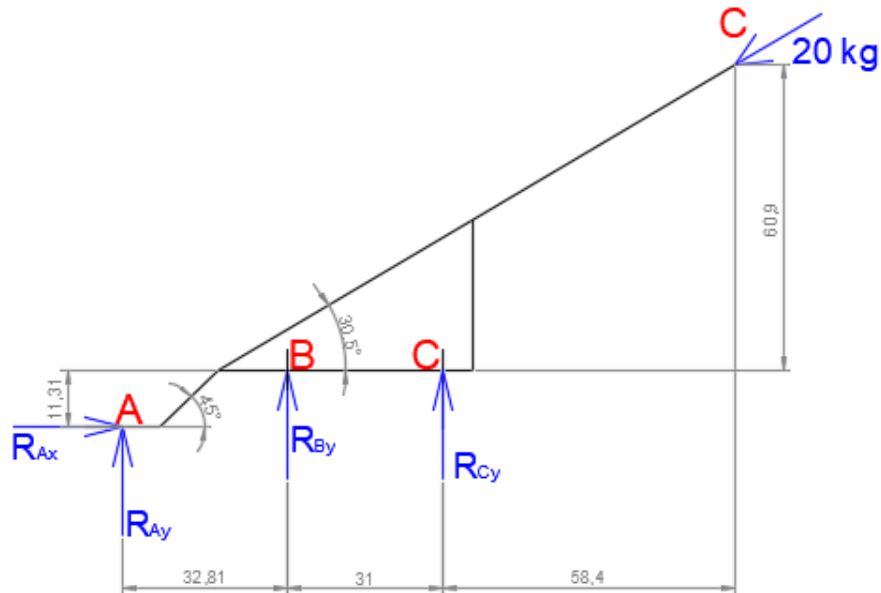


Figura 5-3: Diagrama de cuerpo libre del deshierbador

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Para realizar el análisis estático de la mejor opción del deshierbador manual, se realizó un diagrama de cuerpo libre del mismo, como se observa en la figura 5-3.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} + R_{Cy} = 20 \sin 30.5^\circ = 10.15 \text{ kg}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Ax} = 20 \cos 30.5^\circ = 17.233 \text{ kg}$$

$$\therefore R_{Ax} = 17.233 \text{ kg}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$R_{By} (32.814) + R_{Cy} (63.814) - 20 \sin 30.5^\circ (122.21) + 20 \cos 30.5^\circ (72.219) = 0$$

$$R_{By} (32.814) + R_{Cy} (63.814) = -4$$

$$\text{Asumiendo que: } R_{By} = R_{Cy}$$

$$R_{Ay} + 2R_{By} = 10.15 \text{ kg}$$

$$R_{By} (96.628) = -4$$

$$\therefore R_{By} = -0.0414 \text{ kg}$$

$$\therefore R_{Cy} = -0.0414 \text{ kg}$$

$$R_{Ay} = 10.15 - 2(-0.0414)$$

$$\therefore R_{Ay} = 10.2328 \text{ kg}$$

Se encontró las reacciones que producen los tres elementos que están en contacto con el terreno, tomando en cuenta la fuerza que aplica el operario para ejecutar el deshierbe.

NOTA: la rueda principal se despegaría del suelo por lo que se requiere un peso mínimo en A de 10.2328 kg.

$$\therefore W = 11 \text{ kg}$$

3.3.1.3. Análisis de transmisión de potencia



Figura 6-3: Diagrama de análisis de transmisión de potencia

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

$$i = 2 \text{ (relación de transmisión) } *$$

Donde * son valores asumidos

Análisis de rueda principal (asumiendo suelo rígido)

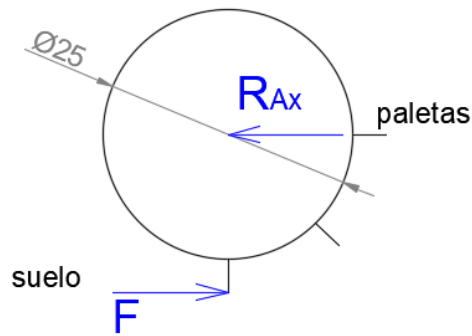


Figura 7-3: Diagrama de cuerpo libre de la rueda principal

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Ax} = F = 17.233 \text{ kg}$$

$$\therefore T_1 = F \cdot \frac{\phi}{2}$$

$$T_1 = 17.233 \text{ kg} (12.5 \text{ cm})$$

$$T_1 = 215.4125 \text{ kg.cm}$$

El valor de T1 es el torque que se necesita para mover la rueda principal para que ejecute las labores de deshierbe.

Análisis de rueda de corte

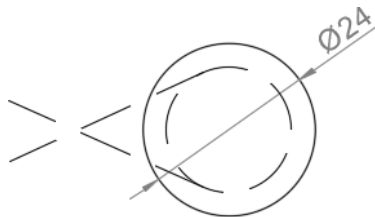


Figura 8-3: Diagrama de la rueda de corte

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

$$T_2 = \frac{T_1}{i}$$

$$T_2 = \frac{215.4125}{2} = 107.706 \text{ kg.cm}$$

$$T_2 = F_2 \cdot \frac{d}{2}$$

$$F_2 = \frac{2 \cdot T_2}{d} = \frac{2(107.706 \text{ kg.cm})}{24}$$

$\therefore F_2 = 8.98 \text{ kg}$ disponible en el cortador trasero

Debido a que la transmisión de movimiento se realiza a través de una cadena cruzada, en el elemento 2 se necesita una fuerza de 8.98kg.

3.3.1.4. Análisis de la resistencia al corte del suelo

$$v = 1 \frac{m}{s} = 3.6 \frac{Km}{h}$$

Según el tipo de suelo

$$F = \mu A$$

$$F = \text{fuerza disponible} * n$$

$$\text{fuerza disponible} = R_{Ax} = 17.233 \text{ kg}$$

$$F = (17.233 \text{ kg})(0.5) = 8.6165 \text{ kg} = 84.53 \text{ N}$$

$$F = 85 \text{ N}$$

$$\mu = (3 + 0.02v^2)$$

$$F = (3 + 0.02v^2)A$$

$$85 \text{ N} = (3 + 0.02(3.6)^2)A$$

$$A = 26.08 \text{ cm}^2$$

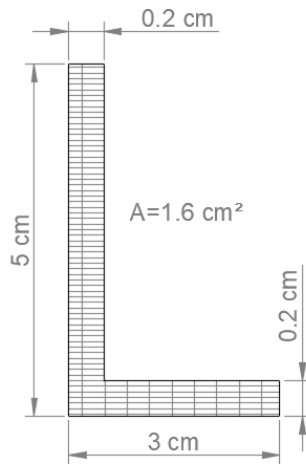


Figura 9-3: Dimensiones del aspa de corte

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

$$N_{\text{alzas}} = \frac{26.08 \text{ cm}^2}{1.6 \text{ cm}^2} = 16 \text{ alzas}$$

$$L_{\text{corte}} = 16 (3 \text{ cm}) = 48 \text{ cm}$$

Se recomienda que las aspadas de corte del elemento principal sean como se muestra en la figura 9-3, y que sean 16 en total.

Ancho de la rueda principal

$$170N = (3 + 0.02(3.6)^2)A$$

$$A = 52.16 \text{ cm}^2$$

$$A > 53 \text{ cm}^2$$

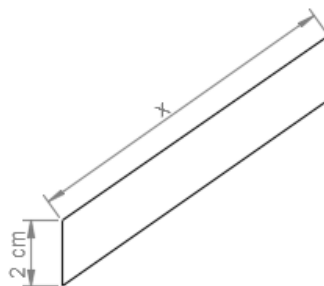


Figura 10-3: Dimensiones de la cuchilla

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.



Figura 11-3: Gráfico de la rueda principal

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

$$2(2)(x) = 60 \text{ cm}^2$$

$$x = 15 \text{ cm con 16 alas}$$

En la figura 11-3 se observa cómo sería la rueda principal con las 16 cuchillas, con una longitud de 15 cm.

3.3.2. *Diseño de ejes*

Para ejecutar el diseño de los diferentes ejes de la máquina deshierbadora es necesario conocer todas las fuerzas que actúan sobre ella, dichas fuerzas se calcularon en el análisis estático, se debe trasladar las fuerzas que actúan hacia el eje para diseñar de manera correcta.

EJE 1

Datos:

$$R_{AY} = 10.2328 \text{ Kg} = 100.4 \text{ N}$$

$$R_{AZ} = 17.233 \text{ Kg} = 170 \text{ N}$$

Para evitar el sobredimensionamiento de los rodamientos se diseñan los ejes con un extremo simplemente apoyado.

PLANO XY

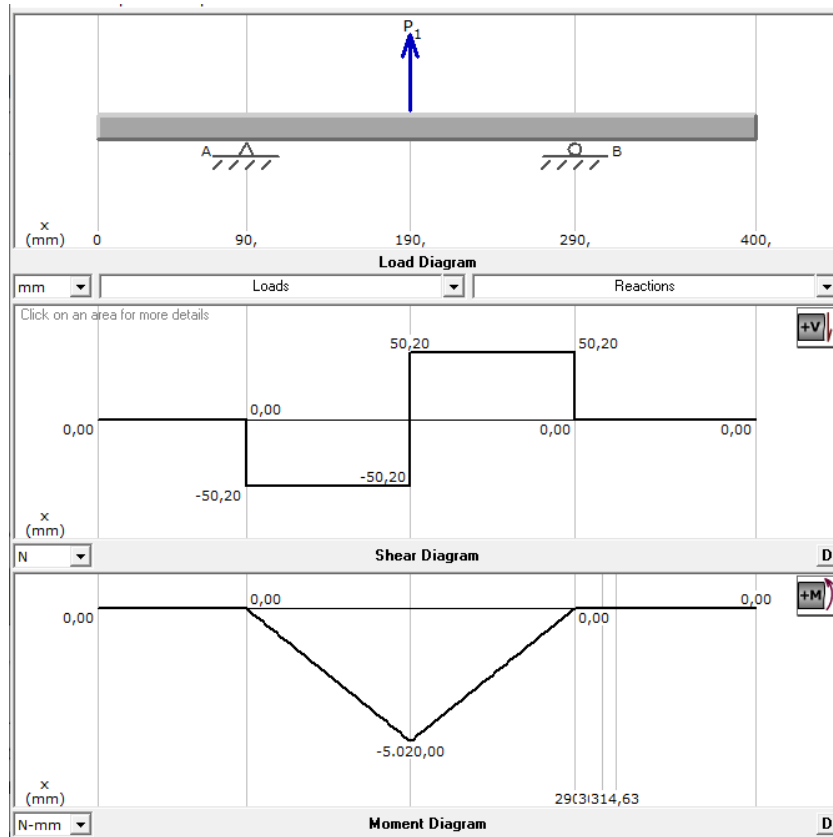


Figura 12-3: Diagrama cortante y de momentos en el plano XY del eje 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

PLANO XZ

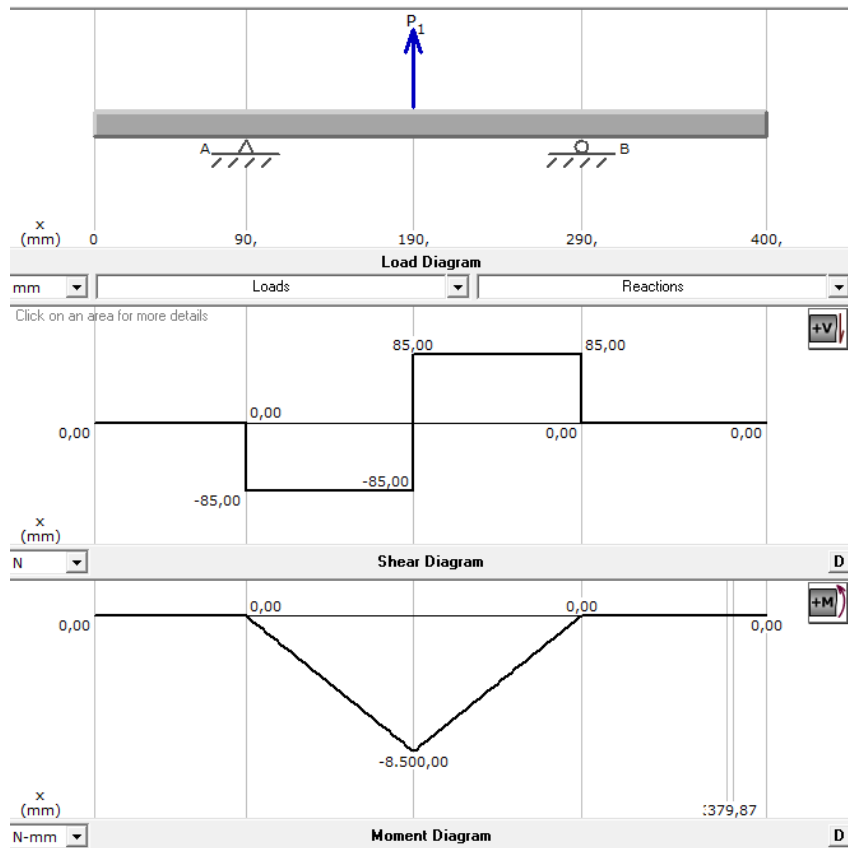


Figura 13-3: Diagrama cortante y de momentos en el plano XZ del eje 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Flexión

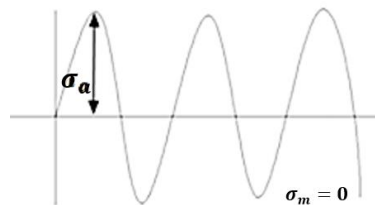


Figura 14-3: Fluctuación de los esfuerzos normales

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

$$M_Y = 5020 \text{ N} \cdot \text{mm} \text{ (Valor obtenido de la figura 12-3)}$$

$$M_Z = 8500 \text{ N} \cdot \text{mm} \text{ (Valor obtenido de la figura 13-3)}$$

$$M_1 = \sqrt{(5020)^2 + (8500)^2}$$

$$M_1 = M_a = 9871,7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_m = 0 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$K_f = 1,6$$

Torsión

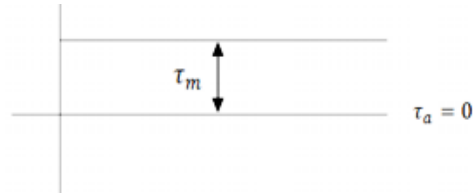


Figura 15-3: Fluctuación de los esfuerzos torsionales

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

$$T_a = 0 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$T_m = T = 21131,97 \text{ N} \cdot \text{mm} \text{ (Valor de T1, torque de la rueda principal)}$$

$$K_{fs} = 1,4$$

Material: Acero Inoxidable 304 (Recocido)

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 568 \text{ MPa}$$

$$S_e = 0,6 * (0,5 S_{ut})$$

$$S_e = 0,6 * (0,5 * 568)$$

$$S_e = 170,4 \text{ MPa}$$

De acuerdo a los diagramas de momentos flectores se diseña el eje según la norma ASME.

$$d_1 = \left\{ \frac{16 * n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_A}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_A}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{K_f M_M}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_M}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d_1 = \left\{ \frac{16 * 6}{\pi} \left[4 \left(\frac{1,6 * 9871,7}{170,4} \right)^2 + 3 \left(\frac{1,4 * 21131,97}{276} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d_1 = 20 \text{ mm}$$

El diámetro del eje 1 según los cálculos realizados es de 20 mm.

EJE 2

Datos:

$$R_{CY} = 0.0414 \text{ Kg} = 0.406 \text{ N}$$

Para evitar el sobredimensionamiento de los rodamientos se diseñan los ejes con un extremo simplemente apoyado.

PLANO XY

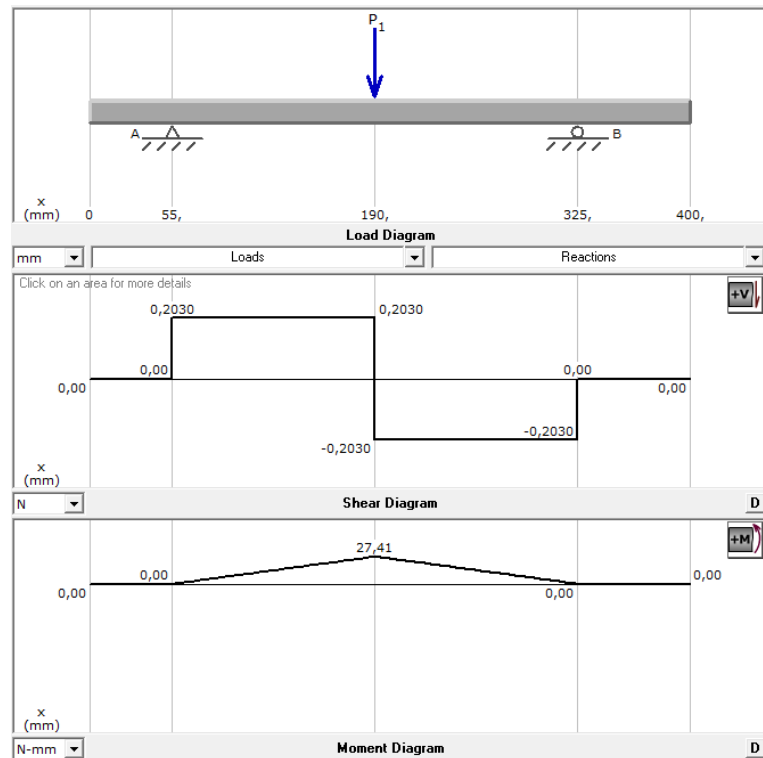


Figura 16-3: Diagrama cortante y de momentos en el plano XY del eje 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Flexión

$$M_Y = 27,41 \text{ N} \cdot \text{mm} \text{ (Valor obtenido de la figura 16 – 3)}$$

$$M_2 = M_a = 27,41 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_m = 0 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$K_f = 1,6$$

Torsión

$$T_a = 0 \text{ N.mm}$$

$$T_m = T = 10565,96 \text{ N.mm (Valor de T2)}$$

$$K_{fs} = 1,4$$

Material: Acero Inoxidable 304 (Recocido)

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 568 \text{ MPa}$$

$$S_e = 0.6 * (0.5S_{ut})$$

$$S_e = 0.6 * (0.5 * 568)$$

$$S_e = 170,4 \text{ MPa}$$

De acuerdo a los diagramas de momentos flectores se diseña el eje según la norma ASME.

$$d_2 = \left\{ \frac{16 * n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_A}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_A}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{K_f M_M}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_M}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d_2 = \left\{ \frac{16 * 6}{\pi} \left[4 \left(\frac{1.6 * 27,41}{170,4} \right)^2 + 3 \left(\frac{1.4 * 10565,96}{276} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d_2 = 14,16 \text{ mm}$$

El diámetro del eje 2 según los cálculos realizados es aproximadamente de 15 mm.

Los diámetros del eje 1 y 2 se tendrán que validar y verificar de acuerdo a las chumaceras que irán colocadas en los mismos en el ensamblaje de la máquina deshierbadora manual.

EJE 3 Y 4

Datos:

$$R_{BY} = 0.0414 \text{ Kg} = 0.406 \text{ N}$$

$$R = R_{BY}/2 = 0.20307 \text{ N}$$

Para evitar el sobredimensionamiento de los rodamientos se diseña los ejes con un extremo simplemente apoyado.

PLANO XY

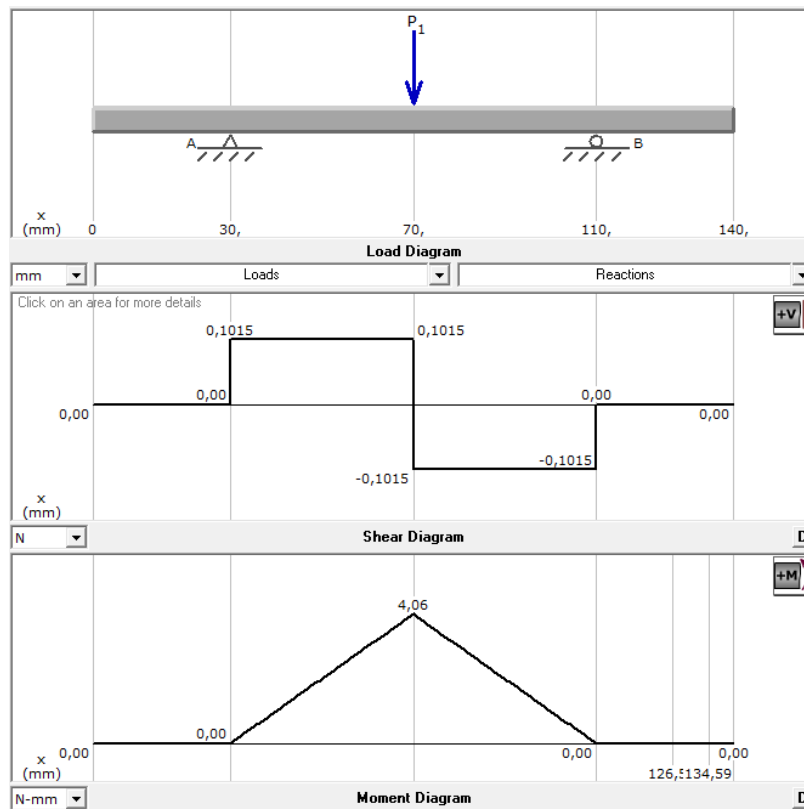


Figura 17-3: Diagrama cortante y de momentos en el plano XY del eje 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Flexión

$$M_Y = 4,06 \text{ N} \cdot \text{mm} \text{ (Valor obtenido de la figura 17 – 3)}$$

$$M_{3,4} = M_a = 4,06 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_m = 0 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$K_f = 1,6$$

Torsión

$$T_a = 0 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$T_m = T = 10565,96 \text{ N} \cdot \text{mm} \text{ (Valor del Torque restante)}$$

$$K_{fs} = 1,4$$

Material: Acero Inoxidable 304 (Recocido)

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 568 \text{ MPa}$$

$$S_e = 0.6 * (0.5 S_{ut})$$

$$S_e = 0.6 * (0.5 * 568)$$

$$S_e = 170,4 \text{ MPa}$$

De acuerdo a los diagramas de momentos flectores se diseña el eje según la norma ASME.

$$d_{3,4} = \left\{ \frac{16 * n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_A}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_A}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{K_f M_M}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_M}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d_{3,4} = \left\{ \frac{16 * 6}{\pi} \left[4 \left(\frac{1.6 * 4,06}{170,4} \right)^2 + 3 \left(\frac{1.4 * 10565,96}{276} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d_{3,4} = 14,16 \text{ mm}$$

El diámetro del eje 3 y 4 será de 16 mm ya que es un diámetro que se lo encuentra con facilidad en el mercado.

3.3.3. Selección de la cadena

Para la selección de la cadena se ha escogido una Cadena de rodillos empleando el catálogo Rexnord, se sigue el procedimiento aquí mostrado.

1. Cálculo de la potencia

$$P_d = P * C_7$$

El valor de C7 se lo obtiene de la tabla adjunta que se muestra en la figura 18-3,

$$T = 215,4125 \text{ kg.cm} = 21131,97 \text{ N.mm}$$

$$N = 65 \text{ rpm} = 6,81 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P = T * N = (21131,97 \text{ N.mm}) * \left(6,81 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = 143,9087 \text{ W}$$

$$P = 143,9087 \text{ W} = 0,193 \text{ HP}$$

$$C_7 = 1.0$$

$$P_d = (0,193 \text{ HP}) \cdot (1.0)$$

$$P_d = 0,193 \text{ HP}$$

Driven equipment	Service factors	
	Input power	
	Internal combustion engine with hydraulic drive	Electric motor or turbine
Agitators, liquid stock	1.0	1.0
Beaters	1.2	1.3
Blowers, centrifugal	1.0	1.0
Boat propellers	1.4	1.5
Compressors		
centrifugal	1.2	1.3
reciprocating, 3 or more cylinders	1.2	1.3
reciprocating, singular, 2 cylinders	1.4	1.5
Conveyors		
uniformly loaded or fed	1.0	1.0
not uniformly loaded or fed	1.2	1.3
reciprocating	1.4	1.5
Cookers, cereal	1.0	1.0
Crushers	1.4	1.5
Elevators, bucket		
uniformly loaded or fed	1.0	1.0
not uniformly loaded or fed	1.2	1.3
Fans, centrifugal	1.0	1.0
Feeders		
rotary table	1.0	1.0
apron, belt, screw, rotary vane	1.2	1.3
reciprocating	1.4	1.5
Generators	1.0	1.0
Grinders	1.2	1.3
Hoists	1.2	1.3
Kettles, brew	1.0	1.0
Kilns and dryers, rotary	1.2	1.3
Lineshafts		
light or normal service	1.0	1.0
heavy service	1.2	1.3

Figura 18-3: Valores para C_7

Fuente: (Rexnord 2015).

- Determinar el número de cadena

$$N = 130 \text{ rpm (catalina que gira más rápido)}$$

$$P_d = 0,193 \text{ HP}$$

1 Hilera

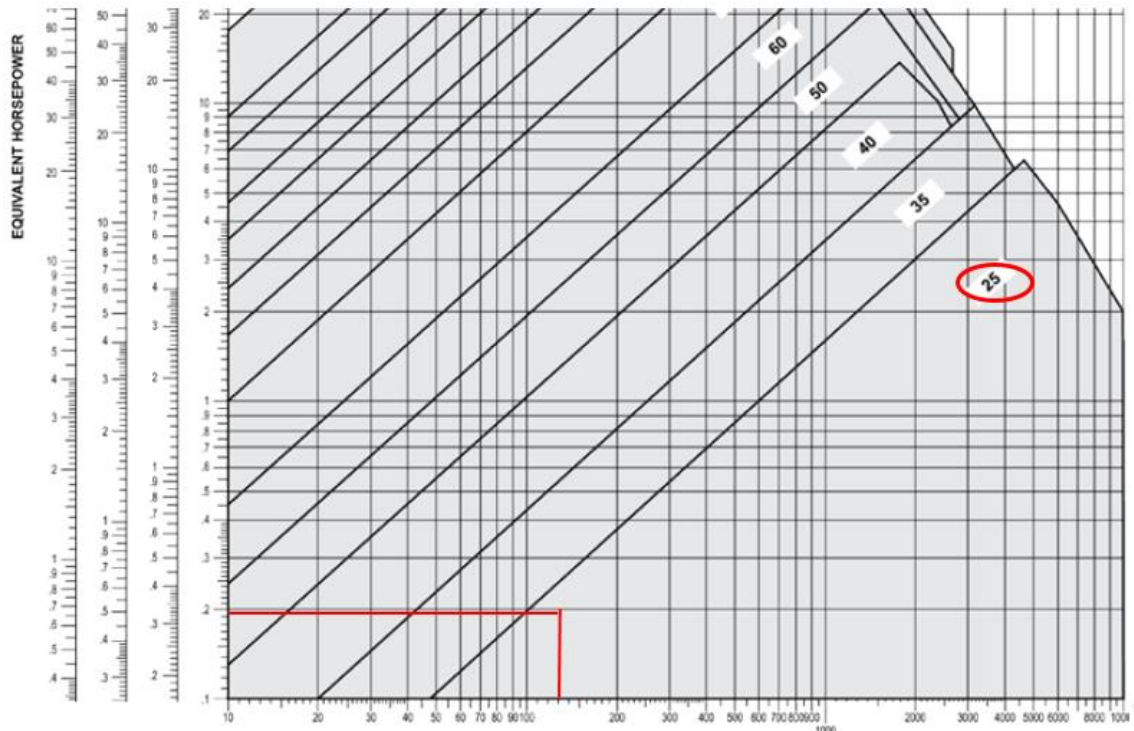


Figura 19-3: Determinación del número de cadena

Fuente: (Rexnord 2015).

#25 $p = 0,25 \text{ in}$

3. Cálculo de la relación de transmisión

$$i = \frac{130}{65}$$

$$i = 2$$

4. Determinar el número de dientes de la catalina menor en base a la potencia, el # de cadena y el # de hileras.

$$P \geq P_d$$

$$0,22 \text{ HP} \geq 0,193 \text{ HP} \quad \text{OK}$$

$$Z_1 = 40$$

$$\phi_{eje} < \phi_{\text{máx agujeros}}$$

$$1 \text{ in} < 1,875 \text{ in} \quad \text{OK}$$

Lubricación tipo A

Number of teeth, in small sprocket	Maximum bore inches	Horsepower for single strand chain ▲													
		RPM of small sprocket													
		100	500	900	1200	1800	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	
11	.313	0.05	0.23	0.39	0.50	0.73	0.98	1.15	1.32	1.38	1.16	0.99	0.86	0.75	
12	.375	0.06	0.25	0.43	0.55	0.80	1.07	1.26	1.45	1.57	1.32	1.12	0.97	0.86	
13	.438	0.06	0.27	0.47	0.60	0.87	1.17	1.38	1.58	1.77	1.49	1.27	1.10	0.96	
14	.563	0.07	0.30	0.50	0.65	0.94	1.27	1.49	1.71	1.93	1.66	1.42	1.23	1.08	
15	.563	0.08	0.32	0.54	0.70	1.01	1.36	1.61	1.85	2.08	1.84	1.57	1.36	1.20	
16	.563	0.08	0.34	0.58	0.76	1.09	1.46	1.72	1.98	2.23	2.03	1.73	1.50	1.32	
17	.625	0.09	0.37	0.62	0.81	1.16	1.56	1.84	2.11	2.38	2.22	1.90	1.64	1.44	
18	.750	0.09	0.39	0.66	0.86	1.24	1.66	1.96	2.25	2.53	2.42	2.07	1.79	1.57	
19	.813	0.10	0.41	0.70	0.91	1.31	1.76	2.07	2.38	2.69	2.62	2.24	1.94	1.70	
20	.875	0.10	0.44	0.74	0.96	1.38	1.86	2.19	2.52	2.84	2.83	2.42	2.10	1.84	
21	.875	0.11	0.46	0.78	1.01	1.46	1.96	2.31	2.66	2.99	3.05	2.60	2.26	1.98	
22	.938	0.11	0.48	0.82	1.07	1.53	2.06	2.43	2.79	3.15	3.27	2.79	2.42	2.12	
23	1.000	0.12	0.51	0.86	1.12	1.61	2.16	2.55	2.93	3.30	3.50	2.98	2.59	2.27	
24	1.063	0.13	0.53	0.90	1.17	1.69	2.27	2.67	3.07	3.46	3.73	3.18	2.76	2.42	
25	1.188	0.13	0.56	0.94	1.22	1.76	2.37	2.79	3.21	3.61	3.96	3.38	2.93	2.57	
28	1.250	0.15	0.63	1.07	1.38	1.99	2.68	3.15	3.62	4.09	4.54	4.01	3.47	3.05	
30	1.313	0.16	0.68	1.15	1.49	2.15	2.88	3.40	3.90	4.40	4.89	4.45	3.85	3.38	
32	1.500	0.17	0.73	1.23	1.60	2.30	3.09	3.64	4.18	4.72	5.25	4.90	4.25	3.73	
35	1.688	0.19	0.80	1.36	1.76	2.53	3.41	4.01	4.61	5.20	5.78	5.60	4.86	4.26	
40	1.875	0.22	0.92	1.57	2.03	2.93	3.93	4.64	5.32	6.00	6.68	6.85	5.93	5.21	
Lubrication type ■		A			B										

Figura 20-3: Determinación de algunos parámetros

Fuente: (Rexnord 2015).

5. Calcular el número de dientes de la catalina mayor

$$Z_2 = i \cdot Z_1$$

$$Z_2 = 2(40)$$

$$Z_2 = 80$$

6. Determinar la distancia entre centros

$$G = \frac{Z_2 \cdot p}{\pi}$$

$$G = \frac{80(0,25)}{\pi}$$

$$G = 6,366 \text{ in}$$

$$g = \frac{Z_1 \cdot p}{\pi}$$

$$g = \frac{40(0,25)}{\pi}$$

$$g = 3,183 \text{ in}$$

$$e = G + 0.5g$$

$$e = 6,366 \text{ in} + 0,5(3,183 \text{ in})$$

$$e = 7,96 \text{ in}$$

$$\therefore e = \mathbf{8 \text{ in}}$$

7. Longitud de la cadena

$$A = \frac{G - g}{2e}$$

$$A = \frac{6,366 - 3,183}{2(8)}$$

$$A = 0,199$$

A	B	C	D
.19937	1.9598	.4361	.5639

Figura 21-3: Determinación de los factores

Fuente: (Rexnord 2015).

$$B = 1,9598$$

$$C = 0,4361$$

$$D = 0,5639$$

8. Número de eslabones

$$N = \frac{B \cdot e}{P} + Ct + DT$$

$$N = \frac{1,9598(8)}{0,25} + 0,4361(40) + 0,5639(80)$$

$$N = 125,27$$

$$\therefore N = \mathbf{126 \text{ eslabones}}$$

9. Corregir la distancia entre centros

$$E = \frac{(N - Ct - DT)P}{B}$$

$$E = \frac{(126 - 0,4361(40) - 0,5639(80))(0,25)}{1,9598}$$

$$E = 8,093 \text{ in}$$

10. Especificar la lubricación

Las características de la cadena seleccionada para el deshierbador manual son:

40 dientes No. 25 1H

80 dientes No. 25 1H

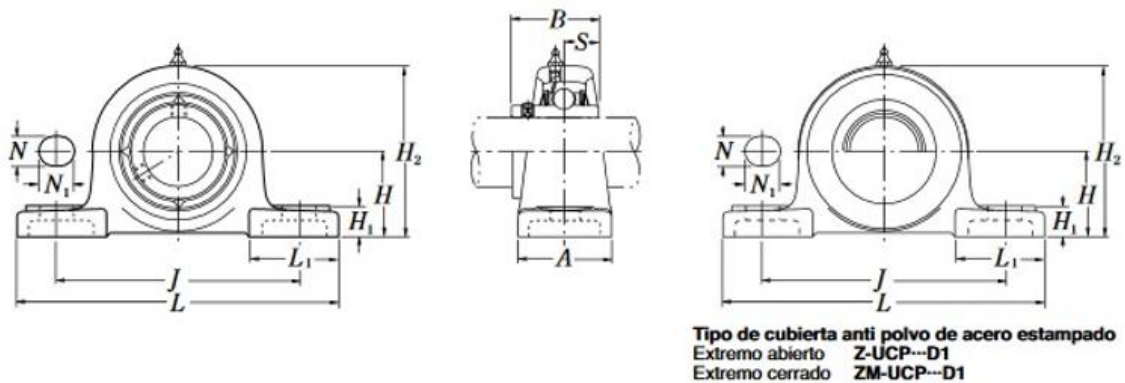
126 eslabones No. 25 1H

Lubricación tipo A

3.3.4. Selección de las chumaceras

Las características de las chumaceras seleccionadas son las que se muestra en la figura 22-3, se empleará 4 chumaceras, todas con las mismas características, 2 para el eje 1 y 2 para el eje 2. Se seleccionó esta chumacera debido a que es comercial y se encuentra con facilidad en el mercado.

UCP2



Diám. Eje mm pulgadas	Designación soporte (1)	Dimensiones nominales											Tamaño tornillo mm pulgadas	Número de rodamiento
		H	L	J	A	N	N ₁	H ₁	H ₂	L ₁	B	S		
25	UCP205D1	36.5	140	105	38	13	16	15	71	42	34.1	14.3	M10	UC205D1

Figura 22-3: Selección de chumacera

Fuente: (NTN 2009).

El diámetro tanto para el eje 1 como para el eje 2 tendrá que ser de 1 in o 25,4 mm para que haga juego con las chumaceras seleccionadas.

3.4. Diseño CAD

Se diseñó el deshierbador manual en el software Nx, tomando en cuenta las especificaciones de diseño analizadas anteriormente, quedando de la forma como se muestra en la figura 23-3.

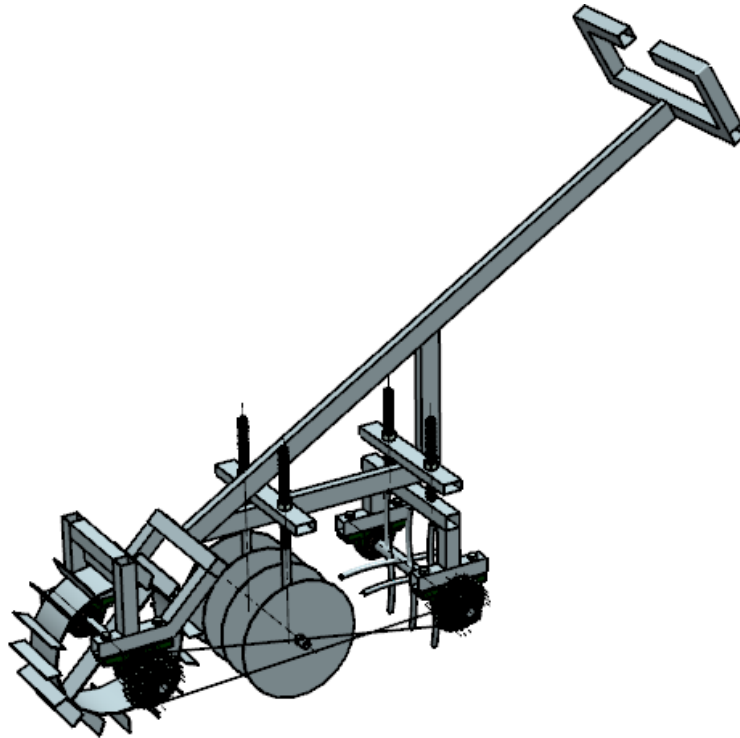


Figura 23-3: Diseño CAD del deshierbador manual

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Las partes con las cuales está formado el deshierbador manual son:

El elemento 1 está formado por el eje 1, la rueda con 16 cuchillas y las placas que unen el eje con la rueda.

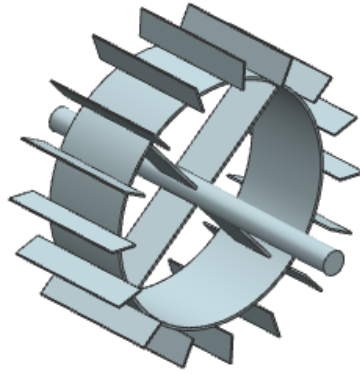


Figura 24-3: Elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

El elemento 2 está formado por el eje 2 y las aspas.

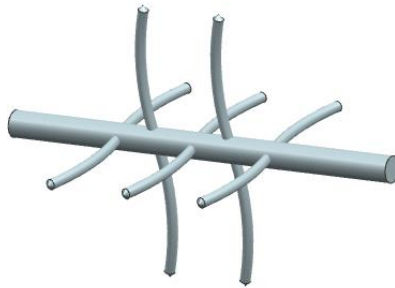


Figura 25-3: Elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

El elemento 3 y 4 está formado por los ejes 3 y 4, los discos de arado y las barras que conectan con la estructura.

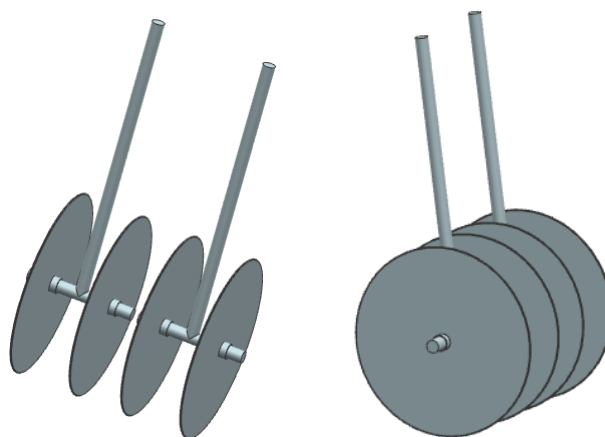


Figura 26-3: Elemento 3 y 4 en 2 vistas

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

El elemento 5 es la estructura del deshierbador manual.

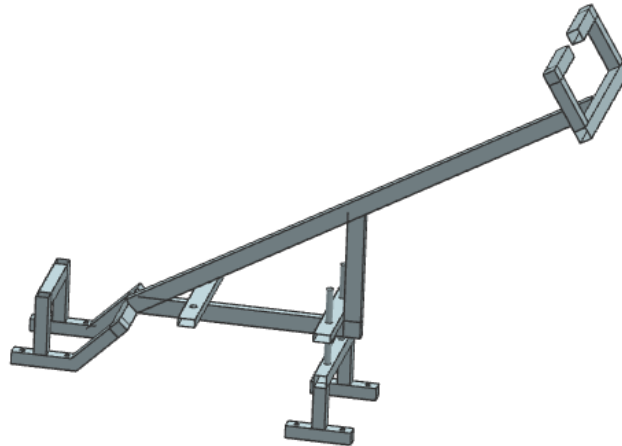


Figura 27-3: Elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5. Validación mediante el software ANSYS de un deshierbador manual

3.5.1. Análisis estructural del elemento 1

Para este análisis se tiene en cuenta que en el proceso se establecen todas las condiciones necesarias para definir el fenómeno físico de funcionamiento del elemento 1.

3.5.1.1. Parámetros de configuración

Los parámetros que se definen para el análisis son: el material, la geometría, las fuerzas aplicadas, los soportes, el tipo de mallado. El análisis para este elemento se lo realizó en 3D o por sólidos.

3.5.1.1.1. Material:

El material del elemento 1 es acero inoxidable 304, con las siguientes propiedades mostradas en la tabla 10-3.

Tabla 10-3: Propiedades del acero inoxidable 304

Propiedad	Valor
Densidad	7750 kg/m ³
Coefficiente de expansión térmica	1,7*10 ⁻⁵ / °C
Módulo de Young	1,93*10 ¹¹ Pa
Relación de Poisson	0,31

Módulo de Bulk	1,693*10 ¹¹ Pa
Módulo de corte	7,3664*10 ¹⁰ Pa
Límite de cedencia a la tensión	2,07*10 ⁸ Pa
Límite de cedencia a la compresión	2,07*10 ⁸ Pa
Resistencia última a la tensión	5,86*10 ⁸ Pa
Resistencia última a la compresión	0 Pa

Fuente: ANSYS 2020 R1.

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.1.1.2. Geometría:

La geometría del elemento 1 se la diseñó con el software Nx, se importó la geometría con la extensión .stp para trabajar en el software Ansys, en la figura 28-3 se puede visualizar dicha geometría.

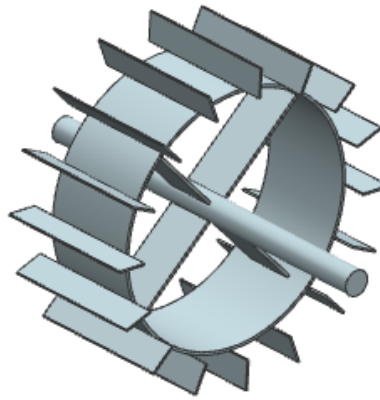


Figura 28-3: Geometría del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.1.1.3. Fuerzas aplicadas:

De acuerdo a los cálculos se establecen que las fuerzas que ejerce la tierra sobre el deshierbador, específicamente sobre el elemento 1 tienen estos valores que se muestran en la tabla 11-3:

Tabla 11-3: Fuerzas aplicadas sobre el elemento 1

Fuerza	Valor
F _x	-170 N
F _y	100,4 N

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Dichas fuerzas mostradas en la tabla 11-3 se ejercerán únicamente en las 3 aspas que están en contacto con la tierra, como se observa en la figura 29-3.

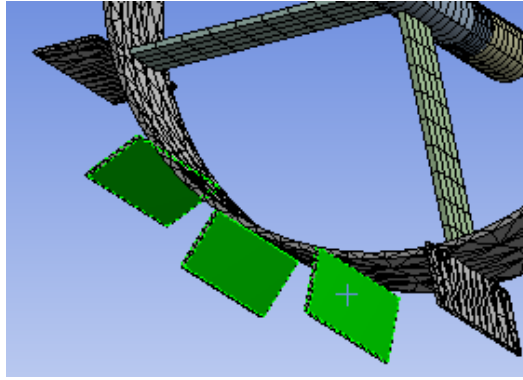


Figura 29-3: Aspas en contacto con la tierra del elemento 1.

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.1.1.4. Soportes o apoyos

De acuerdo a como se encuentra empotrada la máquina por medio de chumaceras se establece que se tendrá 2 apoyos los cuales serán fijos en los extremos que se muestra en la figura 30-3.

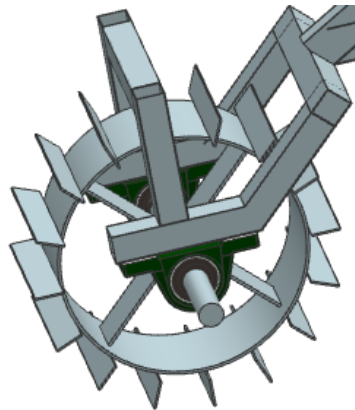


Figura 30-3: Elemento 1 con las chumaceras

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.1.1.5. Mallado

El tipo de mallado es muy importante, ya que influirá notablemente en la confiabilidad de los resultados obtenidos, por ejemplo se tiene una malla por defecto como se muestra en la figura 31-3.

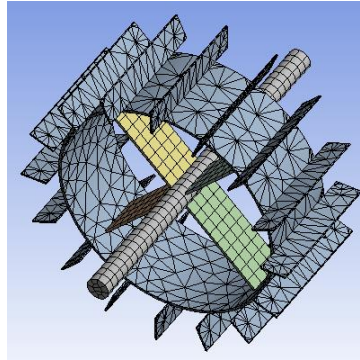


Figura 31-3: Malla por defecto del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.2. *Análisis estructural del elemento 2*

Para este análisis se tiene en cuenta que en el proceso se establecen todas las condiciones necesarias para definir el fenómeno físico de funcionamiento del elemento 2.

3.5.2.1. *Parámetros de configuración*

Los parámetros que se definen para el análisis son: el material, la geometría, las fuerzas aplicadas, los soportes, el tipo de mallado. El análisis para este elemento se lo realizó en 3D o por sólidos.

3.5.2.1.1. Material:

El material del elemento 2 es acero inoxidable 304, con las siguientes propiedades mostradas en la tabla 12-3.

Tabla 12-3: Propiedades del acero inoxidable 304

Propiedad	Valor
Densidad	7750 kg/m ³
Coefficiente de expansión térmica	1,7*10 ⁻⁵ / °C
Módulo de Young	1,93*10 ¹¹ Pa
Relación de Poisson	0,31
Módulo de Bulk	1,693*10 ¹¹ Pa
Módulo de corte	7,3664*10 ¹⁰ Pa
Límite de cedencia a la tensión	2,07*10 ⁸ Pa
Límite de cedencia a la compresión	2,07*10 ⁸ Pa
Resistencia última a la tensión	5,86*10 ⁸ Pa
Resistencia última a la compresión	0 Pa

Fuente: ANSYS 2020 R1.

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.2.1.2. Geometría:

La geometría del elemento 2 se la diseñó con el software Nx, se importó la geometría con la extensión .stp para trabajar en el software Ansys, en la figura 32-3 se puede visualizar dicha geometría.

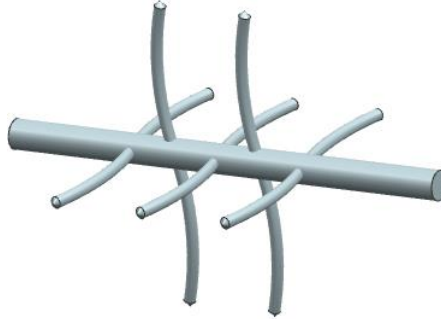


Figura 32-3: Geometría del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.2.1.3. Fuerzas aplicadas:

De acuerdo a los cálculos se establecen que la fuerza que ejerce la tierra sobre el deshierbador, específicamente sobre el elemento 2 tiene este valor que se muestra en la tabla 13-3:

Tabla 13-3: Fuerza aplicada sobre el elemento 2

Fuerza	Valor
Fy	-0,4061 N

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Dicha fuerza mostrada en la tabla 13-3 se ejercerá únicamente en las 3 aspas que están en contacto con la tierra, como se observa en la figura 33-3.

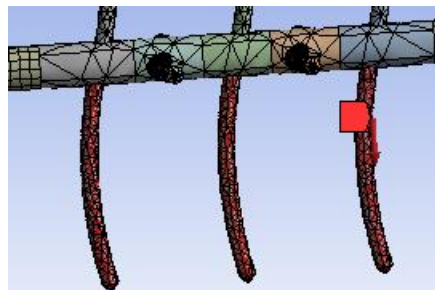


Figura 33-3: Aspas en contacto con la tierra.

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.2.1.4. Soportes o apoyos

De acuerdo a como se encuentra empotrada la máquina por medio de chumaceras se establece que se tendrá 2 apoyos los cuales serán fijos en los extremos que se muestra en la figura 34-3.

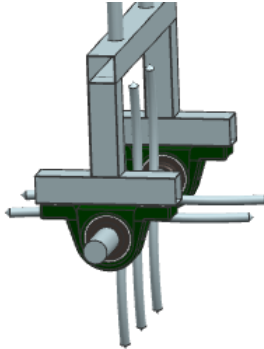


Figura 34-3: Elemento 2 con las chumaceras

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.2.1.5. Mallado

El tipo de mallado es muy importante, ya que influirá notablemente en la confiabilidad de los resultados obtenidos, por ejemplo se tiene una malla por defecto como se muestra en la figura 35-3.

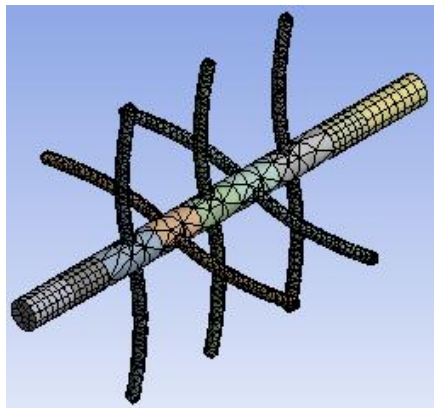


Figura 35-3: Malla por defecto del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.3. *Análisis estructural del elemento 3 y 4*

Para este análisis se tiene en cuenta que en el proceso se establecen todas las condiciones necesarias para definir el fenómeno físico de funcionamiento del elemento 3 y 4.

3.5.3.1. Parámetros de configuración

Los parámetros que se definen para el análisis son: el material, la geometría, las fuerzas aplicadas, los soportes, el tipo de mallado. El análisis para este elemento se lo realizó en 3D o por sólidos.

3.5.3.1.1. Material:

El material del elemento 3 y 4 es acero inoxidable 304, con las siguientes propiedades mostradas en la tabla 14-3.

Tabla 14-3: Propiedades del acero inoxidable 304

Propiedad	Valor
Densidad	7750 kg/m ³
Coefficiente de expansión térmica	1,7*10 ⁻⁵ / °C
Módulo de Young	1,93*10 ¹¹ Pa
Relación de Poisson	0,31
Módulo de Bulk	1,693*10 ¹¹ Pa
Módulo de corte	7,3664*10 ¹⁰ Pa
Límite de cedencia a la tensión	2,07*10 ⁸ Pa
Límite de cedencia a la compresión	2,07*10 ⁸ Pa
Resistencia última a la tensión	5,86*10 ⁸ Pa
Resistencia última a la compresión	0 Pa

Fuente: ANSYS 2020 R1.

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.3.1.2. Geometría:

La geometría del elemento 3 y 4 se la diseñó con el software Nx, se importó la geometría con la extensión .stp para trabajar en el software Ansys, en la figura 36-3 se puede visualizar dicha geometría.

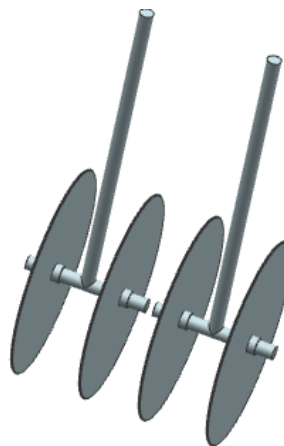


Figura 36-3: Geometría del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.3.1.3. Fuerzas aplicadas:

De acuerdo a los cálculos se establecen que la fuerza que ejerce la tierra sobre el deshierbador, específicamente sobre el elemento 3 y 4 tiene este valor que se muestra en la tabla 15-3:

Tabla 15-3: Fuerza aplicada sobre el elemento 3 y 4

Fuerza	Valor
Fy	-0,4061 N

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Dicha fuerza mostrada en la tabla 15-3 se ejercerá en los discos que están en contacto con la tierra, como se observa en la figura 37-3.

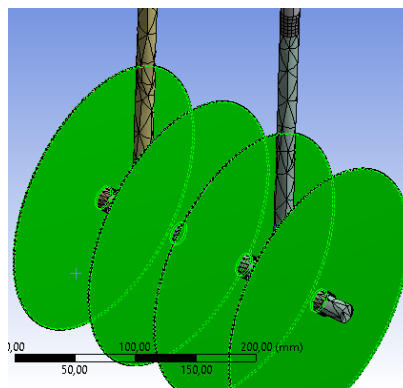


Figura 37-3: Discos en contacto con la tierra.

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.3.1.4. Soportes o apoyos

De acuerdo a como se muestra la máquina, el elemento 3 y 4 se ajusta con tuercas de sujeción a la estructura de la máquina por lo cual se considera la parte de la unión como 2 apoyos los cuales serán fijos, como se observa en la figura 38-3.

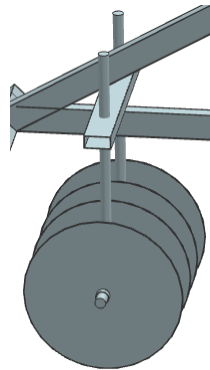


Figura 38-3: Elemento 3 y 4 con las tuercas de sujeción.

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.3.1.5. Mallado

El tipo de mallado es muy importante, ya que influirá notablemente en la confiabilidad de los resultados obtenidos, por ejemplo se tiene una malla por defecto como se muestra en la figura 39-3.

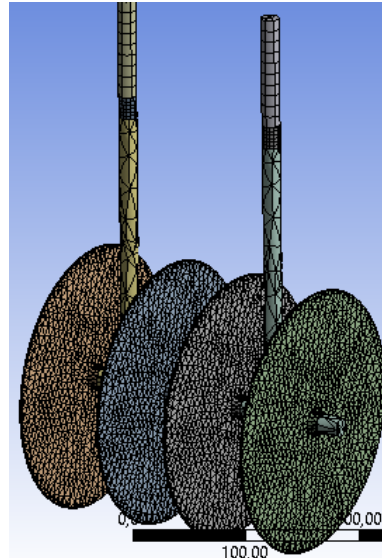


Figura 39-3: Malla por defecto del elemento 3 y 4.

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.4. *Análisis estructural del elemento 5*

Para este análisis se tiene en cuenta que en el proceso se establecen todas las condiciones necesarias para definir el fenómeno físico de funcionamiento del elemento 5.

3.5.4.1. *Parámetros de configuración*

Los parámetros que se definen para el análisis son: el material, la geometría, las fuerzas aplicadas, los soportes, el tipo de mallado. El análisis para este elemento se lo realizó mediante superficies para obtener mejores resultados, debido a que los elementos que se analiza son perfiles estructurales.

3.5.4.1.1. Material:

El material de la estructura (elemento 5) es acero estructural A36, con las siguientes propiedades mostradas en la tabla 16-3.

Tabla 16-3: Propiedades del acero estructural A36

Propiedad	Valor
Densidad	7850 kg/m ³
Coefficiente de expansión térmica	1,2*10 ⁻⁵ / °C
Módulo de Young	2*10 ¹¹ Pa
Relación de Poisson	0,3
Módulo de Bulk	1,6667*10 ¹¹ Pa
Módulo de corte	7,6923*10 ¹⁰ Pa
Límite de cedencia a la tensión	2,5*10 ⁸ Pa
Límite de cedencia a la compresión	2,5*10 ⁸ Pa
Resistencia última a la tensión	4,6*10 ⁸ Pa
Resistencia última a la compresión	0 Pa

Fuente: ANSYS 2020 R1.

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.4.1.2. Geometría:

La geometría de la estructura (elemento 5) se la diseñó con el software Nx, se importó la geometría con la extensión .stp para trabajar en el software Ansys, en la figura 40-3 se puede visualizar dicha geometría.

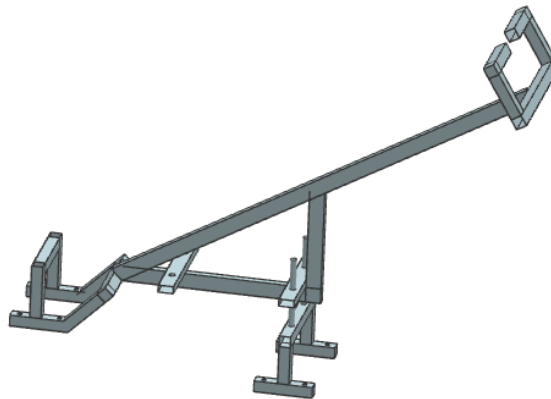


Figura 40-3: Geometría del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.4.1.3. Fuerzas aplicadas:

De acuerdo a los cálculos se establece que la fuerza que ejerce el ser humano sobre el deshierbador, específicamente sobre el manubrio de la estructura tiene este valor que se muestra en la tabla 17-3:

Tabla 17-3: Fuerza aplicada sobre el elemento 5

Fuerza	Valor
F	-196,2 N

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Dicha fuerza mostrada en la tabla 17-3 se ejercerá únicamente en el manubrio de la estructura, como se observa en la figura 41-3.

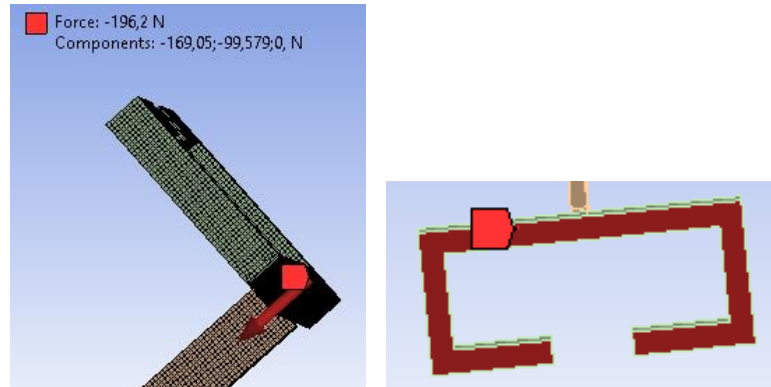


Figura 41-3: Fuerza aplicada en el manubrio de la estructura.

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.4.1.4. Soportes o apoyos

De acuerdo a como se encuentra empotrada la máquina por medio de chumaceras se establece que se tendrá 2 apoyos los cuales serán fijos en los extremos que se muestra en la figura 42-3.

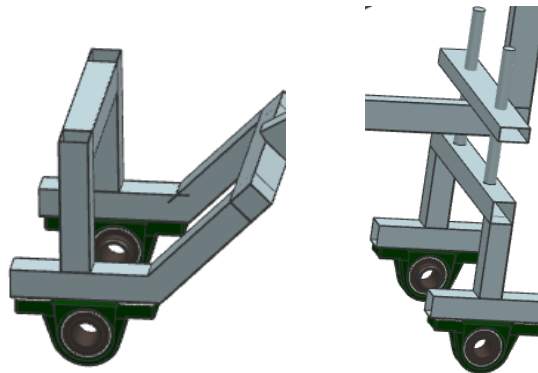


Figura 42-3: Estructura del deshierbador con las chumaceras

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.5.4.1.5. Mallado

El tipo de mallado es muy importante, ya que influirá notablemente en la confiabilidad de los resultados obtenidos, por ejemplo se tiene una malla refinada como se muestra en la figura 43-3.

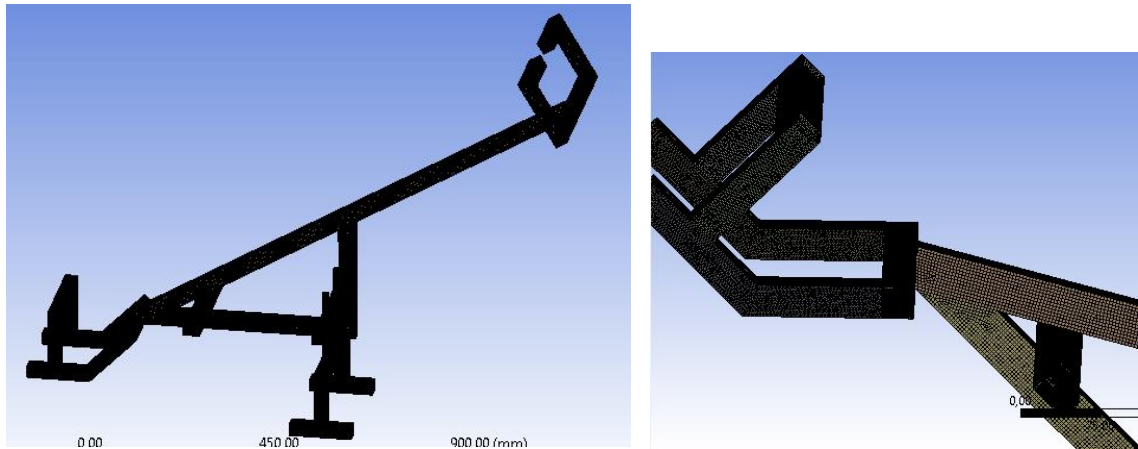


Figura 43-3: Malla refinada del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

3.6. Análisis de Costos

3.6.1. Costo para producir el deshierbador manual propuesto

Los costos para producir un deshierbador manual son:

Tabla 18-3: Costos directos para la fabricación de un deshierbador manual

DESCRIPCIÓN	COSTOS
Ejes de Acero Torneados	25
Pernos y Tuercas M10x1.25	15
Cambios y Cadenas	20
Chumaceras	20
Platinas de (50x4) mm y de (20x3) mm	25
Tubos estructurales	30
Plancha de acero de 2mm de espesor	50
Varilla de ½ in	5
Electrodos E6011 y E308L-16	15
Pintura	10
Discos de corte	10
Discos de pulir	10

Otros materiales	40
Mano de obra	300
TOTAL	\$ 575

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

El costo para la fabricación de un deshierbador manual es de \$575.

3.6.2. Costo de un deshierbador de 3.5 HP



Figura 44-3: Deshierbador de 3.5 HP

Fuente: (Libre 2021b).

El costo del deshierbador mostrado en la figura 44-3 es de \$380 (Libre 2021b). Este tipo de deshierbador tiene las siguientes características: posee un motor 2 tiempos, una potencia de 3.5HP, es refrigerado por aire y su marca es Okayama (japonesa) (Libre 2021b).

3.6.3. Costo de un deshierbador de mango



Figura 45-3: Deshierbador de mango

Fuente: (Truper 2021).

Las características de este deshierbador son cuchilla de doble filo, mango de madera de fresno americano (Truper 2021). El costo aproximado es de \$45 más costo de envío a Ecuador (Amazon 2021).

3.6.4. Costo de una desbrozadora



Figura 46-3: Desbrozadora

Fuente: (Libre 2021a).

El costo de la desbrozadora mostrada en la figura 46-3 es de \$180 (Libre 2021a). Su marca es Superelit y es de 4 tiempos (Libre 2021a).

3.6.5. Análisis comparativo de costos

Tabla 19-3: Análisis comparativo de costos

DESCRIPCIÓN	COSTO
Deshierbador manual propuesto	\$575
Deshierbador de 3.5 HP	\$380
Deshierbador de mango	\$45+envío
Desbrozadora	\$180

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Como se puede visualizar en la tabla 19-3, el deshierbador manual propuesto es el más costoso debido a que posee tres sistemas para realizar el deshierbe; el deshierbador de 3.5 Hp posee un motor para brindarle potencia y debido a que el usuario tiene que cargarlo para su uso, no se lo recomienda; el deshierbador de mango es el más barato pero realiza un trabajo superficial en el terreno y no saca las malezas de raíz y la desbrozadora no es recomendada para las labores de deshierbe debido a que solo ejecuta un trabajo superficial. Hay que mencionar también que el deshierbador propuesto disminuiría su valor si se lo produce en serie.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

4.1. Análisis estructural del elemento 1

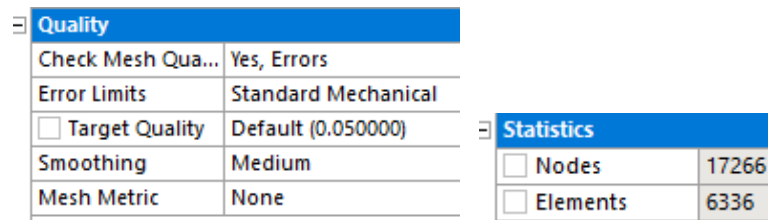
4.1.1. Parámetros obtenidos o resultados obtenidos del elemento 1

Se realizaron varios análisis para obtener resultados más confiables y ejecutar un análisis de convergencia de los mismos para observar en que rango se encuentran dichos resultados.

4.1.1.1. Análisis 1

Tipo de malla: por defecto

En este análisis se escogió un mallado por defecto, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 1-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1.



The image shows two side-by-side panels from a software interface. The left panel is titled 'Quality' and contains a table with the following data:

Quality	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None

The right panel is titled 'Statistics' and contains a table with the following data:

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	17266
<input type="checkbox"/> Elements	6336

Figura 1-4: Calidad de la Malla por defecto del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

La deformación total del elemento 1 con el mallado por defecto se puede observar en la figura 2-4, en la misma se puede visualizar que la parte que no se deforma (valor cero o de color azul) es el eje 1 mientras que las partes que presenta una deformación máxima con un valor de 0,9062 mm (color rojo) es en los filos de las cuchillas, las cuales rotan y están en contacto con el suelo quitando la maleza presente en el mismo; las otras partes del elemento como la rueda y las platinas de soporte muestran una deformación promedio que no llega al valor máximo.

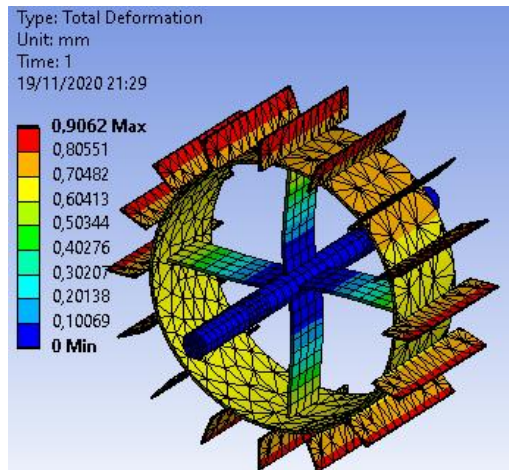


Figura 2-4: Resultados de deformación total para el análisis 1 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

En la figura 3-4 se puede visualizar el esfuerzo que tiene el elemento 1 con el mallado por defecto, donde se observa un mayor esfuerzo con un valor de 75,069 Mpa (color rojo) en la unión entre el eje 1 y las platinas de soporte de la rueda; en el eje 1, la rueda y las cuchillas el esfuerzo es mínimo con un valor que tiende a ser cero (color azul), mientras que en las platinas de soporte el valor del esfuerzo es variable como se observa con la variación de coloración en las mismas.

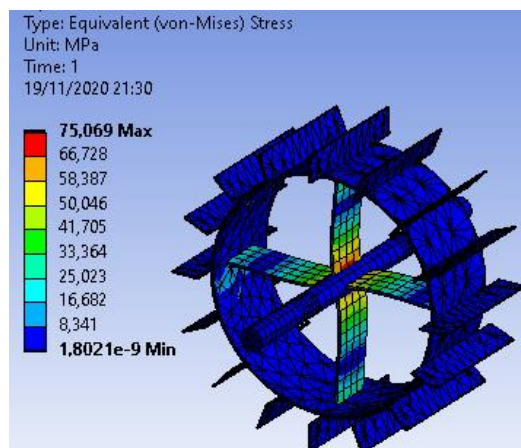


Figura 3-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 1 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación unitaria

La deformación unitaria del elemento 1 con el mallado por defecto se puede observar en la figura 4-4, en la misma se puede visualizar que la parte que presenta una deformación muy mínima que es casi cero (color azul) es el eje 1, la rueda y las cuchillas, mientras que las partes que presenta

una deformación máxima con un valor de 0,00037596 (color rojo) es en la unión entre el eje 1 y las platinas de soporte de la rueda; también se visualiza que en las platinas de soporte la deformación unitaria varía como se observa por la variación de colores que presentan las mismas.

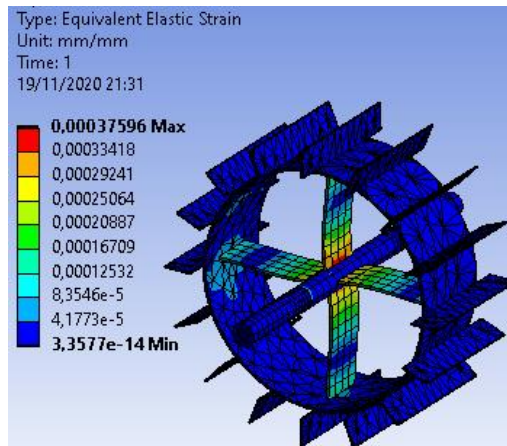


Figura 4-4: Resultados de deformación unitaria para el análisis 1 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Factor de seguridad

El factor de seguridad del elemento 1 con la malla por defecto como se visualiza en la figura 5-4 es confiable ya que el valor máximo es de 15 presentándose en casi todas las partes del elemento 1, se observa también que el esfuerzo mínimo presente en el elemento 1 es de 3,3303, el cual se encuentra en la unión entre el eje 1 y las platinas de soporte de la rueda; hay que notar también que los valores del coeficiente de seguridad son confiables y seguros, ya que el valor mínimo de 2 es para asegurar que el elemento no falle.

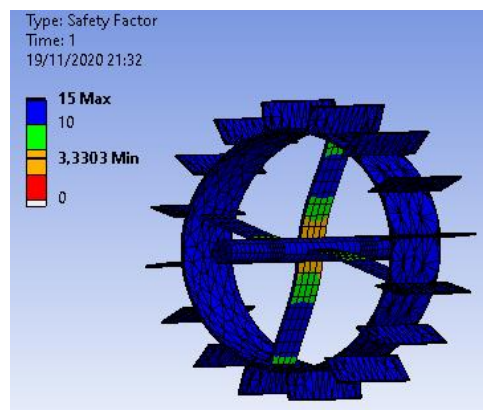


Figura 5-4: Resultados de factor de seguridad para el análisis 1 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.2. Análisis 2

Tipo de malla: con Element Quality

En este análisis se escogió un mallado con Element Quality para refinar los resultados, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 6-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1; en la figura 7-4 se observa las estadísticas de este mallado. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

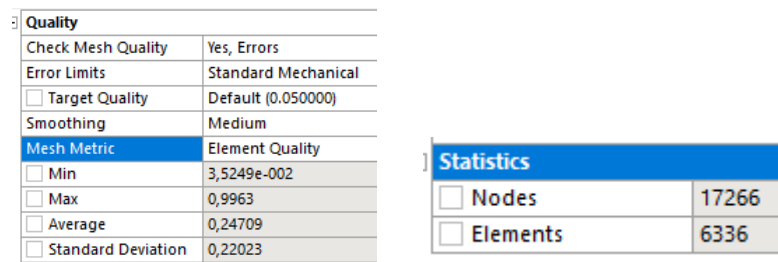


Figura 6-4: Calidad de la malla con Element Quality del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

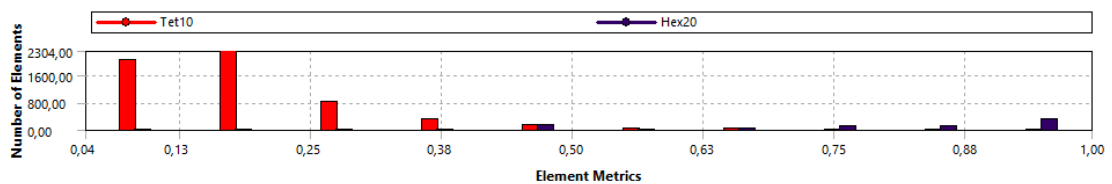


Figura 7-4: Estadística de la malla con Element Quality del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

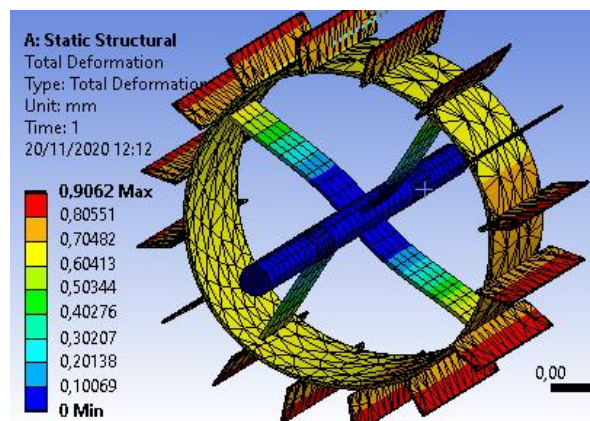


Figura 8-4: Resultados de deformación para el análisis 2 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

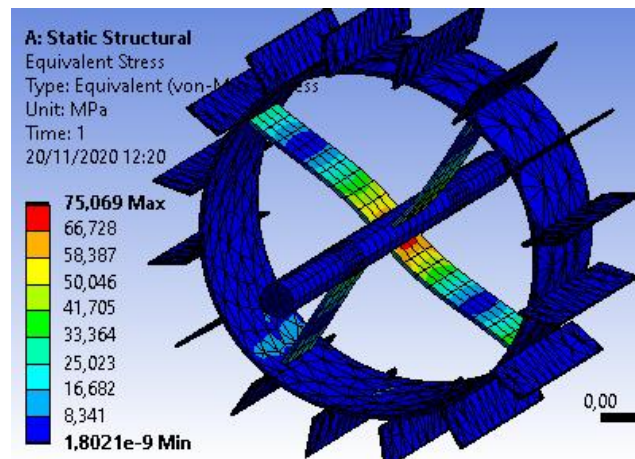


Figura 9-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 2 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación unitaria

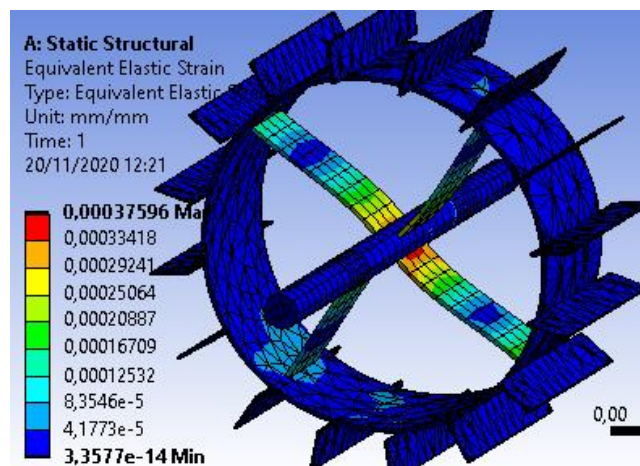


Figura 10-4: Resultados de deformación unitaria para el análisis 2 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Factor de seguridad

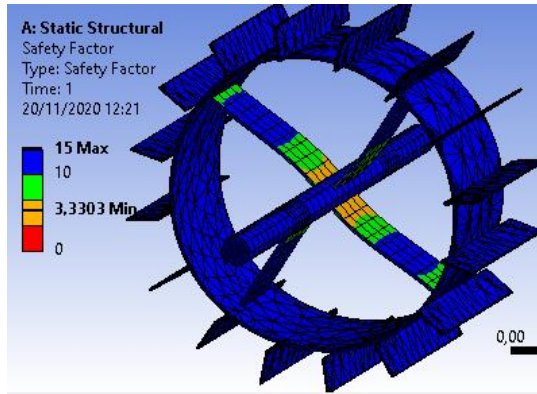


Figura 11-4: Resultados de factor de seguridad para el análisis 2 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.3. Análisis 3

Tipo de malla: refinada con element size 3mm

En este análisis se escogió un mallado refinado con element size 3mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 12-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	3, mm
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	599,76 mm
Average Surface Area	2128, mm ²
Minimum Edge Length	1,4142 mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	271787
<input type="checkbox"/> Elements	100347

Figura 12-4: Calidad de la malla refinada del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

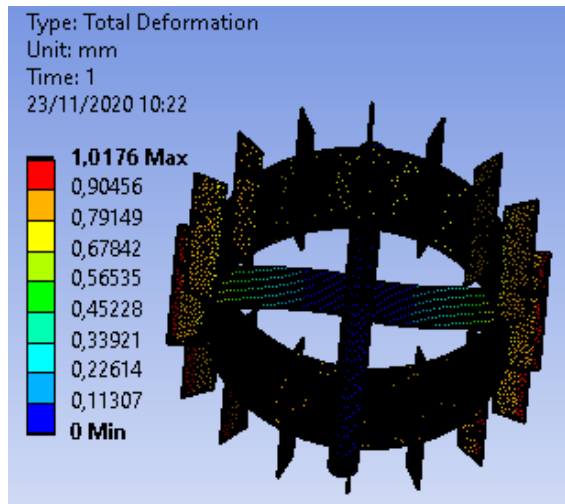


Figura 13-4: Resultados de deformación total para el análisis 3 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

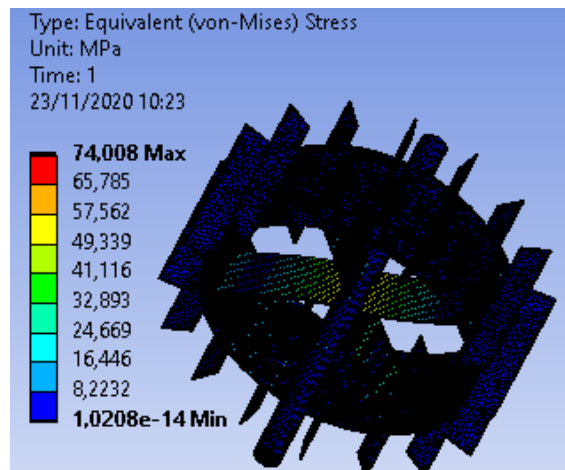


Figura 14-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 3 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.4. Análisis 4

Tipo de malla: refinada en las cuchillas

En este análisis se escogió un mallado refinado en las cuchillas, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 15-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Quality		Inflation	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors		
Error Limits	Standard Mechanical	Advanced	
Target Quality	Default (0.050000)	Statistics	
Smoother	Medium	<input type="checkbox"/> Nodes	67811
Mesh Metric	None	<input type="checkbox"/> Elements	30565

Figura 15-4: Calidad de la malla refinada en las cuchillas del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

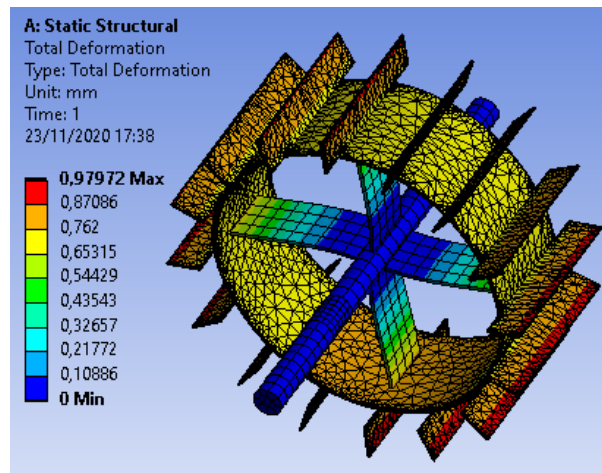


Figura 16-4: Resultados de deformación total para el análisis 4 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

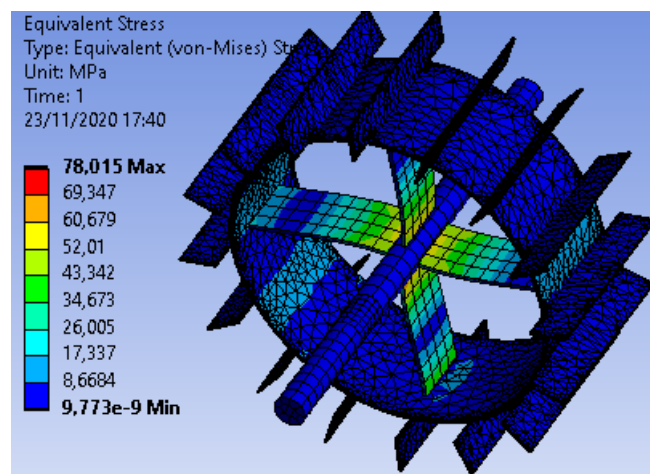


Figura 17-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 4 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.5. Análisis 5

Tipo de malla: con sizing 2mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 2 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 18-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Face Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	49 Faces
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	2, mm
Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Hard

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	619749
<input type="checkbox"/> Elements	335692

Figura 18-4: Calidad de la malla con sizing 2mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

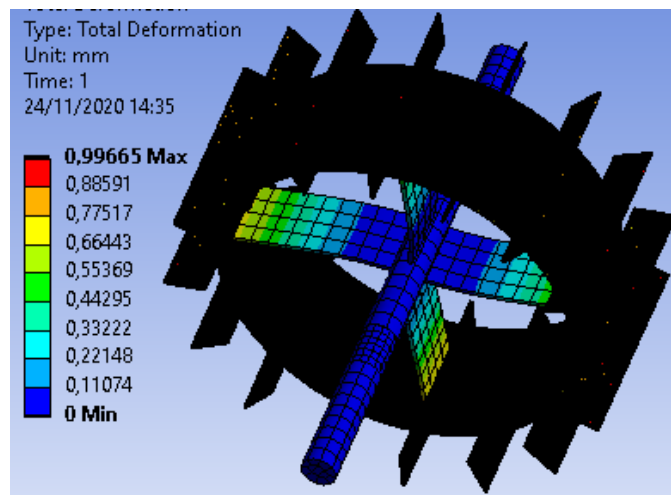


Figura 19-4: Resultados de deformación total para el análisis 5 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

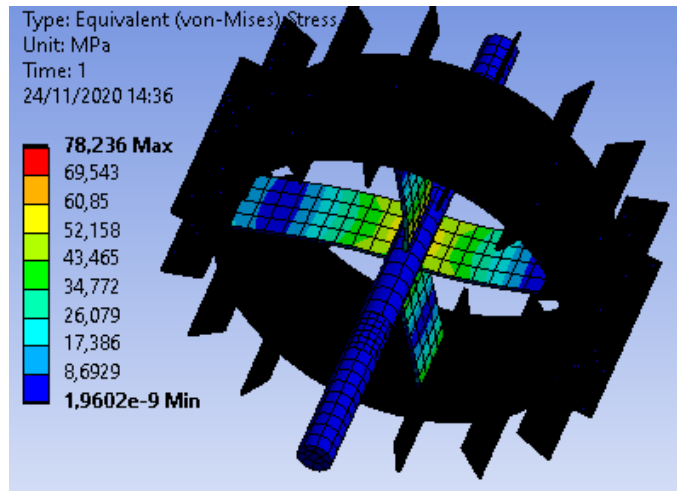


Figura 20-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 5 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.6. Análisis 6

Tipo de malla: con sizing 2.5mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 2.5 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 21-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

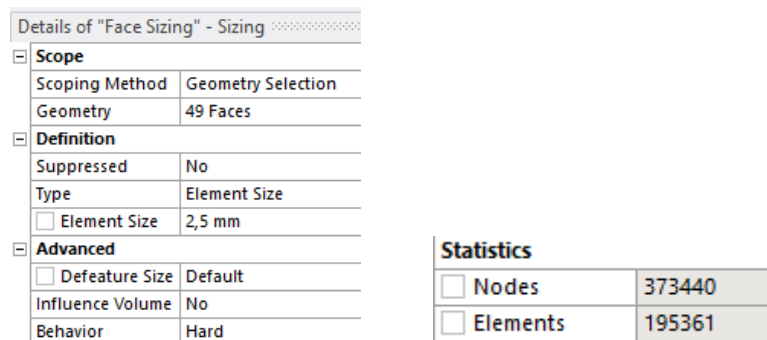


Figura 21-4: Calidad de la malla con sizing 2.5mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

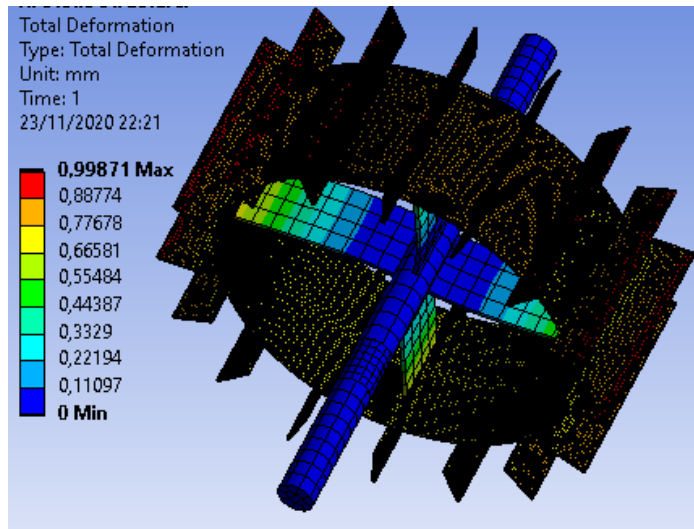


Figura 22-4: Resultados de deformación total para el análisis 6 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

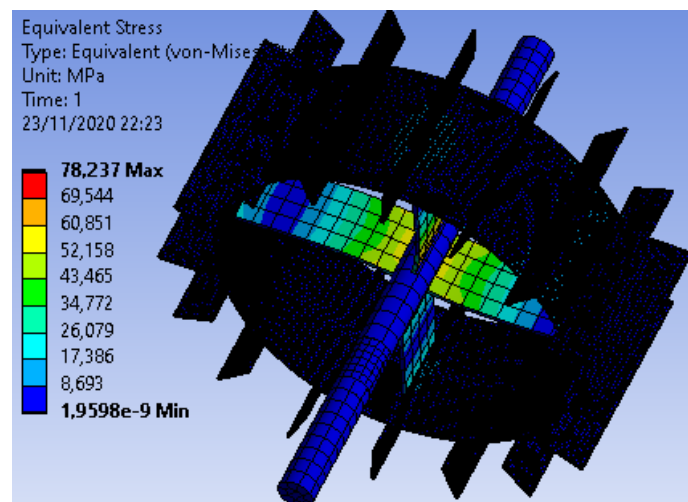


Figura 23-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 6 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.7. Análisis 7

Tipo de malla: con sizing 3mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 3 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 24-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los

resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

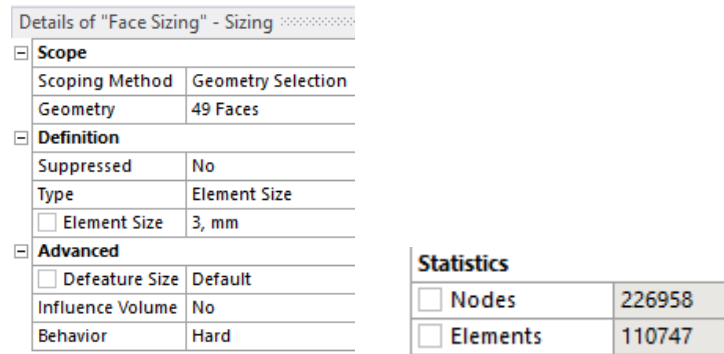


Figura 24-4: Calidad de la malla con sizing 3mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

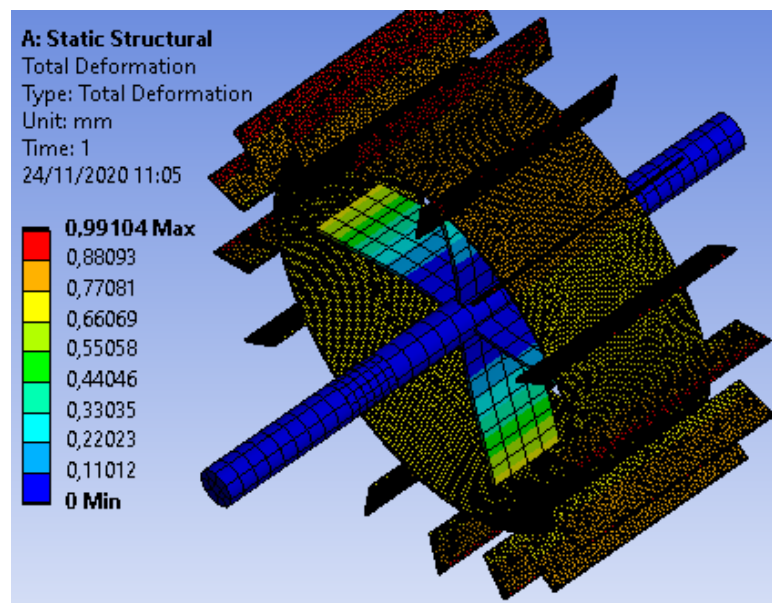


Figura 25-4: Resultados de deformación total para el análisis 7 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

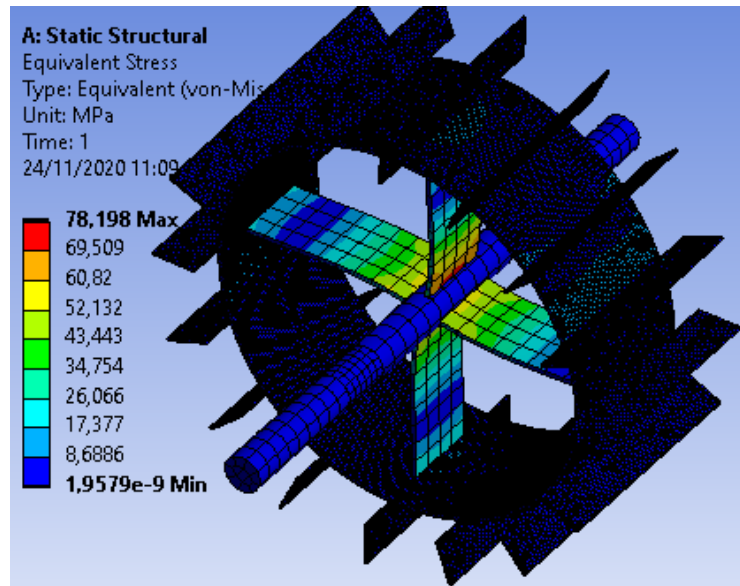


Figura 26-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 7 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.8. Análisis 8

Tipo de malla: con sizing 3.5mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 3.5 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 27-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

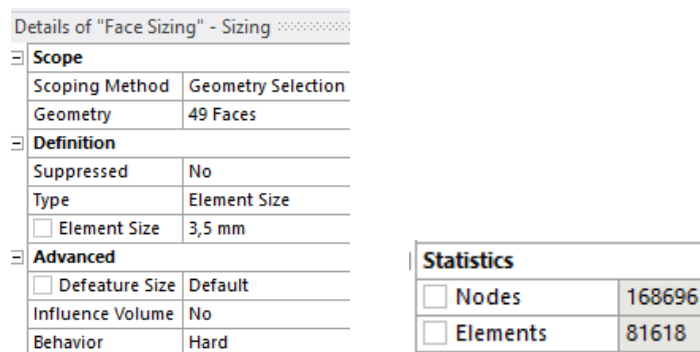


Figura 27-4: Calidad de la malla con sizing 3.5mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

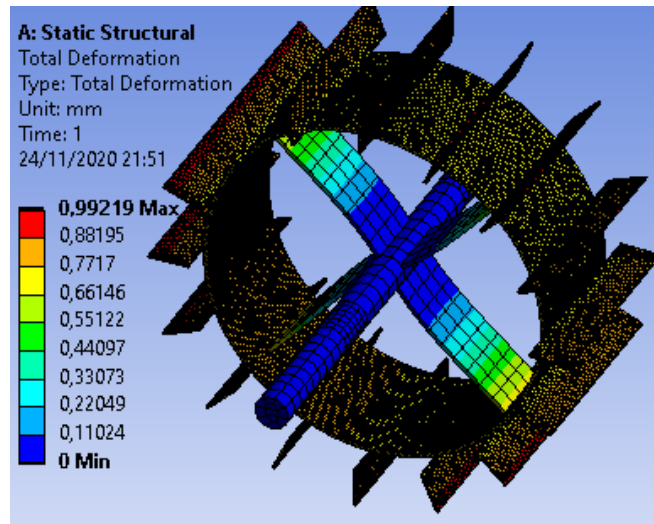


Figura 28-4: Resultados de deformación para el análisis 8 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

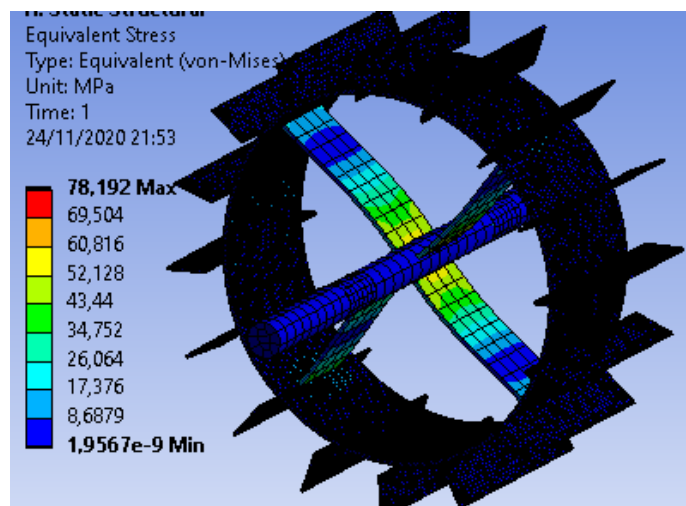


Figura 29-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 8 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.9. Análisis 9

Tipo de malla: con sizing 4mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 4 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 30-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

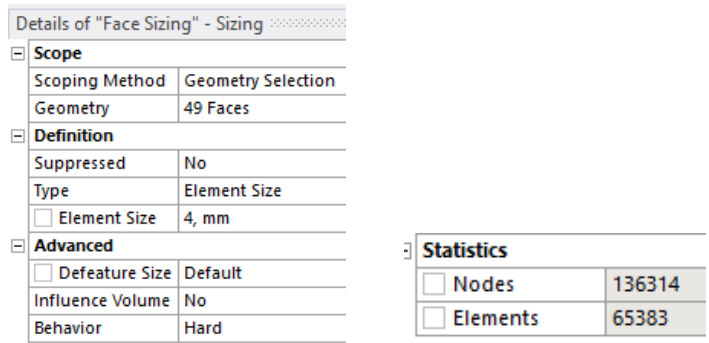


Figura 30-4: Calidad de la malla con sizing 4mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

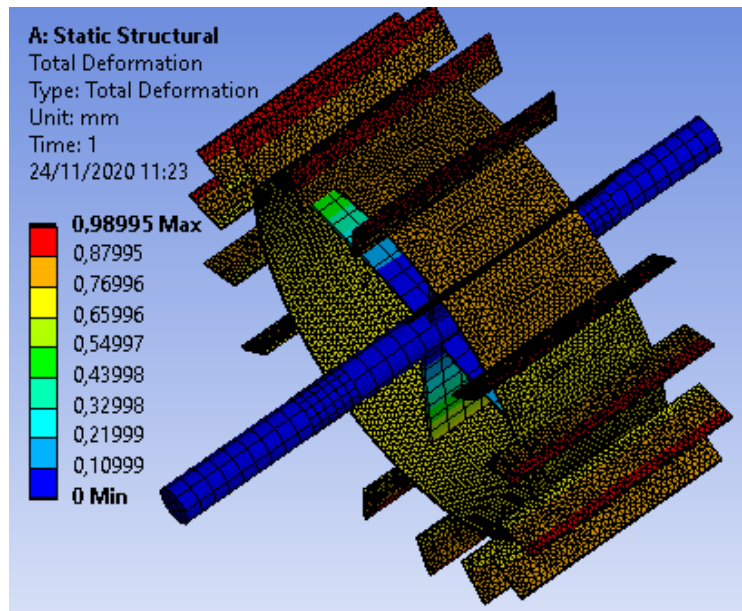


Figura 31-4: Resultados de deformación para el análisis 9 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

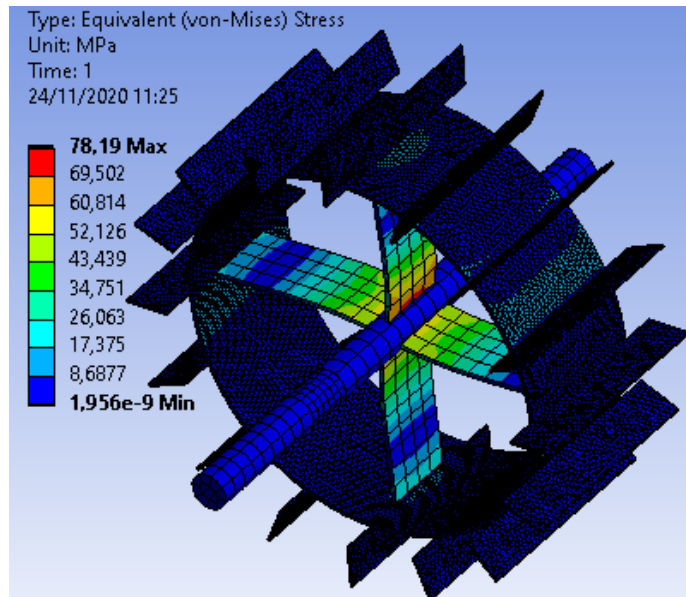


Figura 32-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 9 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.10. Análisis 10

Tipo de malla: con sizing 5mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 5 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 33-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

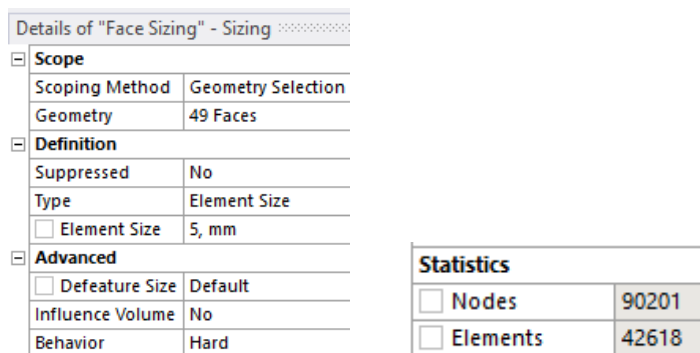


Figura 33-4: Calidad de la malla con sizing 5mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

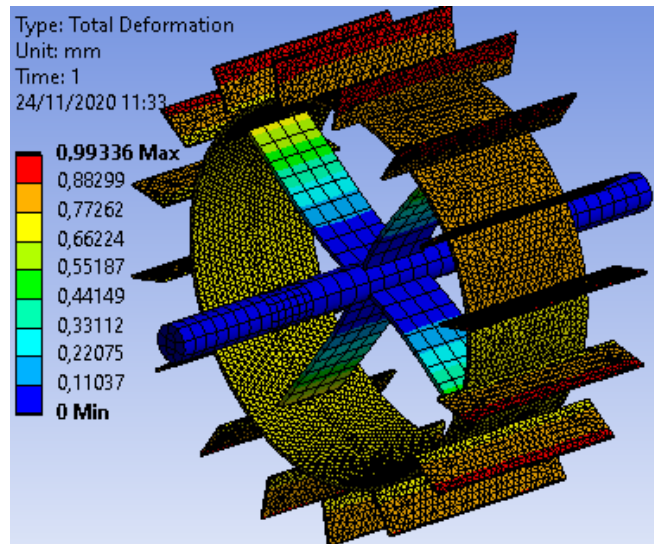


Figura 34-4: Resultados de deformación para el análisis 10 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

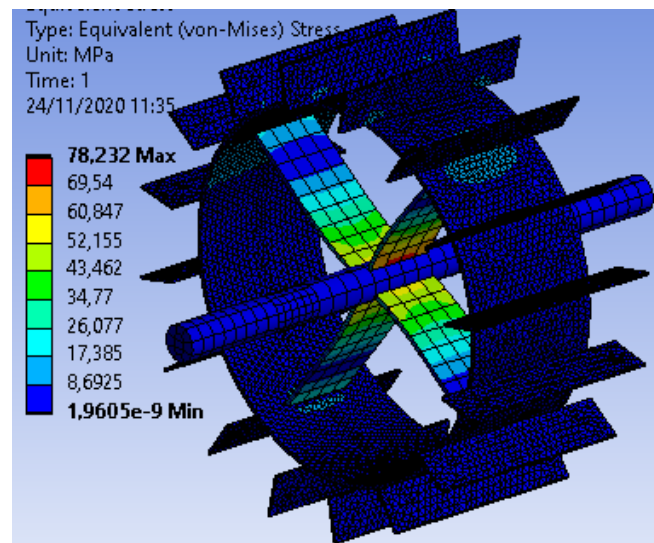


Figura 35-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 10 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.11. Análisis 11

Tipo de malla: con sizing 6mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 6 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 36-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los

resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

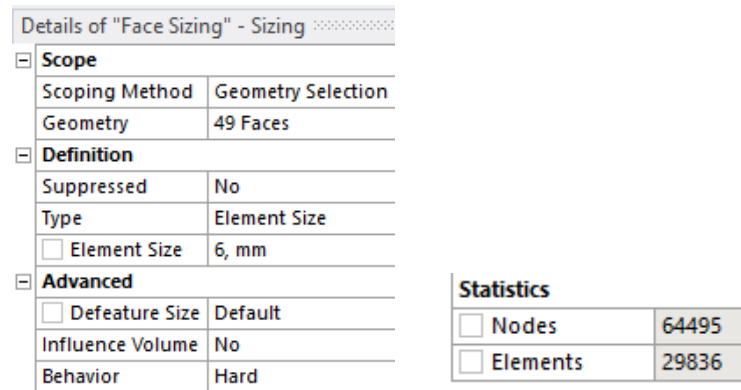


Figura 36-4: Calidad de la malla con sizing 6mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

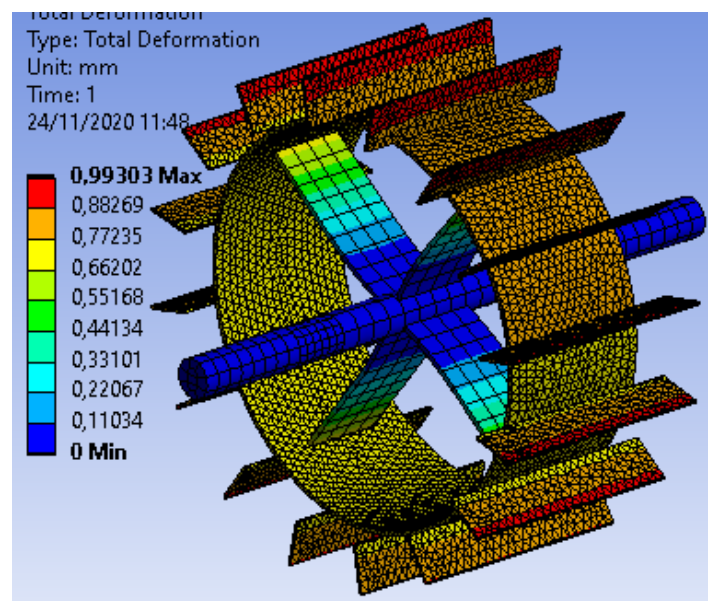


Figura 37-4: Resultados de deformación para el análisis 11 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

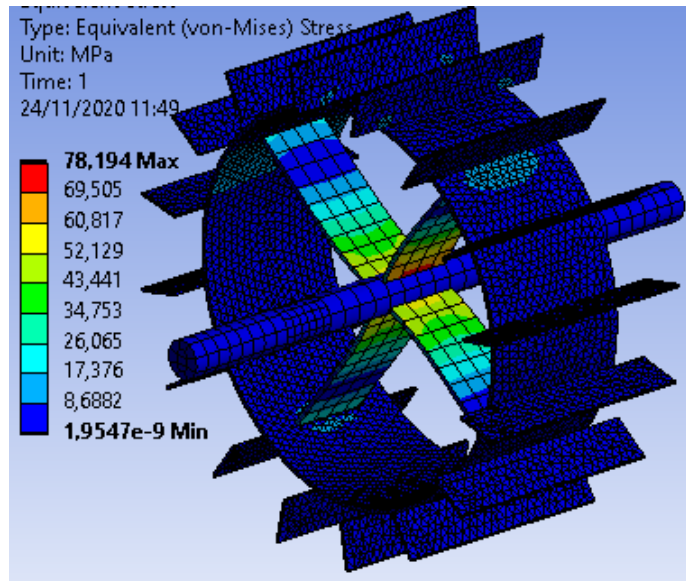


Figura 38-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 11 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.12. Análisis 12

Tipo de malla: con sizing 7mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 7 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 39-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

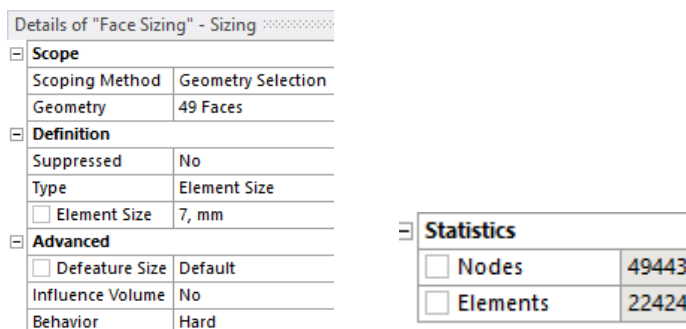


Figura 39-4: Calidad de la malla con sizing 7mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

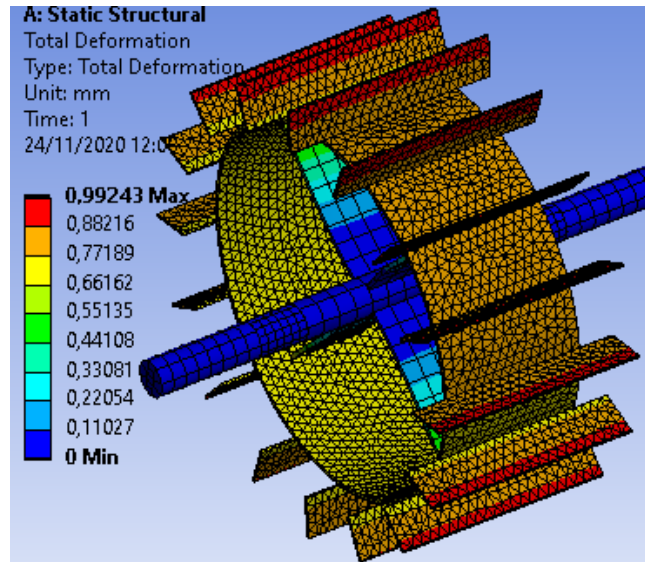


Figura 40-4: Resultados de deformación para el análisis 12 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

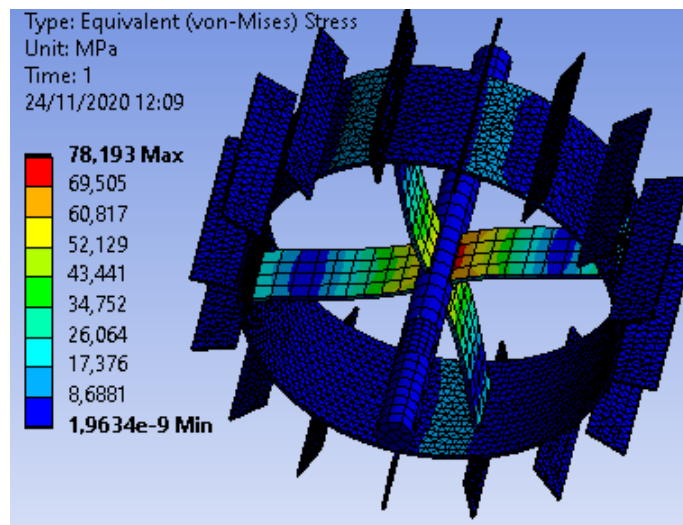


Figura 41-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 12 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.13. Análisis 13

Tipo de malla: con sizing 8mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 8 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 42-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los

resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

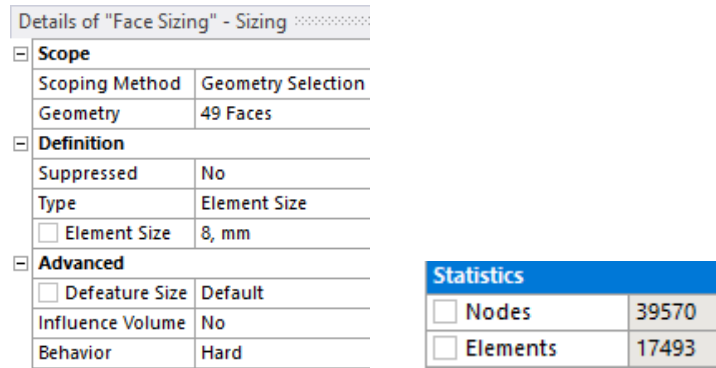


Figura 42-4: Calidad de la malla con sizing 8mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

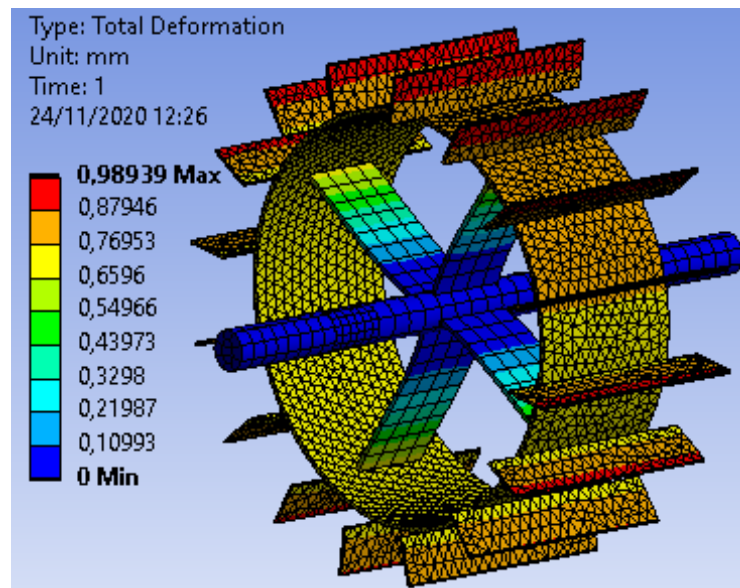


Figura 43-4: Resultados de deformación para el análisis 13 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

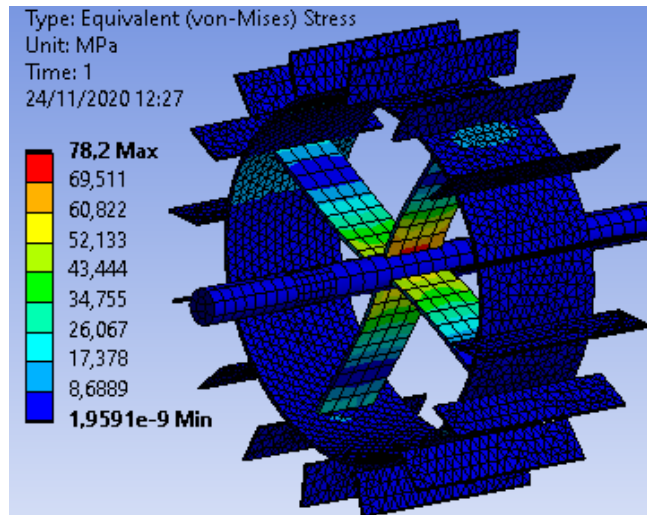


Figura 44-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 13 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.14. Análisis 14

Tipo de malla: con sizing 9mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 9 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 45-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

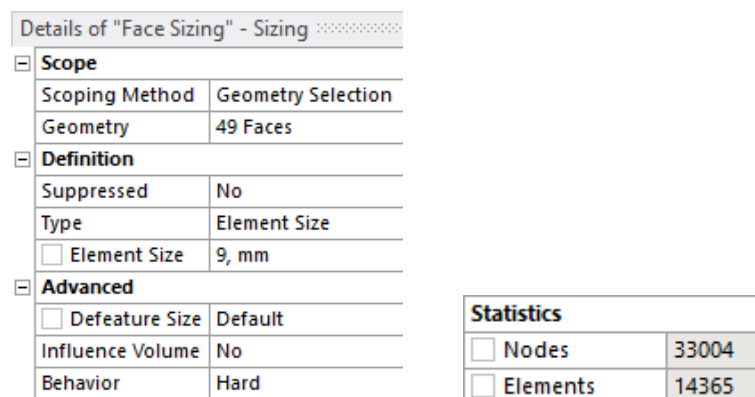


Figura 45-4: Calidad de la malla con sizing 9mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

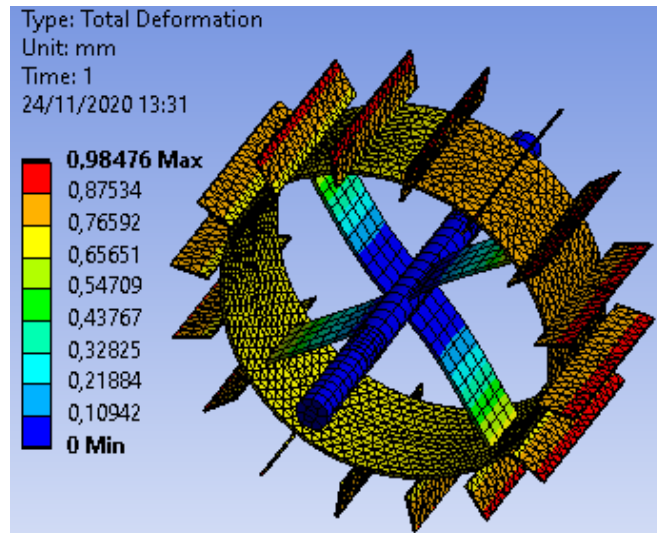


Figura 46-4: Resultados de deformación para el análisis 14 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

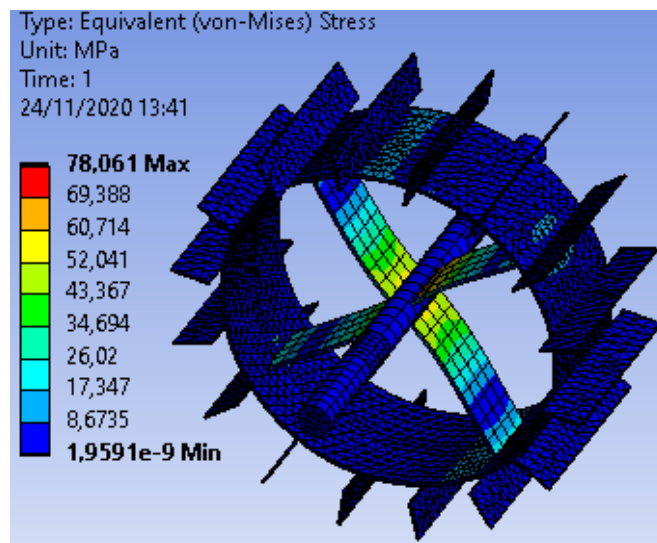


Figura 47-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 14 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.15. Análisis 15

Tipo de malla: con sizing 10mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 10 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 48-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los

resultados del elemento 1. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

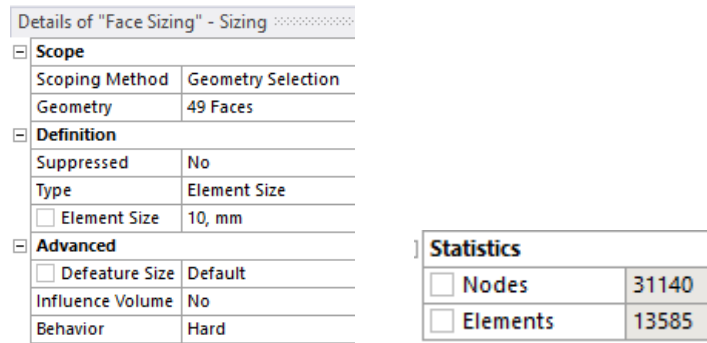


Figura 48-4: Calidad de la malla con sizing 10mm del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

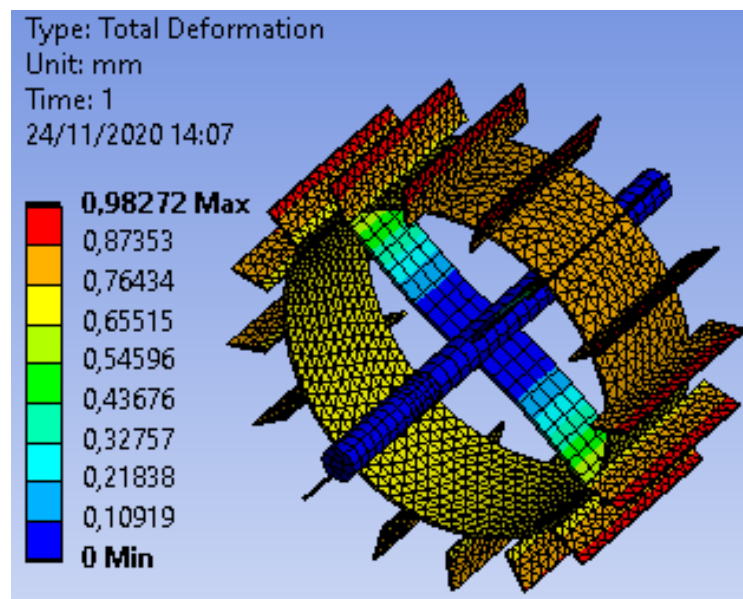


Figura 49-4: Resultados de deformación total para el análisis 15 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

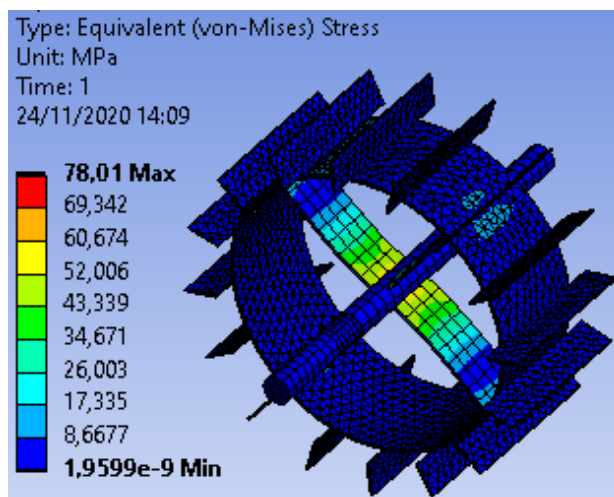


Figura 50-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 15 del elemento 1

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.1.1.16. *Análisis de resultados del elemento 1*

A continuación se muestra en la tabla 1-4 un resumen de los resultados obtenidos para el elemento 1 de todos los análisis ejecutados en el software ANSYS.

Tabla 1-4: Resultados obtenidos del elemento 1

No.	Tipo de malla	No. de nodos	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Factor de seguridad
1	Por defecto	17266	0,90620	75,069	0,00037596	15
2	Element Quality	17266	0,90620	75,069	0,00037596	15
3	Element Size 3mm	271787	1,01760	74,008	0,00037122	15
4	Refinada en las cuchillas	67811	0,97972	78,015	0,00039071	15
5	Sizing 2mm	619749	0,99665	78,236	0,00039182	15
6	Sizing 2,5mm	373440	0,99871	78,237	0,00039182	15
7	Sizing 3mm	226958	0,99104	78,198	0,00039162	15
8	Sizing 3,5mm	168696	0,99219	78,192	0,00039159	15
9	Sizing 4mm	136314	0,98995	78,19	0,00039158	15
10	Sizing 5mm	90201	0,99336	78,232	0,0003918	15
11	Sizing 6mm	64495	0,99303	78,194	0,0003916	15
12	Sizing 7mm	49443	0,99243	78,193	0,0003916	15
13	Sizing 8mm	39570	0,98939	78,2	0,00039164	15
14	Sizing 9mm	33004	0,98476	78,061	0,00039094	15
15	Sizing 10mm	31140	0,98272	78,01	0,00039068	15

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Como se puede observar en el gráfico 1-4 se presenta el análisis de convergencia de los resultados de deformación del elemento 1, los valores de la deformación varían en función del número de nodos, por lo tanto se establece que la deformación para el elemento 1 se encuentra en el rango de 0,98272 a 0,99871 mm, siendo la variación entre los diferentes valores mínima.

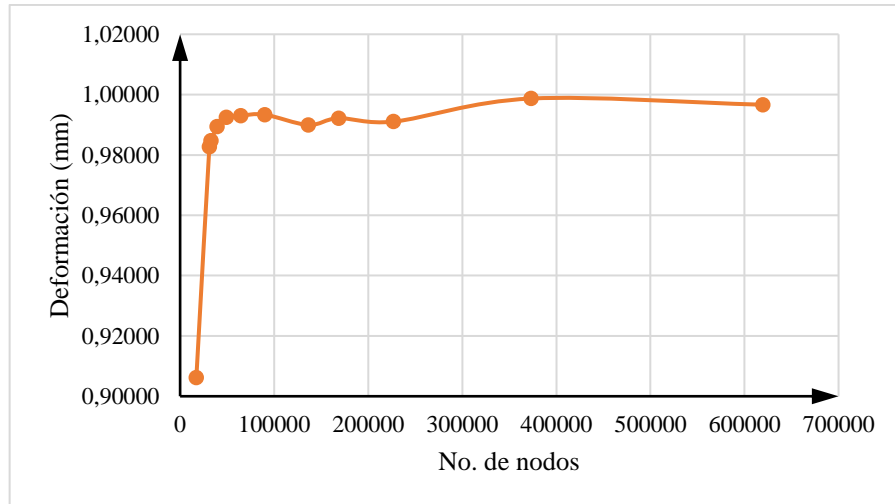


Gráfico 1-4. No. De nodos vs Deformación

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Como se puede observar en el gráfico 2-4 se presenta el análisis de convergencia de los resultados de esfuerzo del elemento 1, los valores del esfuerzo varían en función del número de nodos, por lo tanto se establece que el esfuerzo para el elemento 1 se encuentra en el rango de 78,01 a 78,237 MPa, siendo estos resultados confiables ya que presentan una variación entre los mismos de 0,01 MPa.

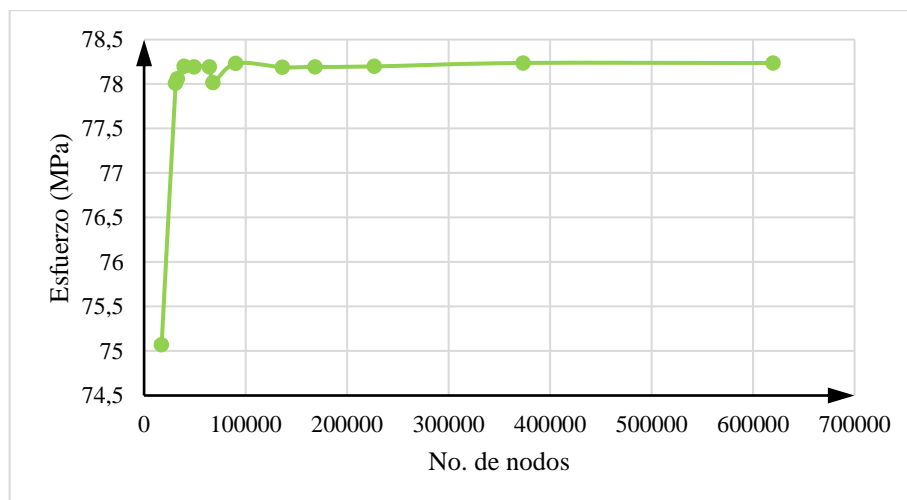


Gráfico 2-4. No. De nodos vs Esfuerzo

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2. Análisis estructural del elemento 2

4.2.1. Parámetros obtenidos o resultados obtenidos del elemento 2

Se realizaron varios análisis para obtener resultados más confiables y ejecutar un análisis de convergencia de los mismos para observar en que rango se encuentran dichos resultados.

4.2.1.1. Análisis 1

Tipo de malla: por defecto

En este análisis se escogió un mallado por defecto, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 51-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2.

Quality	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None

Inflation	
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	14084
<input type="checkbox"/> Elements	5593

Figura 51-4: Calidad de la Malla por defecto para el elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

La deformación total del elemento 2 con el mallado por defecto se puede observar en la figura 52-4, en la misma se puede visualizar que la parte que no se deforma (valor cero o de color azul) son los extremos del eje 2 mientras que las partes que presenta una deformación máxima con un valor de 0,0000065296 mm (color rojo) es en los filos de las aspas, las cuales rotan y están en contacto con el suelo quitando la maleza presente en el mismo; las otras partes del elemento muestran una deformación promedio que no se acerca al valor máximo.

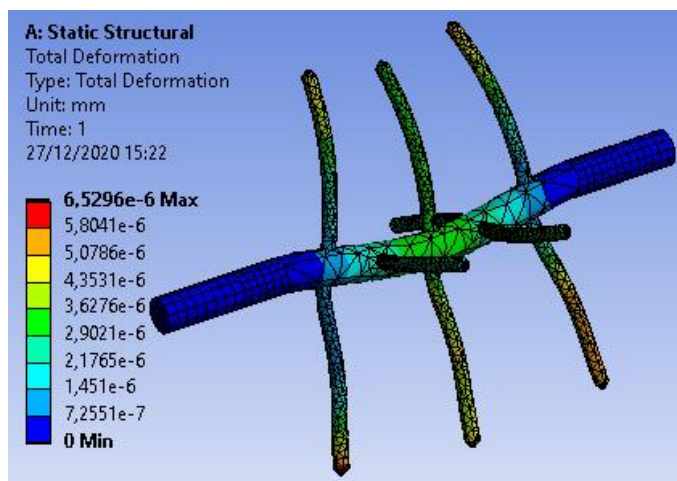


Figura 52-4: Resultados de deformación para el análisis 1 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

En la figura 53-4 se puede visualizar el esfuerzo que tiene el elemento 2 con el mallado por defecto, donde se observa un mayor esfuerzo con un valor de 0,0055119 Mpa (color rojo); en varias partes como en los extremos del eje 2 el esfuerzo es mínimo con un valor que tiende a ser cero (color azul), mientras que en las aspas y en la unión del eje 2 con las aspas el valor del esfuerzo es variable como se observa con la variación de coloración en las mismas.

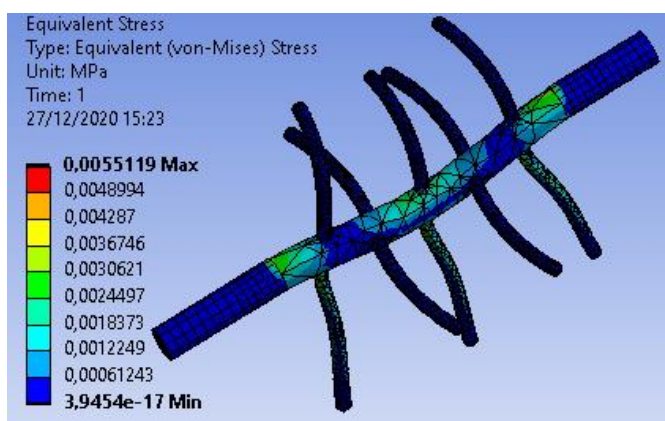


Figura 53-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 1 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación unitaria

La deformación unitaria del elemento 2 con el mallado por defecto se puede observar en la figura 54-4, en la misma se puede visualizar que la parte que presenta una deformación muy mínima, aproximadamente cero (color azul) es en los extremos del eje 2 y en varias partes más; casi no se observa la deformación unitaria máxima mostrada en valoración de colores con rojo; también se

visualiza que en algunas partes del elemento 2 la deformación unitaria varía como se observa por la variación de colores que presentan las mismas.

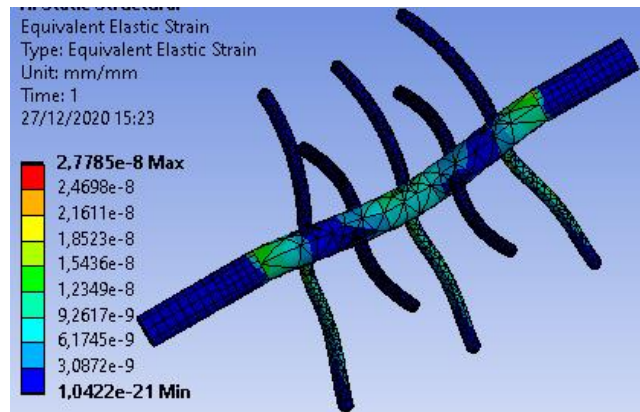


Figura 54-4: Resultados de deformación unitaria para el análisis 1 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Factor de seguridad

El factor de seguridad del elemento 2 con la malla por defecto como se visualiza en la figura 55-4 es confiable ya que el valor máximo es de 15 presentándose en todo el elemento 2; hay que notar también que se requiere de un coeficiente de seguridad mínimo de 2 para asegurar que el elemento no falle.

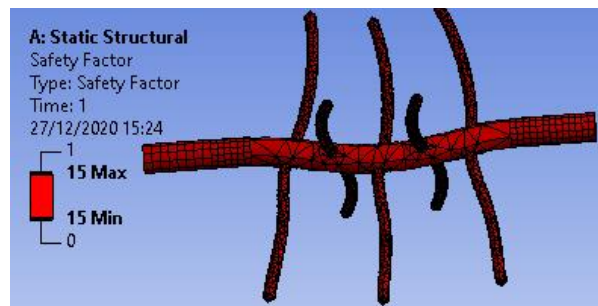


Figura 55-4: Resultados de factor de seguridad para el análisis 1 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.2. Análisis 2

Tipo de malla: con Element Quality

En este análisis se escogió un mallado con Element Quality para refinar los resultados, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 56-4, con especial atención el

número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2; en la figura 57-4 se observa las estadísticas de este mallado. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,26879
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	0,85485
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,12907

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	14084
<input type="checkbox"/> Elements	5593

Figura 56-4: Calidad de la malla con Element Quality del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

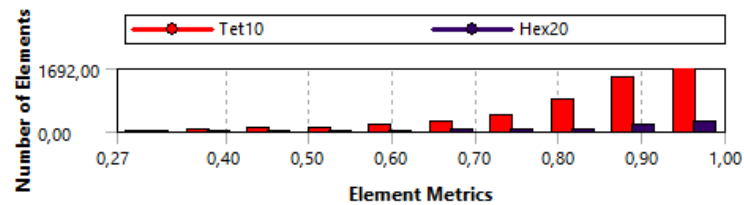


Figura 57-4: Estadística de la malla con Element Quality del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

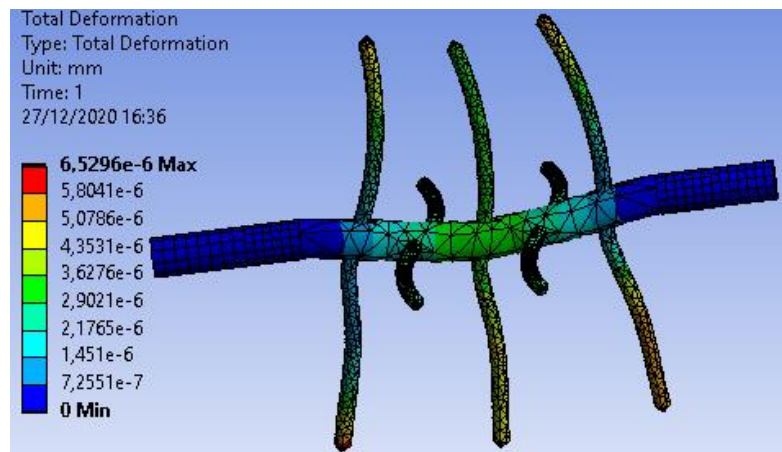


Figura 58-4: Resultados de deformación total para el análisis 2 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

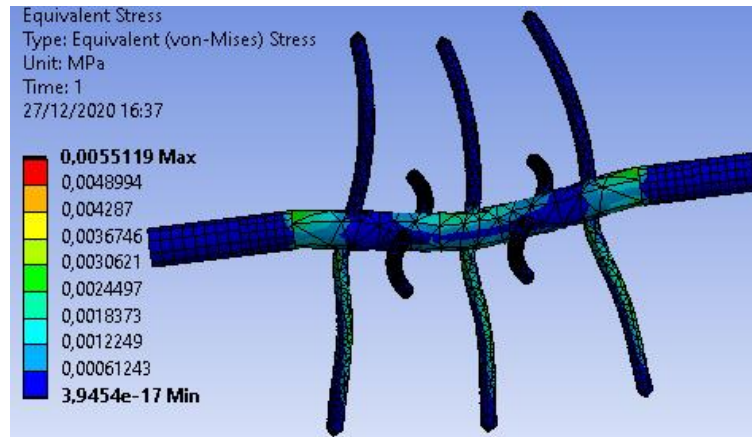


Figura 59-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 2 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación unitaria

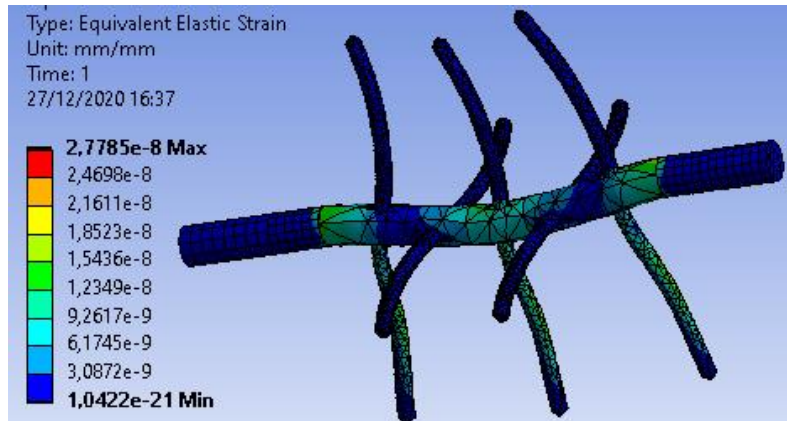


Figura 60-4: Resultados de deformación unitaria para el análisis 2 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Factor de seguridad

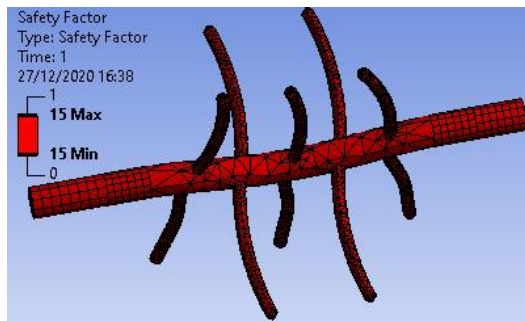


Figura 61-4: Resultados de factor de seguridad para el análisis 2 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.3. Análisis 3

Tipo de malla: refinada con element size 3mm

En este análisis se escogió un mallado refinado con element size 3mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 62-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Mesh"	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	3, mm
<input checked="" type="checkbox"/> Sizing	
<input checked="" type="checkbox"/> Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	66502
<input type="checkbox"/> Elements	22585

Figura 62-4: Calidad de la malla refinada del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

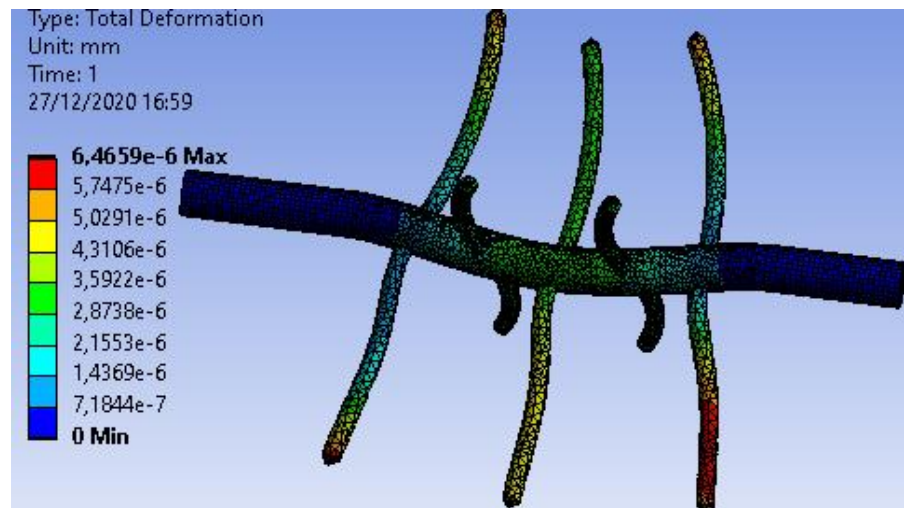


Figura 63-4: Resultados de deformación total para el análisis 3 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

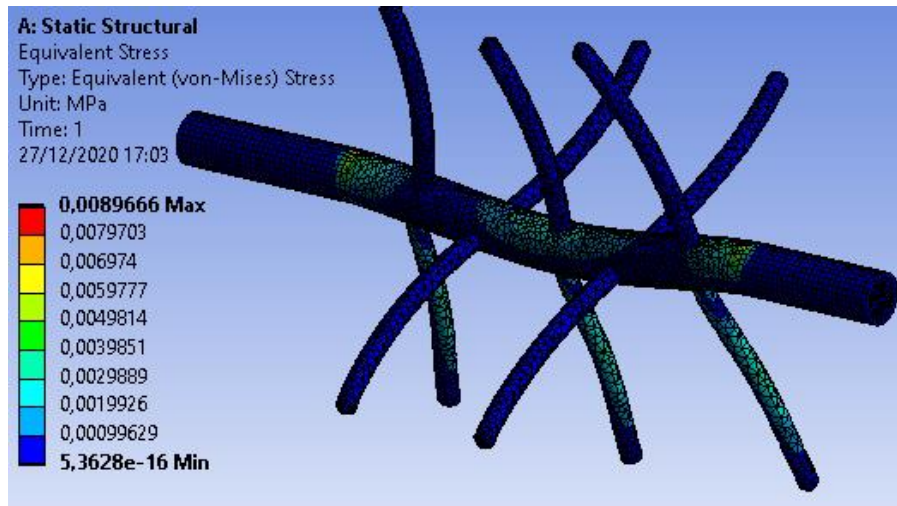


Figura 64-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 3 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.4. Análisis 4

Tipo de malla: refinada en las cuchillas

En este análisis se escogió un mallado refinado en las cuchillas, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 65-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	44502
<input type="checkbox"/> Elements	19209

Figura 65-4: Calidad de la malla refinada en las cuchillas del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

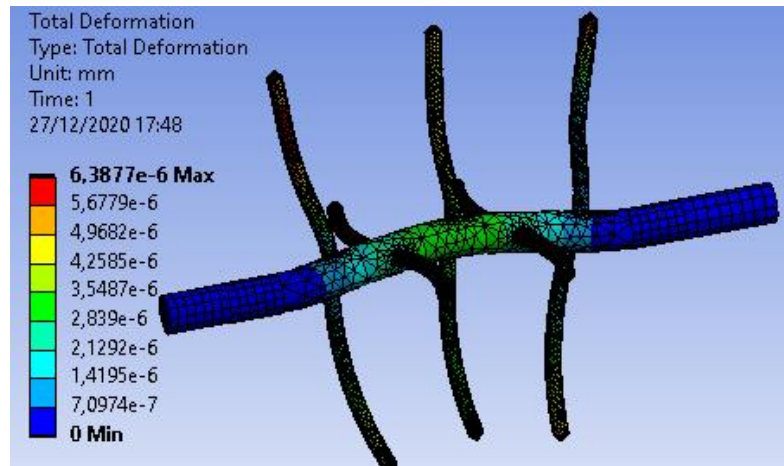


Figura 66-4: Resultados de deformación total para el análisis 4 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

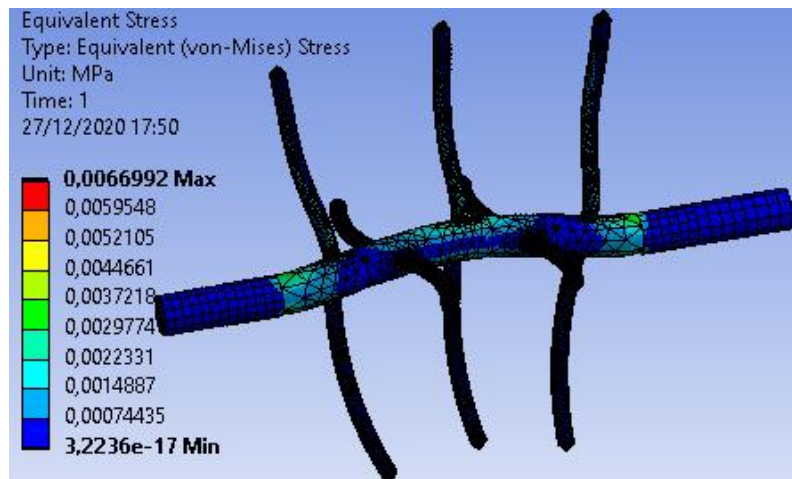


Figura 67-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 4 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.5. Análisis 5

Tipo de malla: con sizing 2mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 2 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 68-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

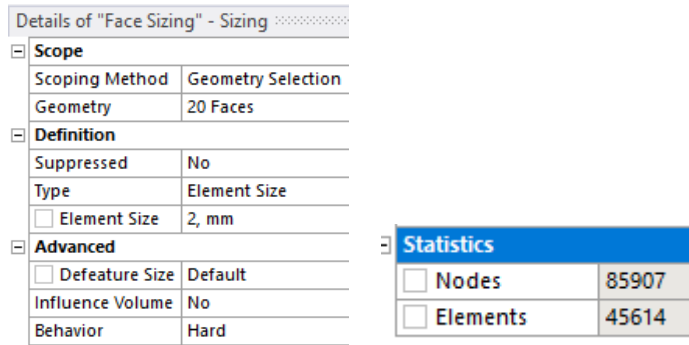


Figura 68-4: Calidad de la malla con sizing 2mm del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

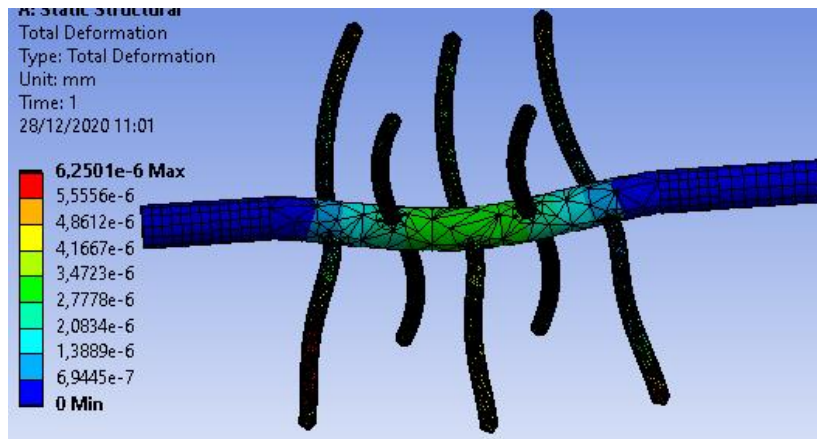


Figura 69-4: Resultados de deformación total para el análisis 5 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

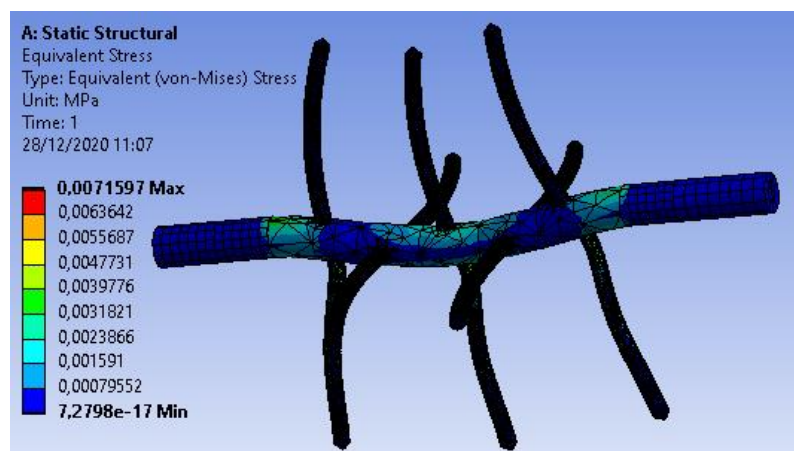


Figura 70-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 5 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.6. Análisis 6

Tipo de malla: con sizing 2.5mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 2.5 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 71-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Face Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	20 Faces
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	2,5 mm
Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Hard

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	53527
<input type="checkbox"/> Elements	27332

Figura 71-4: Calidad de la malla con sizing 2.5mm del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

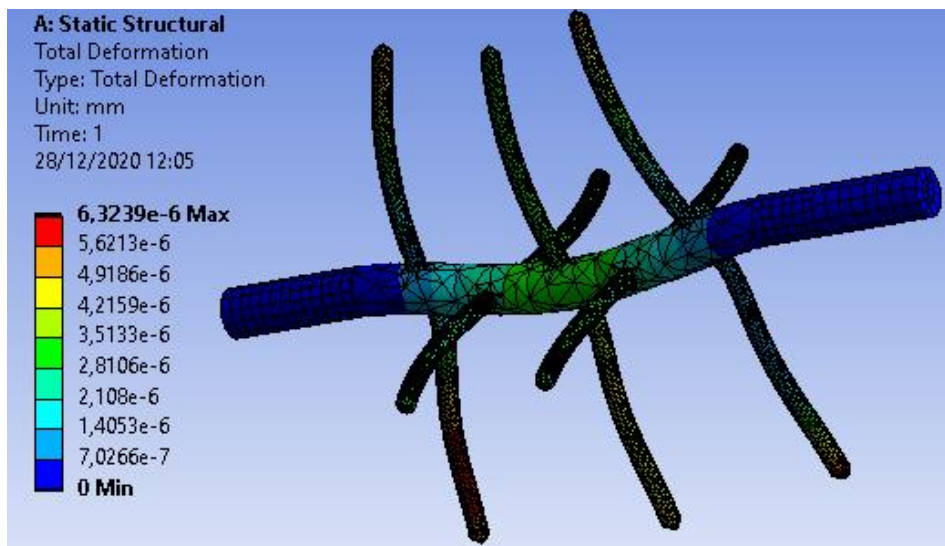


Figura 72-4: Resultados de deformación total para el análisis 6 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

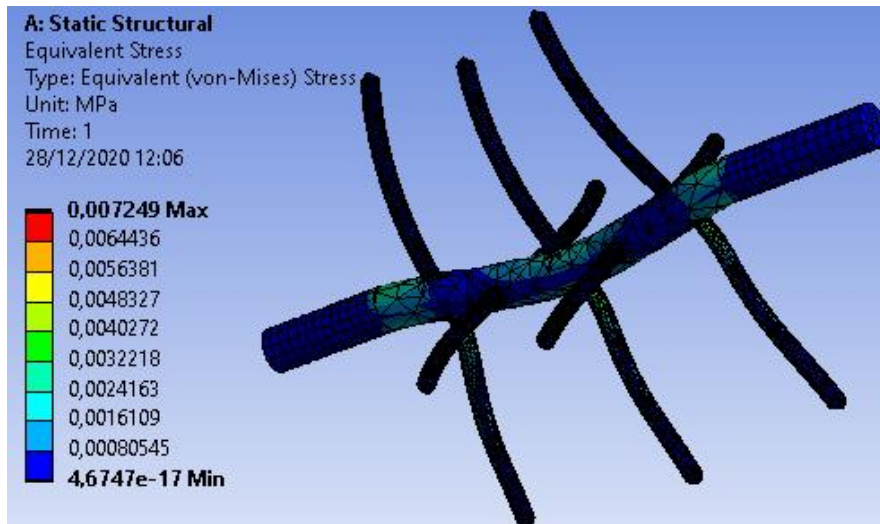


Figura 73-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 6 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.7. Análisis 7

Tipo de malla: con sizing 3mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 3 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 74-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Face Sizing" - Sizing	
<input checked="" type="checkbox"/> Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	20 Faces
<input checked="" type="checkbox"/> Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	3, mm
<input checked="" type="checkbox"/> Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Hard

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	37865
<input type="checkbox"/> Elements	18540

Figura 74-4: Calidad de la malla con sizing 3mm del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

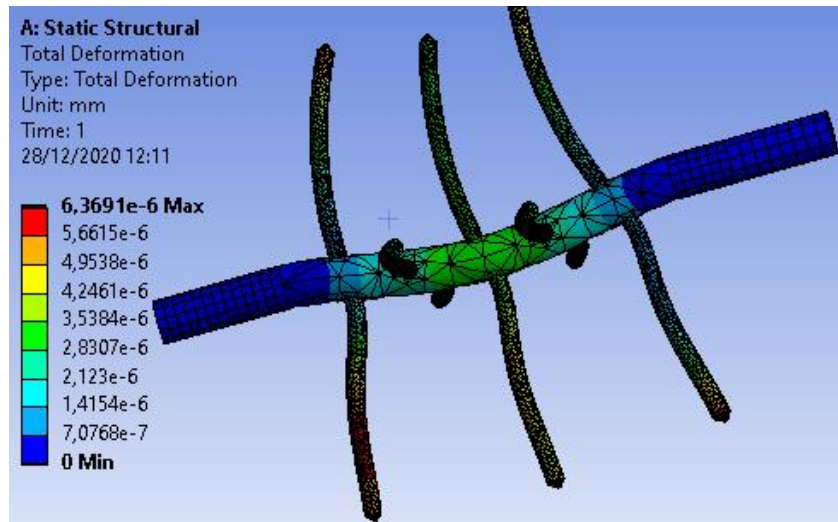


Figura 75-4: Resultados de deformación total para el análisis 7 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

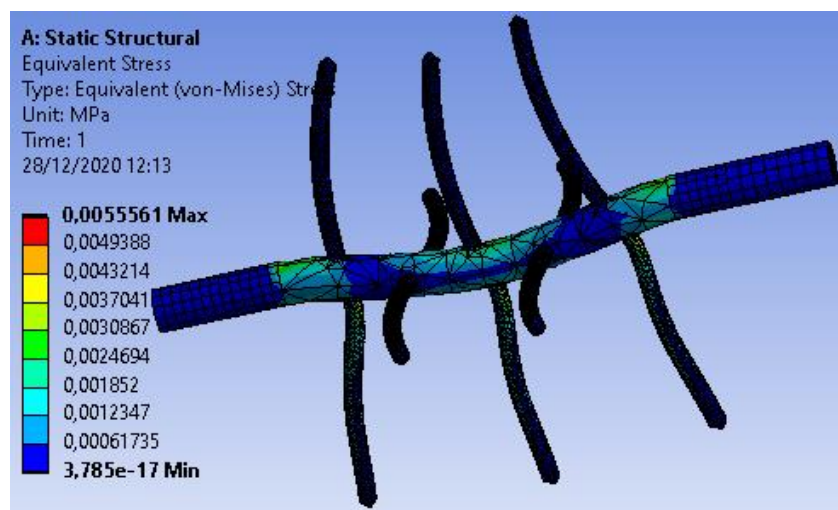


Figura 76-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 7 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.8. Análisis 8

Tipo de malla: con sizing 3.5mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 3.5 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 77-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Face Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	20 Faces
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	3,5 mm
Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Hard

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	25933
<input type="checkbox"/> Elements	11769

Figura 77-4: Calidad de la malla con sizing 3.5mm del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

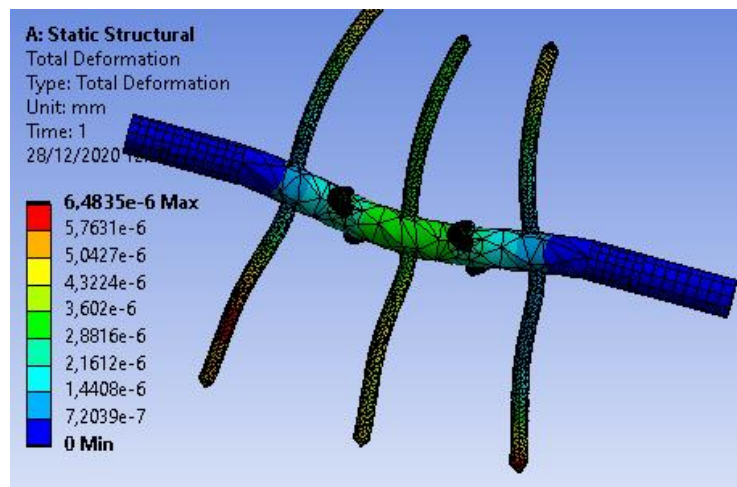


Figura 78-4: Resultados de deformación total para el análisis 8 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

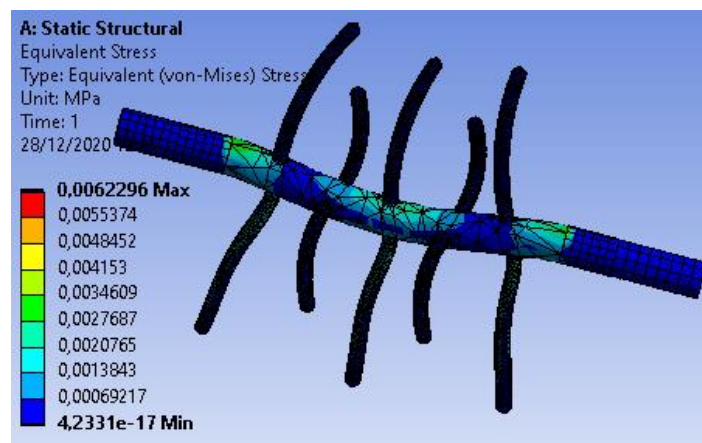


Figura 79-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 8 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.9. Análisis 9

Tipo de malla: con sizing 4mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 4 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 80-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

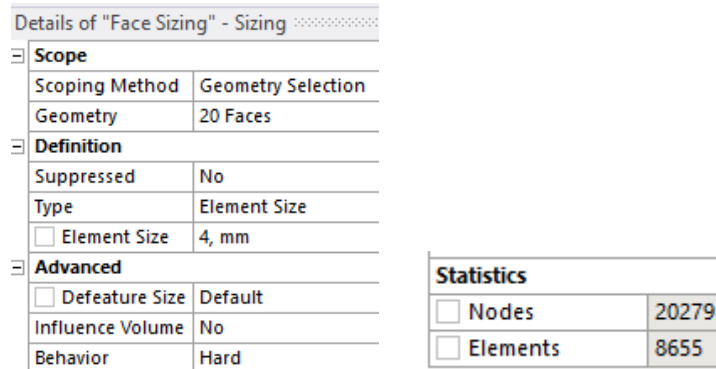


Figura 80-4: Calidad de la malla con sizing 4mm del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

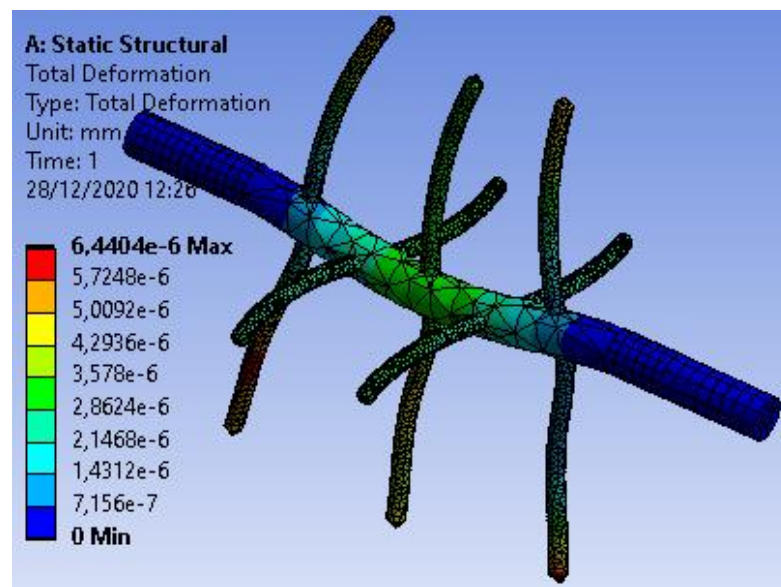


Figura 81-4: Resultados de deformación total para el análisis 9 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

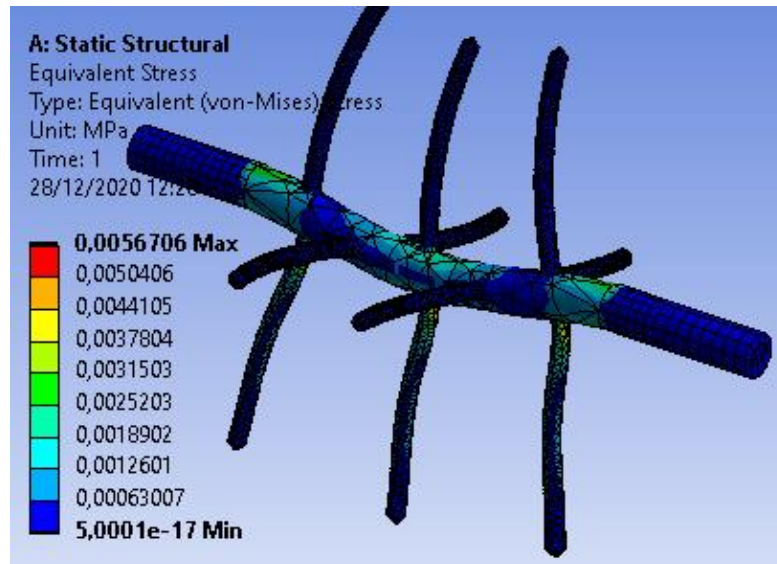


Figura 82-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 9 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.10. Análisis 10

Tipo de malla: con sizing 5mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 5 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 83-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

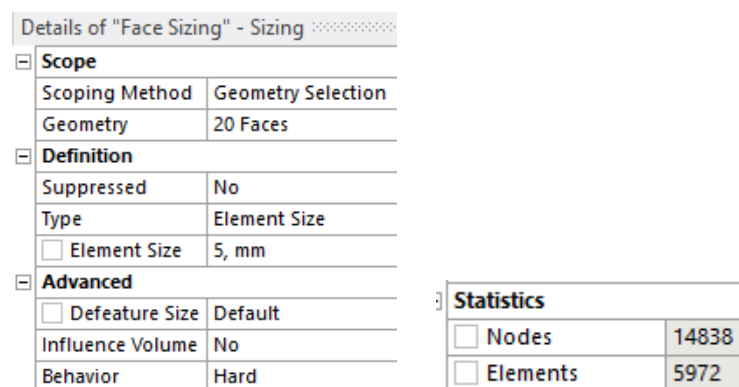


Figura 83-4: Calidad de la malla con sizing 5mm del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

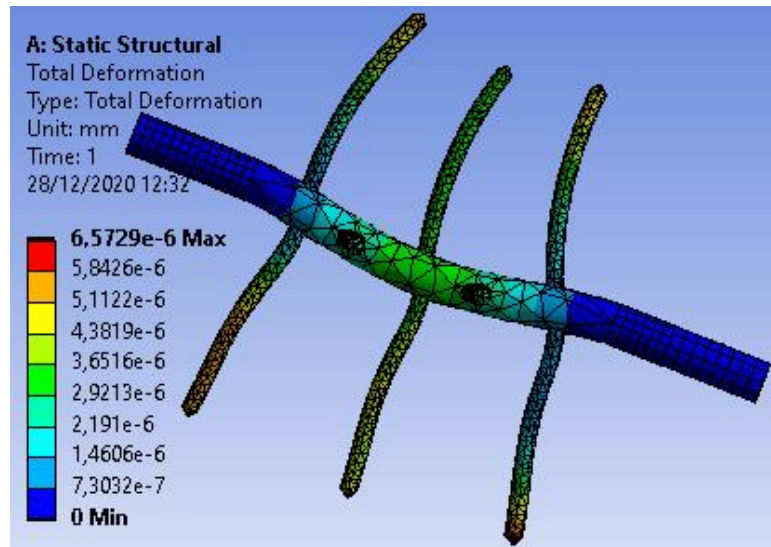


Figura 84-4: Resultados de deformación total para el análisis 10 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

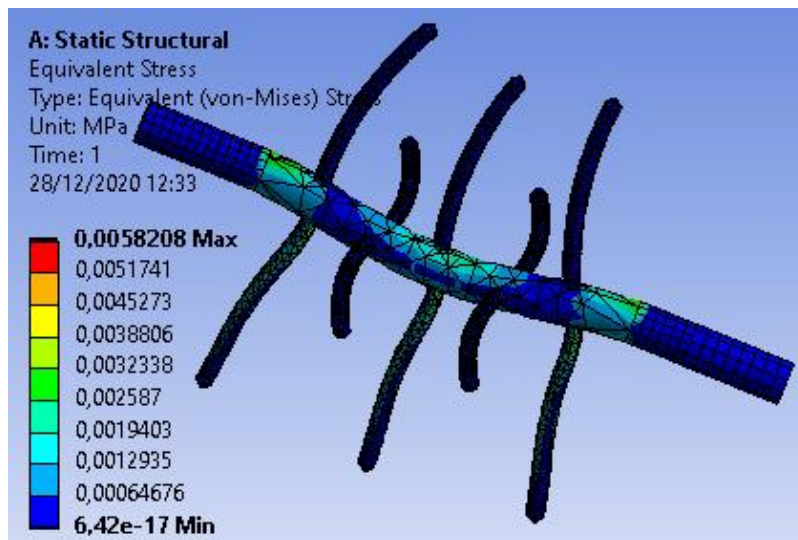


Figura 85-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 10 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.11. *Análisis 11*

Tipo de malla: con sizing 6mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 6 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 86-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Face Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	20 Faces
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	6, mm
Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Hard

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	12258
<input type="checkbox"/> Elements	4739

Figura 86-4: Calidad de la malla con sizing 6mm del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

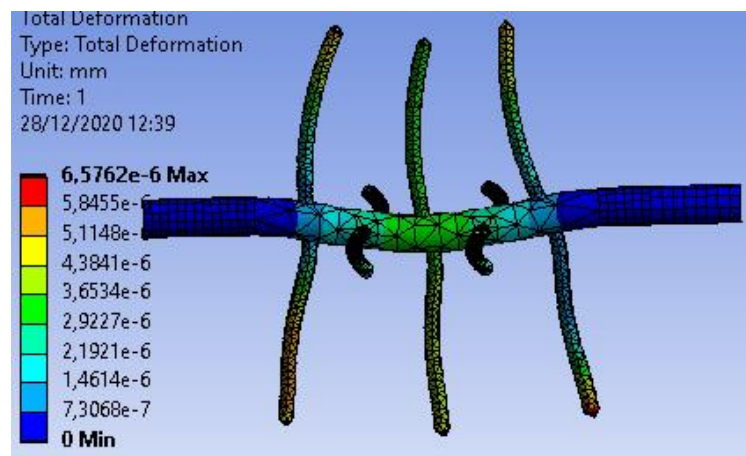


Figura 87-4: Resultados de deformación total para el análisis 11 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

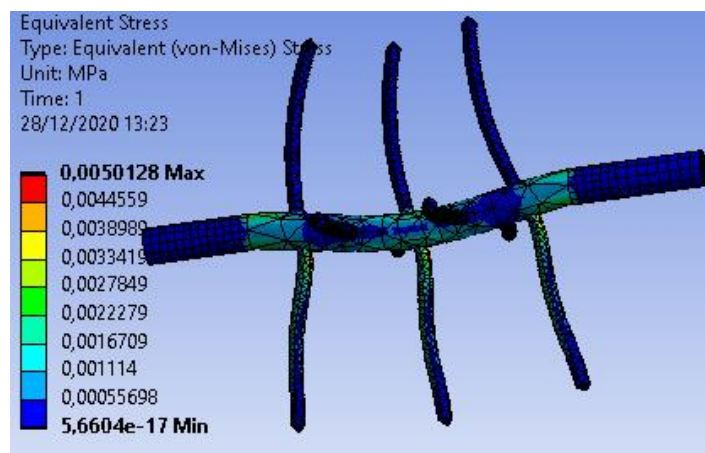


Figura 88-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 11 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.12. Análisis 12

Tipo de malla: con sizing 7mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 7 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 89-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

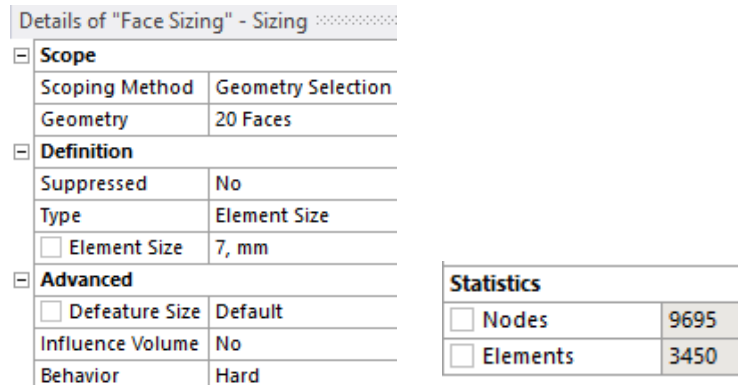


Figura 89-4: Calidad de la malla con sizing 7mm del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

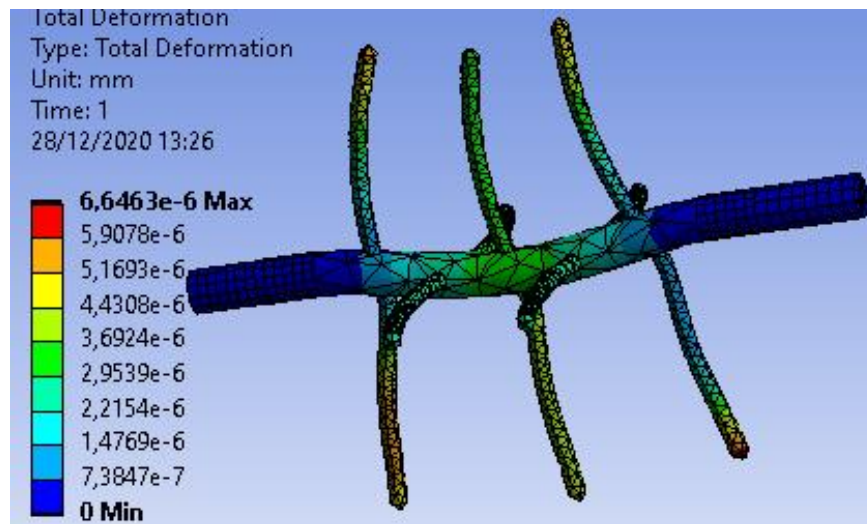


Figura 90-4: Resultados de deformación total para el análisis 12 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

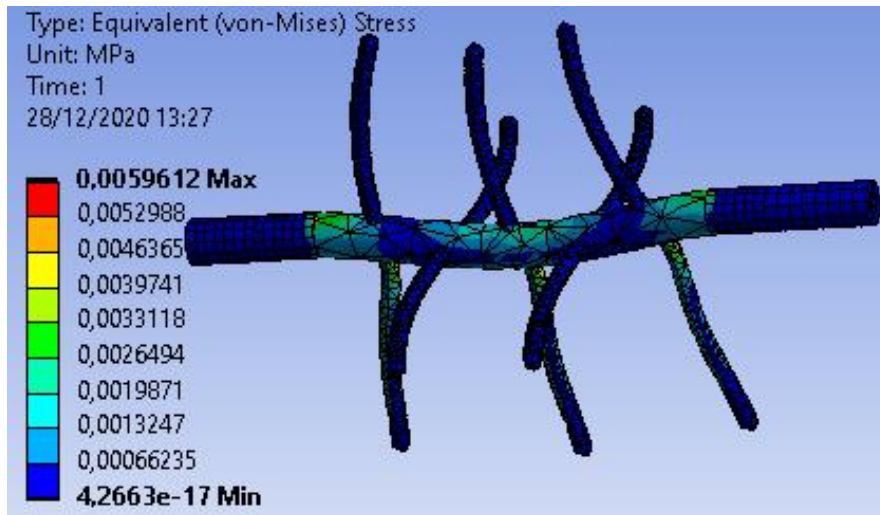


Figura 91-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 12 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.13. Análisis 13

Tipo de malla: con sizing 8mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 8 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 92-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

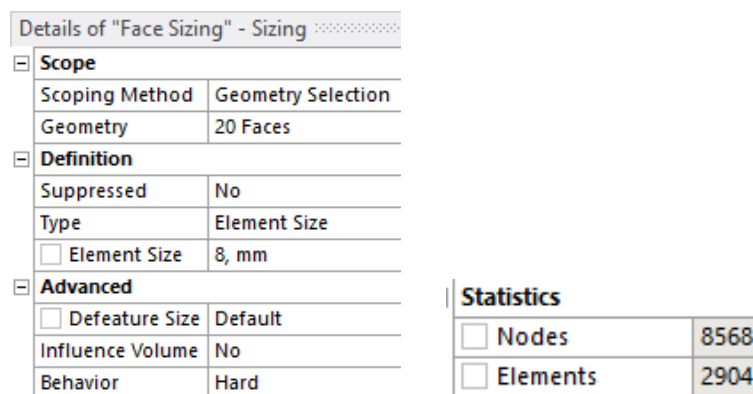


Figura 92-4: Calidad de la malla con sizing 8mm del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

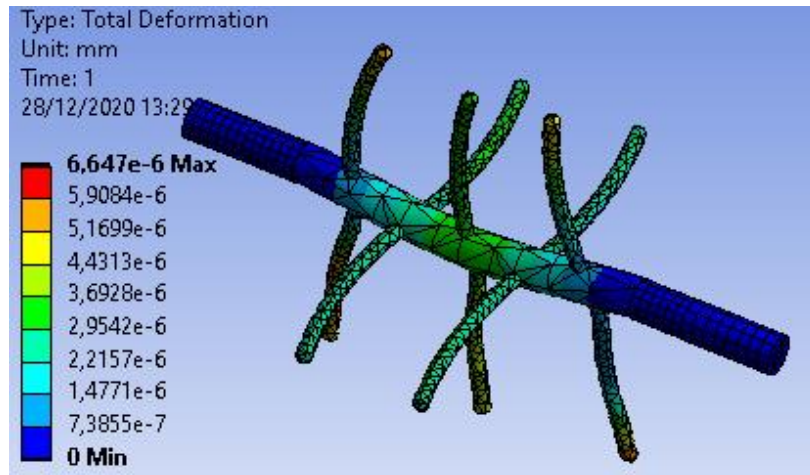


Figura 93-4: Resultados de deformación total para el análisis 13 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

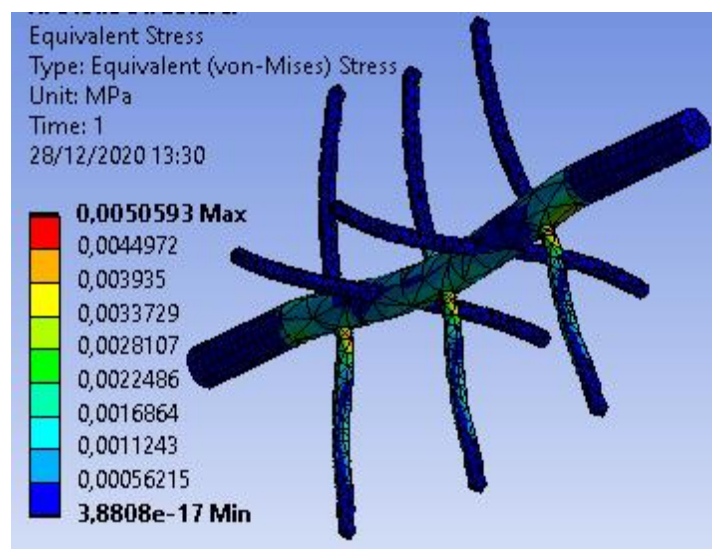


Figura 94-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 13 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.14. *Análisis 14*

Tipo de malla: con sizing 9mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 9 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 95-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 2. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Face Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	20 Faces
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	9, mm
Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Hard

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	8170
<input type="checkbox"/> Elements	2701

Figura 95-4: Calidad de la malla con sizing 9mm del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

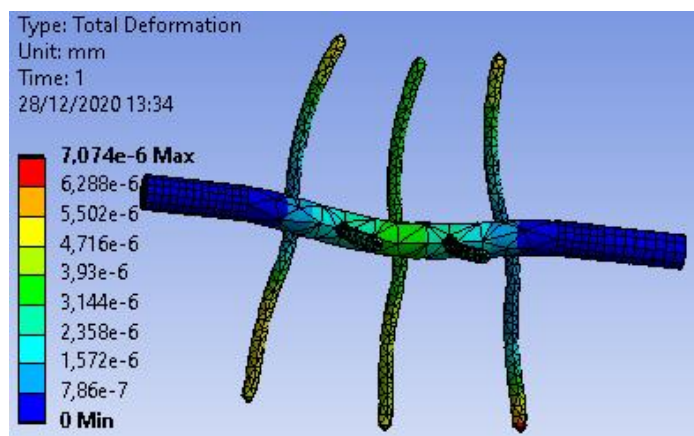


Figura 96-4: Resultados de deformación para el análisis 14 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

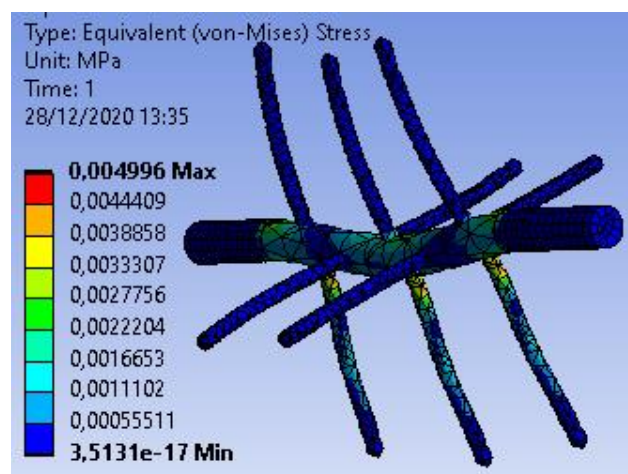


Figura 97-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 14 del elemento 2

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.2.1.15. *Análisis de resultados del elemento 2*

A continuación se muestra en la tabla 2-4 un resumen de los resultados obtenidos para el elemento 2 de todos los análisis ejecutados en el software ANSYS.

Tabla 2-4: Resultados obtenidos del elemento 2

No.	Tipo de malla	No. de nodos	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Factor de seguridad
1	Por defecto	14084	0,0000065296	0,0055119	2,7785E-08	15
2	Element Quality	14084	0,0000065296	0,0055119	2,7785E-08	15
3	Element Size 3mm	66502	0,0000064659	0,0089666	4,507E-08	15
4	Refinada en las cuchillas	44502	0,0000063877	0,0066992	3,5176E-08	15
5	Sizing 2mm	85907	0,0000062501	0,0071597	3,683E-08	15
6	Sizing 2,5mm	53527	0,0000063239	0,007249	3,7938E-08	15
7	Sizing 3mm	37865	0,0000063691	0,0055561	2,8695E-08	15
8	Sizing 3,5mm	25933	0,0000064835	0,0062296	3,1213E-08	15
9	Sizing 4mm	20279	0,0000064404	0,0056706	2,9005E-08	15
10	Sizing 5mm	14838	0,0000065729	0,0058208	2,9383E-08	15
11	Sizing 6mm	12258	0,0000065762	0,0050128	2,5401E-08	15
12	Sizing 7mm	9695	0,0000066463	0,0059612	2,9872E-08	15
13	Sizing 8mm	8568	0,0000066470	0,0050593	2,5384E-08	15
14	Sizing 9mm	8170	0,0000070740	0,004996	2,5098E-08	15

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Como se puede observar en el gráfico 3-4 se presenta el análisis de convergencia de los resultados de deformación del elemento 2, los valores de la deformación varían en función del número de nodos, por lo tanto se establece que la deformación para el elemento 2 se encuentra en el rango de 0,0000063239 a 0,000006647 mm, siendo estos resultados confiables ya que presentan una variación mínima entre los mismos de 0,0000001 mm.

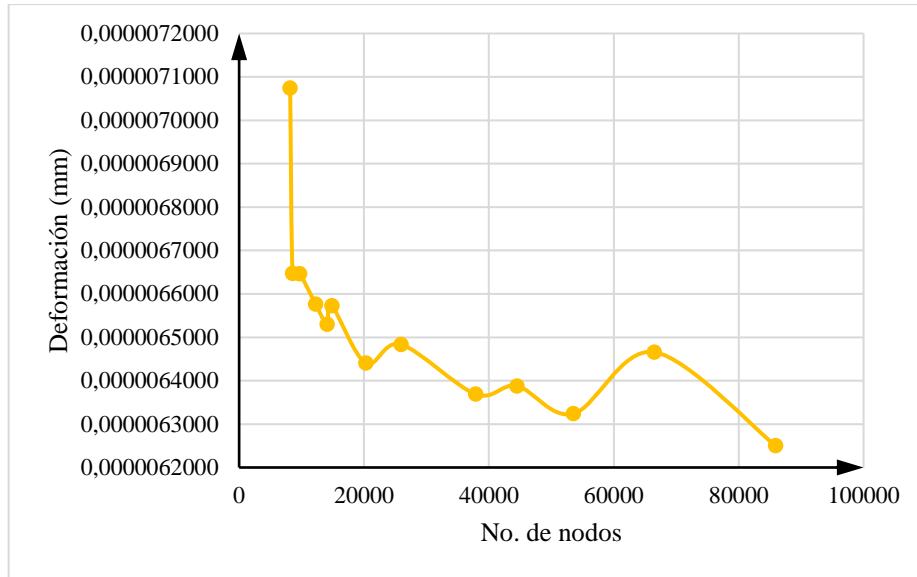


Gráfico 3-4. No. De nodos vs Deformación

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Como se puede observar en el gráfico 4-4 se presenta el análisis de convergencia de los resultados de esfuerzo del elemento 2, los valores del esfuerzo varían en función del número de nodos, por lo tanto se establece que el esfuerzo para el elemento 2 se encuentra en el rango de 0,004996 a 0,0066992 MPa, siendo estos resultados confiables ya que presentan una variación mínima entre los mismos de 0,0001 MPa.

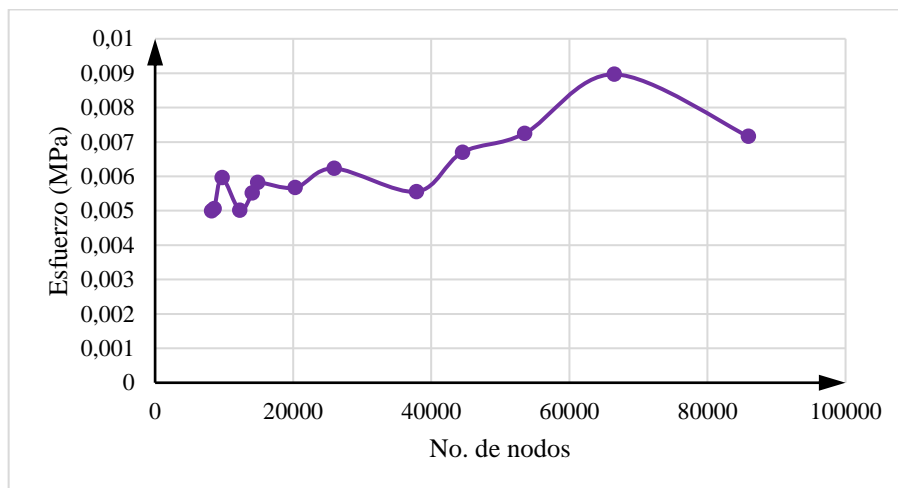


Gráfico 4-4. No. De nodos vs Esfuerzo

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3. Análisis estructural del elemento 3 y 4

4.3.1. Parámetros obtenidos o resultados obtenidos del elemento 3 y 4

Se realizaron varios análisis para obtener resultados más confiables y ejecutar un análisis de convergencia de los mismos para observar en que rango se encuentran dichos resultados.

4.3.1.1. Análisis 1

Tipo de malla: por defecto

En este análisis se escogió un mallado por defecto, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 98-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4.

Quality	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	

Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	52822
<input type="checkbox"/> Elements	24344

Figura 98-4: Calidad de la Malla por defecto para el elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

La deformación total del elemento 3 y 4 con el mallado por defecto se puede observar en la figura 99-4, en la misma se puede visualizar que la parte que no se deforma (valor cero o de color azul) son los ejes 3 y 4, y las varillas que permiten la conexión con la estructura, mientras que las partes que presentan una deformación máxima con un valor de 0,00000018465 mm (color rojo) es en los filos de los discos, los cuales rotan y están en contacto con el suelo quitando la maleza presente en el mismo; las otras partes del elemento muestran una variación de la deformación como se conserva en la figura 99-4 por la variación de los colores de los mismos.

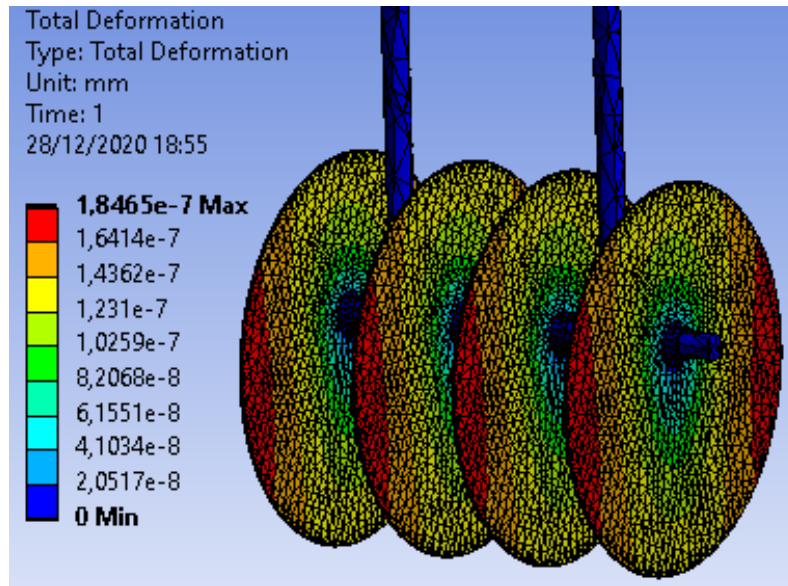


Figura 99-4: Resultados de deformación total para el análisis 1 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

En la figura 100-4 se puede visualizar el esfuerzo que tiene el elemento 3 y 4 con el mallado por defecto, donde se observa un esfuerzo máximo con un valor de 0,0008266 Mpa (color rojo) en la parte que une los discos con los ejes; en varias partes de los discos, en los ejes y en las varillas que permiten la conexión con la estructura el esfuerzo es mínimo con un valor de cero (color azul), mientras que en algunas partes de los discos el valor del esfuerzo es variable como se observa con la variación de coloración en los mismos.

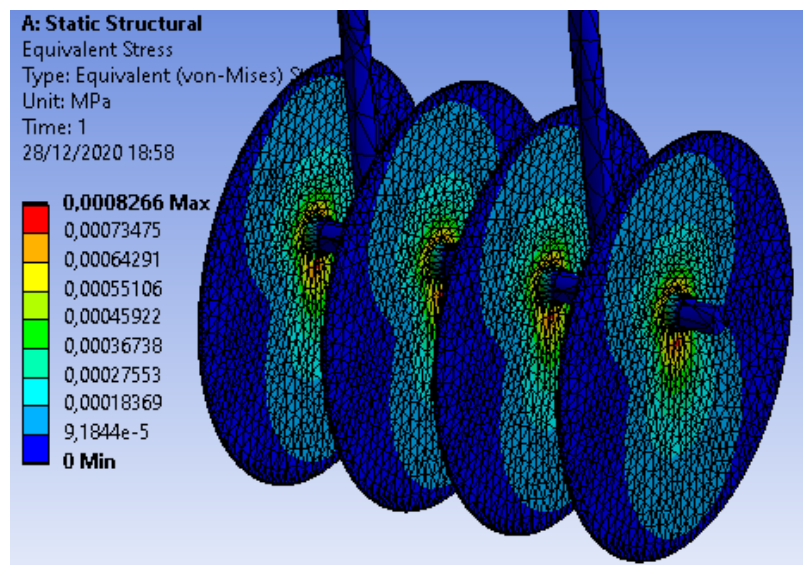


Figura 100-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 1 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación unitaria

La deformación unitaria del elemento 3 y 4 con el mallado por defecto se puede observar en la figura 101-4, en la misma se puede visualizar que las partes que no presentan deformación unitaria (valor cero y en color azul) es en varias partes de los discos, en los ejes y en las varillas que permiten la conexión con la estructura; casi no se observa la deformación unitaria máxima mostrada en valoración de colores con rojo; también se visualiza que en algunas partes del elemento 3 y 4 la deformación unitaria varía como se observa por la variación de colores que presentan las mismas.

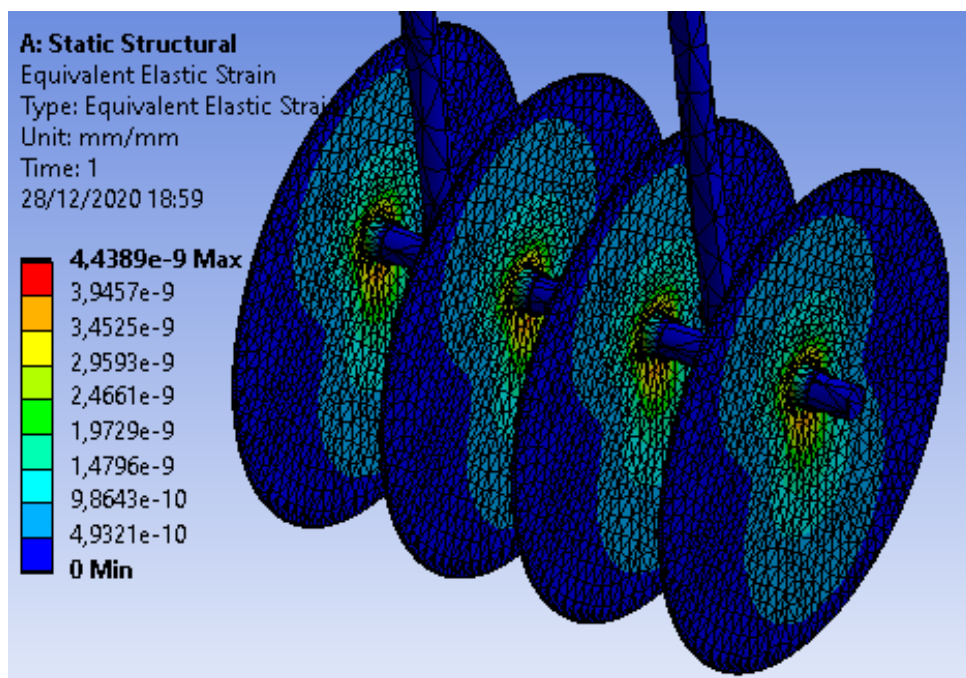


Figura 101-4: Resultados de deformación unitaria para el análisis 1 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Factor de seguridad

El factor de seguridad del elemento 3 y 4 con la malla por defecto como se visualiza en la figura 102-4 es confiable ya que el valor máximo es de 15 presentándose en todo el elemento 3 y 4; hay que notar también que se requiere de un coeficiente de seguridad mínimo de 2 para asegurar que el elemento no falle.

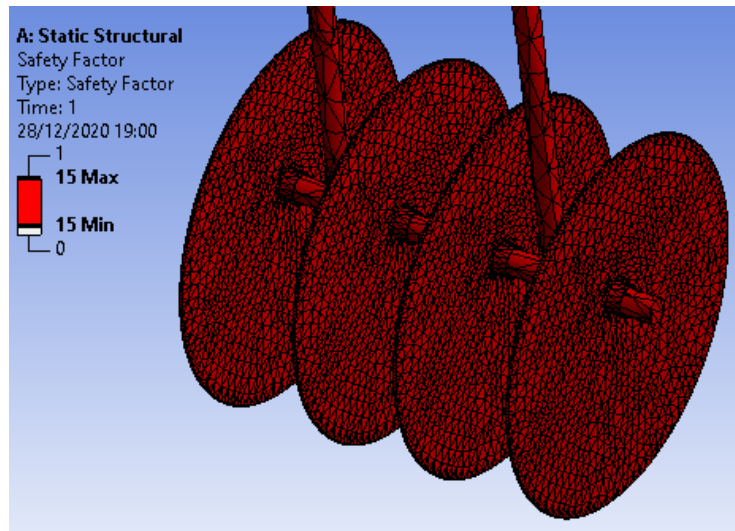


Figura 102-4: Resultados de factor de seguridad para el análisis 1 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.2. Análisis 2

Tipo de malla: con Element Quality

En este análisis se escogió un mallado con Element Quality para refinar los resultados, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 103-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4; en la figura 104-4 se observa las estadísticas de este mallado. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	7,7855e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,99842
<input type="checkbox"/> Average	0,40873
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,11356

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	52822
<input type="checkbox"/> Elements	24344

Figura 103-4: Calidad de la malla con Element Quality del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

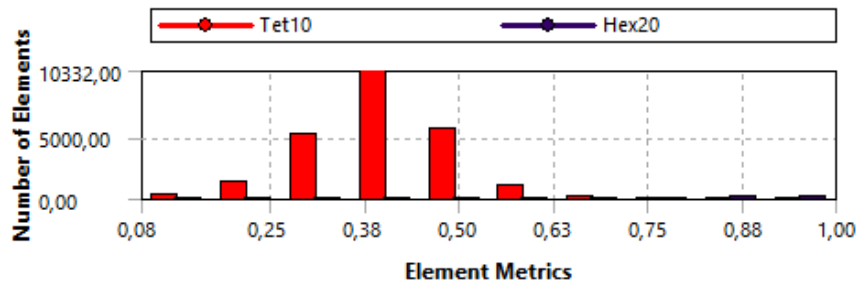


Figura 104-4: Estadística de la malla con Element Quality del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

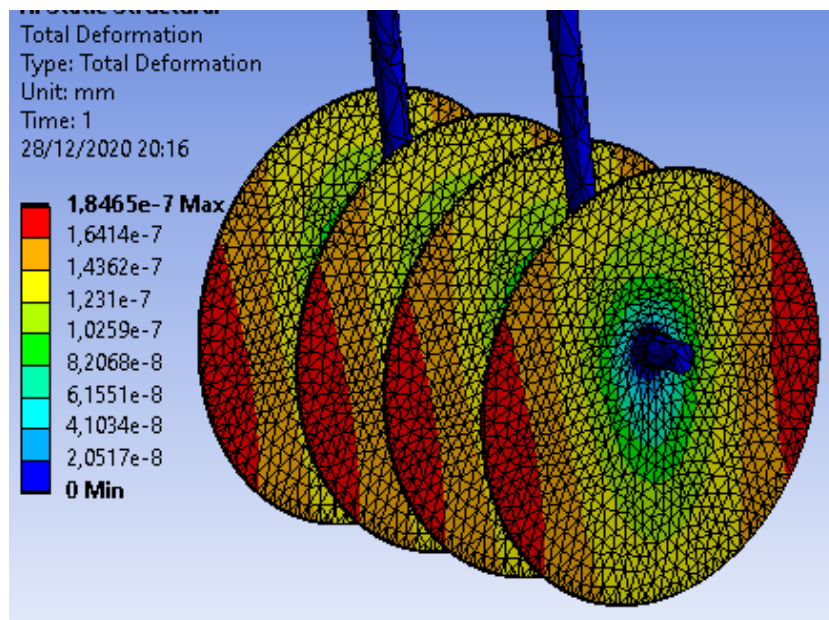


Figura 105-4: Resultados de deformación total para el análisis 2 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

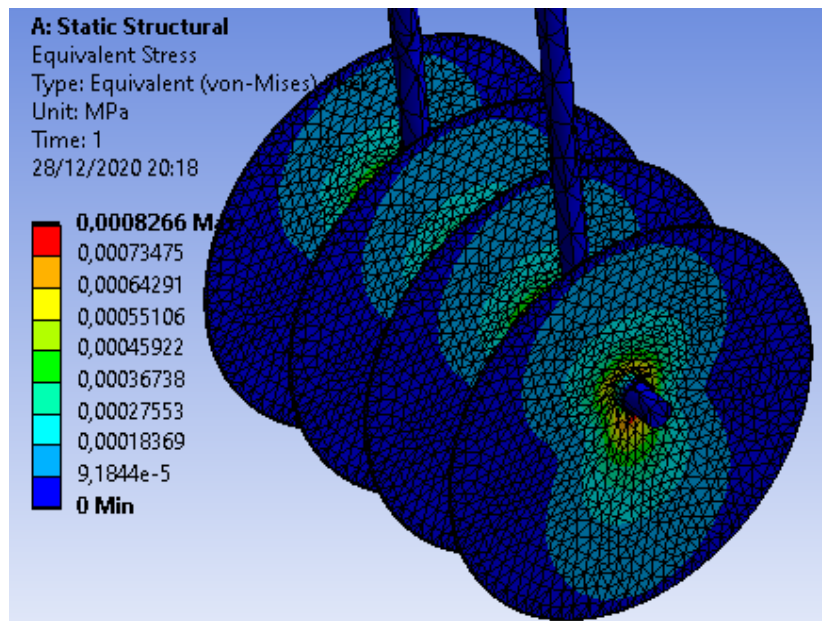


Figura 106-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 2 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación unitaria

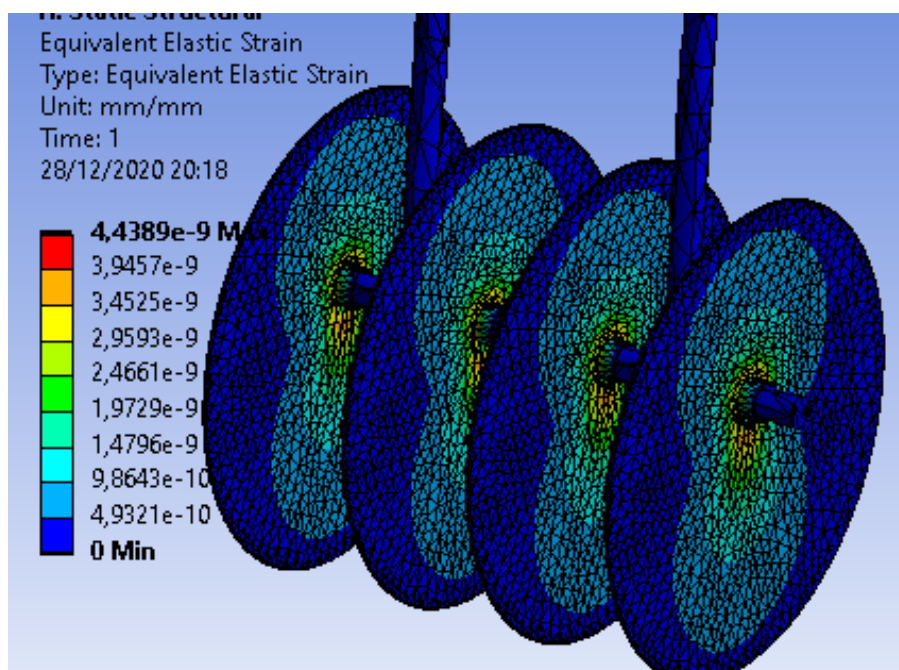


Figura 107-4: Resultados de deformación unitaria para el análisis 2 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Factor de seguridad

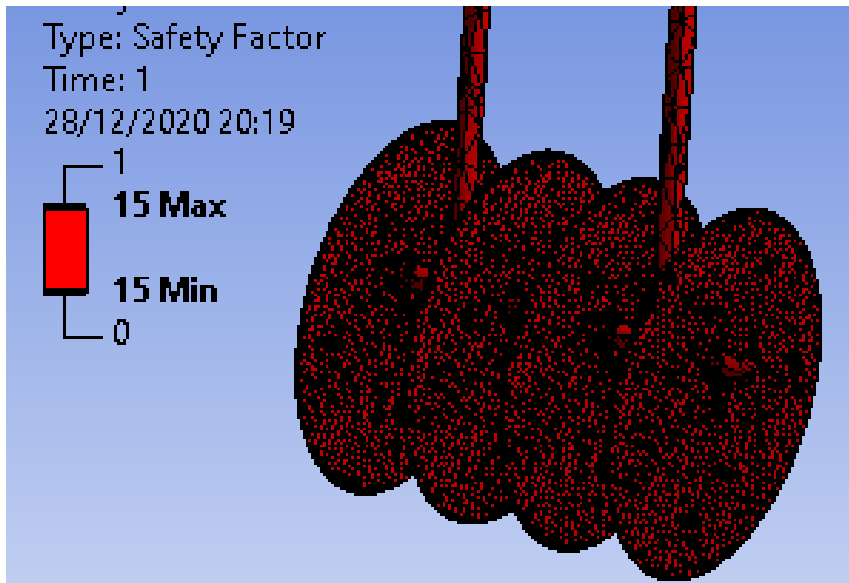


Figura 108-4: Resultados de factor de seguridad para el análisis 2 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.3. Análisis 3

Tipo de malla: refinada con element size 3mm

En este análisis se escogió un mallado refinado con element size 3mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 109-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

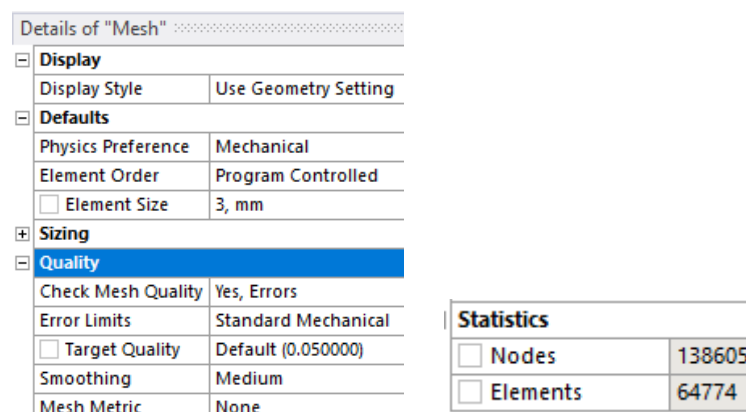


Figura 109-4: Calidad de la malla refinada del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

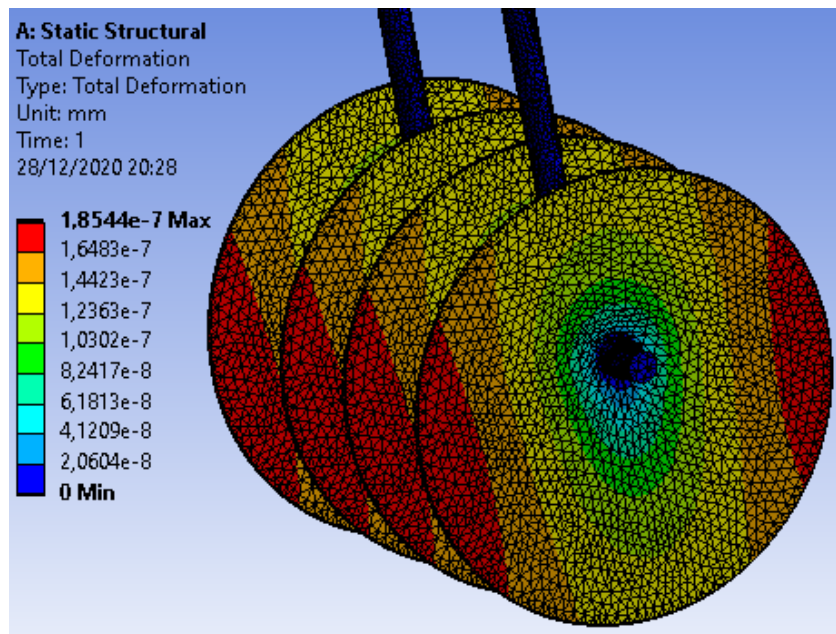


Figura 110-4: Resultados de deformación total para el análisis 3 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

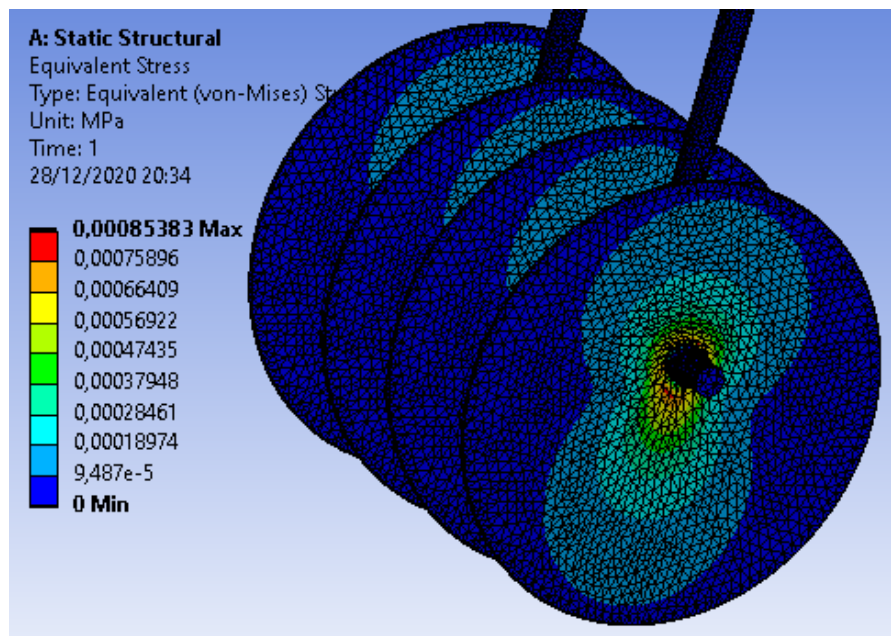


Figura 111-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 3 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.4. Análisis 4

Tipo de malla: refinada en las cuchillas

En este análisis se escogió un mallado refinado en las cuchillas, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 112-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Quality		Inflation	
Check Mesh Quality	Yes, Errors	Advanced	
Error Limits	Standard Mechanical	Statistics	
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	<input type="checkbox"/> Nodes	244589
Smoothing	Medium	<input type="checkbox"/> Elements	119675
Mesh Metric	None		

Figura 112-4: Calidad de la malla refinada en las cuchillas del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

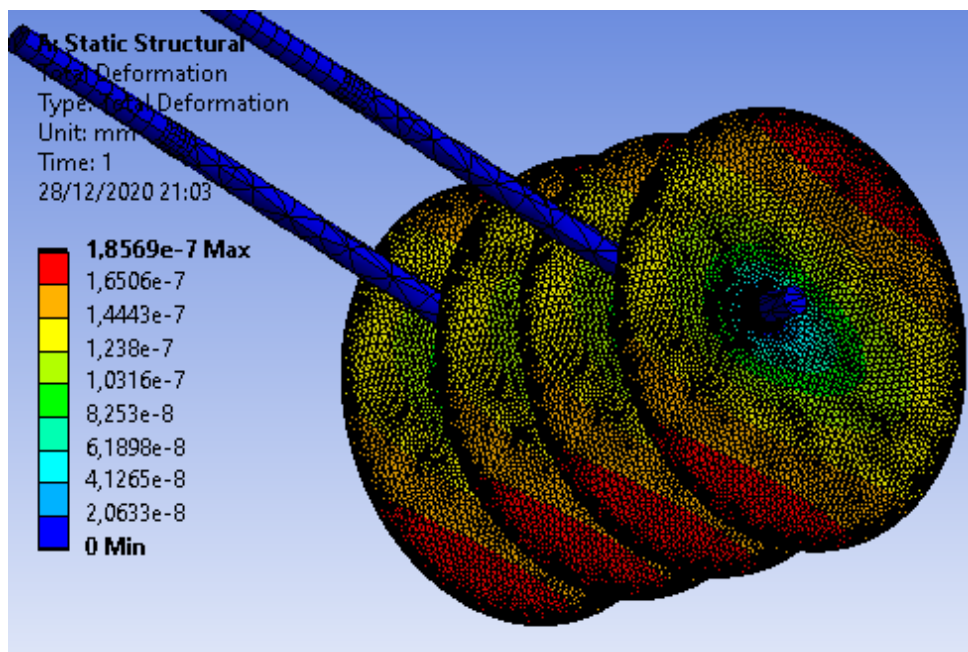


Figura 113-4: Resultados de deformación total para el análisis 4 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

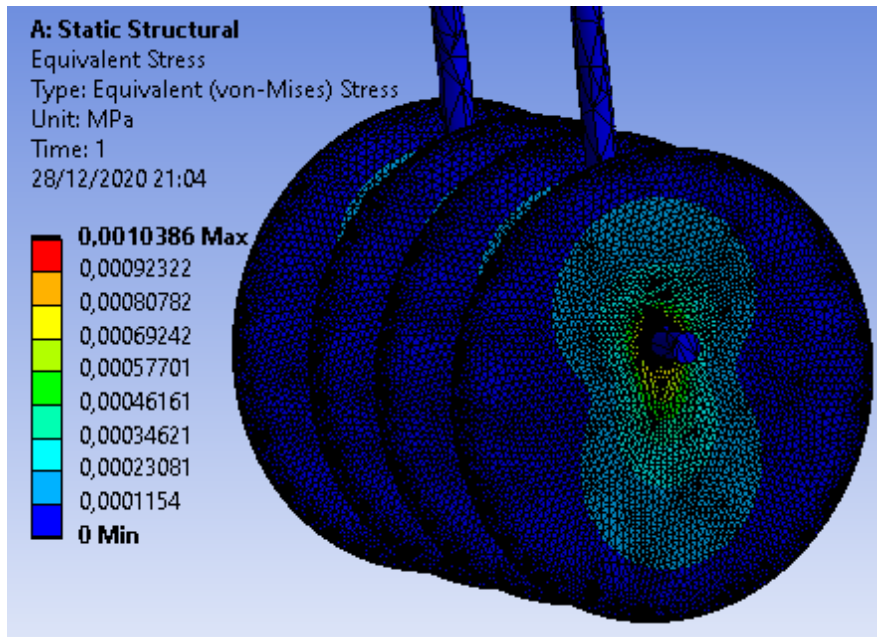


Figura 114-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 4 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.5. Análisis 5

Tipo de malla: con sizing 2mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 2 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 115-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

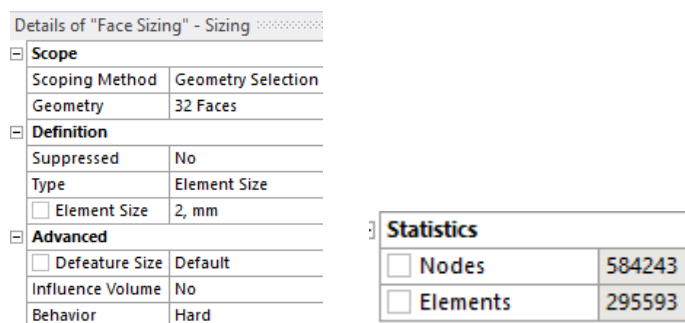


Figura 115-4: Calidad de la malla con sizing 2mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

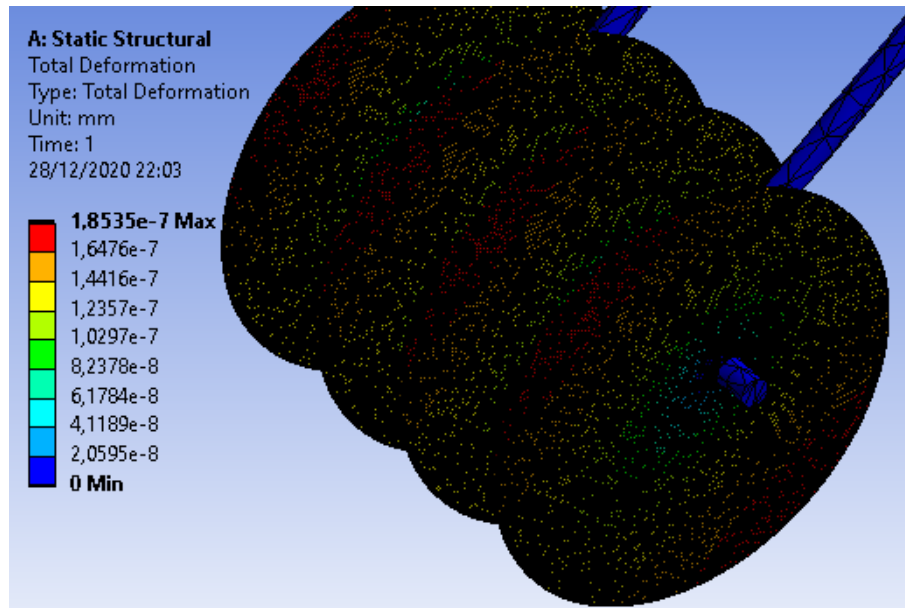


Figura 116-4: Resultados de deformación total para el análisis 5 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

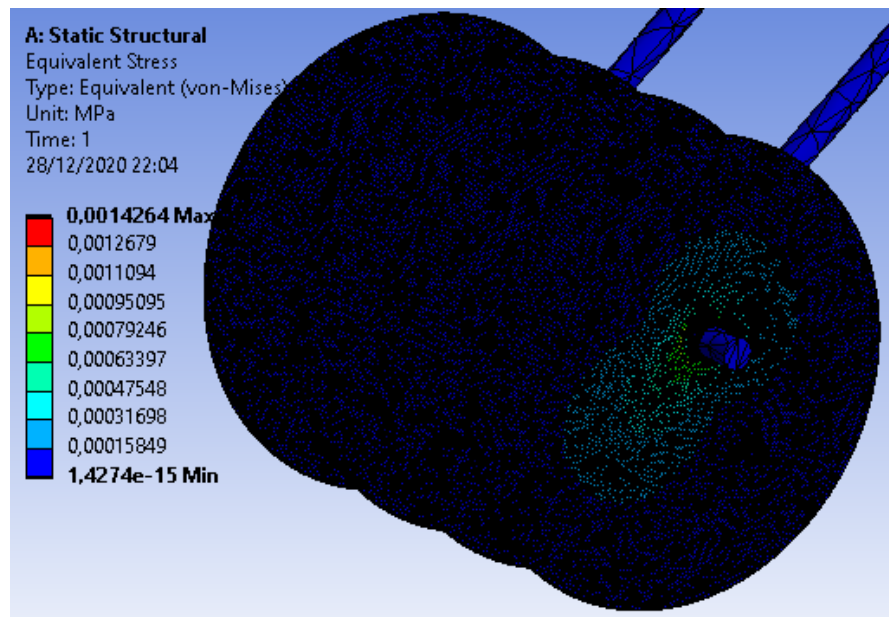


Figura 117-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 5 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.6. Análisis 6

Tipo de malla: con sizing 2.5mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 2.5 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 118-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Face Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	32 Faces
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	2,5 mm
Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Hard

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	360395
<input type="checkbox"/> Elements	177956

Figura 118-4: Calidad de la malla con sizing 2.5mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

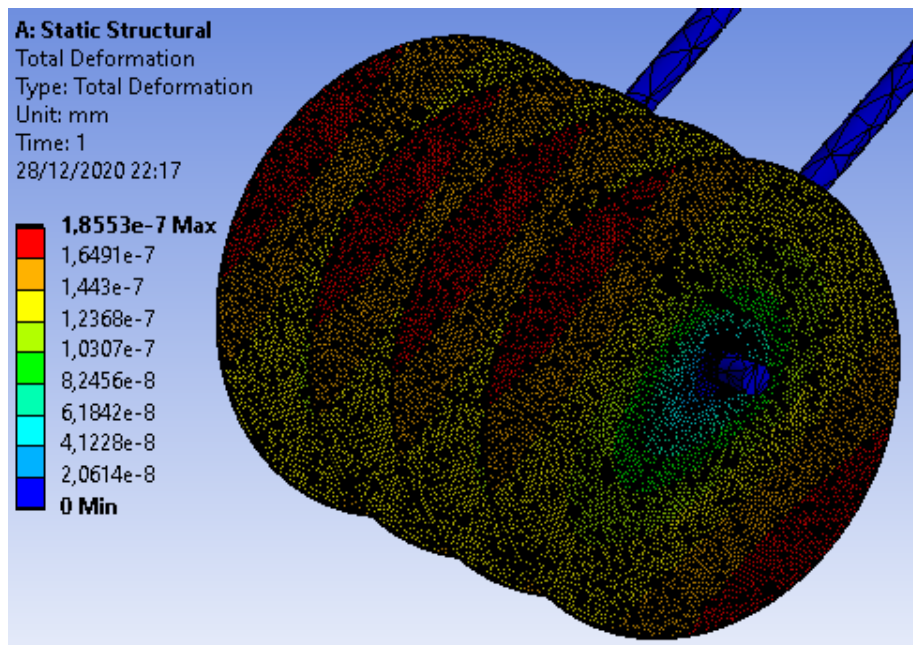


Figura 119-4: Resultados de deformación total para el análisis 6 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

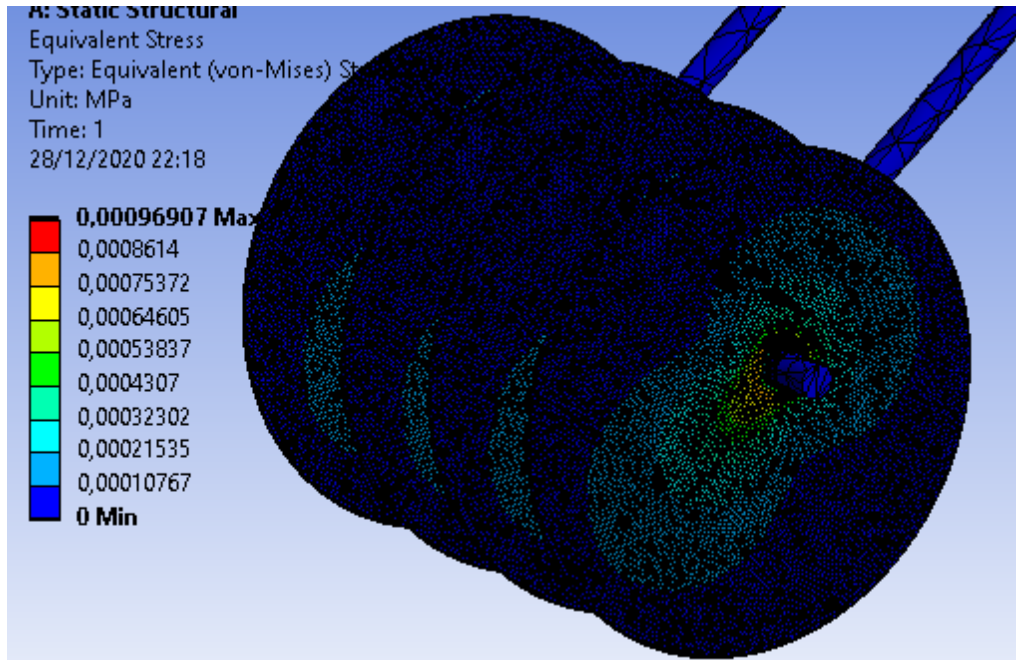


Figura 120-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 6 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.7. Análisis 7

Tipo de malla: con sizing 3mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 3 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 121-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

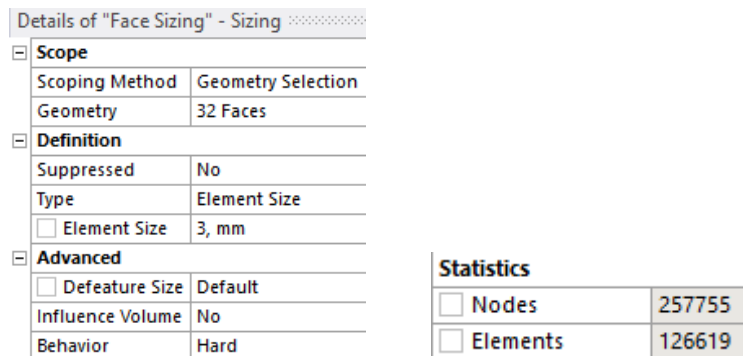


Figura 121-4: Calidad de la malla con sizing 3mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

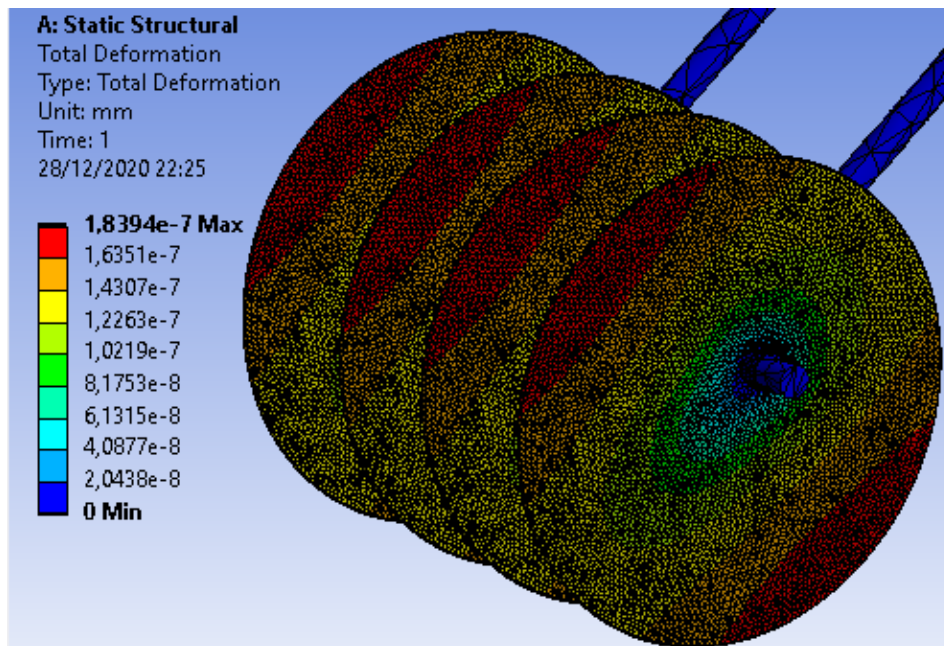


Figura 122-4: Resultados de deformación total para el análisis 7 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

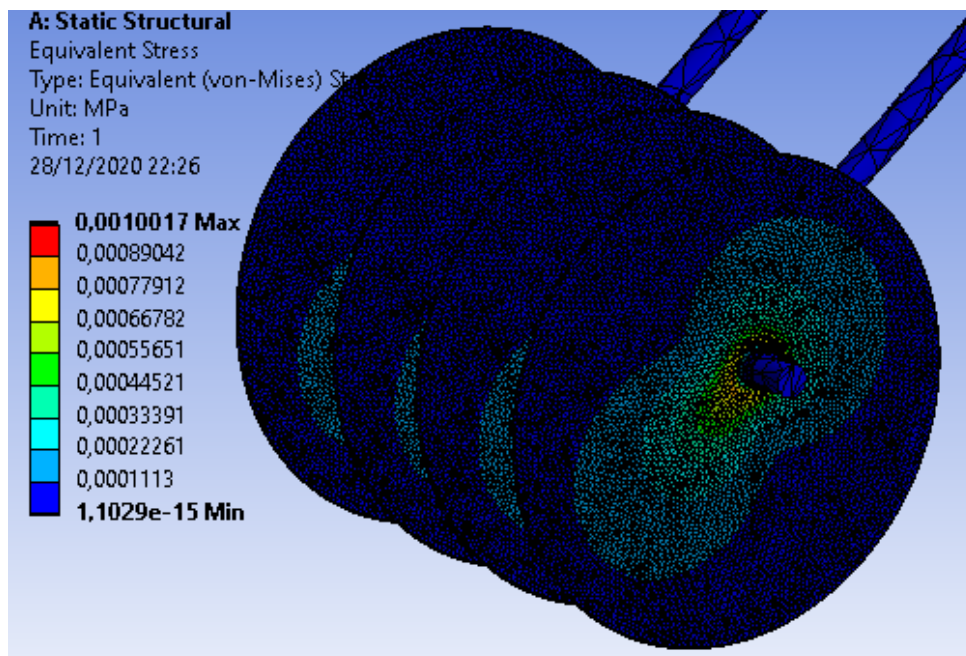


Figura 123-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 7 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.8. Análisis 8

Tipo de malla: con sizing 3.5mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 3.5 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 124-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

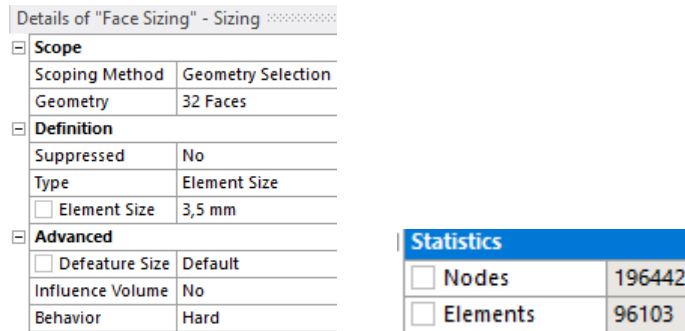


Figura 124-4: Calidad de la malla con sizing 3.5mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

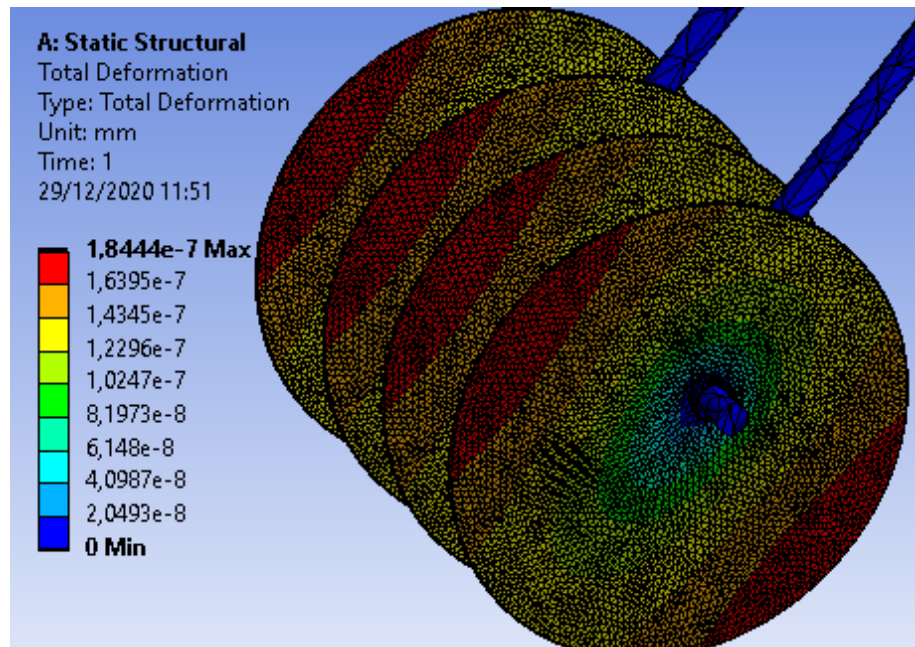


Figura 125-4: Resultados de deformación total para el análisis 8 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

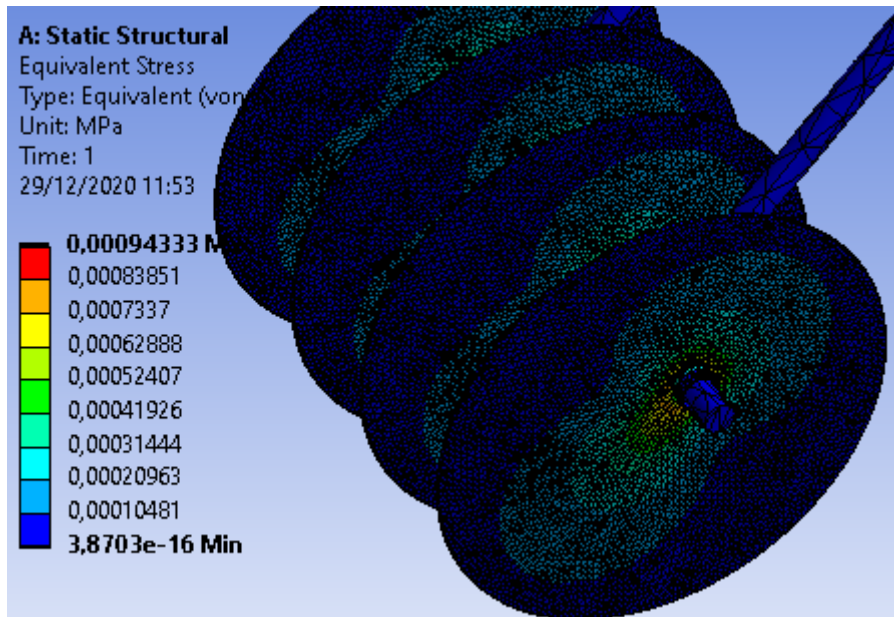


Figura 126-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 8 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.9. Análisis 9

Tipo de malla: con sizing 4mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 4 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 127-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

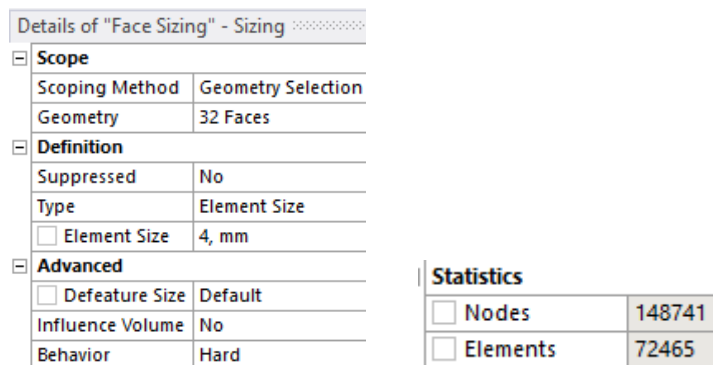


Figura 127-4: Calidad de la malla con sizing 4mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

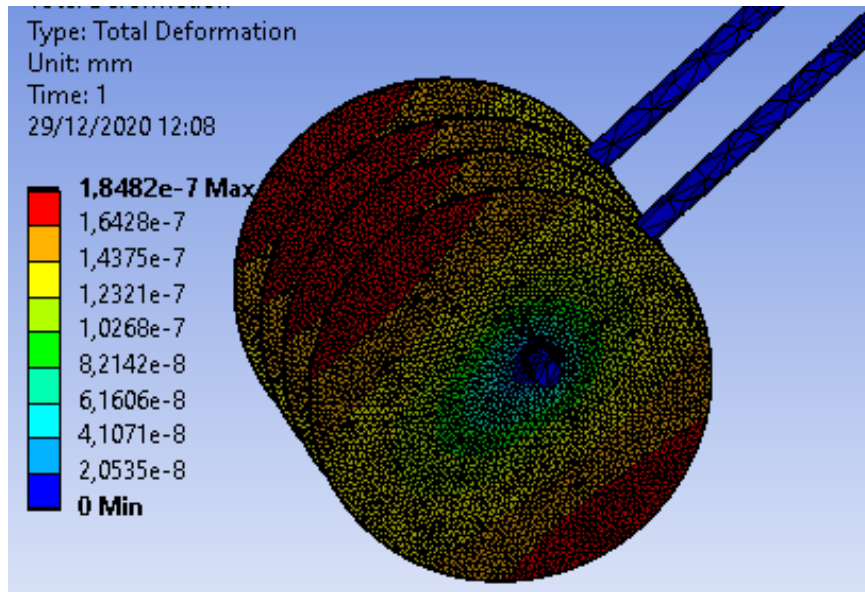


Figura 128-4: Resultados de deformación total para el análisis 9 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

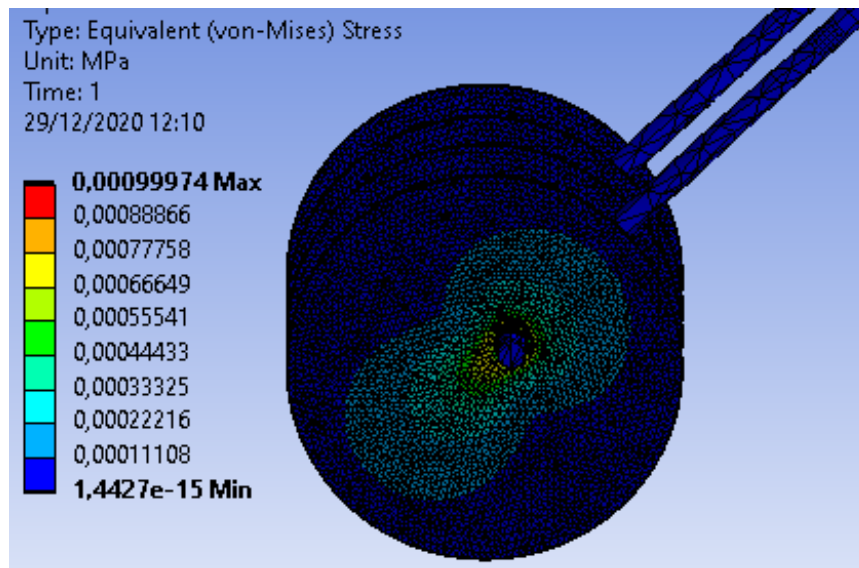


Figura 129-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 9 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.10. Análisis 10

Tipo de malla: con sizing 5mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 5 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 130-4, con especial atención el número de nodos del mallado de

este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

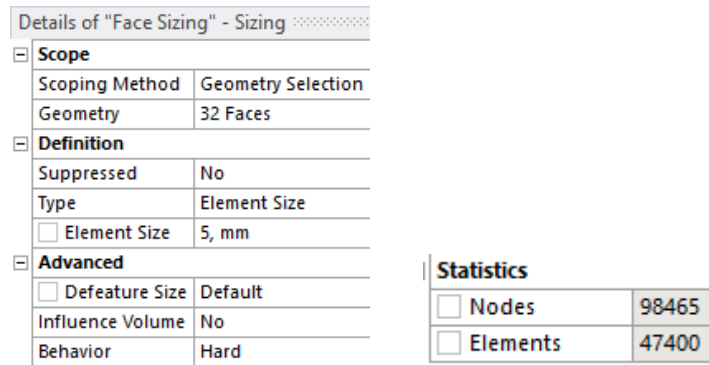


Figura 130-4: Calidad de la malla con sizing 5mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

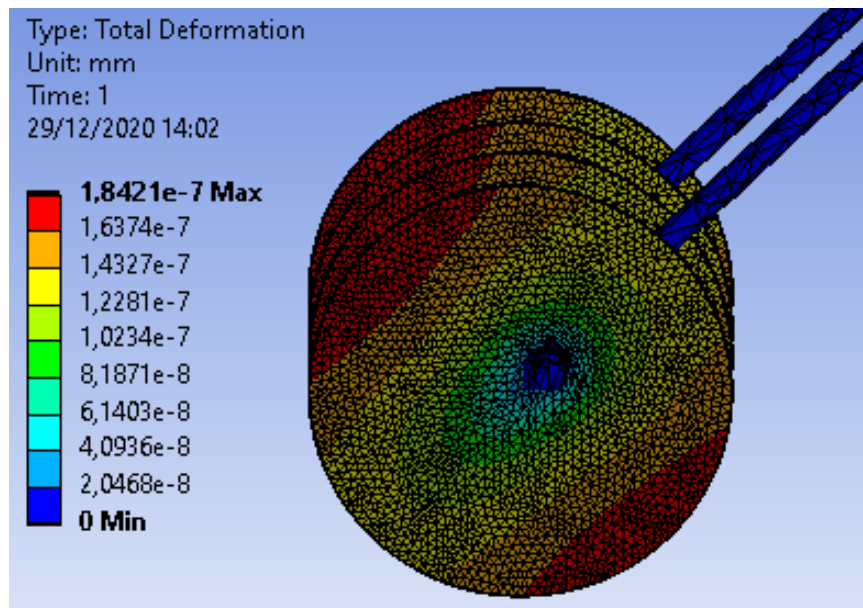


Figura 131-4: Resultados de deformación total para el análisis 10 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

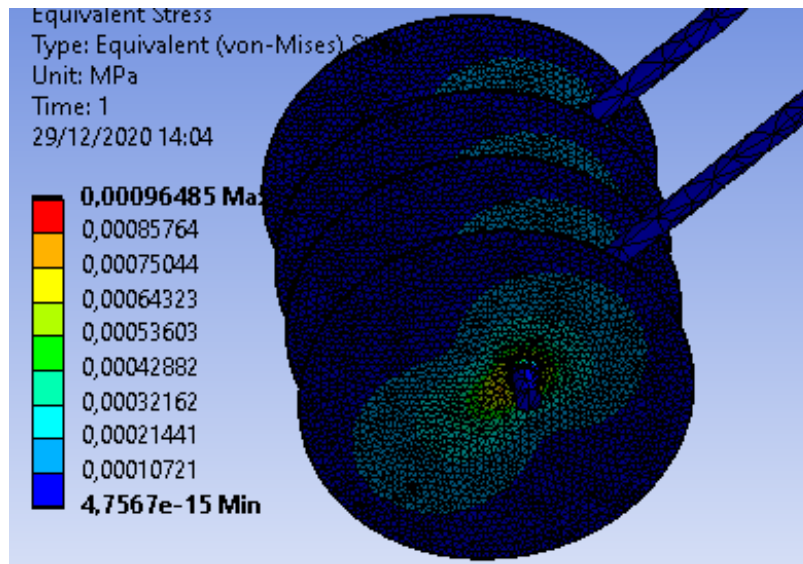


Figura 132-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 10 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.11. Análisis 11

Tipo de malla: con sizing 6mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 6 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 133-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

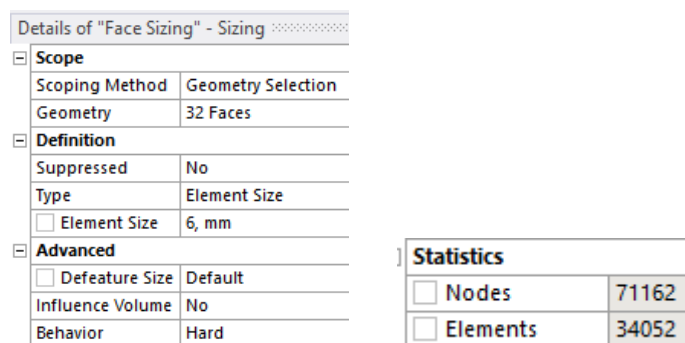


Figura 133-4: Calidad de la malla con sizing 6mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

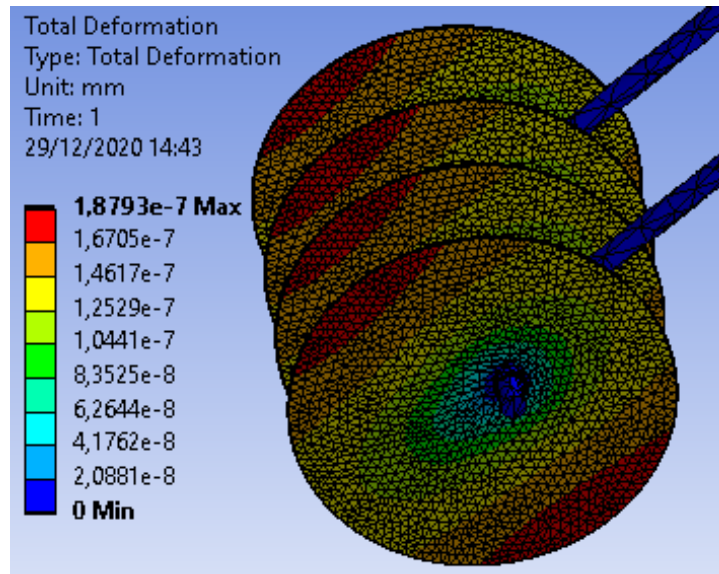


Figura 134-4: Resultados de deformación total para el análisis 11 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

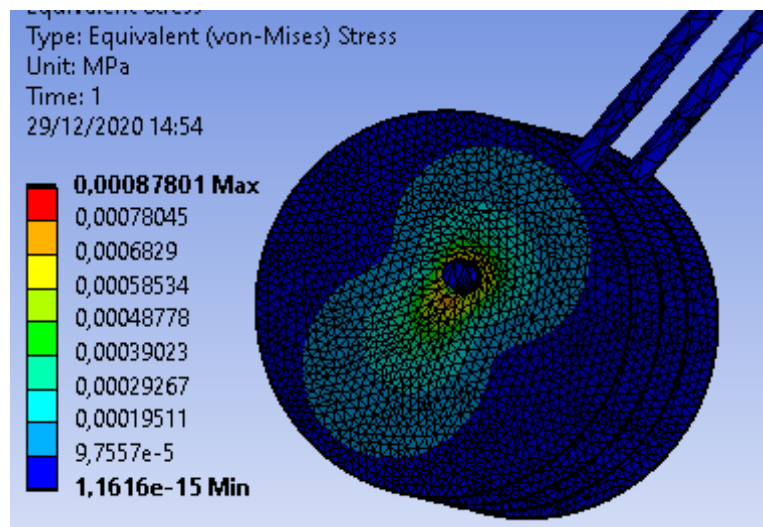


Figura 135-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 11 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.12. *Análisis 12*

Tipo de malla: con sizing 7mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 7 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 136-4, con especial atención el número de nodos del mallado de

este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Face Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	32 Faces
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	7, mm
Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Hard

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	53825
<input type="checkbox"/> Elements	25453

Figura 136-4: Calidad de la malla con sizing 7mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

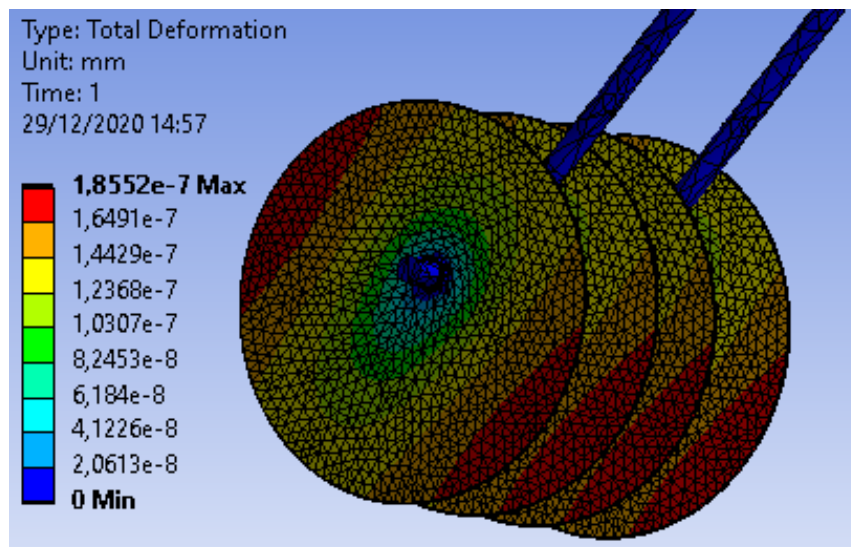


Figura 137-4: Resultados de deformación total para el análisis 12 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

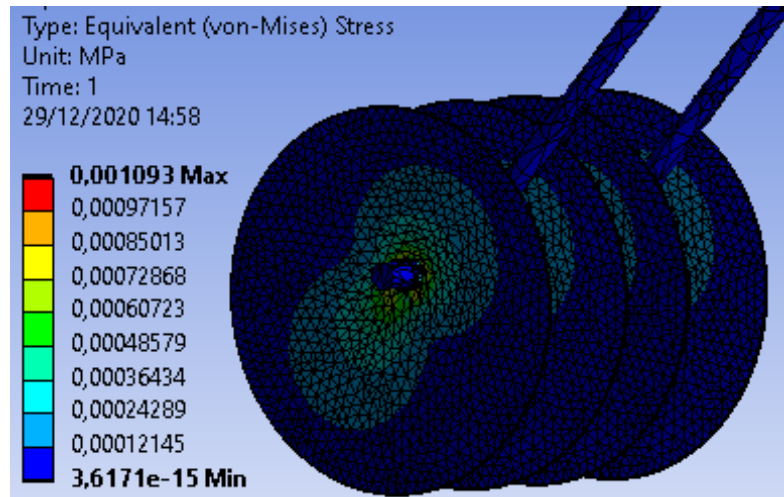


Figura 138-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 12 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.13. Análisis 13

Tipo de malla: con sizing 8mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 8 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 139-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

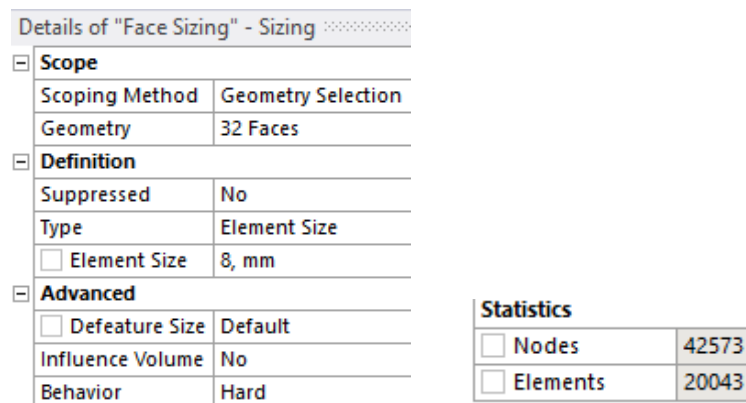


Figura 139-4: Calidad de la malla con sizing 8mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

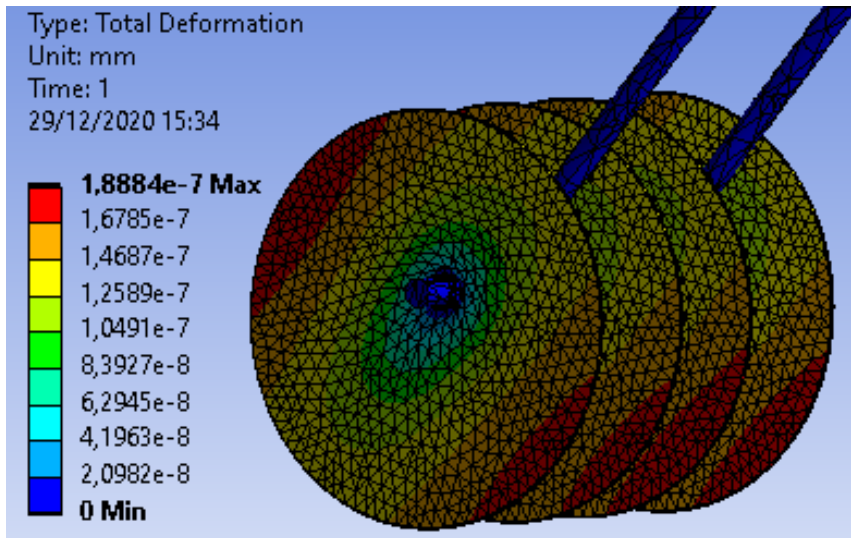


Figura 140-4: Resultados de deformación total para el análisis 13 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

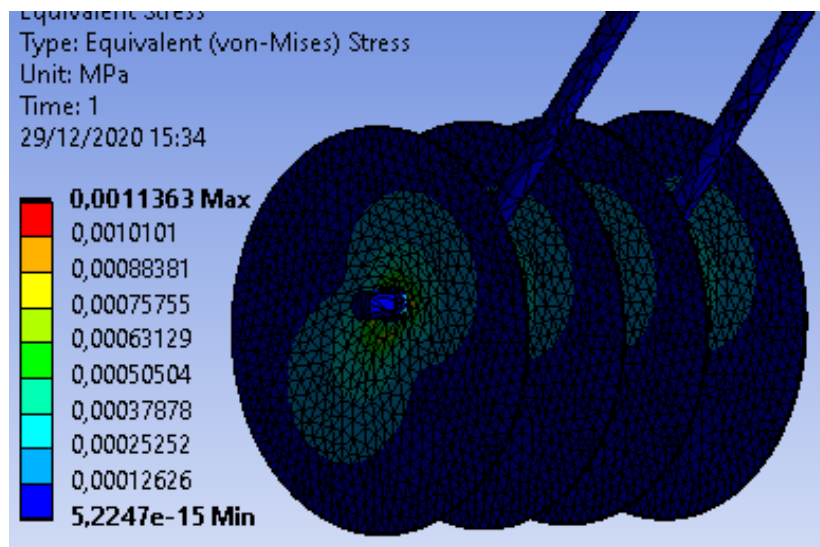


Figura 141-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 13 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.14. Análisis 14

Tipo de malla: con sizing 9mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 9 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 142-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los

resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Face Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	32 Faces
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	9, mm
Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Hard

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	35099
<input type="checkbox"/> Elements	16346

Figura 142-4: Calidad de la malla con sizing 9mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

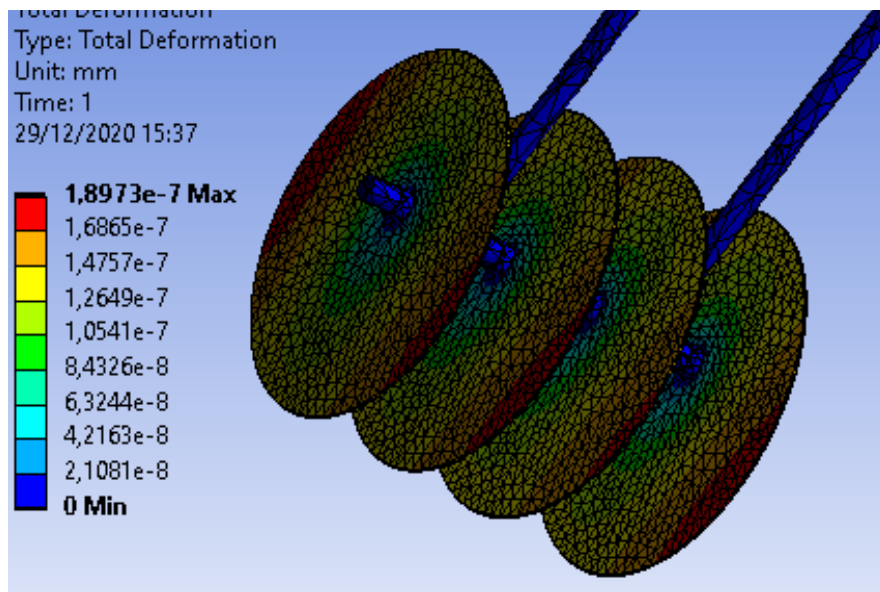


Figura 143-4: Resultados de deformación total para el análisis 14 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

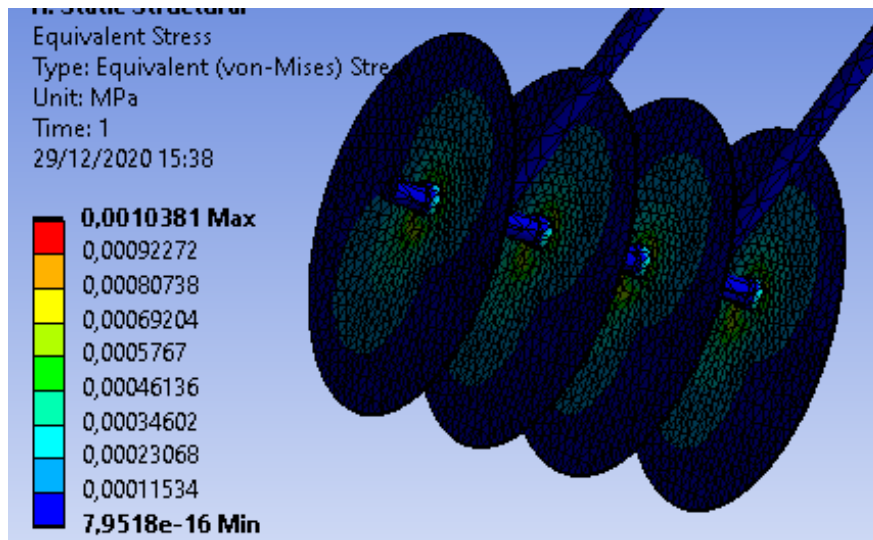


Figura 144-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 14 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.15. Análisis 15

Tipo de malla: con sizing 10mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 10 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 145-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 3 y 4. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

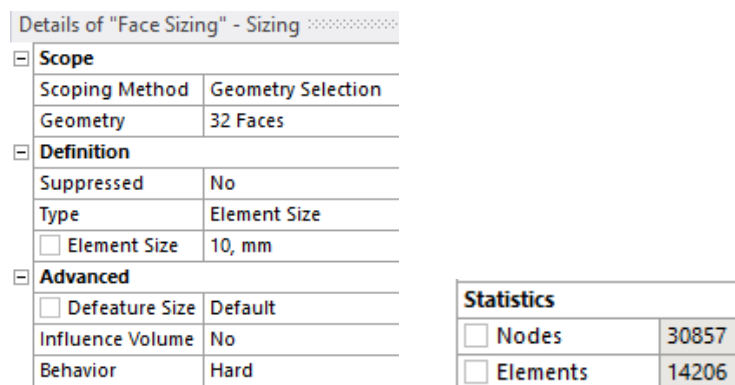


Figura 145-4: Calidad de la malla con sizing 10mm del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

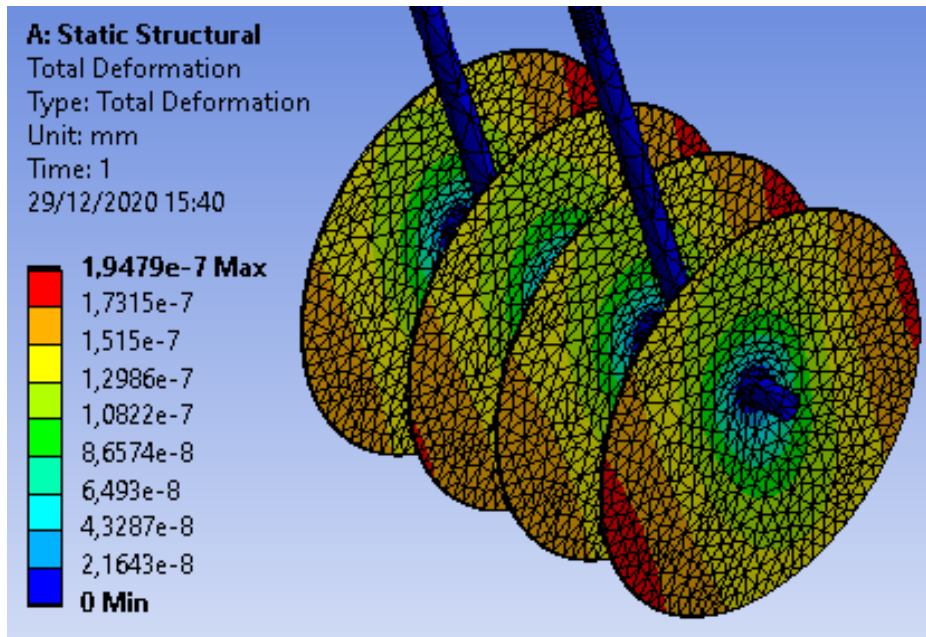


Figura 146-4: Resultados de deformación total para el análisis 15 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

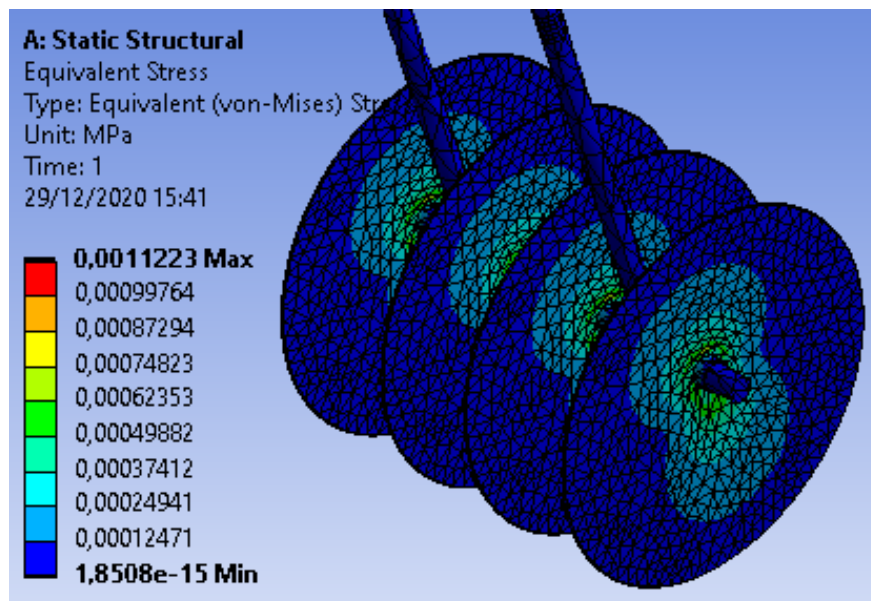


Figura 147-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 15 del elemento 3 y 4

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.3.1.16. *Análisis de resultados del elemento 3 y 4*

A continuación se muestra en la tabla 3-4 un resumen de los resultados obtenidos para el elemento 3 y 4 de todos los análisis ejecutados en el software ANSYS.

Tabla 3-4: Resultados obtenidos del elemento 3 y 4

No.	Tipo de malla	No. de nodos	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Factor de seguridad
1	Por defecto	52822	0,0000001847	0,0008266	4,4389E-09	15
2	Element Quality	52822	0,0000001847	0,0008266	4,4389E-09	15
3	Element Size 3mm	138605	0,0000001854	0,00085383	4,711E-09	15
4	Refinada en las cuchillas	244589	0,0000001857	0,0010386	5,8517E-09	15
5	Sizing 2mm	584243	0,0000001854	0,0014264	9,293E-09	15
6	Sizing 2,5mm	360395	0,0000001855	0,00096907	5,9899E-09	15
7	Sizing 3mm	257755	0,0000001839	0,0010017	5,0989E-09	15
8	Sizing 3,5mm	196442	0,0000001844	0,00094333	4,8841E-09	15
9	Sizing 4mm	148741	0,0000001848	0,00099974	5,6516E-09	15
10	Sizing 5mm	98465	0,0000001842	0,00096485	5,6255E-09	15
11	Sizing 6mm	71162	0,0000001879	0,00087801	5,0935E-09	15
12	Sizing 7mm	53825	0,0000001855	0,001093	5,642E-09	15
13	Sizing 8mm	42573	0,0000001888	0,0011363	5,8011E-09	15
14	Sizing 9mm	35099	0,0000001897	0,0010381	5,6653E-09	15
15	Sizing 10mm	30857	0,0000001948	0,0011223	5,8701E-09	15

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Como se puede observar en el gráfico 5-4 se presenta el análisis de convergencia de los resultados de deformación del elemento 3 y 4, los valores de la deformación varían en función del número de nodos, por lo tanto se establece que la deformación para el elemento 3 y 4 se encuentra en el rango de 0,0000001839 a 0,0000001879 mm, siendo estos resultados confiables ya que presentan una variación mínima entre los mismos de 0,000000001 mm.

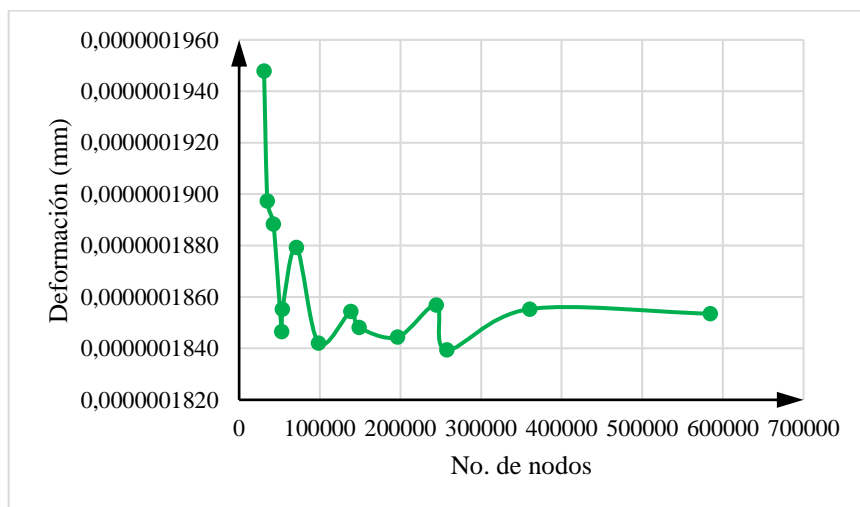


Gráfico 5-4. No. De nodos vs Deformación

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Como se puede observar en el gráfico 6-4 se presenta el análisis de convergencia de los resultados de esfuerzo del elemento 3 y 4, los valores del esfuerzo varían en función del número de nodos, por lo tanto se establece que el esfuerzo para el elemento 3 y 4 se encuentra en el rango de 0,0008266 a 0,0011363 MPa, siendo estos resultados confiables ya que presentan una variación mínima entre los mismos de 0,00001 MPa.

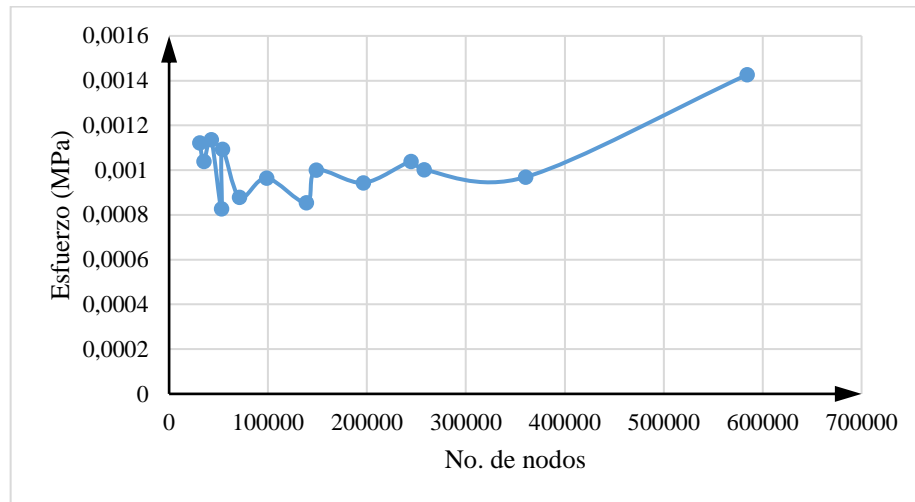


Gráfico 6-4. No. De nodos vs Esfuerzo

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.4. Análisis estructural del elemento 5

4.4.1. Parámetros obtenidos o resultados obtenidos del elemento 5

Se realizaron varios análisis para obtener resultados más confiables y ejecutar un análisis de convergencia de los mismos para observar en que rango se encuentran dichos resultados.

4.4.1.1. Análisis 1

Tipo de malla: por defecto

En este análisis se escogió un mallado por defecto, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 148-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 5.

Quality		Statistics	
Check Mesh Quality	Yes, Errors	<input type="checkbox"/> Nodes	14656
Error Limits	Standard Mechanical	<input type="checkbox"/> Elements	11009
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)		
Smoothing	Medium		
Mesh Metric	None		

Figura 148-4: Calidad de la Malla por defecto del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

La deformación total del elemento 5 con el mallado por defecto se puede observar en la figura 149-4, en la misma se puede visualizar que la parte que no se deforma (valor cero o de color azul) son las partes que van conectadas con las chumaceras, mientras que las partes que presenta una deformación máxima con un valor de 0,079783 mm (color rojo) es en el manubrio donde se ejerce la fuerza de empuje por el usuario de la máquina; las otras partes del elemento muestran una deformación promedio que no se acerca al valor máximo.

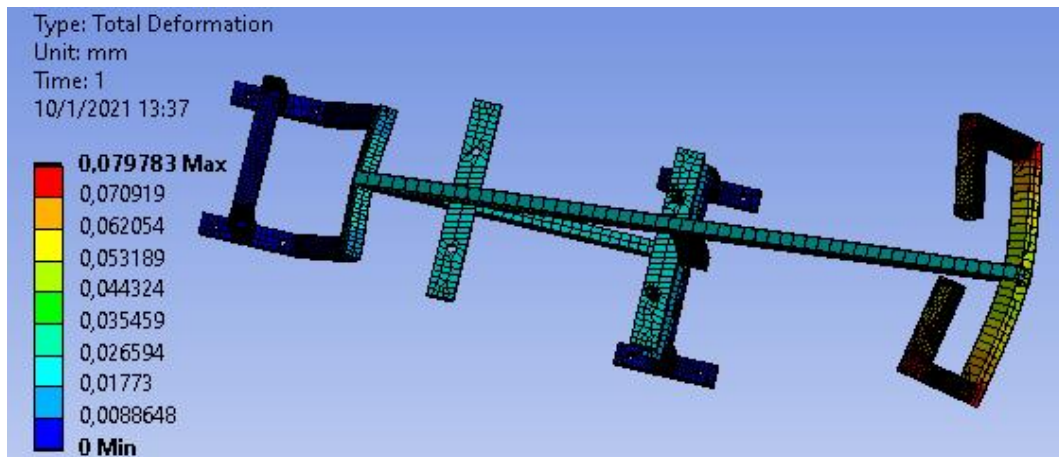


Figura 149-4: Resultados de deformación total para el análisis 1 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

En la figura 150-4 se puede visualizar el esfuerzo que tiene el elemento 5 con el mallado por defecto, donde se observa un esfuerzo máximo con un valor de 26,023 Mpa (color rojo) en la parte central del manubrio; en la mayoría de partes de la estructura el esfuerzo es mínimo con un valor de cero (color azul), mientras que en las partes cercanas al centro del manubrio el valor del esfuerzo es variable como se observa con la variación de coloración en las mismas.

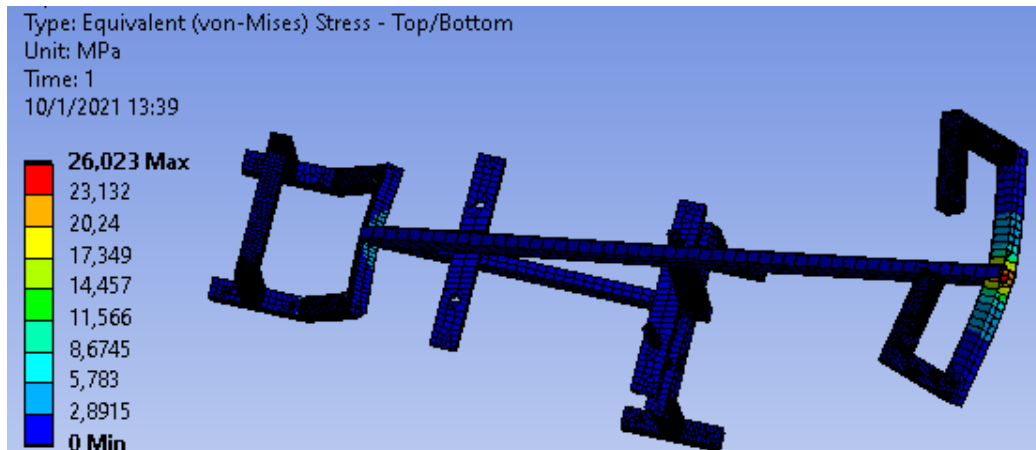


Figura 150-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 1 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación unitaria

La deformación unitaria del elemento 5 con el mallado por defecto se puede observar en la figura 151-4, en la misma se puede visualizar que en la mayoría de partes de la estructura la deformación unitaria es cero (color azul); la deformación unitaria máxima mostrada (color rojo) se encuentra en la mitad del manubrio con un valor de 0,0001316; también se visualiza que en algunas partes del elemento 5 la deformación unitaria varía como se observa por la variación de colores que presentan las mismas.

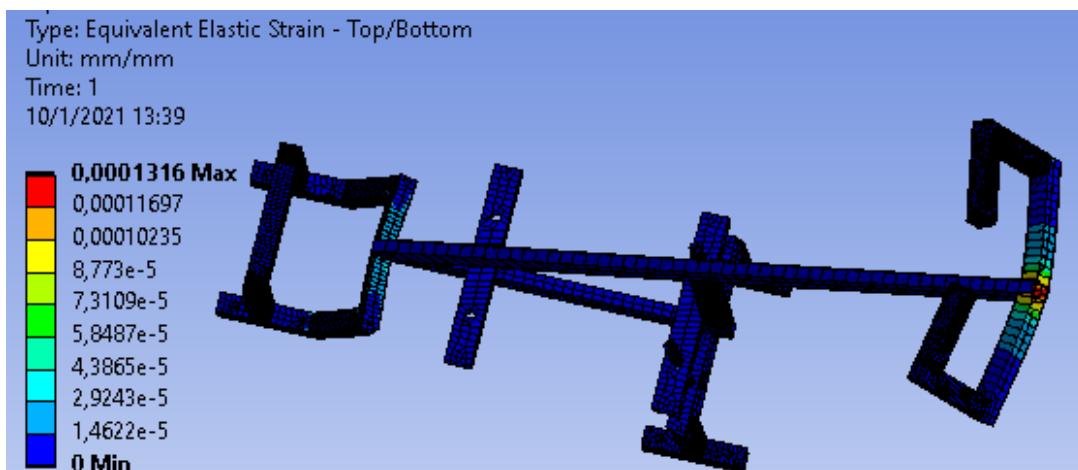


Figura 151-4: Resultados de deformación unitaria para el análisis 1 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Factor de seguridad

El factor de seguridad del elemento 5 con la malla por defecto como se visualiza en la figura 152-4 es confiable ya que el valor máximo es de 15 presentándose en todo el elemento 5 (color azul); hay que notar también que se requiere de un coeficiente de seguridad mínimo de 2 para asegurar que el elemento no falle.

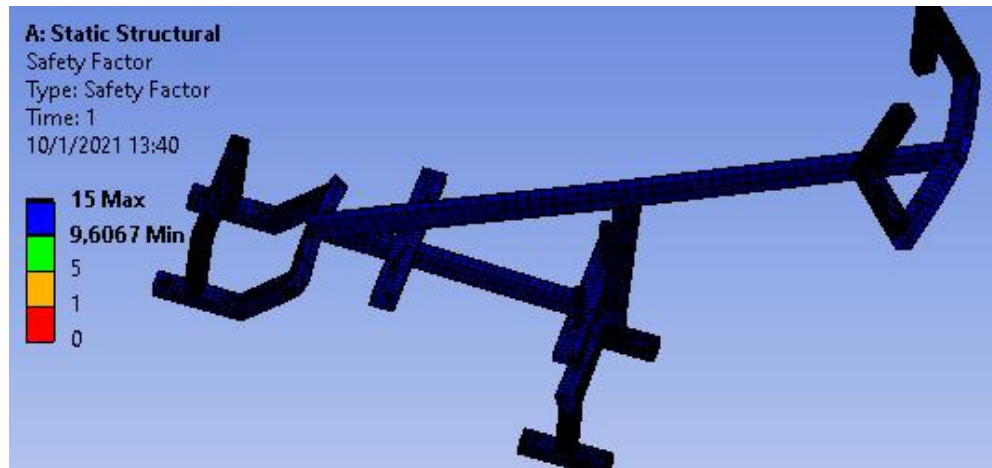


Figura 152-4: Resultados de factor de seguridad para el análisis 1 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.4.1.2. Análisis 2

Tipo de malla: con Element Quality

En este análisis se escogió un mallado con Element Quality para refinar los resultados, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 153-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 5; en la figura 154-4 se observa las estadísticas de este mallado. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Quality	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,16862
<input type="checkbox"/> Max	0,99869
<input type="checkbox"/> Average	0,76433
<input type="checkbox"/> Standard Devi...	0,13317

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	14656
<input type="checkbox"/> Elements	11009

Figura 153-4: Calidad de la malla con Element Quality del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

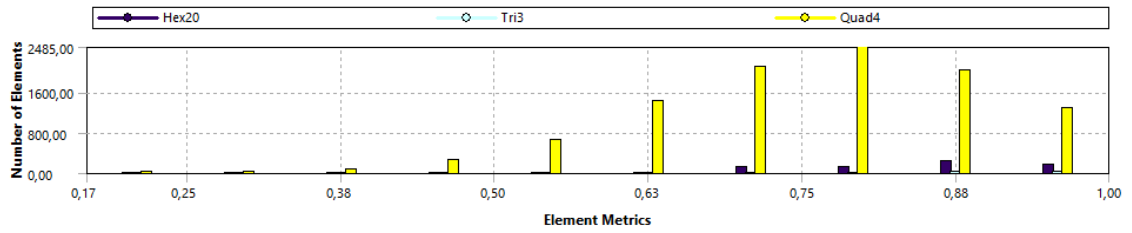


Figura 154-4: Estadística de la malla con Element Quality del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

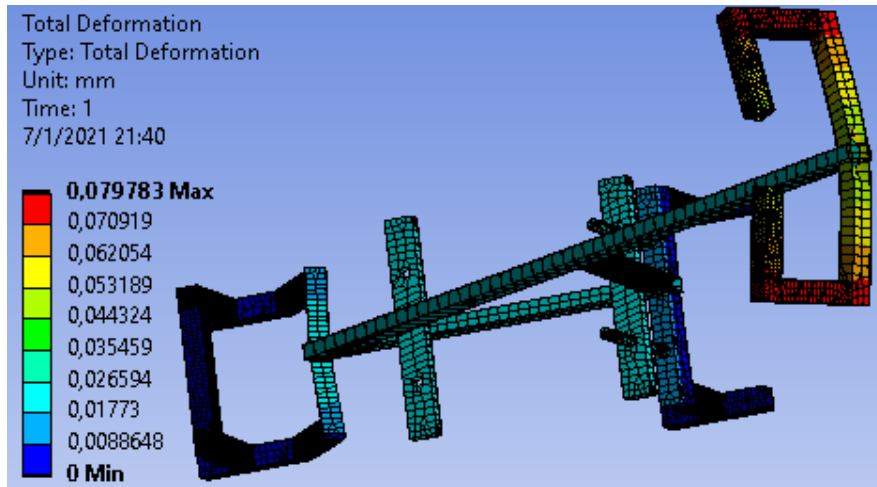


Figura 155-4: Resultados de deformación total para el análisis 2 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

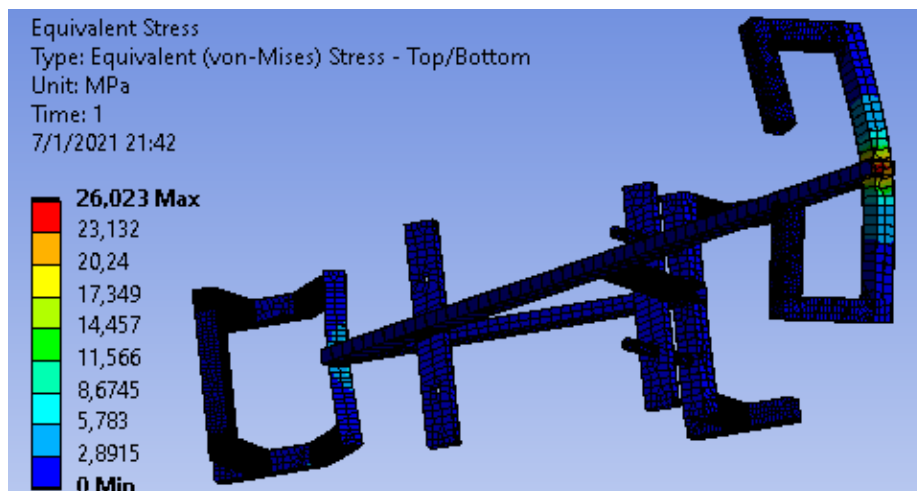


Figura 156-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 2 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación unitaria

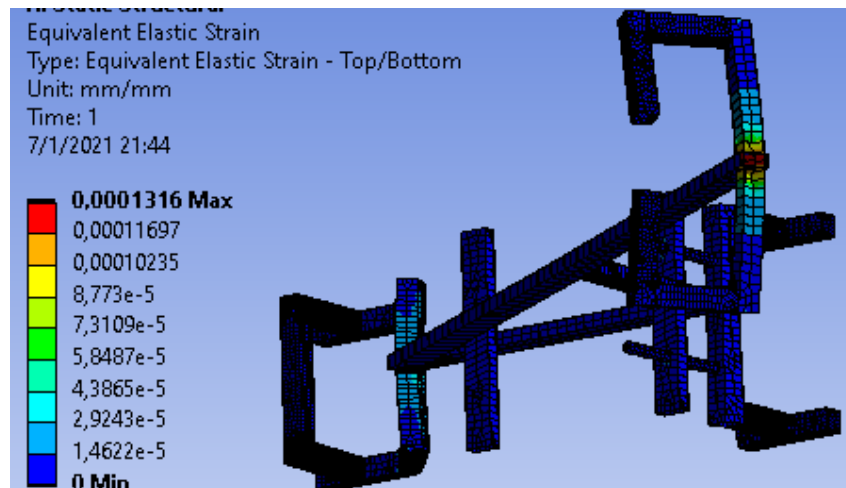


Figura 157-4: Resultados de deformación unitaria para el análisis 2 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Factor de seguridad

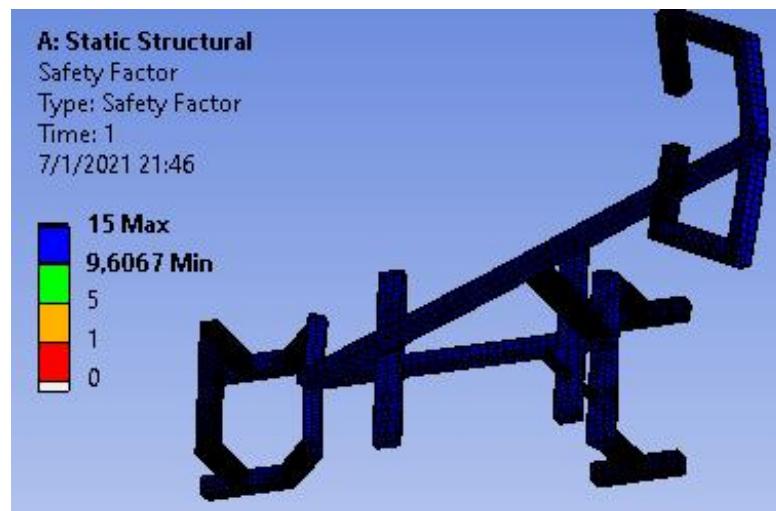


Figura 158-4: Resultados de factor de seguridad para el análisis 2 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.4.1.3. Análisis 3

Tipo de malla: refinada en los soportes de conexión

En este análisis se escogió un mallado refinado en los soportes de conexión, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 159-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de

convergencia de los resultados del elemento 5. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Quality		Inflation	
Check Mesh Quality	Yes, Errors	Advanced	
Error Limits	Standard Mechanical	Statistics	
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)	<input type="checkbox"/> Nodes	31667
Smoothing	Medium	<input type="checkbox"/> Elements	28681
Mesh Metric	None		

Figura 159-4: Calidad de la malla refinada en los soportes de conexión del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

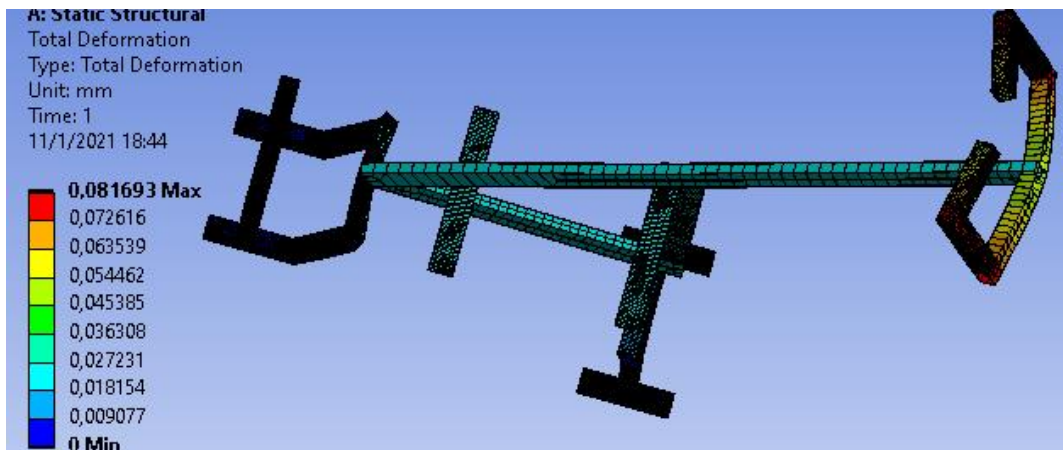


Figura 160-4: Resultados de deformación total para el análisis 3 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

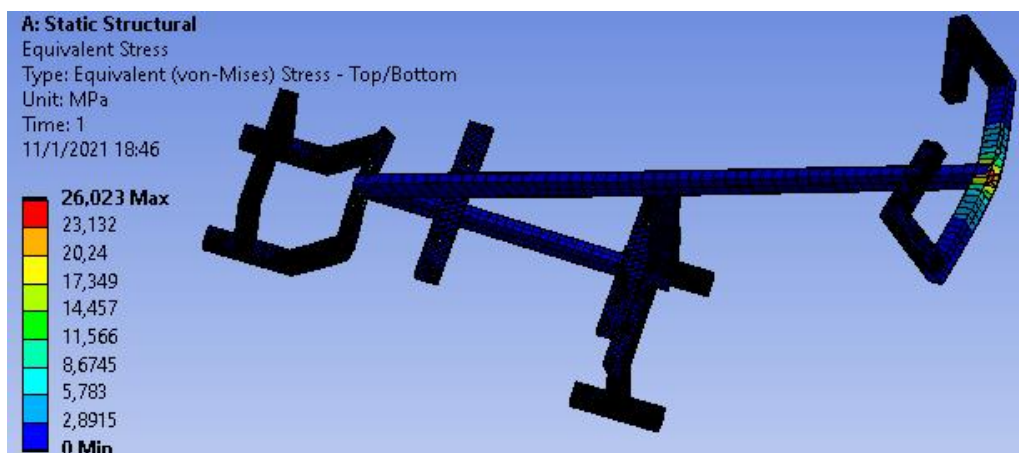


Figura 161-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 3 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.4.1.4. Análisis 4

Tipo de malla: con sizing 2mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 2 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 162-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 5. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

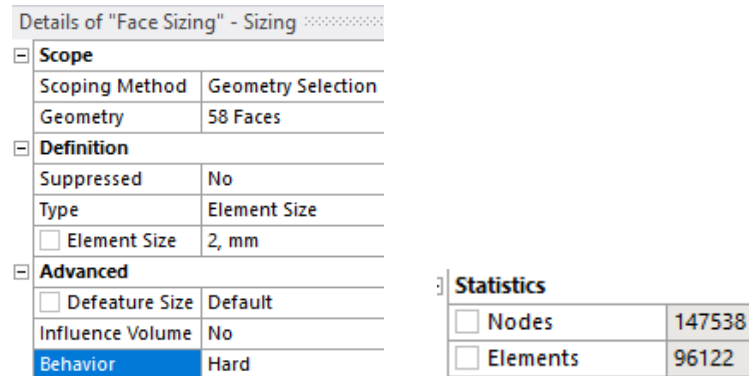


Figura 162-4: Calidad de la malla con sizing 2mm del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

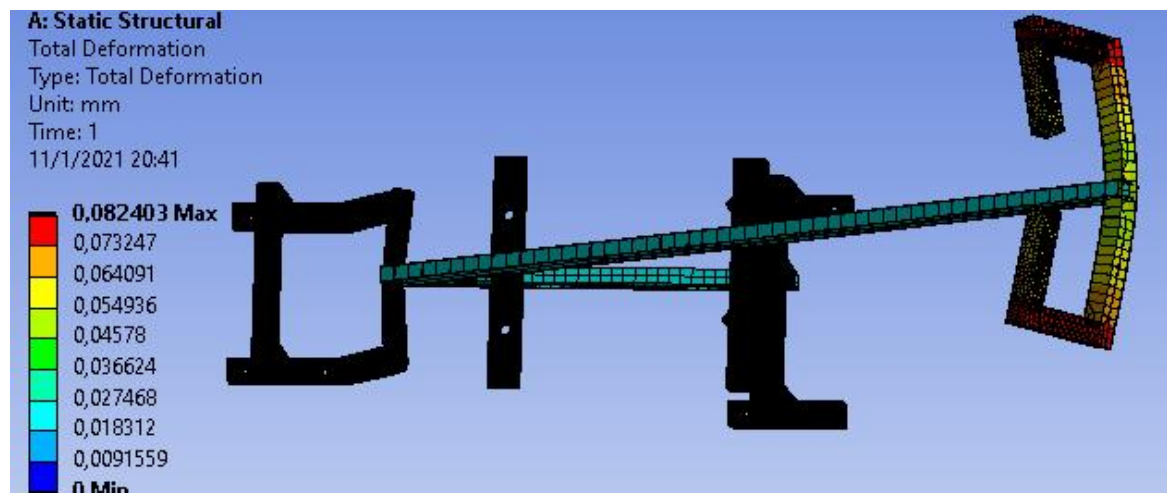


Figura 163-4: Resultados de deformación total para el análisis 4 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

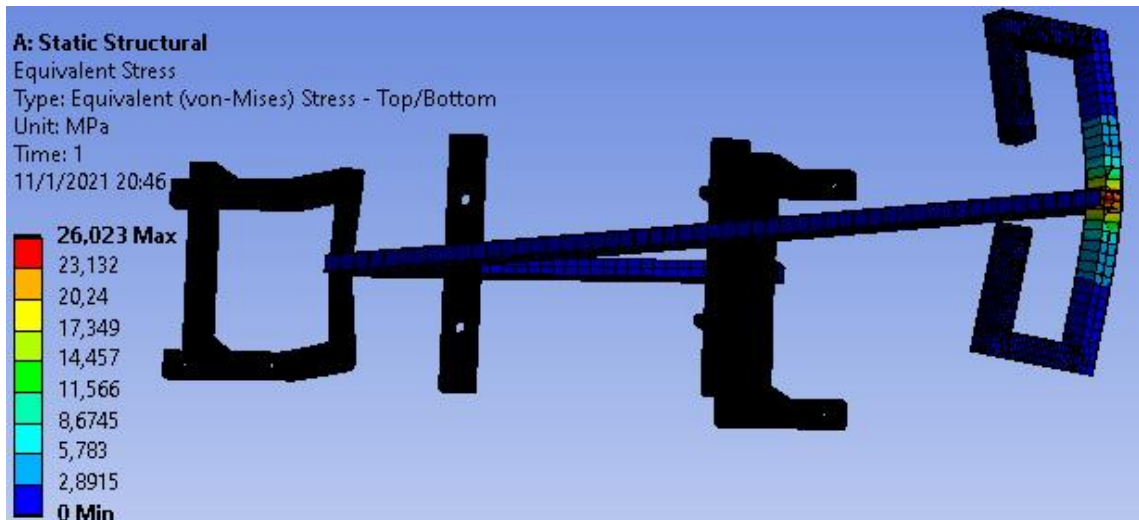


Figura 164-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 4 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.4.1.5. Análisis 5

Tipo de malla: con sizing 2.5mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 2.5 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 165-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 5. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

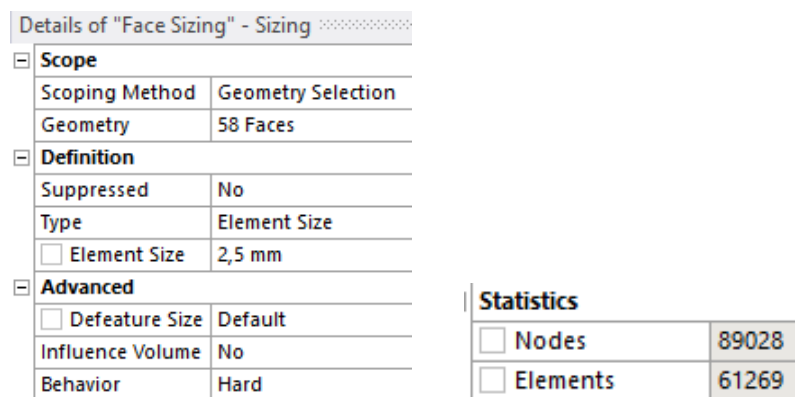


Figura 165-4: Calidad de la malla con sizing 2.5mm del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

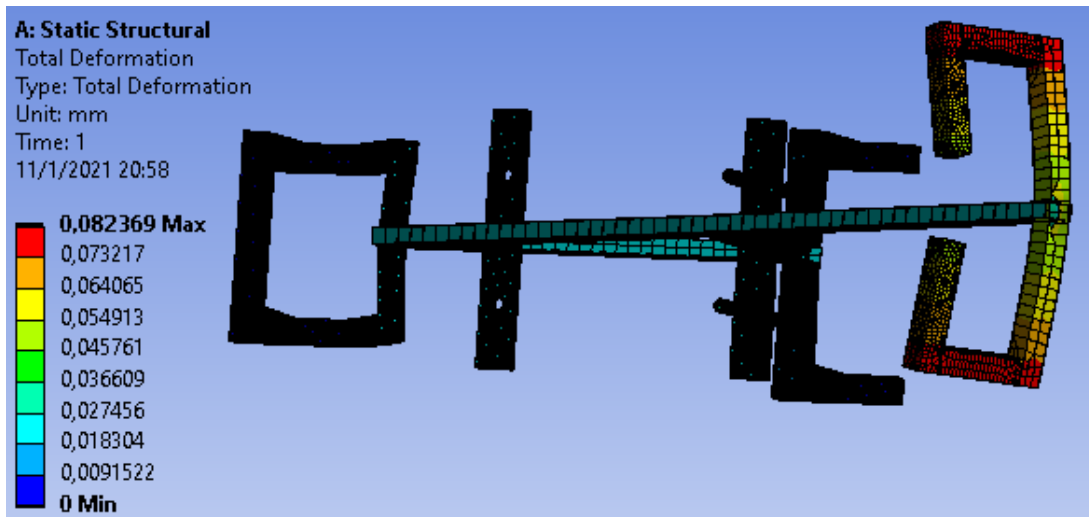


Figura 166-4: Resultados de deformación total para el análisis 5 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

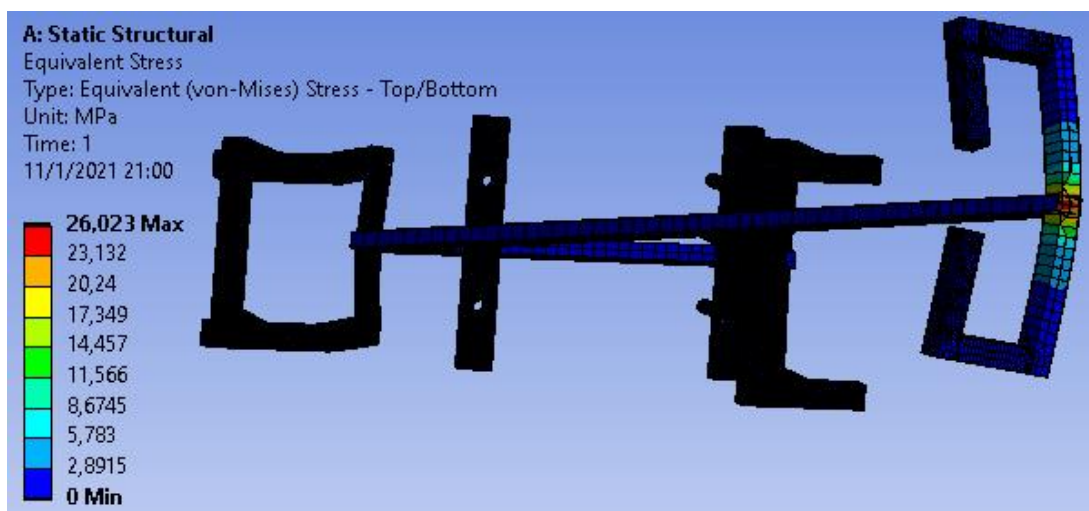


Figura 167-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 5 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.4.1.6. Análisis 6

Tipo de malla: con sizing 3mm

En este análisis se escogió un mallado con sizing 3 mm, se puede visualizar las características de este tipo de mallado en la figura 168-4, con especial atención el número de nodos del mallado de este elemento que servirán para realizar posteriormente el análisis de convergencia de los resultados del elemento 5. La interpretación de los diferentes resultados es similar a la realizada en el análisis 1.

Details of "Face Sizing" - Sizing	
<input type="checkbox"/> Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	58 Faces
<input type="checkbox"/> Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	3, mm
<input type="checkbox"/> Advanced	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Influence Volume	No
Behavior	Hard

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	65199
<input type="checkbox"/> Elements	44507

Figura 168-4: Calidad de la malla con sizing 3mm del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Deformación total

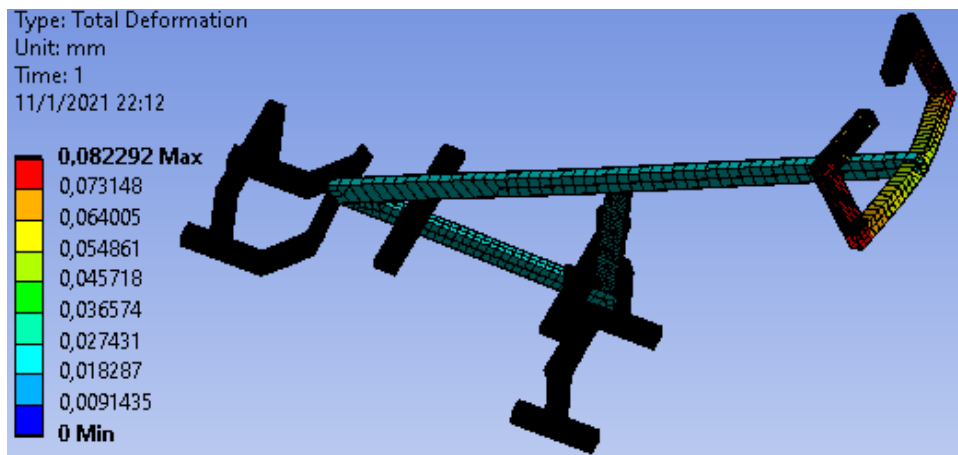


Figura 169-4: Resultados de deformación total para el análisis 6 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Esfuerzo

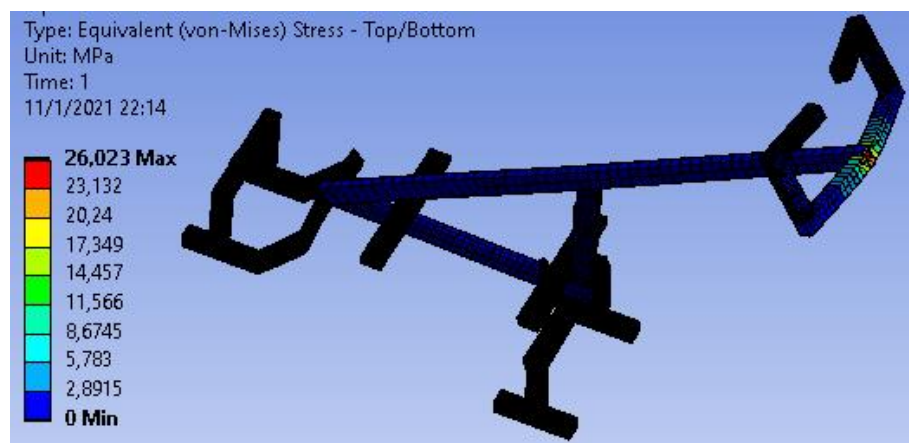


Figura 170-4: Resultados de esfuerzo para el análisis 6 del elemento 5

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

4.4.1.7. Análisis de resultados del elemento 5

A continuación se muestra en la tabla 4-4 un resumen de los resultados obtenidos para el elemento 5 de todos los análisis ejecutados en el software ANSYS.

Tabla 4-4: Resultados obtenidos del elemento 5

No.	Tipo de malla	No. de nodos	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Factor de seguridad
1	Por defecto	14656	0,079783	26,023	0,0001316	15
2	Element Quality	14656	0,079783	26,023	0,0001316	15
3	Element Size 3mm	96249	0,060578	22,182	0,0001261	15
4	Refinada	31667	0,081693	26,023	0,0001316	15
5	Sizing 2mm	147538	0,082403	26,023	0,0001316	15
6	Sizing 2,5mm	89028	0,082369	26,023	0,0001316	15
7	Sizing 3mm	65199	0,082292	26,023	0,0001316	15
8	Sizing 3,5mm	46754	0,082155	26,023	0,0001316	15
9	Sizing 4mm	37287	0,081938	26,023	0,0001316	15
10	Sizing 5mm	24652	0,081929	26,023	0,0001316	15
11	Sizing 6mm	18908	0,081554	26,023	0,0001316	15
12	Sizing 7mm	15828	0,081548	26,023	0,0001316	15
13	Sizing 8mm	13649	0,081141	26,023	0,0001316	15
14	Sizing 9mm	11452	0,080791	26,023	0,0001316	15
15	Sizing 10mm	9839	0,080483	26,023	0,0001316	15

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Como se puede observar en el gráfico 7-4 se presenta el análisis de convergencia de los resultados de deformación del elemento 5, los valores de la deformación varían en función del número de nodos, por lo tanto se establece que la deformación para el elemento 5 se encuentra en el rango de 0,079783 a 0,082369 mm, siendo estos resultados confiables ya que presentan una variación entre los mismos de 0,001 mm.

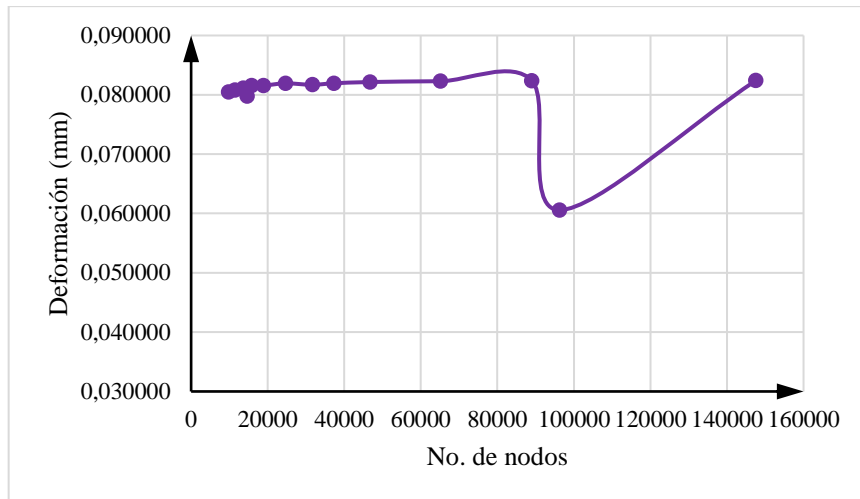


Gráfico 7-4. No. De nodos vs Deformación

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

Como se puede observar en el gráfico 8-4 se presenta el análisis de convergencia de los resultados de esfuerzo del elemento 5, los valores del esfuerzo varían en función del número de nodos, por lo tanto se establece que el esfuerzo para la estructura (elemento 5) es 26,023 MPa, siendo este resultado confiable ya que se mantiene constante y el valor de 22,182 es un valor aislado, por eso no se le considera.

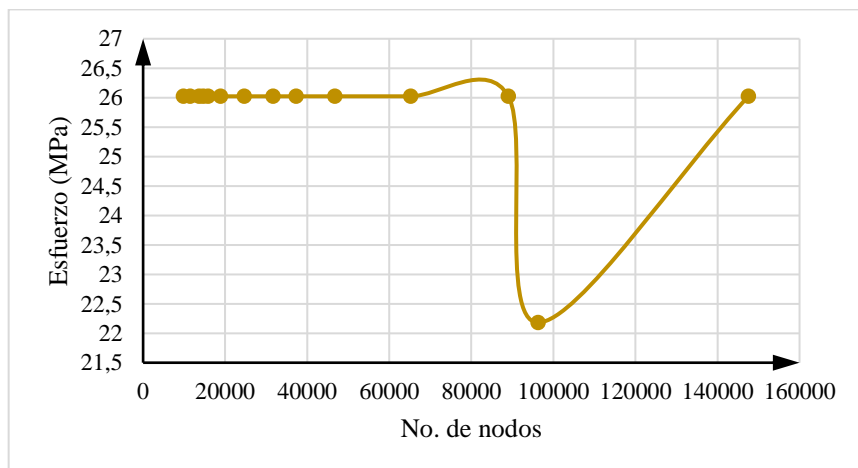


Gráfico 8-4. No. De nodos vs Esfuerzo

Realizado por: Segovia, Daniela, 2021.

CONCLUSIONES

- El deshierbador manual es una máquina mecánica que no requiere de ningún combustible para funcionar, que ayuda enormemente al agricultor en las labores de deshierbe de terrenos con cultivos alimenticios para el ser humano.
- Se empleó el análisis QFD para diseñar el deshierbador manual de forma más óptima que satisfaga todas las necesidades requeridas por el agricultor, poniendo en práctica todos los conocimientos alcanzados en las materias de Diseño Mecánico.
- Para el diseño CAD del deshierbador manual se utilizó el software NX 12.0, se diseñó cada parte de acuerdo a las consideraciones de diseño que se encuentran en el capítulo 3 de este trabajo de investigación, cada parte de la máquina deshierbadora se diseñó en el programa para posteriormente ensamblar la máquina en todo su conjunto.
- No se ejecutó el diseño de los pernos porque las cargas que soportan los mismos no son representativas y/o críticas.
- La validación del deshierbador manual se realizó en el software ANSYS 2020 R1 para verificar la deformación total, el esfuerzo al cual está sometido cada elemento, la deformación unitaria y el coeficiente de seguridad, siendo estos los parámetros elegidos pues son de especial importancia, dichos análisis se ejecutó para los 5 elementos que conforman el deshierbador manual.
- Los análisis de los 5 elementos que conforman el deshierbador fueron ejecutados mediante “Static Structural”. El análisis de los elementos 1, 2, 3 y 4 se realizó mediante sólidos o en 3D porque gracias a la iteración de varios análisis se tuvo resultados confiables y satisfactorios; mientras que el elemento 5 se analizó mediante superficie debido a que dicho elemento está formado por perfiles estructurales arrojando al primer análisis que se ejecutó resultados seguros y fiables.
- Se realizó un análisis de convergencia de los resultados obtenidos de deformación y esfuerzo para establecer la confiabilidad de los resultados obtenidos, alcanzando una variación mínima entre los mismos, como se pudo apreciar se establece un rango de resultados, ya que el software ANSYS se basa en métodos numéricos y casi nunca dará resultados exactos.
- En la mayoría de análisis ejecutados se realizó el mallado mediante “Sizing” para que se refine y sea más uniforme el mallado, también con un comportamiento Hard; para de esta manera conseguir resultados satisfactorios.
- El costo del deshierbador propuesto es elevado en comparación con los deshierbadores presentes en el mercado, el costo de este deshierbador disminuiría si se lo produce en serie, hay que mencionar también que el costo de este deshierbador vale la pena ya que posee tres sistemas de deshierbe para realizar un trabajo eficiente y de excelente calidad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda acoplar un motor al deshierbador propuesto como una mejora al mismo.
- Realizar un análisis en el programa Rocky DEM en conjunto con Ansys para obtener una simulación más real del deshierbador manual.
- Se debe tener un vasto conocimiento en el Método de Elementos Finitos para lograr resultados confiables y satisfactorios para los diversos análisis ejecutados en los softwares que disponen de este método como por ejemplo el software ANSYS.
- Recomiendo a los futuros tesisistas que opten por temas que aporten a mejorar la economía y el nivel de vida de los ecuatorianos.
- Se debe analizar con detenimiento la máquina o equipo a diseñar para que cumpla con los requerimiento del usuario, logrando que esta sea de bajo costo y amigable con el medio ambiente.
- Para el análisis QFD se debe contar por lo menos con 2 máquinas y/o equipos existentes en el mercado para realizar un buen análisis de competencias y así alcanzar las especificaciones técnicas requeridas por el usuario.

GLOSARIO

Análisis Estático: Análisis de un cuerpo u objeto empleando un diagrama de cuerpo libre donde constan todas las fuerzas que actúan en él, tanto conocidas como desconocidas; todo este análisis se ejecuta cuando el cuerpo u objeto está en reposo o equilibrio es decir la sumatoria de fuerzas es igual a cero (Segovia, Daniela, 2021).

ANSYS: Software multifuncional y multifísico para el análisis del comportamiento de un pieza o máquina, los análisis pueden ser estático, dinámico, de fluido, electromagnetismo, resistencia de materiales, entre otros (Segovia, Daniela, 2021).

Aparejo: Mecanismos que complementan las herramientas agrícolas para el labrado del terreno, pueden ser de discos, púas, cultivador, entre otros (Segovia, Daniela, 2021).

CAD: Diseño Asistido por Computador, para este tipo de diseño se emplean software como: Autocad, Nx, DSolidworks, entre otros (Segovia, Daniela, 2021).

Deformación: Es el cambio en la forma de un elemento o cuerpo que se produce como consecuencia de las tensiones que aparecen en el mismo a raíz de las sollicitaciones internas causadas por las fuerzas externas aplicadas en el cuerpo o por cambios de temperatura (Pérez 2014).

Desbrozadora: Máquina que sirve para quitar la maleza o mala hierba presente en los cultivos (Segovia, Daniela, 2021).

Esfuerzo: Es la relación entre la fuerza aplicada y la superficie (área) en la cual se aplica en un determinado cuerpo u objeto, se puede expresar en Pa, MPa, Psi, entre otras unidades (Segovia, Daniela, 2021).

Inteligencia artificial: Es la combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear máquinas que presenten las mismas capacidades que el ser humano (Iberdrola 2021).

MEF: Método de Elemento Finito que se basa en métodos numéricos para la resolución de ecuaciones diferenciales, utilizado en diversos problemas de ingeniería y física. El método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema, en una serie de subdominios no intersectantes entre sí denominados elementos finitos. El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también llamada discretización (Ptolomeo 2016).

QFD: Análisis de la Casa de la Calidad, es un método que transforma las características requeridas por el usuario en especificaciones técnicas del producto las cuales han sido analizadas por el ingeniero; el producto final cumple con todas las características requeridas por el usuario (Segovia, Daniela, 2021).

Rotovator: Es una herramienta muy empleada en la agricultura, el cual posee cuchillas tanto izquierdas como derechas para un mejor trabajo (Aulla y Morejón 2016).

Sensor: Es un dispositivo que tiene la facultad de detectar movimientos, ruidos, presión, luces y cualquier otro tipo de elemento externo para convertirlo en señal eléctrica (Centro Estudios Cervantinos 2020).

Visión artificial: Es una disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar y analizar imágenes del mundo real con el fin de producir información que pueda ser tratada por una máquina (Contaval 2016).

BIBLIOGRAFÍA

AMAZON. *Truper ACT-HOE azada de acción, con mango de 54 pulgadas* [En línea]. 2021. [Consulta: 24 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/Truper-ACT-HOE-azada-acción-pulgadas/dp/B00UY28Y8O>.

ANALUIZA, Byron, & BENAVIDES, Carlos. Construcción Y Selección De Materiales De Aspas Para Motocultor Yto Df 15L Mediante Proceso De Forja Para Reducir La Tasa De Desgaste Respecto a Las Aspas De Acero Tradicional Para Uso Agrícola [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). ESPOCH, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 11 - 31. [Consulta: 15 de septiembre de 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/6207/1/65T00218.pdf>.

ANNETT, R.; et al. "Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment". *Journal of Applied Toxicology* [En línea], 2014, (Canadá) 34(5), pp. 458-479. [Consulta: 21 de septiembre de 2020]. ISSN 10991263. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jat.2997>.

ASSIRELLI, A.; et al. "Evaluation of sensors for poplar cutting detection to be used in intra-row weed control machine". *Computers and Electronics in Agriculture* [en línea], 2015, (Italia) vol. 115, pp. 161-170. [Consulta: 21 de septiembre de 2020]. ISSN 01681699. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.06.001>.

AULLA, Alex, & MOREJÓN, Henry. Estudio de los factores que inciden en la fiabilidad del elemento de labranza de un motocultor yto DF-15L [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). ESPOCH, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 13 - 20. [Consulta: 14 de septiembre de 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/5630/1/65T00188.pdf>.

BAKHSHIPOUR, A.; & JAFARI, A.. "Evaluation of support vector machine and artificial neural networks in weed detection using shape features". *Computers and Electronics in Agriculture* [en línea], 2018, (Irán) 145(December 2017), pp. 153-160. [Consulta: 5 de octubre de 2020]. ISSN 01681699. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.032>.

CAJAS, Rubén, & PULLAS, Fausto. Diseño, Modelado y Construcción de un motocultor mediante elementos finitos destinado a la preparación del suelo para la formación de camas de

cultivo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). ESPE. Quito, Ecuador. 2012. pp. 32 - 35. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/5098>.

CENTRO ESTUDIOS CERVANTINOS. *QUÉ ES UN SENSOR.* [blog]. 2020. [Consulta: 25 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.centroestudioscervantinos.es/que-es-un-sensor/>.

CONTAVAL. *¿Qué es la visión artificial y para qué sirve?* [blog]. 2016. [Consulta: 25 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.contaval.es/que-es-la-vision-artificial-y-para-que-sirve/>.

CORDILL, C.; & GRIFT, T.E.. "Design and testing of an intra-row mechanical weeding machine for corn". *Biosystems Engineering* [en línea], 2011, (USA) 110(3), pp. 247-252. [Consulta: 21 de septiembre de 2020]. ISSN 15375110. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.07.007>.

KAYAK ECUADOR. *PORTAL WEB KAYAK ECUADOR. SEMINARIO NAPO 2009* [blog]. 2009. [Consulta: 22 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://kayakecuador.com/SeminarioNapo2009.htm>.

FAHAD, S.; et al. "Weed growth and crop yield loss in wheat as influenced by row spacing and weed emergence times". *Crop Protection* [en línea], 2015, (China) vol. 71, pp. 101-108. [Consulta: 22 de septiembre de 2020]. ISSN 02612194. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.005>.

FAO. *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas.* [blog]. 2016. [Consulta: 8 de octubre de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>.

GUANO, Víctor, & SAQUINGA, Ricardo. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESGASTE ACELERADO PARA APEROS DE LABRANZA AGRÍCOLA MEDIANTE ENSAYO SAT PARA EL LABORATORIO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). ESPOCH, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 9 - 19. [Consulta: 16 de septiembre de 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7647/1/65T00242.pdf>.

HARKER, K.N.; & O'DONOVAN, J.T.. "Recent Weed Control, Weed Management, and Integrated Weed Management". *Weed Technology* [en línea], 2013 (Canadá) 27(1), pp. 1-11. [Consulta: 22 de septiembre de 2020]. ISSN 0890-037X. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1614/wt-d-12-00109.1>.

IBERDROLA. *Inteligencia Artificial*. [blog]. 2021. [Consulta: 25 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/que-es-inteligencia-artificial>.

MERCADO LIBRE. *Desbrozadora Superelit 4tiempos*. [en línea]. 2021. [Consulta: 2 de febrero de 2021]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-429473085-desbrozadora-superelit-4tiempos-_JM#position=32&type=item&tracking_id=48d252fc-01e0-4901-bf28-1d6a87e6cdba.

MERCADO LIBRE. *Motocultor Portatil 3.5 Hp Okayama Japones, Deshierbadora*. [en línea]. 2021. [Consulta: 2 de febrero de 2021]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-429535457-motocultor-portatil-35-hp-okayama-japones-deshierbadora-_JM#position=1&type=item&tracking_id=39fd3dbb-6bd7-487c-8bdf-cb85882a7863.

MELANDER, B.; et al. "Intelligent versus non-intelligent mechanical intra-row weed control in transplanted onion and cabbage". *Crop Protection* [en línea], 2015, (Italia) vol. 72, pp. 1-8. [Consulta: 12 de septiembre de 2020]. ISSN 02612194. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.017>.

MURILLO MARTÍNEZ, Francisco. Análisis mediante elementos finitos del comportamiento de perfiles combinados de estructuras de autobuses [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2018. pp. 46 - 62. [Consulta: 5 de noviembre de 2020]. Disponible en: http://oa.upm.es/50284/1/TFG_FRANCISCO_MURILLO_MARTINEZ.pdf.

NTN. *Chumaceras*. New Technology Network, 2009, pp. 56 - 57.

ORTIZ-CAÑAVATE, Jaime. *Las Máquinas Agrícolas y su Aplicación*. 6ª ed.. Madrid: Mundi-Prensa Libros, 2003. ISBN 84-8476-117-7. pp. 29 - 44.

PANNACCI, E.; & TEI, F. "Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean". *Crop Protection* [en línea], 2014, (Italia) vol. 64, pp. 51-59. [Consulta: 18 de septiembre de 2020]. ISSN 02612194. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.001>.

PÉREZ, Antonio. *Deformación*. [blog]. Mecapedia, 2014. [Consulta: 25 de febrero de 2021]. Disponible en: <http://www.mecapedia.uji.es/deformacion.htm>.

PTOLOMEO. *CAPÍTULO 8. CONCEPTOS BÁSICOS DEL MÉTODO POR ELEMENTO FINITO* [en línea]. UNAM, 2016. [Consulta: 5 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2548/11/011-MPM-Cap8-Final.pdf>.

REHMAN, T.U.; et al. "Development and field evaluation of a machine vision based in-season weed detection system for wild blueberry". *Computers and Electronics in Agriculture* [en línea], 2019, (USA) 162(March), pp. 1-13. [Consulta: 2 de diciembre de 2020]. ISSN 01681699. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.023>.

REXNORD. *Rexnord® and Link-Belt® Engineered Steel Chains I Catalog*. Rexnord, 2015. pp. C-7 - C-10.

RUMPF, T.; et al. "Sequential support vector machine classification for small-grain weed species discrimination with special regard to *Cirsium arvense* and *Galium aparine*". *Computers and Electronics in Agriculture* [en línea], 2012, (Germania) vol. 80, pp. 89-96. [Consulta: 22 de noviembre de 2020]. ISSN 01681699. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2011.10.018>.

SACCO, D.; et al. "Six-year transition from conventional to organic farming: Effects on crop production and soil quality". *European Journal of Agronomy* [en línea], 2015, (Italia) vol. 69, pp. 10-20. [Consulta: 11 de noviembre de 2020]. ISSN 11610301. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.05.002>.

SOGAMOSO, David. *Diseño de un prototipo para el control de maleza en la preparación del suelo de cultivos orgánicos dirigido a pequeños agricultores. (Trabajo de titulación). (Pregrado).* UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Bogotá, Colombia. 2015. pp. 18 - 21.

TRUPER. *DESHIERBADOR, MANGO 54"*. [en línea]. Truper, 2021. [Consulta: 2 de febrero de 2021]. Disponible en: https://www.truper.com/ficha_merca/ficha-print.php?code=15127.

UNE-EN 1005-3 :2009. *Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 3: Límites de fuerza recomendados para la utilización de máquinas.*

WANG, A.; et al. "A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques". *Computers and Electronics in Agriculture* [en línea], 2019, (China). 158(January), pp. 226-240. [Consulta: 2 de diciembre de 2020]. ISSN 01681699. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.02.005>.

WU, X.; et al. "A detection method of weed in wheat field on machine vision". *Procedia Engineering* [en línea], 2011, (China) vol. 15, pp. 1998-2003. [Consulta: 4 de diciembre de 2020]. ISSN 18777058. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.373>.

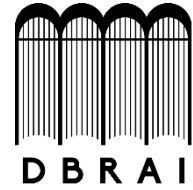
YOUNG, S.L.; & PIERCE, F.J.. "Automation: The future of weed control in cropping systems". *Automation: The Future of Weed Control in Cropping Systems*, (2014), (USA) pp. 1-265. DOI 10.1007/978-94-007-7512-1.



firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**





**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

FECHA DE ENTREGA: 28 / 04 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
NOMBRES – APELLIDOS: DANIELA ELIZABETH SEGOVIA HERNÁNDEZ
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
FACULTAD: MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA
TÍTULO A OPTAR: INGENIERA MECÁNICA
F. ANALISTA DE BIBLIOTECA RESPONSABLE: ING. CPA. JHONATAN RODRIGO PARREÑO UQUILLAS. MBA
 Firmado electrónicamente por: JHONATAN RODRIGO PARREÑO UQUILLAS

28-04-2021
1015-DBRAI-UTP-2021