



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

“DISEÑO VALIDADO MEDIANTE SOFTWARE DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA LAMINADORA Y ESTAMPADORA DE CERA DE ABEJAS PARA MARCOS DE COLMENAS LANGSTROTH.”

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA/O MECÁNICO

AUTORES:

VICTORIA SALOMÉ PISCO JURADO

LUIS ALEJANDRO FONSECA ESPARZA

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

“DISEÑO VALIDADO MEDIANTE SOFTWARE DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA LAMINADORA Y ESTAMPADORA DE CERA DE ABEJAS PARA MARCOS DE COLMENAS LANGSTROTH.”

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA/O MECÁNICO

AUTORES: VICTORIA SALOMÉ PISCO JURADO

LUIS ALEJANDRO FONSECA ESPARZA

DIRECTOR: Ing. SÓCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Victoria Salomé Pisco Jurado & Luis Alejandro Fonseca Esparza

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

Nosotros, Victoria Salomé Pisco Jurado y Luis Alejandro Fonseca Esparza, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 21 de julio de 2021



Victoria Pisco Jurado

092664973-2



Luis Fonseca Esparza

060346580-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto técnico, **DISEÑO VALIDADO MEDIANTE SOFTWARE DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA LAMINADORA Y ESTAMPADORA DE CERA DE ABEJAS PARA MARCOS DE COLMENAS LANGSTROTH**, realizado por el señor y la señorita: **LUIS ALEJANDRO FONSECA ESPARZA** y **VICTORIA SALOMÉ PISCO JURADO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, 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	_____	2021-07-21
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	_____	2021-07-21
Ing. Miguel Ángel Escobar Guachambala MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-07-21

DEDICATORIA

A mis padres Eduardo Vladimir (†) que goza de la gloria del creador y Delia María mi confidente, amiga y madre ideal, que con su dedicación, esfuerzo y amor por su familia nos han permitido a mí y a mis hermanos cumplir nuestras metas. Les doy las gracias hoy y siempre por el gran ejemplo de humildad y valentía para enfrentar las adversidades, porque Dios siempre está conmigo al igual que mi querido padre que siempre lo llevaré en mi corazón y en mi mente, yo transmitiré sus enseñanzas e ideales para que queden plasmados en la gente que nos rodea en el día a día. Finalmente quiero dedicar este trabajo a todos mis compañeros, por darme el apoyo incondicional en los peores momentos, por extender su mano solidaria en momentos difíciles y por el amor brindado en las tareas diarias, mil gracias y siempre estarán en mi pensamiento.

Luis Alejandro Fonseca Esparza

A mis padres, Miguel y Salomé, pilares fundamentales en mi vida, quienes han sido mis maestros, mis consejeros y siempre me han apoyado en todo. Ellos son mis modelos a seguir y me permitieron trazar mi camino. A mis hermanos, quienes entre risas y bromas me demuestran su cariño incondicional y me dan la fortaleza para alcanzar cualquier meta que me proponga. A mi esposo y su familia, quienes siempre estuvieron apoyándome y acompañándome en toda esta tertulia. A mis amigos, compañeros y futuros colegas, que se han esforzado mucho para conseguir sus objetivos, y han demostrado que son capaces de lograr cualquier cosa que se propongan.

Victoria Salomé Pisco Jurado

AGRADECIMIENTO

Primero el doy gracias al creador por darme su bendición en mis actividades cotidianas.

También mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que componen el cuerpo fundamental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por confiar en mis habilidades, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso de investigación y validación con la supervisión de tan excelentes maestros, profesionales y compañeros.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Miguel Aquino, el principal colaborador durante el proceso de investigación, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Luis Alejandro Fonseca Esparza

Agradezco enormemente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por permitirme acceder a mi título profesional, por abrirme las puertas a una gran etapa en mi vida. Al cuerpo docente y administrativo de la Facultad de Mecánica que de una u otra manera han formado parte de este largo camino y fueron partícipes de mi crecimiento estudiantil y como profesional.

A mi familia, quienes siempre me han apoyado en todas las decisiones que he tomado en mi vida y en cada uno de los proyectos en los que me he involucrado. Siempre serán mi motivación.

Victoria Salomé Pisco Jurado

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XXIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XXIV
RESUMEN	XXV
SUMMARY	XXVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Delimitación.....	3
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i>	3
1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i>	3
1.3. Formulación del problema	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	5
CAPÍTULO II	6
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1. Apicultura: Generalidades	6
2.1.1. <i>Tipos de apicultura</i>	6
2.1.2. <i>Abejas</i>	6
2.2. Productos apícolas	7
2.2.1. <i>Miel</i>	7
2.2.2. <i>Polen</i>	7
2.2.3. <i>Cera</i>	7
2.2.4. <i>Propóleo</i>	7
2.2.5. <i>Api toxina o veneno de abeja</i>	7
2.2.6. <i>Jalea real</i>	8
2.3. Apicultura en el Ecuador	8
2.3.1. <i>Producción apícola nacional</i>	9
2.4. Equipos para la apicultura	10
2.4.1. <i>Colmena</i>	10
2.4.2. <i>Marcos</i>	11
2.4.3. <i>Panales</i>	11

2.4.3.1.	<i>Geometría de las celdas de los panales</i>	12
2.5.	Cera de abejas	12
2.5.1.	<i>Composición química</i>	13
2.5.2.	<i>Propiedades fisicoquímicas</i>	13
2.5.3.	<i>Formas de obtención de la cera</i>	14
2.6.	Láminas de cera estampada	15
2.6.1.	<i>Historia del invento de láminas de cera estampada</i>	15
2.6.2.	<i>Ángulos en la base de las celdas</i>	17
2.6.3.	<i>Deformación en la cera estampada</i>	17
2.7.	Metodología de diseño	18
2.7.1.	<i>Proceso de diseño</i>	18
2.7.2.	<i>Herramientas del diseño</i>	19
2.7.3.	<i>Métodos de solución para problema se ingeniería</i>	19
2.7.3.1.	<i>SAP 2000</i>	20
2.7.3.2.	<i>ANSYS</i>	21
CAPÍTULO III		23
3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1.	Determinación de las especificaciones y requerimientos de la máquina	23
3.1.1.	<i>Requerimientos del usuario</i>	23
3.1.2.	<i>Requerimientos técnicos</i>	23
3.1.3.	<i>Resultados de la matriz QFD</i>	24
3.1.4.	<i>Conclusiones de la matriz QFD</i>	24
3.2.	Análisis funcional	25
3.2.1.	<i>Definición de módulos</i>	25
3.2.2.	<i>Solución del módulo 1</i>	25
3.2.2.1.	<i>Lubricación de la cera</i>	26
3.2.2.2.	<i>Carga de materia prima</i>	26
3.2.2.3.	<i>Sistema de laminación</i>	27
3.2.2.4.	<i>Sistema de estampado</i>	27
3.2.2.5.	<i>Sistema de corte</i>	27
3.3.	Matriz morfológica	28
3.4.	Parámetros de diseño	31
3.5.	Diseño de elementos	32
3.5.1.	<i>Cálculo de potencia</i>	32
3.5.2.	<i>Diseño de ejes</i>	33
3.5.2.1.	<i>Ejes del sistema de laminado</i>	33

3.5.2.2.	<i>Ejes del sistema de estampado</i>	37
3.5.2.3.	<i>Eje del sistema de corte</i>	40
3.5.2.4.	<i>Eje del soporte de la materia prima</i>	42
3.5.2.5.	<i>Análisis de rigidez y de resonancia</i>	43
3.5.3.	<i>Selección de cadena</i>	49
3.5.4.	<i>Diseño de engranes</i>	51
3.5.5.	<i>Selección de cuñas</i>	54
3.5.5.1.	<i>Factores de seguridad para cuñas seleccionadas</i>	55
3.5.6.	<i>Selección de rodamientos</i>	56
3.5.7.	<i>Diseño del bastidor</i>	57
3.6.	Validación mediante software de los elementos mecánicos	59
3.6.1.	<i>Validación mediante SAP 2000 – Eje 1</i>	60
3.6.2.	<i>Validación mediante SAP 2000 – Eje 2</i>	62
3.6.3.	<i>Validación mediante SAP 2000 – Eje 3</i>	65
3.6.4.	<i>Validación mediante SAP 2000 – Eje 4</i>	68
3.6.5.	<i>Validación mediante SAP 2000 – Eje 5</i>	71
3.6.6.	<i>Validación mediante SAP 2000 – Eje 6</i>	74
3.6.7.	<i>Validación mediante SAP 2000 – Estructura</i>	77
3.6.8.	<i>Validación mediante ANSYS – Eje 1</i>	79
3.6.8.1.	<i>Preproceso - Eje 1</i>	80
3.6.8.2.	<i>Postproceso - Eje 1</i>	83
3.6.8.3.	<i>Análisis de resultados del eje 1</i>	87
3.6.9.	<i>Validación mediante ANSYS – Eje 2</i>	87
3.6.9.1.	<i>Preproceso - Eje 2</i>	87
3.6.9.2.	<i>Postproceso - Eje 2</i>	91
3.6.9.3.	<i>Análisis de resultados del eje 2</i>	95
3.6.10.	<i>Validación mediante ANSYS – Eje 3</i>	95
3.6.10.1.	<i>Preproceso - Eje 3</i>	95
3.6.10.2.	<i>Postproceso - Eje 3</i>	99
3.6.10.3.	<i>Análisis de resultados del eje 3</i>	103
3.6.11.	<i>Validación mediante ANSYS – Eje 4</i>	103
3.6.11.1.	<i>Preproceso - Eje 4</i>	103
3.6.11.2.	<i>Postproceso - Eje 4</i>	107
3.6.11.3.	<i>Análisis de resultados del eje 4</i>	111
3.6.12.	<i>Validación mediante ANSYS – Eje 5</i>	112
3.6.12.1.	<i>Preproceso - Eje 5</i>	112

3.6.12.2. <i>Postproceso - Eje 5</i>	115
3.6.12.3. <i>Análisis de resultados del eje 5</i>	119
3.6.13. Validación mediante ANSYS – Eje 6	119
3.6.13.1. <i>Preproceso - Eje 6</i>	119
3.6.13.2. <i>Postproceso - Eje 6</i>	123
3.6.13.3. <i>Análisis de resultados del eje 6</i>	127
3.6.14. Validación mediante ANSYS – Bastidor derecho del laminado	128
3.6.14.1. <i>Preproceso - Bastidor derecho laminado</i>	128
3.6.14.2. <i>Postproceso - Bastidor derecho de laminado</i>	131
3.6.14.3. <i>Análisis de resultados del bastidor derecho del laminado</i>	135
3.6.15. Validación mediante ANSYS – Bastidor izquierdo de laminado	136
3.6.15.1. <i>Preproceso - Bastidor izquierdo de laminado</i>	136
3.6.15.2. <i>Postproceso - Bastidor izquierdo del laminado</i>	139
3.6.15.3. <i>Análisis de resultados del bastidor izquierdo del laminado</i>	143
3.6.16. Validación mediante ANSYS – Bastidor derecho de estampado	144
3.6.16.1. <i>Preproceso - Bastidor derecho de estampado</i>	144
3.6.16.2. <i>Postproceso - Bastidor derecho del estampado</i>	147
3.6.16.3. <i>Análisis de resultados del bastidor derecho de estampado</i>	151
3.6.17. Validación mediante ANSYS – Bastidor izquierdo de estampado	152
3.6.17.1. <i>Preproceso - Bastidor izquierdo del estampado</i>	152
3.6.17.2. <i>Postproceso - Bastidor izquierdo de estampado</i>	155
3.6.17.3. <i>Análisis de resultados del bastidor izquierdo de estampado</i>	159
3.6.18. Validación mediante ANSYS – Bastidor derecho de corte	160
3.6.18.1. <i>Preproceso - Bastidor derecho de corte</i>	160
3.6.18.2. <i>Postproceso - Bastidor derecho de corte</i>	163
3.6.18.3. <i>Análisis de resultados del bastidor derecho de corte</i>	167
3.6.19. Validación mediante ANSYS – Bastidor izquierdo de corte	168
3.6.19.1. <i>Preproceso - Bastidor izquierdo de corte</i>	168
3.6.19.2. <i>Postproceso - Bastidor izquierdo de corte</i>	171
3.6.19.3. <i>Análisis de resultados del bastidor izquierdo de corte</i>	175
3.6.20. Validación mediante ANSYS – Bastidor derecho de bobina	176
3.6.20.1. <i>Preproceso - Bastidor derecho de bobina</i>	176
3.6.20.2. <i>Postproceso - Bastidor derecho de bobina</i>	179
3.6.20.3. <i>Análisis de resultados del bastidor derecho de bobina</i>	183
3.6.21. Validación mediante ANSYS – Bastidor izquierdo de bobina	184
3.6.21.1. <i>Preproceso - Bastidor izquierdo de bobina</i>	184

3.6.21.2. <i>Postproceso - Bastidor izquierdo de bobina</i>	187
3.6.21.3. <i>Análisis de resultados del bastidor izquierdo de bobina</i>	191
3.7. Análisis de costos de la máquina	192
3.7.1. Costos directos	192
3.7.1.1. <i>Costos de materiales</i>	192
3.7.1.2. <i>Costos de mano de obra</i>	192
3.7.1.3. <i>Costos de equipos y herramientas</i>	193
3.7.1.4. <i>Costos de transporte</i>	193
3.7.2. Costos indirectos	193
3.7.3. Costo total de la máquina laminadora y estampadora	194
CAPÍTULO IV	195
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	195
4.1. Resultados de análisis de rigidez en SAP 2000	195
4.2. Resultados de análisis de esfuerzos en ANSYS	195
CONCLUSIONES	198
RECOMENDACIONES	199
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Porcentaje de productos obtenidos por colmena.	9
Tabla 2-2: Registro de provincias con mayor influencia apícola en el país	9
Tabla 3-2: Clasificación de los equipos para la apicultura.	10
Tabla 4-2: Composición química promedio de la cera de abeja	13
Tabla 5-2: Propiedades físico-química de la cera de abeja	13
Tabla 6-2: Métodos de obtención de la cera de abeja	14
Tabla 7-2: Criterios para control de calidad de malla.	21
Tabla 1-3: Matriz morfológica	28
Tabla 2-3: Selección de alternativas.....	29
Tabla 3-3: Análisis ponderado según el criterio: Tiempo de puesta en marcha.....	29
Tabla 4-3: Análisis ponderado según el criterio: Producción	29
Tabla 5-3: Análisis ponderado según el criterio: Velocidad de laminado y estampado	30
Tabla 6-3: Análisis ponderado según el criterio: Operatividad.....	30
Tabla 7-3: Análisis ponderado según el criterio: Mantenimiento	30
Tabla 8-3: Análisis ponderado según el criterio: Ergonomía.....	30
Tabla 9-3: Conclusión de selección de alternativas	31
Tabla 10-3: Principales parámetros de diseño	32
Tabla 11-3: Especificaciones de cadena seleccionada.....	50
Tabla 12-3: Especificaciones de cuñas seleccionadas según DIN 6885-1	55
Tabla 13-3: Resumen de resultados de las pruebas del eje 1	87
Tabla 14-3: Resumen de resultados de las pruebas del eje 2	95
Tabla 15-3: Resumen de resultados de las pruebas del eje 3	103
Tabla 16-3: Resumen de resultados de las pruebas del eje 4	111
Tabla 17-3: Resumen de resultados de las pruebas del eje 5	119
Tabla 18-3: Resumen de resultados de las pruebas del eje 6	127
Tabla 19-3: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor derecho del laminado.	135
Tabla 20-3: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor izquierdo de laminado.	143
Tabla 21-3: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor derecho de estampado.	151
Tabla 22-3: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor izquierdo de estampado.....	159
Tabla 23-3: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor derecho de corte.	167
Tabla 24-3: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor izquierdo de corte.....	175
Tabla 25-3: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor derecho de bobina.	183
Tabla 26-3: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor izquierdo de bobina.....	191
Tabla 27-3: Costo de los materiales.	192

Tabla 28-3: Costos de mano de obra.....	192
Tabla 29-3: Costos de equipos y herramientas.....	193
Tabla 30-3: Costos directo total.....	193
Tabla 31-3: Costo indirecto total.....	194
Tabla 32-3: Costo total de la máquina.....	194
Tabla 1-4: Resultado de análisis de deformación en SAP 2000.....	195
Tabla 2-4: Resultado de análisis de ejes para malla tipo Jacobian Ratio en ANSYS.....	195
Tabla 3-4: Resultado de análisis de ejes para malla tipo Skewness en ANSYS.....	196
Tabla 4-4: Resultado de análisis de batidores para malla tipo Jacobian Ratio en ANSYS. ...	196
Tabla 5-4: Resultado de análisis de bastidores para malla tipo Skewness en ANSYS.	197

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Tipos de abejas	6
Figura 2-2:	Partes de una colmena Langstroth	11
Figura 3-2:	Ciclo de la cera de abejas	12
Figura 4-2:	Lámina de cera estampada.....	15
Figura 5-2:	Medidas de lámina de cera estampada.....	15
Figura 6-2:	Estampadora de cera de rodillos	16
Figura 7-2:	Ángulo de celdas: A. Moderna y B. Antigua.....	17
Figura 8-2:	A. Celda idónea y B. Celda deformada	17
Figura 9-2:	Lámina de cera estampada montada en el marco	18
Figura 10-2:	Fases del proceso de diseño.....	19
Figura 11-2:	Fases del proceso de diseño.....	20
Figura 12-2:	Análisis de convergencia - densidades de malla diferente	22
Figura 1-3:	Esquema de diseño conceptual nivel 0	25
Figura 2-3:	Esquema de diseño conceptual nivel 1	25
Figura 3-3:	Bandeja de lubricación de la cera	26
Figura 4-3:	Soporte para materia prima	26
Figura 5-3:	Sistema de laminación por rodillos.....	27
Figura 6-3:	Sistema de estampado por rodillos	27
Figura 7-3:	Sistema de corte mediante cuchilla rotatoria	27
Figura 8-3:	Solución 2 - módulo 1	31
Figura 9-3:	Diagrama de cuerpo libre	32
Figura 10-3:	Dimensiones del eje 1 en pulgadas	36
Figura 11-3:	Dimensiones del eje 2 en pulgadas	37
Figura 12-3:	Dimensiones del eje 3 en pulgadas	38
Figura 13-3:	Dimensiones del eje 4 en pulgadas	40
Figura 14-3:	Dimensiones del eje 5 en pulgadas	41
Figura 15-3:	Dimensiones del eje 6 en pulgadas	43
Figura 16-3:	Bastidor para soporte de ejes de laminación.....	58
Figura 17-3:	Máquina laminadora y estampadora de cera de abejas	59
Figura 18-3:	Representación del eje 1 en SAP 2000	60
Figura 19-3:	Vista frontal del eje 1 en SAP 2000.....	60
Figura 20-3:	Deformación del eje 1 en SAP 2000.....	60
Figura 21-3:	Esquema de momentos en plano X-Y del eje 1 en SAP 2000.....	61
Figura 22-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 1	61
Figura 23-3:	Esquema de momentos en plano X-Z del eje 1 en SAP 2000	61

Figura 24-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 1.....	62
Figura 25-3:	Representación del eje 2 en SAP 2000.....	62
Figura 26-3:	Vista frontal del eje 2 en SAP 2000.....	63
Figura 27-3:	Deformación del eje 2 en SAP 2000.....	63
Figura 28-3:	Esquema de momentos en plano X-Y del eje 2 en SAP 2000.....	63
Figura 29-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 2.....	64
Figura 30-3:	Esquema de momentos en plano X-Z del eje 2 en SAP 2000.....	64
Figura 31-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 2.....	65
Figura 32-3:	Representación del eje 3 en SAP 2000.....	65
Figura 33-3:	Vista frontal del eje 3 en SAP 2000.....	66
Figura 34-3:	Deformación del eje 3 en SAP 2000.....	66
Figura 35-3:	Esquema de momentos en plano X-Y del eje 3 en SAP 2000.....	66
Figura 36-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 3.....	67
Figura 37-3:	Esquema de momentos en plano X-Z del eje 3 en SAP 2000.....	67
Figura 38-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 3.....	68
Figura 39-3:	Representación del eje 4 en SAP 2000.....	68
Figura 40-3:	Vista frontal del eje 4 en SAP 2000.....	69
Figura 41-3:	Deformación del eje 4 en SAP 2000.....	69
Figura 42-3:	Esquema de momentos en plano X-Y del eje 4 en SAP 2000.....	69
Figura 43-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 4.....	70
Figura 44-3:	Esquema de momentos en plano X-Z del eje 4 en SAP 2000.....	70
Figura 45-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 4.....	71
Figura 46-3:	Representación del eje 5 en SAP 2000.....	71
Figura 47-3:	Vista frontal del eje 5 en SAP 2000.....	72
Figura 48-3:	Deformación del eje 5 en SAP 2000.....	72
Figura 49-3:	Esquema de momentos en plano X-Y del eje 5 en SAP 2000.....	72
Figura 50-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 5.....	73
Figura 51-3:	Esquema de momentos en plano X-Z del eje 5 en SAP 2000.....	73
Figura 52-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 5.....	74
Figura 53-3:	Representación del eje 6 en SAP 2000.....	74
Figura 54-3:	Vista frontal del eje 6 en SAP 2000.....	75
Figura 55-3:	Deformación del eje 6 en SAP 2000.....	75
Figura 56-3:	Esquema de momentos en plano X-Y del eje 6 en SAP 2000.....	75
Figura 57-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 6.....	76
Figura 58-3:	Esquema de momentos en plano X-Z del eje 6 en SAP 2000.....	76
Figura 59-3:	Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 6.....	77

Figura 60-3:	Definición de la estructura en SAP.....	78
Figura 61-3:	Propiedades del material	78
Figura 62-3:	Deformación de la estructura en SAP.....	79
Figura 63-3:	Sección de diseño de la estructura.....	79
Figura 64-3:	Propiedades del acero AISI 1045 - eje 1.....	80
Figura 65-3:	Definición de geometría - eje 1	80
Figura 66-3:	Cargas asignadas - eje 1	81
Figura 67-3:	Soportes - eje 1	81
Figura 68-3:	Malla Jacobiana Ratio MAPDL - eje 1.....	82
Figura 69-3:	Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 1	82
Figura 70-3:	Malla Skewness - eje 1.....	82
Figura 71-3:	Detalles de la malla Skewness - eje 1	83
Figura 72-3:	Resultado de deformación - malla Jacobian Ratio - eje 1	83
Figura 73-3:	Resultado de deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 1	84
Figura 74-3:	Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 1.....	84
Figura 75-3:	Factor de seguridad obtenido - malla Jacobian Ratio - eje 1.....	85
Figura 76-3:	Resultado de deformación - malla Skewness - eje 1.....	85
Figura 77-3:	Resultado de deformación unitaria - malla Skewness - eje 1.....	86
Figura 78-3:	Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 1	86
Figura 79-3:	Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 1	87
Figura 80-3:	Propiedades del material acero AISI 1045 - eje 2.....	88
Figura 81-3:	Definición de geometría - eje 2	88
Figura 82-3:	Cargas asignadas - eje 2	89
Figura 83-3:	Soportes - eje 2.....	89
Figura 84-3:	Malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 2	90
Figura 85-3:	Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 2	90
Figura 86-3:	Malla Skewness - eje 2.....	90
Figura 87-3:	Detalles de la malla Skewness - eje 2.....	91
Figura 88-3:	Resultado de deformación - malla Jacobian Ratio - eje 2.....	91
Figura 89-3:	Resultado de deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 2.....	92
Figura 90-3:	Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 2.....	92
Figura 91-3:	Factor de seguridad obtenido - malla Jacobian Ratio - eje 2.....	93
Figura 92-3:	Resultado de deformación - malla Skewness - eje 2.....	93
Figura 93-3:	Resultado de deformación unitaria - malla Skewness - eje 2.....	94
Figura 94-3:	Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 2	94
Figura 95-3:	Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 2	95

Figura 96-3: Propiedades del acero AISI 1045 - eje 3.....	96
Figura 97-3: Definición de geometría - eje 3	96
Figura 98-3: Cargas asignadas - eje 3	97
Figura 99-3: Soportes - eje 3.....	97
Figura 100-3: Malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 3	98
Figura 101-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 3	98
Figura 102-3: Malla Skewness - eje 3.....	98
Figura 103-3: Detalles de la malla Skewness - eje 3	99
Figura 104-3: Resultado de deformación - malla Jacobian Ratio - eje 3	99
Figura 105-3: Resultado de deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 3	100
Figura 106-3: Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 3.....	100
Figura 107-3: Factor de seguridad obtenido - malla Jacobian Ratio - eje 3.....	101
Figura 108-3: Resultado de deformación - malla Skewness - eje 3	101
Figura 109-3: Resultado de deformación unitaria - malla Skewness - eje 3.....	102
Figura 110-3: Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 3	102
Figura 111-3: Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 3	103
Figura 112-3: Propiedades del material acero AISI 1045 - eje 4.....	104
Figura 113-3: Definición de geometría - eje 4	104
Figura 114-3: Cargas asignadas - eje 4	105
Figura 115-3: Soportes - eje 4.....	105
Figura 116-3: Malla Jacobian Ratio MAPDL – eje 4.....	106
Figura 117-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 4	106
Figura 118-3: Malla Skewness - eje 4.....	107
Figura 119-3: Detalles de la malla Skewness - eje 4.....	107
Figura 120-3: Deformación - malla Jacobian Ratio - eje 4.....	108
Figura 121-3: Deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 4.....	108
Figura 122-3: Esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 4	109
Figura 123-3: Factor de seguridad - malla Jacobian Ratio - eje 4	109
Figura 124-3: Resultado de deformación - malla Skewness - eje 4.....	110
Figura 125-3: Resultado de deformación unitaria - malla Skewness - eje 4.....	110
Figura 126-3: Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 4	111
Figura 127-3: Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 4	111
Figura 128-3: Propiedades del material acero AISI 1045 - eje 5.....	112
Figura 129-3: Definición de geometría - eje 5	112
Figura 130-3: Cargas asignadas - eje 5	113
Figura 131-3: Soportes - eje 5.....	113

Figura 132-3: Malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 5	114
Figura 133-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 5	114
Figura 134-3: Malla Skewness - eje 1	114
Figura 135-3: Detalles de la malla Skewness - eje 5	115
Figura 136-3: Resultado de deformación - malla Jacobian Ratio - eje 5	115
Figura 137-3: Resultado de deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 5	116
Figura 138-3: Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 5.....	116
Figura 139-3: Factor de seguridad obtenido - malla Jacobian Ratio - eje 5.....	117
Figura 140-3: Resultado de deformación - malla Skewness - eje 5	117
Figura 141-3: Resultado de Deformación unitaria - malla Skewness - eje 5	118
Figura 142-3: Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 5	118
Figura 143-3: Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 5	119
Figura 144-3: Propiedades del acero AISI 1045 - eje 6.....	120
Figura 145-3: Definición de geometría - eje 6	120
Figura 146-3: Cargas asignadas - eje 6	121
Figura 147-3: Soportes - eje 6.....	121
Figura 148-3: Malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 6	122
Figura 149-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 6	122
Figura 150-3: Malla Skewness - eje 6.....	123
Figura 151-3: Detalles de la malla Skewness - eje 6.....	123
Figura 152-3: Resultado de deformación - malla Jacobian Ratio - eje 6	124
Figura 153-3: Resultado de deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 6	124
Figura 154-3: Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 6.....	125
Figura 155-3: Factor de seguridad obtenido - malla Jacobian Ratio - eje 6.....	125
Figura 156-3: Resultado de deformación - malla Skewness - eje 6.....	126
Figura 157-3: Resultado de Deformación unitaria - malla Skewness - eje 6	126
Figura 158-3: Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 6	127
Figura 159-3: Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 6	127
Figura 160-3: Propiedades del acero AISI 1045 - bastidor derecho del laminado.....	128
Figura 161-3: Definición de geometría - bastidor derecho de laminado.....	128
Figura 162-3: Cargas asignadas - bastidor derecho de laminado.....	129
Figura 163-3: Soportes - bastidor derecho de laminado	129
Figura 164-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor derecho de laminado	130
Figura 165-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL-bastidor derecho de laminado....	130
Figura 166-3: Malla Skewness - bastidor derecho de laminado	131
Figura 167-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor derecho de laminado	131

Figura 168-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor derecho de laminado	132
Figura 169-3: Resultado deformación unitaria-Jacobian Ratio-bastidor derecho laminado	132
Figura 170-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor derecho laminado	133
Figura 171-3: Factor de seguridad - Jacobian Ratio - bastidor derecho de laminado	133
Figura 172-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor derecho de laminado.....	134
Figura 173-3: Resultado deformación unitaria - Skewness - bastidor derecho laminado	134
Figura 174-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor derecho de laminado	135
Figura 175-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor derecho laminado.....	135
Figura 176-3: Propiedades del acero AISI 1045 - bastidor izquierdo de laminado	136
Figura 177-3: Definición de geometría - bastidor izquierdo de laminado	136
Figura 178-3: Cargas asignadas - bastidor izquierdo de laminado	137
Figura 179-3: Soportes - bastidor izquierdo de laminado.....	137
Figura 180-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de laminado	138
Figura 181-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL-bastidor izquierdo de laminado .	138
Figura 182-3: Malla Skewness - bastidor izquierdo de laminado.....	139
Figura 183-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor izquierdo de laminado.....	139
Figura 184-3: Resultado de deformación-Jacobian Ratio-bastidor izquierdo de laminado	140
Figura 185-3: Resultado deformación unitaria-Jacobian Ratio-bastidor izquierdo laminado ..	140
Figura 186-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de laminado	141
Figura 187-3: Factor de seguridad obtenido-Jacobian Ratio-bastidor izquierdo laminado.....	141
Figura 188-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor izquierdo de laminado	142
Figura 189-3: Resultado deformación unitaria - Skewness - bastidor izquierdo laminado.....	142
Figura 190-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor izquierdo de laminado.....	143
Figura 191-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor izquierdo de laminado.....	143
Figura 192-3: Propiedades del acero AISI 1045 - bastidor derecho de estampado.....	144
Figura 193-3: Definición de geometría - bastidor derecho de estampado	144
Figura 194-3: Cargas asignadas - bastidor derecho de estampado	145
Figura 195-3: Soportes - bastidor derecho de estampado.....	145
Figura 196-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor derecho de estampado.....	146
Figura 197-3: Detalles de malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor derecho de estampado ...	146
Figura 198-3: Malla Skewness - bastidor derecho de estampado.....	147
Figura 199-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor derecho de estampado.....	147
Figura 200-3: Resultado de deformación-Jacobian Ratio-bastidor derecho de estampado.....	148
Figura 201-3: Resultado deformación unitaria-Jacobian Ratio-bastidor derecho estampado ..	148
Figura 202-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor derecho estampado	149
Figura 203-3: Factor de seguridad obtenido-Jacobian Ratio-bastidor derecho estampado.....	149

Figura 204-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor derecho de estampado.....	150
Figura 205-3: Resultado deformación unitaria - Skewness - bastidor derecho estampado	150
Figura 206-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor derecho de estampado	151
Figura 207-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor derecho de estampado	151
Figura 208-3: Propiedades del acero AISI 1045 - bastidor izquierdo de estampado	152
Figura 209-3: Definición de geometría - bastidor izquierdo de estampado	152
Figura 210-3: Cargas asignadas - bastidor izquierdo de estampado	153
Figura 211-3: Soportes - bastidor izquierdo de estampado	153
Figura 212-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de estampado	154
Figura 213-3: Detalles de malla Jacobian Ratio MAPDL-bastidor izquierdo de estampado ...	154
Figura 214-3: Malla Skewness - bastidor izquierdo de estampado	155
Figura 215-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor izquierdo de estampado.....	155
Figura 216-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo estampado	156
Figura 217-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian - bastidor izquierdo estampado	156
Figura 218-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de estampado	157
Figura 219-3: Factor de seguridad obtenido-Jacobian Ratio-bastidor izquierdo estampado ...	157
Figura 220-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor izquierdo de estampado	158
Figura 221-3: Resultado deformación unitaria - Skewness - bastidor izquierdo estampado ...	158
Figura 222-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor izquierdo de estampado.....	159
Figura 223-3: Factor de seguridad obtenido-Skewness-bastidor izquierdo de estampado.....	159
Figura 224-3: Propiedades del acero AISI 1020 - bastidor derecho de corte.....	160
Figura 225-3: Definición de geometría - bastidor derecho de corte	160
Figura 226-3: Cargas asignadas - bastidor derecho de corte	161
Figura 227-3: Soportes - bastidor derecho de corte.....	161
Figura 228-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor derecho de corte.....	162
Figura 229-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor derecho de corte	162
Figura 230-3: Malla Skewness - bastidor derecho de corte.....	163
Figura 231-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor derecho de corte	163
Figura 232-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor derecho de corte.....	164
Figura 233-3: Resultado deformación unitaria-Jacobian Ratio-bastidor derecho de corte	164
Figura 234-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor derecho de corte	165
Figura 235-3: Factor de seguridad obtenido - Jacobian Ratio - bastidor derecho de corte	165
Figura 236-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor derecho de corte	166
Figura 237-3: Resultado de deformación unitaria-Skewness-bastidor derecho estampado	166
Figura 238-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor derecho del estampado	167
Figura 239-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor derecho de corte	167

Figura 240-3: Propiedades del acero AISI 1020 - bastidor izquierdo de corte	168
Figura 241-3: Definición de geometría - bastidor izquierdo de corte	168
Figura 242-3: Cargas asignadas - bastidor izquierdo de corte	169
Figura 243-3: Soportes - bastidor izquierdo de corte	169
Figura 244-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de corte	170
Figura 245-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de corte	170
Figura 246-3: Malla Skewness - bastidor izquierdo de corte	171
Figura 247-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor izquierdo de corte.	171
Figura 248-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de corte	172
Figura 249-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo corte.....	172
Figura 250-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de corte.....	173
Figura 251-3: Factor de seguridad obtenido - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de corte....	173
Figura 252-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor izquierdo de corte	174
Figura 253-3: Resultado de deformación unitaria - Skewness - bastidor izquierdo de corte ...	174
Figura 254-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor izquierdo de corte.....	175
Figura 255-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor izquierdo de corte.....	175
Figura 256-3: Propiedades del material acero AISI 1020 - bastidor derecho de bobina.....	176
Figura 257-3: Definición de geometría - bastidor derecho de bobina	176
Figura 258-3: Cargas asignadas - bastidor derecho de bobina	177
Figura 259-3: Soportes - bastidor derecho de bobina.....	177
Figura 260-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor derecho de bobina.....	178
Figura 261-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor derecho de bobina.....	178
Figura 262-3: Malla Skewness - bastidor derecho de bobina	179
Figura 263-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor derecho de bobina	179
Figura 264-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor derecho bobina.....	180
Figura 265-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian Ratio - bastidor derecho bobina	180
Figura 266-3: Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - bastidor derecho bobina	181
Figura 267-3: Factor de seguridad obtenido - Jacobian Ratio - bastidor derecho bobina	181
Figura 268-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor derecho de bobina.....	182
Figura 269-3: Resultado de deformación unitaria - Skewness - bastidor derecho de bobina...182	182
Figura 270-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor derecho del estampado	183
Figura 271-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor derecho de bobina	183
Figura 272-3: Propiedades del acero AISI 1020 - bastidor izquierdo de bobina	184
Figura 273-3: Definición de geometría - bastidor izquierdo de bobina	184
Figura 274-3: Cargas asignadas - bastidor izquierdo de bobina	185
Figura 275-3: Soportes - bastidor izquierdo de bobina	185

Figura 276-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de bobina	186
Figura 277-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de bobina ...	186
Figura 278-3: Malla Skewness - bastidor izquierdo de bobina.....	187
Figura 279-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor izquierdo de bobina.....	187
Figura 280-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de bobina	188
Figura 281-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo bobina..	188
Figura 282-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de bobina	189
Figura 283-3: Factor de seguridad obtenido-Jacobian Ratio-bastidor izquierdo de bobina.....	189
Figura 284-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor izquierdo de bobina	190
Figura 285-3: Resultado deformación unitaria - Skewness - bastidor izquierdo de bobina.....	190
Figura 286-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor izquierdo de bobina.....	191
Figura 287-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor izquierdo de bobina.....	191

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Despliegue de la función de calidad.....	24
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIONES GENERALES DE MOTOR BALDOR MONOFÁSICO

ANEXO B: ESPECIFICACIONES DE REDUCTOR DODGE H_483GH80G4

ANEXO C: DIMENSIONES DE CHAVETAS Y CHAVETEROS DIN 6885-1

ANEXO D: TUBO ESTRUCTURAL PARA SOPORTAR LA MÁQUINA

ANEXO E: BOMBA SUMERGIBLE PARA SISTEMA DE LUBRICACIÓN

ANEXO F: MANUAL DE OPERACIÓN, SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO

ANEXO G: PLANOS DE DETALLE

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de titulación fue diseñar una máquina laminadora y estampadora de cera de abejas para marcos de colmena Langstroth, además de realizar una validación del diseño mediante software, para lo cual se utilizó la metodología de diseño mecánico a través de los requerimientos del usuario y con el despliegue de la casa de la calidad. Se analizó los procesos necesarios para obtener el producto final determinando las funciones que debía realizar la máquina y de esta forma diseñar y seleccionar los elementos necesarios que la conformen. Como resultado se obtuvo el diseño de la máquina requerida, junto con la validación de los elementos mecánicos. La máquina cuenta con una capacidad de producción de 6 láminas por minuto. Se tiene que la capacidad de carga de la materia prima es de hasta 20 Kg de cera de abeja bobinada. La velocidad de rotación de los ejes es de 15 rpm aproximadamente, transmitida con un motor eléctrico monofásico de 1 Hp. Además, cuenta con un sistema de transmisión de potencia mediante cadenas. También se realizó diferentes pruebas en softwares como SAP 2000 y ANSYS para verificar que dichos elementos se encuentren dentro de los rangos de seguridad admisibles, concluyendo que el diseño de la máquina se realizó de manera correcta y cumple con los requerimientos. La selección de los elementos se realizó bajo normas y mediante catálogos de diferentes marcas, las cuales se detallan a lo largo de la memoria de cálculo y se incluyeron tablas e imágenes necesarias en los anexos, lo cual sirve para un mejor entendimiento y comprensión del lector. Para la utilización de la máquina, se recomienda leer el manual de usuario detenidamente, en donde se encuentra la información pertinente para que el usuario pueda aprovechar al máximo la máquina sin tener accidentes.

Palabras clave: <DISEÑO MECÁNICO>, <APICULTURA>, <CERA DE ABEJAS>, <LAMINADORA Y ESTAMPADORA>, <MARCOS LANGSTROTH >



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

1600-DBRA-UPT-2021

2021-08-20

SUMMARY

The objective of this degree work was to design a beeswax laminating and stamping machine for Langstroth hive frames, in addition to carrying out a validation of the design through software, for which the mechanical design methodology was used through the requirements of the user and with the deployment of quality house. The processes necessary to obtain the final product were analyzed, determining the functions to be performed by the machine and thus designing and selecting the necessary elements that make it up. As a result, the required machine design was obtained, together with the validation of the mechanical elements. The machine has a production capacity of 6 sheets per minute. It is necessary that the load capacity of the raw material is up to 20 Kg of wound beeswax. The rotation speed of the shafts is approximately 15 rpm, transmitted with a 1 Hp single-phase electric motor. In addition, it has a power transmission system through chains. Different tests were also carried out in software such as SAP 2000 and ANSYS to verify that these elements are within the admissible safety ranges, concluding that the design of the machine was carried out correctly and meets the requirements. The selection of the elements was made under standards and through catalogs of different brands, which are detailed throughout the calculation memory and necessary tables and images were included in the annexes, which serves for a better understanding and comprehension of the reader. To use the machine, it is recommended to read the user manual carefully, where the pertinent information is found so that the user can make the most of the machine without having accidents.

Keywords: <MECHANICAL DESIGN> <APICULTURE> <BEE WAX>
<LAMINATING AND STAMPING MACHINE> <ANSYS (SOFTWARE)>

INTRODUCCIÓN

El Ecuador al encontrarse en una zona geográfica privilegiada por su gran biodiversidad de flora y fauna, y al albergar diferentes tipos de clima, puede desarrollar apicultura en cualquiera de las tres regiones, costa, sierra y Amazonía. Esto supone una ventaja y proyecta al país como uno de los mayores productores de la región. Esta actividad no se encuentra industrializada y la mayoría de las herramientas y equipos utilizados son artesanales, por lo que el desarrollo de mejores tecnologías puede dar un gran impulso a este sector económico.

Las láminas de cera estampadas se consideran uno de los aspectos más importantes en los insumos de la colmena. Es la base sobre la cual permanece todo en el interior de la colmena, la cual almacena la miel y los demás productos obtenidos de esta actividad. Muchos apicultores utilizan su propia cera por lo que se requiere que alguien garantice este trabajo y ofrezca buena calidad. Muchos de los equipos artesanales fabricados no son muy eficientes, se realizan con materiales reciclados y no cumplen con las normas sanitarias del sector alimenticio, de modo que se reduce la posibilidad de destacar en mercados internacionales o de insertarse en las cadenas de distribución a nivel nacional. Este tipo de equipos son manuales en su mayoría, en consecuencia, se quiere brindar la posibilidad de tener un equipo automático para el proceso de laminación de cera de abeja y estampadora del patrón requerido para los marcos de las colmenas, acortando los tiempos en los que se obtienen y cumpliendo con estándares de calidad.

El diseño de una máquina abarca muchos frentes del perfil de un ingeniero mecánico, ya que aplica gran cantidad de los conocimientos impartidos en el programa de estudio a través de la metodología de diseño como lo son: diseño estructural, selección de materiales, sistema motriz, automatización, formulación y evaluación de Proyectos, etc. Es una excelente oportunidad para aplicar de forma útil dichos conocimientos para resolver una problemática existente en el sector de la apicultura, ayudando a desarrollar facilidades y equipos para la comunidad.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Existen registros históricos que demuestran que el hombre ha aprovechado a las abejas desde el año 2500 a.C. En diferentes civilizaciones como los egipcios, hitita en Asia, españoles, árabes, entre otros, han plasmado sus conocimientos y avances tecnológicos en diferentes escritos (InfoAgro, 2020). La apicultura es la actividad que hace referencia a la crianza y cuidado de las abejas. Estos polinizadores, tienen un papel importante en el ecosistema global, ya que preservan el 80% de la biodiversidad de plantas silvestres, además de los productos que se obtienen como lo es la miel de abeja, polen, propóleos, cera, api toxina y jalea real (ECOCOLMENA, 2013). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): “la apicultura puede ayudar a mitigar la pobreza, proteger la biodiversidad y respaldar la seguridad alimentaria”. En Somalilandia, se extendió un proyecto de la FAO, denominado “La apicultura: un negocio rentable y sostenible”, el cual le enseña a los jóvenes el arte de la apicultura y cómo hacer de esto un empleo sostenible y rentable (FAO, 2020).

El gobierno ecuatoriano lanzó un plan estratégico 2015-2020 para fortalecer la población apícola en el país. En el cual, a través de capacitaciones a cargo del MAGAP y Agrocalidad, se pretende informar a la comunidad la importancia y los beneficios que traen las abejas para la agricultura y la salud (MAGAP, 2018). Los tres ejes establecidos para duplicar las cifras de productividad apícola para el 2020 son: asistencia técnica, transferencia de tecnologías y créditos financieros. Según el Registro Apícola Nacional, existen 1400 apicultores registrados, y es un sector que aún se encuentra en crecimiento en el país (Revista Líderes, 2018). El SECAP es el único ente certificador de personas por competencia laborales como apicultor en Ecuador (SECAP, 2018).

Cada litro de miel se comercializa entre \$ 15 y \$ 20 (ELTelégrafo, 2019), lo cual se ha convertido en una fuente de ingreso para los agricultores, por lo que se encuentran en la constante búsqueda de nuevas tecnologías que mejoren los procesos de producción y extracción de la miel, en el menor tiempo posible.

La cera de abejas juega un papel fundamental en los procesos de producción de la miel, ya que con esta materia prima se elaboran los panales con celdas hexagonales en donde las abejas almacenan la miel y el polen, además de servir como cuna para el periodo larval, permitiendo la

reproducción e incremento de las colmenas. El descubrimiento de la aceptación por parte de las abejas de la cera estampada permitió a los apicultores obtener cosechas más abundantes de miel y controlar de mejor manera la población en las colmenas mediante la utilización de panales móviles. Como parte de la apicultura moderna la cera estampada favorece a las abejas a construir sus celdas en línea recta y paralelas al cabezal del marco, lo que facilita la extracción de miel y demás productos (Batres Marroquin de Ibarra, 1998).

Los apicultores utilizan láminas de origen extranjero ya que en nuestro país no existen estudios para la conformación de las mismas, por otro lado, algunos apicultores tratan de estampar su cera de forma manual, lo cual requiere de mucho esfuerzo, tiempo y paciencia. En Ecuador tenemos 1760 apicultores con 19155 colmenas registradas, que con el tiempo seguirán aumentando. Esto representa una gran oportunidad económica para el país, ya que las láminas se podrían generar con los recursos que tenemos aquí en Ecuador, con precios relativamente estables y ayudando al desarrollo de las comunidades dedicadas a esta actividad.

1.2. **Delimitación**

1.2.1. *Delimitación espacial*

El presente proyecto técnico se realiza pensando en las necesidades de la Asociación de apicultores de la provincia de Chimborazo, cuya sede se encuentra ubicada en la ciudad de Riobamba.

1.2.2. *Delimitación sectorial*

El sector apícola se beneficia del Plan Nacional de Desarrollo contenido en el Objetivo 6: “Impulsar el desarrollo rural integral para alcanzar el buen vivir”, como parte del eje 2: Economía al servicio de la sociedad (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

1.3. **Formulación del problema**

Debido a la importancia de la apicultura en la agricultura, como fuente de trabajo para muchos ecuatorianos, y siendo un sector en desarrollo en el país, se deben utilizar todos los recursos posibles para aprovechar de mejor manera esta actividad sostenible y rentable. Existen pocos controles de normas de calidad para la miel comercializada informalmente, por lo que los

apicultores se ayudan de equipos desarrollados por ellos mismos con materiales reciclados que no necesariamente cumplen con las buenas prácticas de manufactura para productos alimenticios. La calidad del producto obtenido es primordial, de modo que se ve la necesidad de diseñar máquinas que ayuden a los apicultores a mejorar los procesos de extracción de la miel, hacerlo en el menor tiempo posible y mantener los marcos en excelente estado. Es necesario impulsar la productividad del sector apícola a través del desarrollo de capacidades del talento humano mediante capacitaciones dictadas por el MAG y desarrollo de tecnologías y herramientas en las comunidades dedicadas a esta actividad.

Para que los apicultores puedan aumentar la producción de miel y otros productos, necesitan aumentar sus colmenas; por lo que requieren de las láminas de cera para ello. La falta de estudio en esta área y pocos desarrollos tecnológicos no han permitido que el sector apícola del país tenga el crecimiento deseado. La carencia de equipos automáticos retrasa la elaboración de láminas de cera para el crecimiento de colmenas. Los costos elevados y escasos del servicio de estampado perjudican las actividades de los apicultores, siendo un obstáculo para el rápido crecimiento de colmenas.

Considerando la información que proporciona el presente proyecto acerca de la importancia de la cera estampada para el crecimiento de colmenas y obtención de miel, se propone realizar el diseño de una máquina automática laminadora y estampadora de cera de abeja para los marcos de las colmenas Langstroth. Siendo una de las principales ventajas la disminución de los costos que representa este servicio para el apicultor de la zona, así como tiempos cortos en los que se puedan obtener las láminas de cera ya estampadas y listas para utilizarse, aportando al crecimiento del sector apícola del Ecuador.

1.4. **Objetivos**

1.4.1. ***Objetivo general***

Diseñar una máquina automática laminadora y estampadora de cera de abejas de rodillos para marcos de colmenas tipo Langstroth, para la ciudad de Riobamba y validar mediante software CAE.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Desarrollar la metodología del diseño mecánico de la máquina automática laminadora y estampadora de cera de abeja según los requerimientos del apicultor ecuatoriano.
- Definir parámetros de diseño de la máquina automática laminadora y estampadora de cera de abeja para el proceso requerido.
- Diseñar y seleccionar elementos y materiales para cada sistema de la máquina automática laminadora y estampadora propuesta.
- Obtener planos de construcción de la máquina laminadora y estampadora de cera de abejas.
- Simular el comportamiento estructural de la máquina propuesta y de cada elemento mecánico mediante un software CAE para su validación.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Apicultura: Generalidades

Proviene del latín Apis (abeja) y Cultura (cultivo), es decir, la ciencia que se dedica al cultivo o cría de las abejas utilizando la tecnología para obtener beneficios económicos (InfoAgro, 2020). La apicultura en sí se refiere a la crianza de abejas, utilizando los medios tecnológicos para así obtener beneficios, tanto para el propietario del negocio como para los consumidores de estos productos. Además, se puede decir que la apicultura es el arte y la ciencia de la cría y mantenimiento de las abejas con vistas a obtener de su trabajo los productos apícolas y generar un beneficio económico para los mismos (Vásquez Robalino, 2017).

2.1.1. Tipos de apicultura

Actualmente existen dos tipos de apicultura:

- Apicultura Sedentaria: Es aquella en la que la ubicación de la colmena no varía y precisa de un aporte de alimento artificial.
- Apicultura Trashumante: Consiste en ir cambiando la situación del apiario siguiendo la localización de la zona geográfica con el fin de obtener un máximo de producción. (InfoAgro, 2020)

2.1.2. Abejas

Es un insecto, también conocido como abeja melífera, de género Apis, la cual comprende cuatro especies de comportamiento social, se mencionan a continuación: Apis florea, Apis dorsata, Apis cerana, Apis mellifera

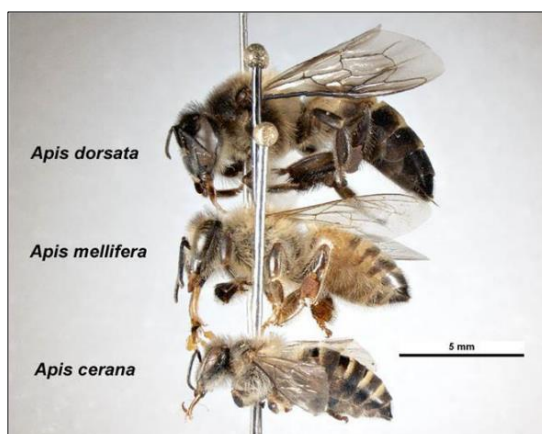


Figura 1-2: Tipos de abejas

Fuente: (Yépez & Flores, 2014)

2.2. **Productos apícolas**

De esta actividad se pueden obtener varios productos, los cuales son utilizados en la industria de alimentos, medicina, química y farmacia, entre otros.

2.2.1. ***Miel***

Es definida por el código alimentario como la sustancia dulce, no fermentada, producida por las abejas del néctar de las flores o de las secreciones sobre o de las plantas vivas; que ellas recolectan, transforman y combinan con sustancias específicas y que finalmente almacenan y maduran en panales. Está compuesta por agua, fructosa y glucosa, además de otras sustancias en muy baja proporción como son ácidos, minerales, aminoácidos y proteínas, enzimas, aromas, etc. Su composición es variada dependiendo de las zonas geográficas y cuidado de las abejas. (InfoAgro, 2020).

2.2.2. ***Polen***

El polen o pan de abeja es fundamental en la alimentación de las larvas que van a originar las futuras obreras y en menor medida a los zánganos. Su composición es variada al igual que la miel. El polen es un alimento muy proteico y que sirve para preparar antialérgicos (InfoAgro, 2020).

2.2.3. ***Cera***

Es una sustancia segregada por las mandíbulas ceríferas de las abejas domésticas en posición ventral, en el segundo periodo de su fase adulta, justo después de ser nodrizas (almacenistas). Es una sustancia de composición muy compleja con un elevado número de átomos de carbono. Es segregada en forma líquida solidificándose a la temperatura interior de la colonia en forma de escamas. Es de bajo peso, pero resiste tracciones o 14 pesos relativamente importantes. La cera actualmente tiene poca importancia como aprovechamiento apícola (InfoAgro, 2020).

2.2.4. ***Propóleo***

Está formado por las propias abejas por la recolección de resinas de especies arbóreas y su mezcla con cera en la colmena. Los propóleos evitan pérdidas de calor durante el invierno al depositarse sobre las grietas del nido o colmena. Las aplicaciones de los propóleos son diversas, se emplean en la fabricación de cosméticos, barnices, pinturas, medicamentos, etc. Tiene propiedades antisépticas, especialmente en infecciones de ojos, eczemas, infecciones de garganta, úlceras, enfermedades del tracto urinario, dermatología, odontología, etc. (InfoAgro, 2020).

2.2.5. ***Api toxina o veneno de abeja***

Es un producto que se emplea en medicina por su poder antiartrítico y en la preparación de antialérgicos. Se produce en las glándulas situadas en la parte posterior del último segmento

abdominal de la abeja. El veneno de abeja tiene propiedades bactericidas, hemolíticas, anticoagulantes y tónicas. Es el mayor vasodilatador conocido, fluidifica la sangre al ser anticoagulante, se le reconocen propiedades en casos de reumatismo y actualmente el veneno es utilizado de forma racional en algunos países (InfoAgro, 2020).

2.2.6. *Jalea real*

Es un alimento de gran importancia para las abejas cuando son larvas hasta cumplir los seis días de vida, y de la reina durante toda la vida. La jalea real obtenida se almacena en frascos oscuros y debe permanecer siempre en refrigeración, siendo consumida en pequeñas cantidades. La jalea real tiene una propiedad antiinflamatoria y regeneradora, presenta efectos hipercolesterolémicos, vasodilatadores, antiinflamatorios. Es empleada por las industrias dietéticas y cosméticas (InfoAgro, 2020).

2.3. **Apicultura en el Ecuador**

La apicultura en el Ecuador se encuentra muy poco desarrollada por múltiples factores. Entre ellos se pueden mencionar la falta de apoyo del estado, el bajo protagonismo de sus actores, una organización muy débil, además de una tasa de deforestación muy alta (Cabrera, 2010). Todo esto ha permitido que aumente la adulteración de la miel de abeja en el mercado, habiendo marcas incluso con registros sanitario, que llevan en su composición glucosa de maíz y que la venden como miel de abeja pura. Este tipo de circunstancias frena el desarrollo de la apicultura en el Ecuador. A nivel de las organizaciones, se hace necesario un cambio generacional que contribuya con nuevas ideas y que incluya nuevas tecnologías para mejorar los procesos productivos.

La apicultura en el Ecuador se inició con las primeras colmenas traídas por los Hermanos Cristianos desde Francia, en el año de 1870, siendo Cuenca el principal centro de apicultura, desde dónde se propagaron a todo el país. En el año de 1909 se publica el primer libro de apicultura por el Dr. Luis Cordero, esta obra se llamó Nociones de Apicultura. Antes de la llegada de las abejas europeas a nuestro país existían las “abejas sin aguijón”, llamadas Meliponas, cultivadas por nuestros indígenas y también por los primeros mestizos. La llegada de las abejas europeas causó un impacto muy grande en la supervivencia de las abejas nativas, que al ser más grandes y numerosas fueron sus competidoras directas haciendo que éstas se retiraran de su hábitat (Vásquez Robalino, 2017).

Las abejas nativas eran responsables de la polinización de las plantas nativas, en consecuencia, las plantas con flores pequeñas y de cáliz profundo y estrecho, podían recibir a abejas de tamaño pequeño únicamente. Estos insectos están vinculados con las comunidades rurales mayormente, quienes trabajan la tierra y cuidan de las abejas para aprovechar la miel, la cera y demás productos que ellas producen. Desde hace algún tiempo se estima que cada día existen menos colonias

debido a la tala irracional de los bosques y la deforestación. En Ecuador no se le ha dado mayor importancia a la apicultura a diferencia de otros sectores (Cabrera, 2010).

2.3.1. *Producción apícola nacional*

El 90% de los apicultores se dedican a esta actividad como pasatiempo, solamente un 10% vive de la apicultura. Los Productos que se pueden obtener de cada colmena se estiman en los siguientes porcentajes:

Tabla 1-2: Porcentaje de productos obtenidos por colmena.

Producto	Porcentaje
Miel de abeja	85%
Propóleo	6%
Cera de abeja	5%
Polen	3%
Jalea Real	1%
Api toxina	0.1%

Fuente: (Cabrera, 2010)

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Obteniendo en promedio total una producción de 30Kg/colmena. Además, se sabe que la mayor parte de los apicultores producen miel de abejas y muy pocos apicultores los otros productos de la colmena.

Un gran porcentaje de colmenas se encuentran ubicadas en zonas pobladas, lo cual dificulta su manejo. Especialmente en la zona templada de la Sierra ecuatoriana, la producción de miel de abeja en el Ecuador no es suficiente, se estima que su capacidad productiva no llega al 60% de la producción (Cabrera, 2010). Se estima en el país no hay más de 2000 apicultores, aunque según el Registro Apícola Nacional hasta el año 2018, solo se tenían registrados 1760 apicultores y 19 155 colmenas (MAG, 2018). Además, se menciona que las provincias con más producción e influencia apícola son:

Tabla 2-2: Registro de provincias con mayor influencia apícola en el país

Provincia	Apicultores registrados	Colmenas
Loja	325	2429
Manabí	146	1820
Santa Elena	144	828
Azuay	118	854
Chimborazo	114	1190

Fuente: (MAG, 2018)

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Un 40% de la producción de miel de abeja proviene de la apicultura trashumante entre la Costa y la Sierra, agravando las condiciones sanitarias de las abejas, ya que no existe regulación en cuanto al traslado de abejas (Cabrera, 2010).

2.4. Equipos para la apicultura

La utilización de equipos para esta actividad se ha desarrollado para proteger al apicultor, y para realizar los trabajos en menos tiempo. Se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 3-2: Clasificación de los equipos para la apicultura.

Equipos para la apicultura	
Equipos de Protección personal	Equipos de Trabajo
<ul style="list-style-type: none"> - Velo - Casco - Guantes - Overol - Botas 	<ul style="list-style-type: none"> - Ahumador - Alimentadores - Cepillo - Colmena - Cuadros o marcos - Cuchillo para desopercular - Estampadora de cera - Extractor de miel - Pinzas - Soplador de abejas

Fuente: (Guamín & Llumiquinga, 2006)

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

2.4.1. Colmena

Es la base material donde habitan enjambres de abejas. Puede ser un espacio natural o construida y preparada por el hombre. Se utilizan materiales como madera, paja trenzada, corcho, incluso cerámica y plástico (InfoAgro, 2020). Entre las partes más importantes de una colmena se pueden destacar las siguientes:

- **Base:** También conocida como fondo o soporte, es la parte baja de la colmena. Sobre dicha base se pueden situar la piquera, que corresponde a puerta de entrada y salida de las abejas, y el tablero de vuelo o también conocido como suelo.
- **Cámara de cría:** Es un cajón en el cual se introducen cuadros. Allí se encuentra la reina y los estados inmaduros que corresponden a los huevos, larvas y pupa.
- **Alzas:** Se refiere a cajones con cuadros o panales en donde las abejas depositan la miel que elaboran.
- **Tapa:** se considera el techo de la colmena. Siempre va con una entre tapa o también conocida como contratapa.

Existen diferentes tipos de colmenas que ha usado el hombre a lo largo de la historia, las cuales se realizan de diferentes materiales y pueden ser fija o móviles. Siendo las más contemporáneas las de cuadros móviles, abarcan una gran cantidad de diseños y fueron creadas a mediados del

siglo pasado, después del estudio de Langstroth (Vásconez Robalino, 2017). Una colmena Langstroth podría contener de 1.8 a 3.8 kg de miel, la cantidad de cera necesaria para producir 7100 celdas de 100g (Yépez & Flores, 2014).

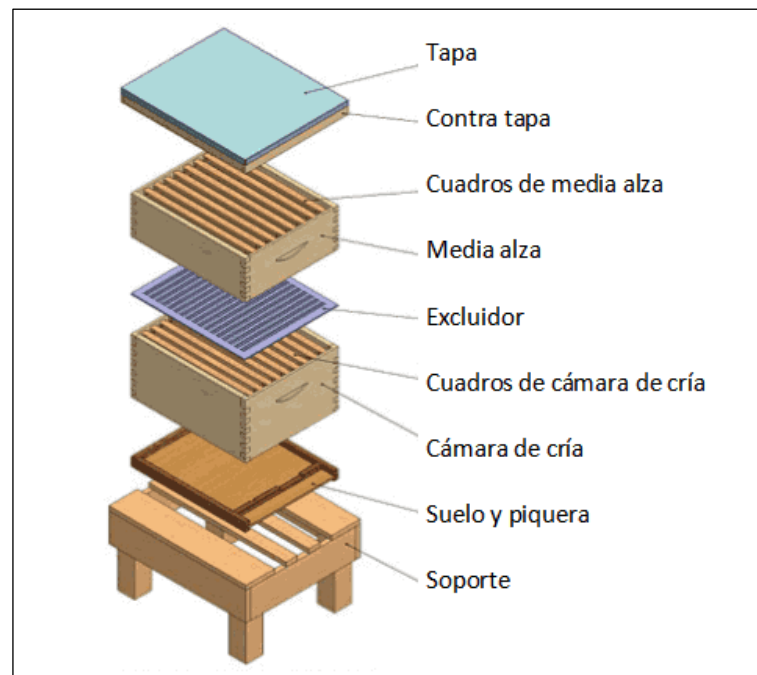


Figura 2-2: Partes de una colmena Langstroth

Fuente: (ECOCOLMENA, 2013)

2.4.2. *Marcos*

Los cuadros o marcos sirven para sostener los panales. Se construyen de madera. El marco es una parte móvil de la colmena, puede removerse para la extracción de miel y facilita la inspección en el interior de la colmena. Artesanalmente se utilizan cuadros de 300 mm de lado, pero la mayoría utilizan marcos estándar tipo Langstroth de 448mm x 232mm o tipo Hoffman de 448mm x 285mm. (Guamín & Llumiquinga, 2006)

2.4.3. *Panales*

Los panales son considerados una obra maestra de la naturaleza por la estructura de sus celdas hexagonales, la delgadez y fragilidad de sus paredes y la gran cantidad de miel que pueden almacenar. Los panales cumplen la función de albergar a las abejas durante su etapa larval, además de servir de refugio y como almacén de sus alimentos que son la miel y el polen. (Guamín & Llumiquinga, 2006)

2.4.3.1. Geometría de las celdas de los panales

Las celdas son de forma hexagonal, la cual permite mayor economía de espacio y material, además su geometría maximiza su resistencia. En 10 mm caben 1.9 celdas, es decir, son de casi 5 mm. Estas celdas sirven para albergar crías de obreras y almacenar miel. Las paredes varían de 0.0762 a 0.0508 mm⁴ de espesor. Un panal de obrera recién construido mide 22.2 mm de espesor, éste puede aumentar hasta alcanzar 25.4 mm en panales viejos (Guamín & Llumiquinga, 2006).

2.5. Cera de abejas

Es una sustancia segregada por las abejas obreras, específicamente por las glándulas ceríferas, las cuales se encuentran en la parte inferior del abdomen, entre los anillos 4-7. Por lo general, la producción de cera de abeja se da en el segundo periodo de su fase adulta (InfoAgro, 2020). La secreción de la cera ocurre entre los 35°C y 36°C de forma líquida y se solidifica al contacto con el aire (Guamín & Llumiquinga, 2006). La cera es una sustancia estable y sus propiedades no se alteran con el paso del tiempo, además soporta la oxidación natural y no es soluble en agua. (Sillard Pérez, 2002). Se estima que para que las abejas produzcan un kilo de cera, deben consumir de 5 a 7 kilos de miel aproximadamente, por lo que ellas recorren grandes distancias para la recolección de néctar (Hidalgo, 2017).

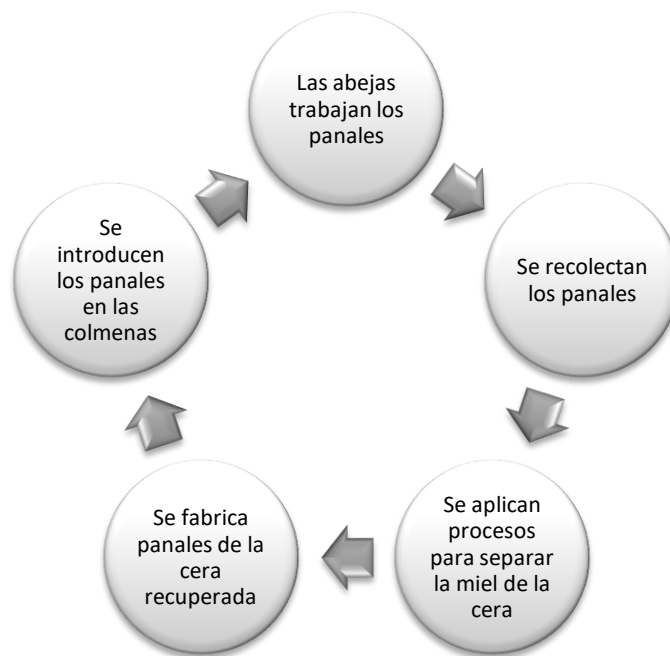


Figura 3-2: Ciclo de la cera de abejas

Fuente: (Yépez & Flores, 2014)

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

2.5.1. *Composición química*

La composición química de la cera cambia acorde a la especie de abeja y a algunos factores ambientales, pero en general la cera se compone de los siguientes elementos en promedio:

Tabla 4-2: Composición química promedio de la cera de abeja

Componente	Porcentaje
Esteres ácidos	1%
Poliésteres ácidos	2%
Hidrocarburos	14%
Mono ésteres	35%
Di ésteres	14%
Tri ésteres	3%
Hidroximonoésteres	4%
Hidroxipoliésteres	8%
Ácidos libres	12%
Alcoholes libres	1%
Propóleos, polen y pigmentos	6%

Fuente: (Sillard Pérez, 2002)

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

2.5.2. *Propiedades fisicoquímicas*

La cera se considera una estructura química de alto peso molecular dado que es una mezcla de diferentes compuestos, aproximadamente 200, en diferentes concentraciones. En la siguiente tabla se presentan algunas de las propiedades fisicoquímicas de este producto natural:

Tabla 5-2: Propiedades fisicoquímica de la cera de abeja

Propiedad	Valor
Fórmula estructural	$C_{46}H_{92}O_2$
Peso molecular	676 g/mol
Densidad relativa a 15°C	0.958-0.970 g/cm ³
Viscosidad a 100°C	20 mPa
Punto de fusión	Rango de 61-66°C
Punto de ebullición	Superior a 430°C
Punto de inflamación	Superior a los 180°C
Insoluble	Agua
Solubilidad	Éter, bencina, benzol, cloroformo
Conductividad térmica	0.25 W/m ² K
Plasticidad	Alrededor de 32°C
Calidad de la cera	Agregado de parafina y estearina

Fuente: (Hidalgo, 2017)

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

2.5.3. *Formas de obtención de la cera*

Las fuentes de obtención de la cera de abejas son: los opérculos, panales viejos o aquellos que ya no se utilizan y los pedazos de panal que se rasquetean de los cuadros y la colmena. Existen diferentes métodos para separar la cera de los panales, incluso la cera de los opérculos necesita un proceso, por lo que el método de obtención se considera indirecto. A continuación, se muestra un cuadro comparativo de estas tres fuentes de cera:

Tabla 6-2: Métodos de obtención de la cera de abeja

Obtención	Método	Procedimiento
Opérculos	Desoperculación de los panales	Una vez desoperculados y escurridos los panales, se colocan en un recipiente con agua caliente para derretirlos. Luego se coloca en moldes y se deja enfriar.
Cera de panales	Colado simple	Colocar pedazos de panal dentro de un recipiente con agua y hervir lentamente. Pasar por un cedazo de malla de alambre cuando estén derretidos. Dejar enfriar. Raspar suciedades de la parte inferior del bloque
	Cámara de cría sumergida	El cuerpo de la colmena se llena con panales en sus marcos, se tapa arriba y abajo con una malla de alambre. Se sumerge en un tanque lleno de agua, la cual se hace hervir. Luego se enfría y se retirar la cera una vez que se endurezca en la superficie del agua.
	Bolsa de arpillera sumergida	Se colocan pedazos de panal en una bolsa de arpillera con una pesa y se sumerge en un tanque de agua. Se agrega calor de forma lenta y controlada. Se agita la bolsa con un palo para que la cera flote. Recolectar la cera en la superficie cuando esté fría.
	Extracción solar	Consiste en un cajón de madera con las paredes interiores pintadas de negro mate y forradas con papel aluminio. Se colocan los panales en el interior y se cubre con una tapa de vidrio (inclinarse en dirección de los rayos de sol). Se recoge la cera derretida en un recipiente con agua en la parte inferior.
	Prensado de cera caliente	Romper los panales y poner en remojo en agua caliente por un día previo al prensado. Luego se colocan en una bolsa de arpillera dentro de la prensa de cera. Llenar la prensa de agua caliente. Se aplica presión intermitentemente. La cera flota.
	Centrífuga calentada	Se utiliza la fuerza centrífuga y vapor caliente para extraer la cera.

Fuente: (Guamín & Llumiquinga, 2006)

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Los métodos más utilizados por los apicultores son el colado simple y extracción solar ya que no son muy costosos, no requieren de muchas herramientas y son métodos fáciles de ejecutar. A

diferencia del método de centrífuga calentada que requiere generar fuerza centrífuga mediante una máquina, siendo un método más costoso y trabajoso (Guamín & Llumiyinga, 2006).

2.6. Láminas de cera estampada

Las láminas de cera estampada se realizan mediante el uso de maquinaria especializada, la cual imprime los hexágonos en la cera, en donde las abejas construirán las celdas a partir de este patrón. Dichas láminas oscilan entre 2 a 3 milímetros de espesor. (EcuRed, 2019)



Figura 4-2: Lámina de cera estampada

Fuente: (EcuRed, 2019)

Existen láminas con diferentes medidas según el tipo de colmena que utilice el apicultor, una de las más utilizadas son las colmenas Langstroth, por lo que a continuación se presentan las medidas normalizadas de la lámina de cera para dichos macos.

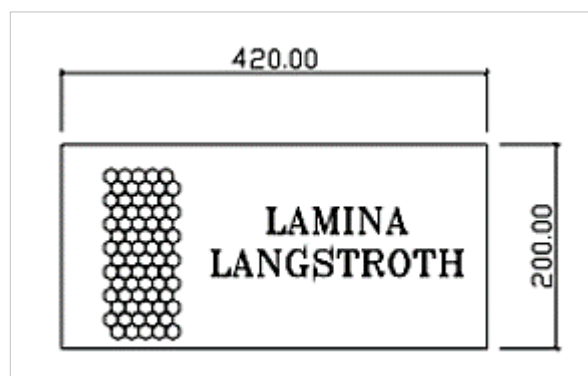


Figura 5-2: Medidas de lámina de cera estampada

Fuente: (Yépez & Flores, 2014)

2.6.1. Historia del invento de láminas de cera estampada

El desarrollo de tecnología en la fabricación de cera estampada en el sector apicultor inicia en el Siglo XX, denominándose Apicultura moderna a partir de este invento (EcuRed, 2019). La primera fundación artificial de cera estampada fue hecha en Alemania en 1842 por Gottlieb Kretchmer.

Fue hecha con un par de rodillos grabados, utilizándose almidón para evitar que la cera adhiriera a los rodillos. El dispositivo consistió en una tira del lino que remontaba, cubierta con una composición de la cera y de almidón blanco, sobre cuál fue impreso el cuadro de fundación o la base de las celdas, pasándola por un par de rodillos grabados (Yépez & Flores, 2014).

A continuación, se revisa cronológicamente los acontecimientos más importantes que lograron desarrollar esta herramienta (EcuRed, 2019):

- 1842: Primera fundación artificial de cera estampada realizada por Gottlieb Kretschmer en Alemania.
- 1857: El holandés Jean Mehring utilizó moldes metálicos planos, en donde vertió la cera.
- 1872: Otto Schenk produjo la fundación con los arrancadores de proyección para las paredes laterales.
- 1876: El norteamericano Root fue el primero en utilizar una prensa de rodillo de metal para estampar cera.
- 1879: Se comenzó a utilizar cera estampada con alambre producida en prensa.
- 1891: En Bélgica se introdujo la cera estampada de 920 celdas por decímetro cuadrado, es decir, 4.7 centímetros cada 10 celdas obreras. Eventualmente todos los apicultores adoptaron ese tamaño de celda.
- 1892: E. B. Weed produjo la hoja de cera de largo longitud entre los rodillos.
- 1893: comenzaron estudios y trabajos científicos sobre el tamaño de las celdas.
- Actualmente se utiliza cera estampada de 5.7 centímetros cada 10 celdas de abeja obrera en forma estándar.

La apicultura tuvo un hito con el descubrimiento de láminas de cera estampada, ya que fue el primer producto fabricado por el hombre que ellas aceptaron, lo que revolucionó el crecimiento de las colmenas. A lo largo de la historia se han diseñado y fabricado diferente tipos de máquinas estampadoras de cera, las cuales han ido mejorando en precisión y rapidez con el paso del tiempo.

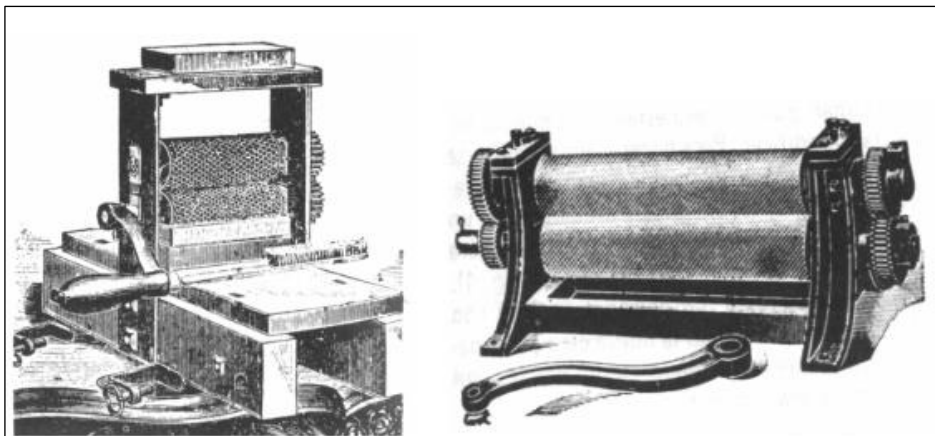


Figura 6-2: Estampadora de cera de rodillos

Fuente: (Guamín & Llumiquinga, 2006)

2.6.2. *Ángulos en la base de las celdas*

Conforme se han realizado más estudios e investigaciones, se ha podido perfeccionar la precisión de las matrices utilizadas para estampar la cera. Las abejas tienen preferencia por el ángulo en el fondo de las celdas más agudo. A continuación, se puede diferenciar los patrones antiguos, de los modernos. Los ángulos de la cera estampada moderna se asemejan más al de las celdas naturales y contienen menor cantidad de cera en la base. Esto representa una mayor eficiencia en el estampado.

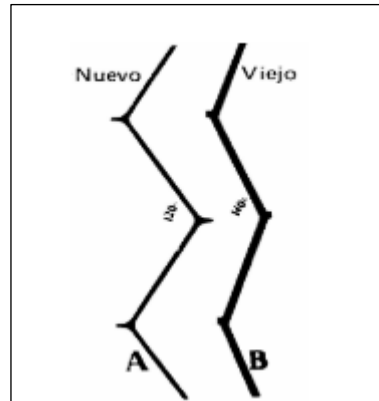


Figura 7-2: Ángulo de celdas: A. Moderna y B. Antigua

Fuente: (Guamín & Llumiquinga, 2006)

2.6.3. *Deformación en la cera estampada*

Debido a la gravedad, las celdas de las láminas de cera estampada sufren expansión en forma vertical y una pequeña dilatación en sentido horizontal. Esta deformación ocurre en épocas de calor a causa del peso de los panales combinado con el peso de la miel. A continuación, se ilustra la deformación que ocurre en las celdas:

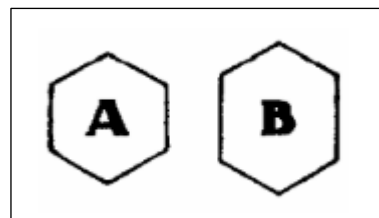


Figura 8-2: A. Celda idónea y B. Celda deformada

Fuente: (Guamín & Llumiquinga, 2006)

En el transcurso del tiempo se han propuesto distintos refuerzos para minimizar este tipo de deformación y evitar en lo posible la rotura y deterioro de los paneles. Siendo una de las mejores opciones y más económicas montar la lámina de cera en alambres estirados de manera horizontal

sujetados al marco. Esto sirve tanto para la sujeción de las láminas como para dar soporte a los panales.



Figura 9-2: Lámina de cera estampada montada en el marco

Fuente: (FIEBIG, 2020)

2.7. Metodología de diseño

Para realizar el diseño mecánico de una máquina se requiere una secuencia de actividades que presentan las ideas como soluciones y se analizan para llegar a una meta u objetivo, de la manera más eficiente. Si bien es cierto que existen pautas para lograr diseñar, el proceso de diseño es altamente iterativo y se considera innovador, en el cual se toman decisiones en base a la información que se tiene acerca del proyecto y sus fundamentos básicos. El diseño admite constantes mejoras y reajustes conforme se obtiene mayor información en las áreas involucradas, como por ejemplo, materiales, automatización, ergonomía, entre otros (Budynas, Richard G. y Nisbett, 2008).

2.7.1. *Proceso de diseño*

Todo proceso de diseño comienza identificando una necesidad. Seguidamente se define el problema en base a los requerimientos del usuario o grupo de interés en particular, en esta fase se incluyen parámetros y especificaciones del objeto a diseñar. En la etapa de síntesis, conocida también como diseño de concepto, se proponen los diferentes sistemas que conforman una máquina, tomando forma la propuesta de soluciones. Luego se analizan dichas opciones propuestas mediante cálculos y comparaciones que evalúen el desempeño de los sistemas diseñados. Durante todo el proceso se puede regresar a etapas anteriores hasta que el ingeniero considere que la solución final propuesta es eficiente y dan solución a la necesidad planteada inicialmente (Budynas, Richard G. y Nisbett, 2008).

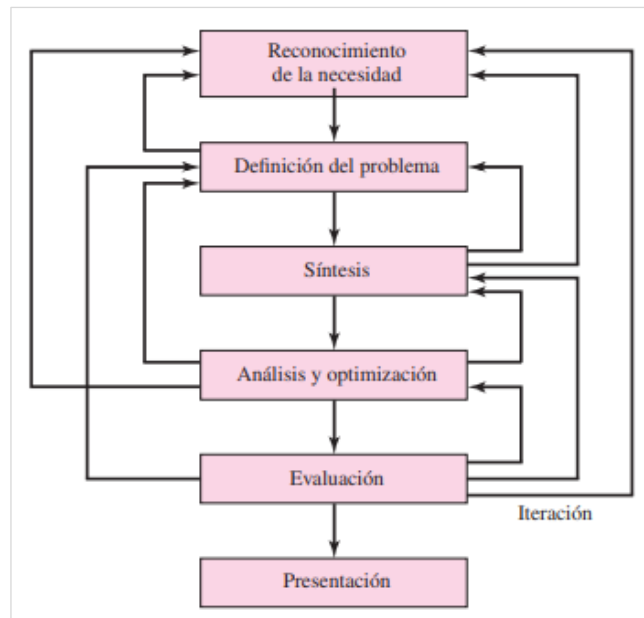


Figura 10-2: Fases del proceso de diseño

Fuente: (Budynas, Richard G. y Nisbett, 2008).

2.7.2. *Herramientas del diseño*

En la actualidad, el área de ingeniería cuenta con diferentes softwares que ayudan a obtener diseños más confiables, ya que permiten construir y analizar el diseño en sus diferentes etapas. Sin embargo, se requiere de conocimiento y análisis para discernir la información y ayuda que nos brinda este tipo de herramientas tecnológicas. (Budynas, Richard G. y Nisbett, 2008).

2.7.3. *Métodos de solución para problema se ingeniería*

Las herramientas computacionales se utilizan ampliamente en instituciones privadas e instituciones educativas para realizar análisis mediante softwares que utilizan el método de elementos finitos o MEF por sus siglas, con el objetivo de mejorar productos y proyectos resolviendo así numerosos problemas de ingeniería. (Mirlisenna, 2016)

Para obtener la resolución numérica mediante MEF se requiere definir una serie de características previo a cualquier análisis (Borja & Morocho, 2017):

1. Definir el tipo de análisis a realizar: lineal, no lineal, térmico, etc.
2. Llevar a cabo el pre-proceso, el cual incluye:
 - Realizar el diseño de la geometría e importar al software CAD con el que se trabajará.
 - Definir material, propiedades, cargas, apoyos, restricciones e información necesaria para resolver el problema.

- Realizar el mallado a la geometría.
- Exportar el MEF para su solución

3. Post Proceso, nos permite visualizar los resultados a través de gráficas 2D/3D, desplazamientos, esfuerzos, deformaciones, etc.

El método de elementos finitos subdivide la geometría de una parte o pieza en determinado número de elementos para resolver un problema complejo. Estos elementos se conectan mediante nodos, y son parte de la malla. Existen ecuaciones matemáticas que definen el comportamiento físico de estos elementos, por lo que el resultado obtenido será una aproximación mediante métodos numéricos. La precisión del resultado varía de acuerdo a la cantidad de nodos, elementos, tipos de malla utilizados; a mayor número de elementos y menor tamaño, el resultado del análisis será más preciso (Mirlisenna, 2016).

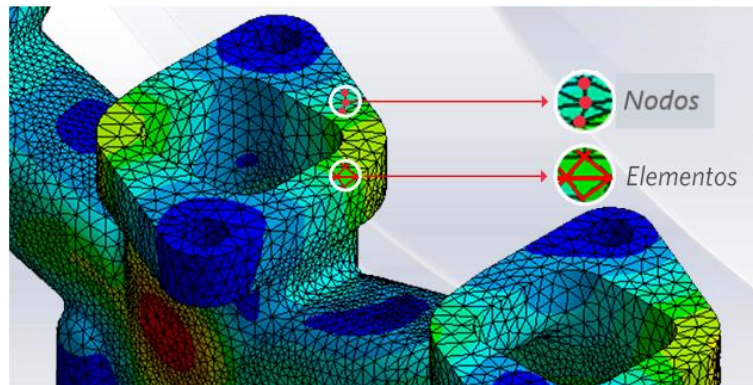


Figura 11-2: Fases del proceso de diseño

Fuente: (Mirlisenna, 2016).

2.7.3.1. SAP 2000

Es un programa de elementos finitos para modelado, análisis y dimensionamiento de cualquiera estructura. Tiene una interfaz gráfica 3D orientado a objetos, la cual permite modelar, analizar y dimensionar de forma integrada (CSI, 2021).

Se pueden realizar (EADIC, 2015):

- Análisis lineal y análisis dinámico por espectros de respuesta.
- Cargas Móviles.
- Análisis en el dominio de la frecuencia.
- Elementos de barra, shell (cáscara) y sólido.
- Dimensionamiento de hormigón, verificación de estructuras metálicas y dimensionamiento de armadura para elementos Shell.

- Módulo de pretensado totalmente integrado, para introducción de los cables de pretensado conectados a todo tipo de elemento y cálculo automático de pérdidas instantáneas.
- Posibilidad de considerar los efectos geoméricamente no lineales de PDelta en cargas estáticas y dinámicas.
- Generación automática de mallas de elementos finitos, con elementos de 4 nudos.

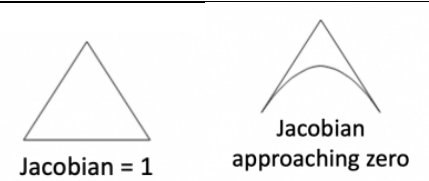
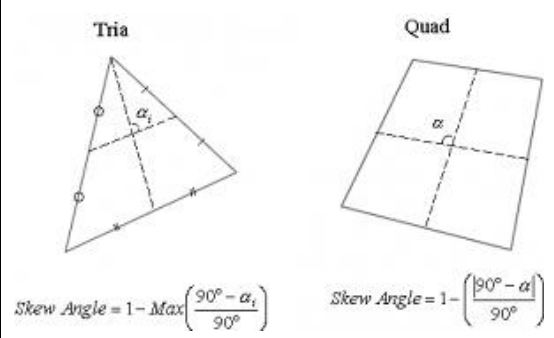
2.7.3.2. ANSYS

Es un software completo que comprende los fenómenos físicos, además de brindar acceso a diferentes campos de simulación en la ingeniería, como parte del proceso de diseño (Ansys, 2021). Las soluciones de elementos finitos se están convirtiendo en herramientas muy importantes para problemas de ingeniería que no son sencillos de estudiar a través de métodos tradicionales antiguos, o simplemente con cálculos manuales. Para que los resultados obtenidos sean precisos y confiables, es vital que la malla sea “suficientemente buena”, para lo cual se pueden escoger diferentes tipos de malla y variar su densidad (Özgün, 2020).

Métricas de malla

Es una característica super útil para determinar el tamaño y la forma adecuada de los elementos. Existe una gran variedad de criterios para controlar la calidad de la malla a utilizar, no obstante, sólo mencionaremos la relación Jacobiana y Skewness (Özgün, 2020).

Tabla 7-2: Criterios para control de calidad de malla.

Tipo de Malla	Descripción	Referencia gráfica
Jacobian Ratio	Es una medida de la desviación de un elemento dado de un elemento de forma ideal. El valor jacobiano varía de -1.0 a 1.0, donde 1.0 representa un elemento de forma perfecta.	 <p>Jacobian = 1 Jacobian approaching zero</p>
Skewness	La asimetría es la medida angular de la calidad del elemento con respecto a los ángulos de los tipos de elementos ideales. Es una de las principales medidas de cualidades de la malla FE. La asimetría determina qué tan cerca del ideal (es decir, equilátero o equi-angular) está una cara o celda. El rango aceptable de sesgo es "0 a 0,5".	 <p>Tria Quad</p> <p>$Skew\ Angle = 1 - \text{Max}\left(\frac{90^\circ - \alpha_i}{90^\circ}\right)$ $Skew\ Angle = 1 - \left(\frac{ 90^\circ - \alpha }{90^\circ}\right)$</p>

Fuente: (Özgün, 2020)

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Análisis de convergencia

Este tipo de análisis ayuda a aumentar la precisión para evaluar la calidad de malla, refinando la malla hasta que un resultado crítico como la deformación máxima en un punto determinado, converja. Como ejemplo, se puede observar la figura 12-2, a medida que aumenta la densidad de malla, aumenta la tensión máxima en el filete. Para el uso correcto de este método, se requiere múltiples operaciones de mallado y resolución, y dependiendo de la complejidad del modelo, podría llevar mucho tiempo realizar estos análisis (Özgün, 2020).

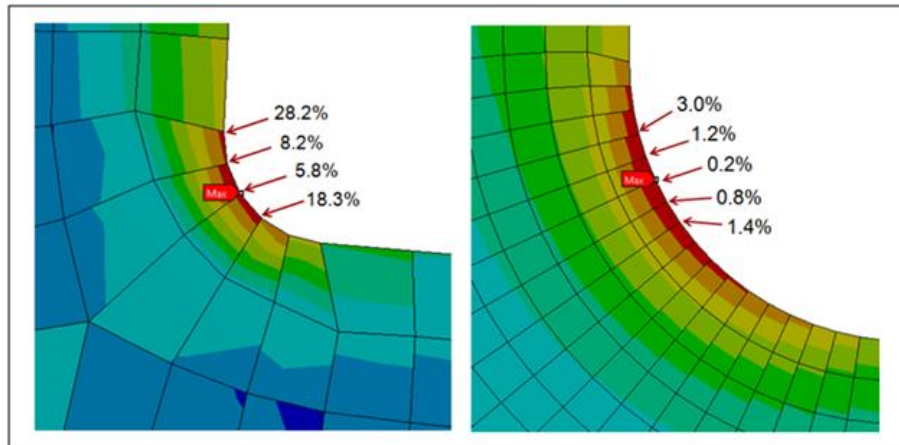


Figura 12-2: Análisis de convergencia - densidades de malla diferente

Fuente: (Özgün, 2020).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Determinación de las especificaciones y requerimientos de la máquina

Para realizar el diseño conceptual de la máquina laminadora y estampadora de cera de abeja, se aplica la metodología de diseño en la cual se analizan los requerimientos del usuario, en consecuencia, se podrán definir los requerimientos técnicos y especificar los parámetros de diseño de la máquina.

3.1.1. *Requerimientos del usuario.*

Según la investigación realizada en el área de la apicultura los requerimientos son los siguientes:

- Suministro manual de la materia prima
- Laminación rápida
- Laminación sin atascamientos
- Estampada sin fisuras
- Estampada sin atascamientos
- Evacuación continua de la cera
- Precisión en Corte de la lámina
- Funcionamiento con energía eléctrica
- Máquina silenciosa
- Capacidad de trabajar por varias horas consecutivas
- Piezas desmontables para limpieza
- Seguro para el operador
- Fácil de operar
- Máquina Automática
- Bajo costo de adquisición
- Fácil instalación del equipo

3.1.2. *Requerimientos técnicos.*

Conforme los requerimientos y necesidades de los apicultores de la zona, se plantean los siguientes requerimientos técnicos:

- Tiempo de puesta en marcha
- Producción
- Operatividad

- Mantenimiento
- Ergonomía

3.1.3. Resultados de la matriz QFD.

A continuación, en el gráfico 1-3, se muestra en despliegue de la función de la calidad:

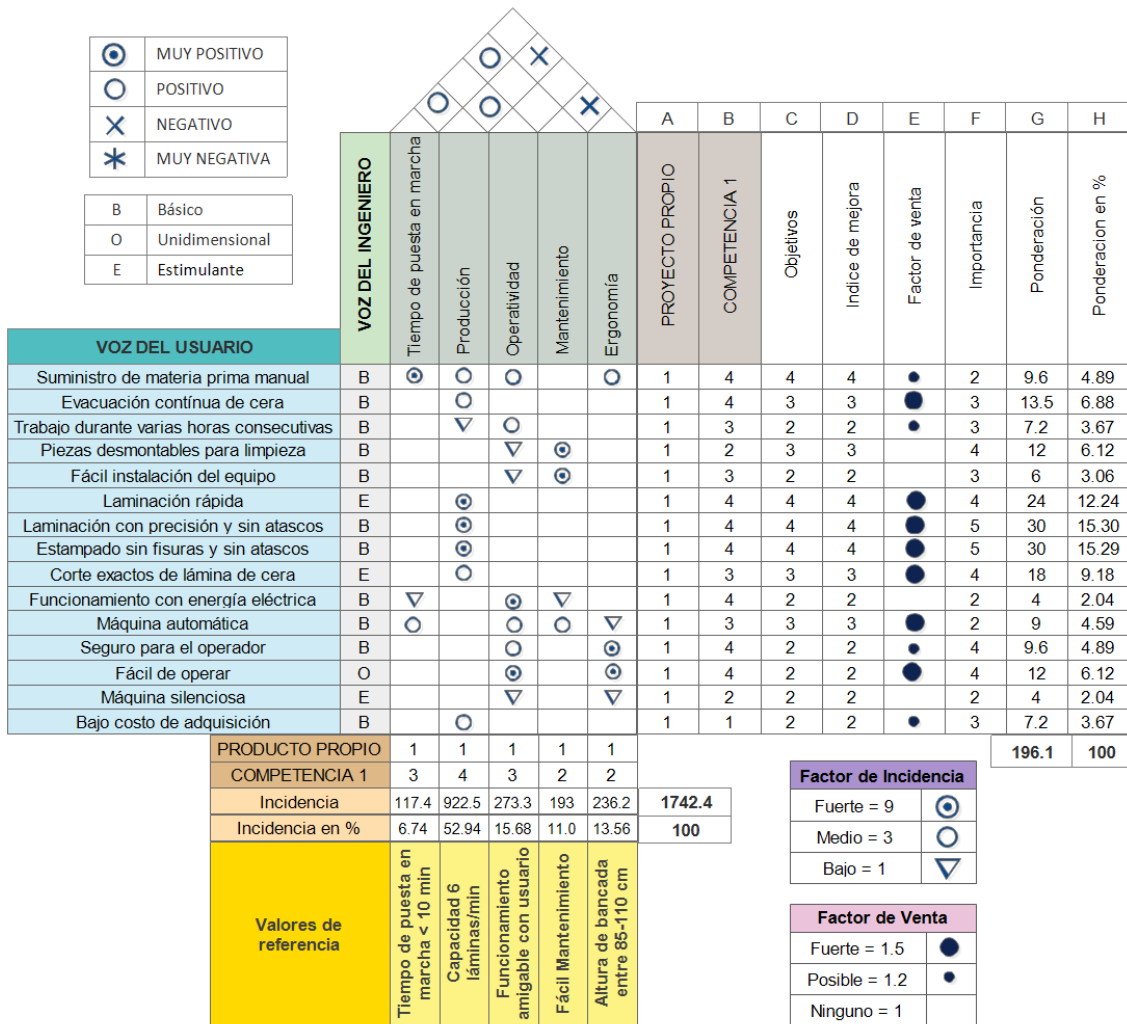


Gráfico 1-4: Despliegue de la función de calidad

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.1.4. Conclusiones de la matriz QFD.

Los resultados que se obtuvieron de la matriz QFD, se determinaron que la “producción” es el requerimiento más importante según el contraste entre los requerimientos técnicos y la voz del usuario, por lo que se quiere maximizar la producción de láminas estampadas con la máquina que se va a diseñar.

3.2. Análisis funcional

En este nivel, se realiza un análisis generalizado de las actividades principales que realiza la máquina estampadora y laminadora, donde también se analizarán las variables de entrada y de salida que afectan directamente con la funcionalidad de nuestro equipo.

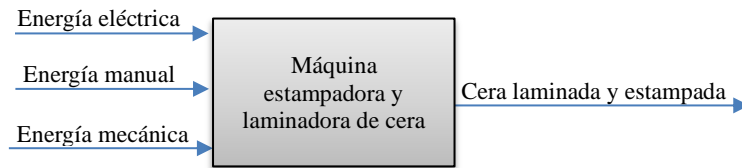


Figura 1-3: Esquema de diseño conceptual nivel 0

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.2.1. Definición de módulos

En esta sección se analiza los módulos correspondientes a la funcionalidad de puesta en marcha de nuestra máquina estampadora y laminadora de cera de abejas.

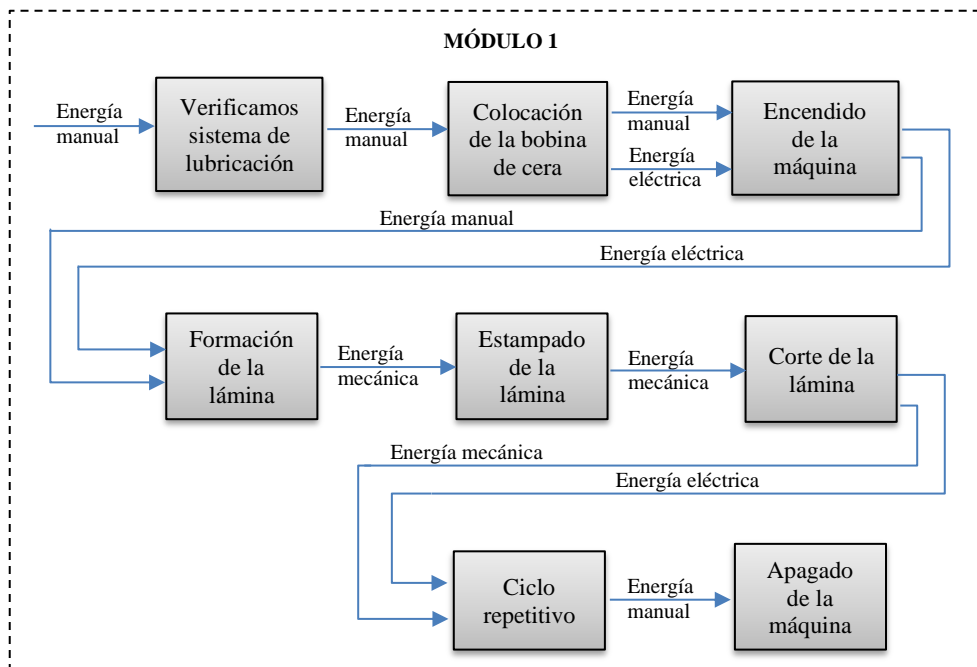


Figura 2-3: Esquema de diseño conceptual nivel 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

El tiempo de trabajo de la máquina lo decide el usuario, acorde a la cantidad de materia prima disponible.

3.2.2. Solución del módulo 1

Las operaciones que se realizan en este módulo son:

- Verificar la lubricación de la cera

- Cargar la materia prima
- Laminar la cera
- Estampar la cera
- Cortar la cera

Las soluciones propuestas para este módulo analizada en el presente proyecto en base a la bibliografía revisada y observación de las necesidades de los apicultores de la zona es la siguiente:

3.2.2.1. *Lubricación de la cera*

Con el fin de simplificar los mecanismos para que el costo de fabricación de la máquina sea bajo, se propone una bandeja llena de agua, por la cual pasa la cera antes de entrar a los rodillos de laminación, justo en el inicio del proceso.

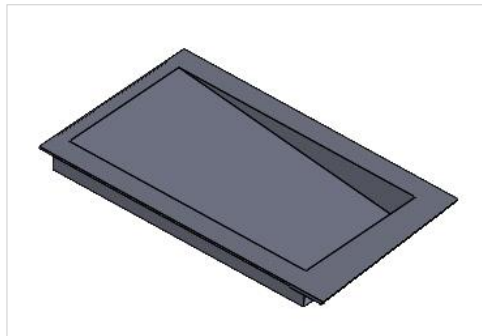


Figura 3-3: Bandeja de lubricación de la cera

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.2.2.2. *Carga de materia prima*

La materia prima se introduce en la máquina en forma de bobinas de cera, por lo que se propone un soporte para colocar dichas bobinas encima de la bandeja de lubricación para optimizar el espacio.

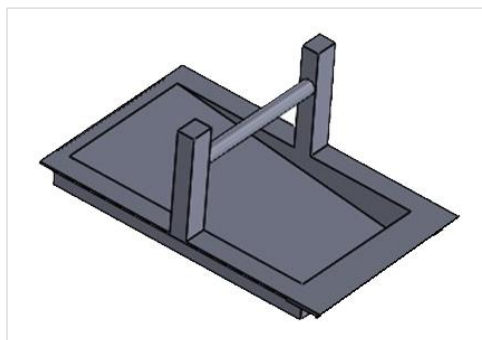


Figura 4-3: Soporte para materia prima

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.2.2.3. Sistema de laminación

Para el sistema de laminación se propone rodillos lisos, los cuales presionan la cera para obtener láminas finas.

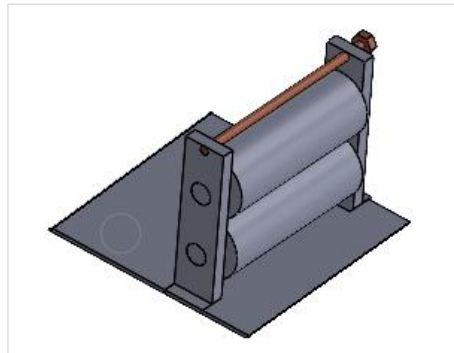


Figura 5-3: Sistema de laminación por rodillos

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.2.2.4. Sistema de estampado

Para el sistema de estampado se propone rodillos grabados con el patrón requerido, los cuales presionan la cera para obtener láminas estampadas con los hexágonos.

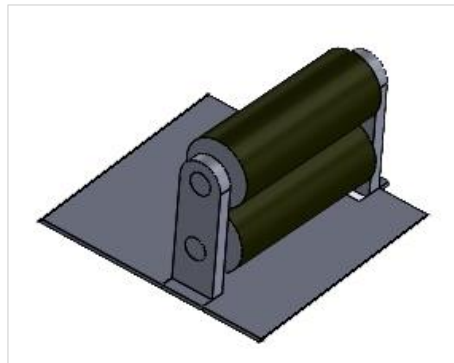


Figura 6-3: Sistema de estampado por rodillos

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.2.2.5. Sistema de corte

Se propone el corte de las láminas mediante una cuchilla rotatoria.

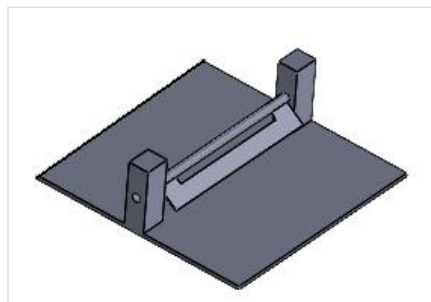


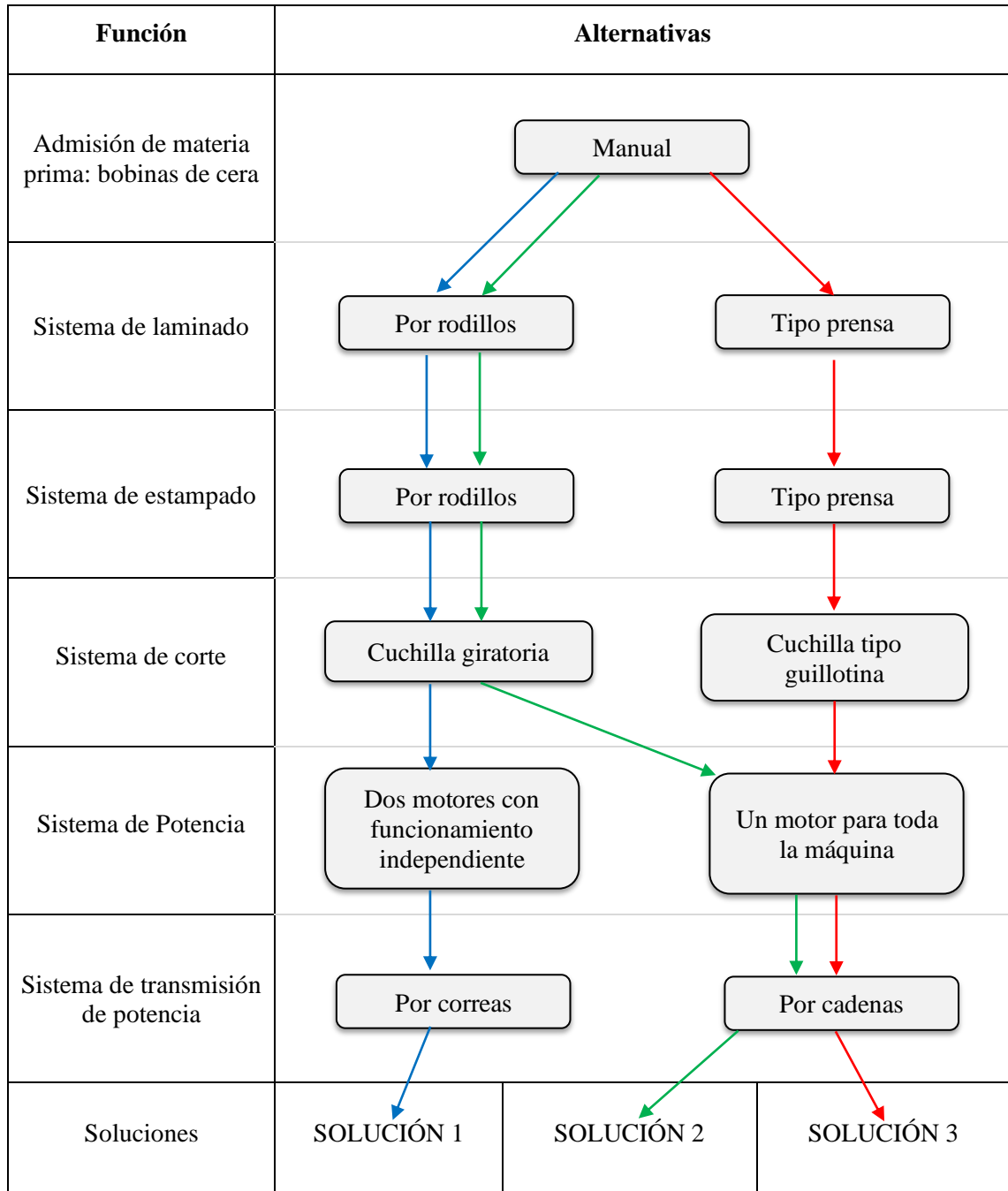
Figura 7-3: Sistema de corte mediante cuchilla rotatoria

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.3. Matriz morfológica

En la siguiente matriz se presentan las opciones analizadas de cada uno de los sistemas que conforma la máquina laminadora y estampadora de cera de abejas para solventar la necesidad de los apicultores.

Tabla 1-4: Matriz morfológica



Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

A continuación, se realiza un análisis de los requerimientos de diseño ponderados.

Tabla 2-4: Selección de alternativas

CRITERIO	Tiempo de puesta en marcha	Producción	Velocidad de laminado y estampado	Operatividad	Mantenimiento	Ergonomía	S+1	Ponderación
Tiempo de puesta en marcha		0	0	0.5	0	0	1.5	0.1
Producción	1		1	1	1	1	6	0.4
Velocidad laminado y estampado	1	0		0.5	0	0	2.5	0.17
Operatividad	0.5	0	0.5		0	0	2	0.13
Mantenimiento	0	0	0	0		0.5	1.5	0.1
Ergonomía	0	0	0	0	0.5		1.5	0.1
							15	1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Tabla 4-3: Análisis ponderado según el criterio: Tiempo de puesta en marcha

TIEMPO DE PUESTA EN MARCHA	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0.5	0.5	2	0.333
Solución 2	0.5		0.5	2	0.333
Solución 3	0.5	0.5		2	0.333
				6	1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Tabla 4-4: Análisis ponderado según el criterio: Producción

PRODUCCIÓN	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0.5	1	2.5	0.416
Solución 2	0.5		1	2.5	0.416
Solución 3	0	0		1	0.166
				6	1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Tabla 5-4: Análisis ponderado según el criterio: Velocidad de laminado y estampado

VELOCIDAD DE LAMINADO Y ESTAMPADO	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0.5	0	1.5	0.3
Solución 2	0.5		1	2.5	0.5
Solución 3	0	0		1	0.2
				5	1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Tabla 6-4: Análisis ponderado según el criterio: Operatividad

OPERATIVIDAD	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0.2
Solución 2	1		1	3	0.6
Solución 3	0	0		1	0.2
				5	1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Tabla 7-4: Análisis ponderado según el criterio: Mantenimiento

MANTENIMIENTO	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0.2
Solución 2	1		1	3	0.6
Solución 3	0	0		1	0.2
				5	1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Tabla 8-4: Análisis ponderado según el criterio: Ergonomía

ERGONOMÍA	Solución 1	Solución 2	Solución 3	S+1	Ponderación
Solución 1		0.5	1	2.5	0.416
Solución 2	0.5		1	2.5	0.416
Solución 3	0	0		1	0.166
				6	1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Tabla 9-4: Conclusión de selección de alternativas

CONCLUSIÓN	Tiempo de puesta en marcha	Producción	Velocidad de laminado y estampado	Operatividad	Mantenimiento	Ergonomía	S	Ponderación
Solución 1	0.0333	0.1664	0.051	0.026	0.02	0.0416	0.3383	2
Solución 2	0.0333	0.1664	0.085	0.078	0.06	0.0416	0.4643	1
Solución 3	0.0333	0.0664	0.034	0.026	0.02	0.0166	0.1963	3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

A continuación, se presenta un esquema de la mejor solución analizada, la cual corresponde a la solución 2:

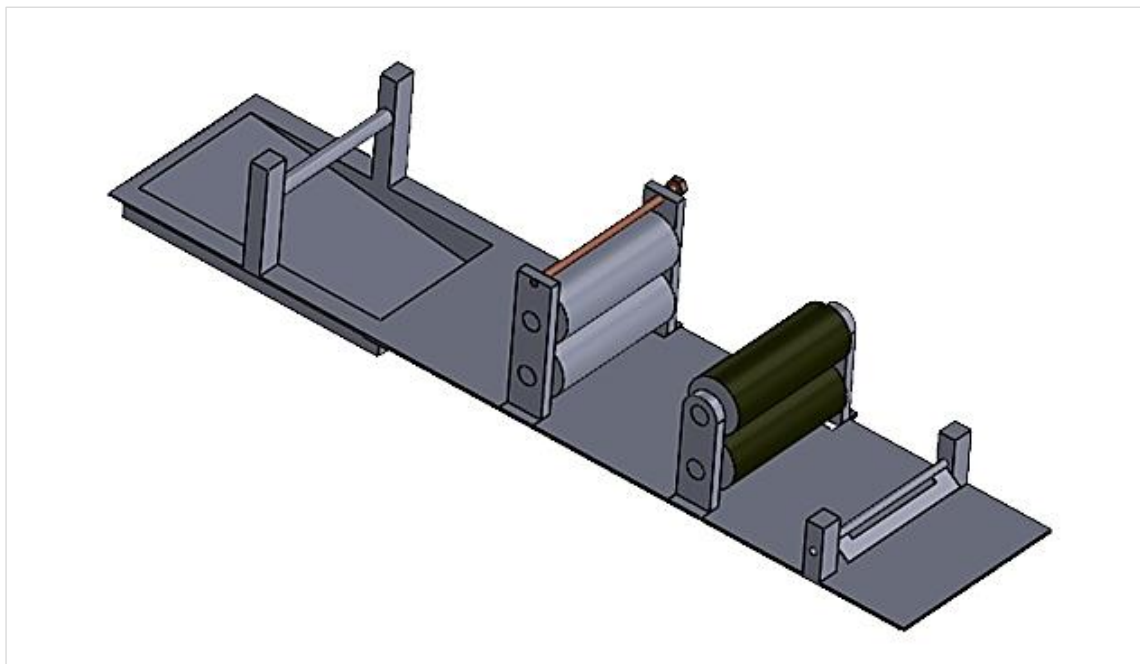


Figura 8-3: Solución 2 - módulo 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.4. Parámetros de diseño

Para el diseño de una máquina laminadora y estampadora de cera de abeja para marcos tipo Langstroth, se consideran los siguientes parámetros de diseño (Guamín & Llumiquinga, 2006):

Tabla 10-4: Principales parámetros de diseño

Parámetro	Valor de referencia
Temperatura de la cera líquida	65 - 70 °C
Temperatura de trabajo cera laminada	27 - 30 °C
Espesor de láminas de cera	2 - 2.5 mm
Dimensiones de la lámina de cera	420 x 200 mm
Velocidad promedio de estampado	4500 mm/min
Potencia del motor	1 hp

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.5. Diseño de elementos

3.5.1. Cálculo de potencia

Según la bibliografía revisada se encontró que la potencia de una máquina similar es de 1 Hp, este valor es referencial, por lo que a continuación se muestra el cálculo de potencia:

Potencia de corte

$$Pot = \vec{F} \vec{v}$$

$$m = 0.964(1000)(0.42 \times 0.2 \times 2.5 \times 10^{-3})$$

$$m = 0.2 \text{ kg}$$

$$w_c = 1.92 \approx 2$$

Velocidad angular

$$\omega = 15 \text{ rpm} = 1.57 \text{ rad/seg}$$

Velocidad lineal

$$V = 1.57 * 0.0762 = 0.12 \text{ m/s}$$

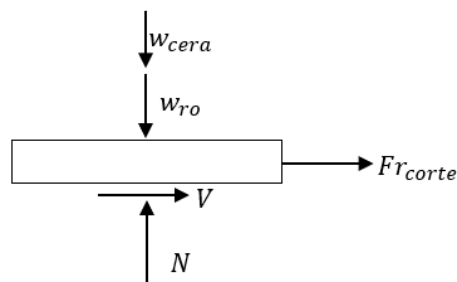


Figura 9-3: Diagrama de cuerpo libre

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

$$\sum F_y = 0$$

$$w_{cera} + w_{ro} - N = 0$$

$$N = 159 \text{ N}$$

El coeficiente de fricción

$$\mu = 0.9$$

$$\sum F_x = 0$$

$$2F_r = \mu N$$

$$F_r = 143.1 \text{ N}$$

$$P = 17.2 \text{ watts} = 0.022 \text{ Hp}$$

Potencia de engranes de laminadora y estampadora

$$W_t = \frac{60(10^3)H}{\pi dn}$$

$$W_t = 6475.34 \text{ N} = 6.475 \text{ KN}$$

$$d = 70.2 \text{ mm}$$

$$n = 15 \text{ rpm}$$

$$H = 0.79 \text{ Hp}$$

Potencia del laminador

$$P = 25 * 15 * 0.2 * \frac{2\pi}{60} = 7.85 \text{ N}$$

$$P = 0.01 \text{ Hp}$$

$$\sum P = 0.79 + 0.01 + 0.022 = 0.822 \text{ Hp}$$

Con la potencia calculada se selecciona un motor según catálogo. En el Anexo A, se encuentra las especificaciones generales del motor seleccionado.

3.5.2. *Diseño de ejes*

3.5.2.1. *Ejes del sistema de laminado*

Eje 1

$$P = 1 \text{ Hp}$$

$$n_{motor} = 1750 \text{ rpm}$$

Para el reductor se estima que se requiere una velocidad en la salida del eje de:

$$n_{eje-caja} = 29.17 \text{ rpm}$$

Se conecta a la caja reductora seleccionada 1:60, se encuentra la tabla de selección en el Anexo B.

$$r = 2:1$$

$$n_{laminadora} = 14.58 \text{ rpm}$$

$$n_{estampadora} = 14.58 \text{ rpm}$$

Se asume carga externa de la cera con pesos de rodillos de referencia de acero AISI 1020.

$$\phi_{rodillo} = 2\frac{3}{4} \text{ in}$$

$$L = 0.5 \text{ m}$$

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$V = \pi \left(\frac{0.06985}{2} \right)^2 (0.5) = 1.9159 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m = \left(7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (1.9159 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 15.04 \text{ kg}$$

$$w_{eje} = 147.39 \text{ N}$$

Se tomará en cuenta un peso equivalente para los engranajes

$$P = 1 \text{ Hp} = 0.75 \text{ Kw}$$

$$n = 14.58 \text{ rpm} = 1.52 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$T = \frac{P}{n} = \frac{0.75 \text{ Kw}}{1.52 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}} = 493.42 \text{ Nm}$$

Catalina A

$$r = 3 \text{ in} = 0.0762 \text{ m}$$

$$F = \frac{T}{r} = \frac{493.42}{0.0762} = 6475.34 \text{ N}$$

Engranaje E

$$r = 1.5 \text{ in} = 0.0381 \text{ m}$$

$$F_t = \frac{T}{r} = \frac{493.42}{0.0381} = 12950.65 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha = 12950.65 \cdot \tan 20 = 4713.65 \text{ N}$$

Catalina F

$$r = 1.5 \text{ in} = 0.0381 \text{ m}$$

$$F_t = \frac{T}{r} = \frac{493.42}{0.0381} = 12950.65 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0 \quad \downarrow +$$

$$150(0.25) - D_y(0.5) + 4713.65(0.5508) - 0.0508(6475.34) = 0$$

$$D_y = 4609.865 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad \uparrow +$$

$$-6473.34 + B_y - 150 + 4609.662 - 4713.65$$

$$B_y = 6727.328 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0 \quad \downarrow +$$

$$D_z(0.5) - 21490(0.5508) - 21440(0.5508 + 0.0508) = 0$$

$$D_z = 29848.65 \text{ N}$$

$$B_z = 3947.36 \text{ N}$$

Punto crítico

$$M = \sqrt{(239.35)^2 + (1973.67)^2} = 1988.13 \text{ Nm}$$

$$k = 0.6$$

$$S_{ut} = 520 \text{ Mpa}$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} = 260 \text{ MPa}$$

$$S_e = 156 \text{ Mpa}$$

$$S_y = 210 \text{ Mpa}$$

$$n_s = 2$$

Flexión

$$\sigma_a = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_m = 0$$

Torsión

$$\tau_a = 0$$

$$\tau_m = \tau$$

$$k_f = 1.6$$

$$k_{fs} = 1.4$$

Según Von mises

$$d = \left[\frac{32n_s}{\pi S_y} \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} k_f M_a \right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + \frac{S_y}{S_e} k_{fs} T_a \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$d = 74.7 \text{ mm} = 3 \text{ in}$$

Se aumenta el diámetro del eje para que cumpla las dimensiones según el diámetro de los engranes diseñados.

$$d = 115.5 \text{ mm} = 4.5 \text{ in}$$

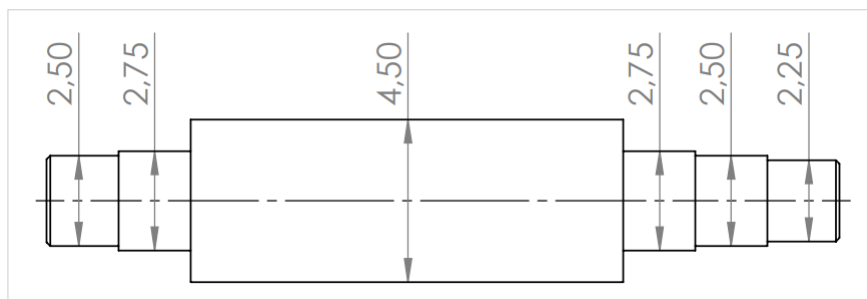


Figura 10-3: Dimensiones del eje 1 en pulgadas

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se verifica el factor de seguridad del eje 1, según Von mises

$$n_s = \frac{\pi d^3 S_y}{32 \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} k_f M_a\right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + \frac{S_y}{S_e} k_{fs} T_a\right)^2}}$$

$$n_s = 8.42$$

Como el eje 1 trabaja en paralelo al eje 2, las condiciones de trabajo son las mismas, por lo que el diámetro del rodillo es el mismo.

Eje 2

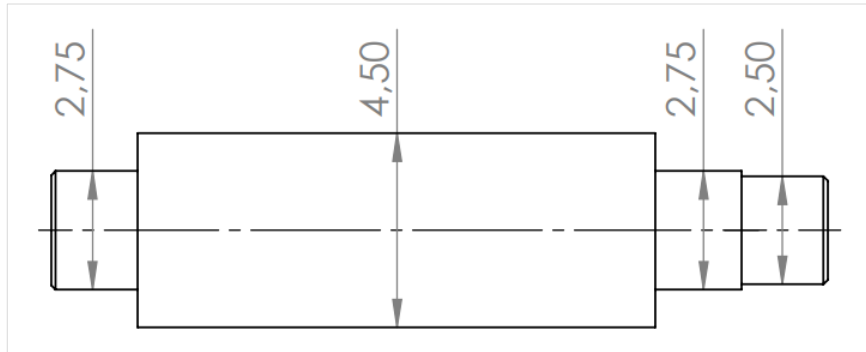


Figura 11-3: Dimensiones del eje 2 en pulgadas

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se verifica el factor de seguridad del eje 2, según Von mises

$$n_s = \frac{\pi d^3 S_y}{32 \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} k_f M_a\right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + \frac{S_y}{S_e} k_{fs} T_a\right)^2}}$$

$$n_s = 10.39$$

3.5.2.2. Ejes del sistema de estampado

Eje 3

$$T = 493.42 \text{ N}$$

Engranaje A

$$r = 1.5 \text{ in} = 0.0381 \text{ m}$$

$$F_t = \frac{T}{r} = \frac{493.42}{0.0381} = 12950.65 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha = 12950.65 \cdot \tan 20 = 4713.65 \text{ N}$$

Catalina E

$$r = 1.5 \text{ in} = 0.0381 \text{ m}$$

$$F_t = \frac{T}{r} = \frac{493.42}{0.0381} = 12950.65 \text{ N}$$

$$\sum M_D = 0$$

$$0 = 150(0.25) - B_y(0.5) + 4713.65(0.5508)$$

$$B_y = 5267.56$$

$$B_x = 0$$

$$D_y = 403.91$$

$$\sum M_B = 0$$

$$12950.65(0.0508) - D_z(0.5) + 12950.65(0.5508) = 0$$

$$D_z = 15582.22$$

$$B_z = -15582.22$$

$$M_B = \sqrt{1315.78^2 + 0^2} = 1315.78 \text{ N}$$

$$T = 493.42 \text{ Nm}$$

$$d = \left[\frac{16(2)}{\pi} \sqrt{4 \left((1.6) \frac{(700.08 \times 10^3)^2}{156} \right)^2 + 3 \left((1.4) \frac{493.42 \times 10^3}{210} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$d = 53.1 \text{ mm} = 2.5 \text{ in}$$

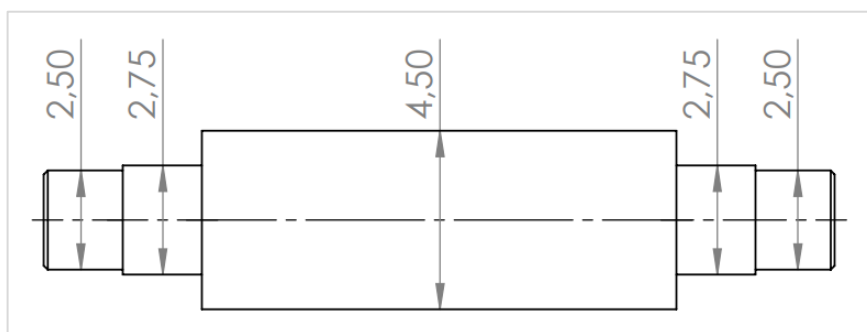


Figura 12-3: Dimensiones del eje 3 en pulgadas

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se verifica el factor de seguridad del eje 3, según Von mises

$$n_s = \frac{\pi d^3 S_y}{32 \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} k_f M_a\right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + \frac{S_y}{S_e} k_{fs} T_a\right)^2}}$$

$$n_s = 5.58$$

Eje 4

$$P = 1 \text{ Hp}$$

$$n = 14.58 \text{ rpm} = 1.52 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$T = \frac{P}{n} = \frac{0.75 \text{ Kw}}{1.52 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}} = 493.42 \text{ Nm}$$

Catalina A

$$r = 1.5 \text{ in} = 0.0381 \text{ m}$$

$$F_t = \frac{T}{r} = \frac{493.42}{0.0381} = 12950.65 \text{ N}$$

Engranaje B

$$r = 1.5 \text{ in} = 0.0381 \text{ m}$$

$$F_t = \frac{T}{r} = \frac{493.42}{0.0381} = 12950.65 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha = 12950.65 \cdot \tan 20 = 4713.65 \text{ N}$$

$$\sum M_E = 0$$

$$0 = -C_z(0.5) + 12950.65(0.5508) + 12950(0.6016)$$

$$C_z = 29848.6$$

$$E_z = 3947.3$$

Punto crítico

$$M_c = \sqrt{1973.65^2 + 239.5^2} = 1988.128$$

Según ASME B106.1M

$$d = \left[\frac{16n_s}{\pi} \sqrt{4 \left(k_f \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(k_{fs} \frac{T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(k_f \frac{M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(k_{fs} \frac{T_m}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$d = 74.7 \text{ mm} = 3 \text{ in}$$

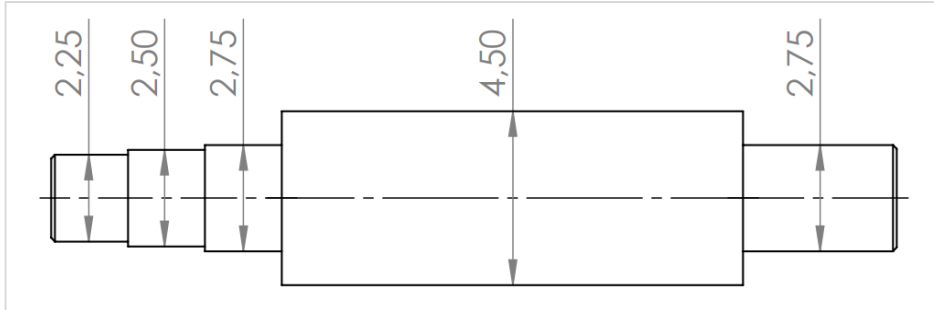


Figura 13-3: Dimensiones del eje 4 en pulgadas

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se verifica el factor de seguridad del eje 4, según Von mises

$$n_s = \frac{\pi d^3 S_y}{32 \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} k_f M_a \right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + \frac{S_y}{S_e} k_{fs} T_a \right)^2}}$$

$$n_s = 10.37$$

3.5.2.3. Eje del sistema de corte

Eje 5

Cuchilla

$$P = 42 \text{ cm}$$

$$P_o = 2\pi r$$

$$r = \frac{42 \text{ cm}}{2\pi} = 6.68 \text{ cm}$$

$$m = \rho V = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (0.4 * 5 \times 10^{-3} * 0.0668) = 1.05 \text{ kg}$$

$$w = 10.3 \text{ N}$$

$$\tan \theta = \frac{7.62}{40}$$

$$F = \frac{493.42}{0.0381} = 12950.65$$

$$F_y = F \sin \theta = 2426.7 \text{ N}$$

$$F_z = F \cos \theta = 12721.26 \text{ N}$$

$$\sum M_c = 0$$

$$10.3(0.25) + B_y(0.5) - 2426.7(0.5508) = 0$$

$$B_y = 2668.1 \text{ N}$$

$$C_y = 251.7 \text{ N}$$

$$\sum M_c = 0$$

$$B_z(0.5) - 12721.26(0.5508) = 0$$

$$B_z = 14013.74 \text{ N}$$

$$C_z = 1292.48 \text{ N}$$

$$M_B = \sqrt{123.3^2 + 646.24^2} = 657.89$$

Según ASME B106.1M

$$d = \left[\frac{16n_s}{\pi} \sqrt{4 \left(k_f \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(k_{fs} \frac{T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(k_f \frac{M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(k_{fs} \frac{T_m}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$d = 52.4 \text{ mm} = 2.25 \text{ in}$$

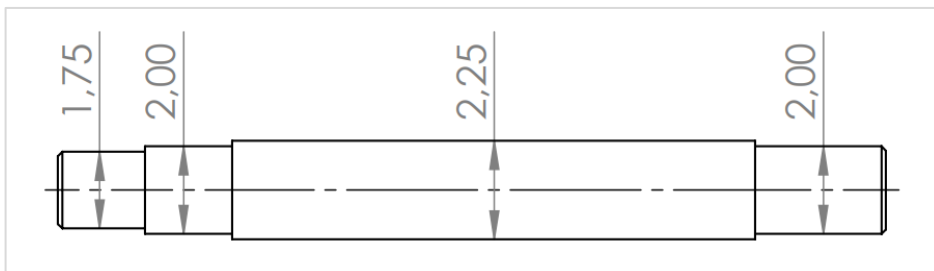


Figura 14-3: Dimensiones del eje 5 en pulgadas

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se verifica el factor de seguridad del eje 5, según Von mises

$$n_s = \frac{\pi d^3 S_y}{32 \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} k_f M_a\right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + \frac{S_y}{S_e} k_{fs} T_a\right)^2}}$$

$$n_s = 2$$

3.5.2.4. Eje del soporte de la materia prima

Eje 6

$$\omega = 20 \text{ kg} = 196 \text{ N}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{40}{60} = 33.7^\circ$$

$$F = \frac{T}{r} = 6475.34 \text{ N}$$

$$F_y = F \sin \theta = 3592.8 \text{ N}$$

$$F_z = F \cos \theta = 5387.2 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$T_y(0.1016) - w_c(0.25) + D_y(0.5) = 0$$

$$D_y = 632.06$$

$$B_y = 4420.86 \text{ N}$$

$$\sum M_D = 0$$

$$B_z(0.5) - T_z(0.5 + 0.1016) = 0$$

$$D_z = 1044.7 \text{ N}$$

$$B_z = 1094.7 \text{ N}$$

Momento crítico

$$M_B = 657.89$$

Según Von mises

$$d = \left[\frac{32n_s}{\pi S_y} \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} k_f M_a\right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + \frac{S_y}{S_e} k_{fs} T_a\right)^2} \right]^{1/3}$$

$$d = 52.4 \text{ mm} \approx 2.5 \text{ in}$$

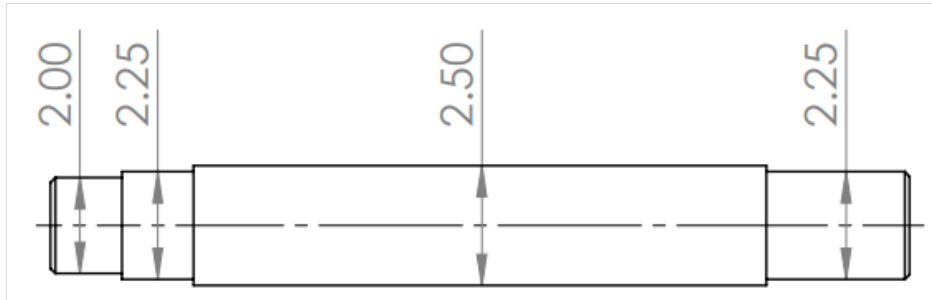


Figura 15-3: Dimensiones del eje 6 en pulgadas

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.5.2.5. Análisis de rigidez y de resonancia

Análisis de rigidez eje 1

$$[y] = (0.0002 - 0.0003)L$$

$$\delta_E = \delta_{motor} \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\lambda_i}{\delta_i^4} \right)} \right)$$

$$\delta = \frac{\delta_i}{\delta_{max}}$$

$$\lambda = \frac{L_i}{L}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 7.98 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$E = 200 \times 10^9 \text{ GPa}$$

$$D_{max} = \frac{Pa^2}{3EI} (l + a) = \frac{4.4(0.0508)^2}{3(200 \times 10^9)(7.98 \times 10^{-7})} (0.5 - 0.0508)$$

$$\delta_{11} = 1.3 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{21} = \frac{Pax}{6EI} (l^2 - x^2) = -2.18 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{31} = \frac{Px_1}{6EI} (2al + 3ax_1 + x_1^2) = 1.3 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{41} = \frac{Pa^2}{3EI}(l+a) = 5.7 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{12} = \frac{Pabx_1(l+a)}{6EI} = \frac{150(0.25)(0.25)(0.0508)(0.5+0.25)}{6(200 \times 10^9)(7.98 \times 10^{-7})(0.5)} = -7.4 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\delta_{22} = \frac{Pa^2b^2}{3EI} = 2.94 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\delta_{32} = \frac{Pabx_1}{6EI}(l+a) = -7.46 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\delta_{42} = \frac{Pabx_1}{6EI}(l+a) = 1.49 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\delta_{13} = \frac{Px_1}{6EI}(2al + 3ax_1 + x_1^2) = 1.3 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{23} = \frac{Pax}{6EI}(l^2 - x^2) = -2.1 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{33} = 1.3 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{43} = 4.9 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{14} = \frac{Pa^2}{3EI}(l+a) = 5.7 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{24} = \frac{Pax}{6EI}(l^2 - x^2) = 4.37 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{34} = \frac{Px_1}{6EI}(2al + 3ax_1 + x_1^2) = 2.73 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{44} = \frac{Pa^2}{3EI}(l+a) = 5.7 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$[y] = (0.0002 \quad - \quad 0.0003)L$$

$$[y] = (0.1 \quad - \quad 0.15)$$

$$y_1 = \delta_1 = 6.63 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$y_2 = \delta_2 = 2.35 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$y_3 = \delta_3 = 6.93 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$y_4 = \delta_4 = 1.327 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Se verifica que los elementos cumplen con los rangos de rigidez

Análisis de resonancia eje 1

Dunkerley

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta}}$$

$$n_{\delta_{11}} = 262321.7$$

$$n_{\delta_{22}} = 19147.45$$

$$n_{\delta_{33}} = 262321.7$$

$$n_{\delta_{44}} = 125276.2$$

$$n_D = 18829.7$$

Rayleigh Ritz

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \sum m \delta}{\sum m \delta^2}}$$

$$n_R = 33929.83$$

No hay resonancia en el elemento

Análisis de rigidez eje 2

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 1.17 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\delta_{11} = \frac{Pa^2}{3EI} (l + a) = 8.9 \times 10^{-6} \text{ mm}$$

$$\delta_{21} = \frac{Pax}{6EI} (l^2 - x^2) = -7.46 \times 10^{-6} \text{ mm}$$

$$\delta_{12} = \frac{Pabx_1}{6EI} (l + a) = 5.088 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\delta_{22} = \frac{Pa^2b^2}{3EI} = 1.67 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$y_1 = \delta_1 = 4.99 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$y_2 = \delta_2 = 1.66 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Análisis de resonancia eje 2

Dunkerley

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta}}$$

$$n_{\delta_{11}} = 317037.7$$

$$n_{\delta_{22}} = 23144.5$$

$$n_D = 23083.1$$

Rayleigh Ritz

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \sum m \delta}{\sum m \delta^2}}$$

$$n_R = 23287.49$$

No hay resonancia en el elemento

Análisis de rigidez eje 3

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 1.17 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\delta_{11} = \frac{Pa^2}{3EI} (l + a) = 8.9 \times 10^{-6} \text{ mm}$$

$$\delta_{21} = \frac{Pax}{6EI} (l^2 - x^2) = -1.49 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{31} = \frac{Pa^2}{3EI} (l + a) = 8.9 \times 10^{-13} \text{ mm}$$

$$\delta_{12} = \frac{Pabx_1}{6EI} (l + a) = 5.088 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\delta_{22} = \frac{Pa^2 b^2}{3EI} = 1.67 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\delta_{32} = \frac{Pabx_1}{6EI} (l + a) = 5.088 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\delta_{31} = \frac{Pa^2}{3EI} (l + a) = 8.9 \times 10^{-13} \text{ mm}$$

$$\delta_{32} = \frac{Pax}{6EI} (l^2 - x^2) = -1.49 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{33} = \frac{Pa^2}{3EI} (l + a) = 8.9 \times 10^{-13} \text{ mm}$$

$$y_1 = \delta_1 = 4.99 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$y_2 = \delta_2 = 1.639 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$y_3 = \delta_3 = 4.99 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

Análisis de resonancia eje 3

Dunkerley

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta}}$$

$$n_{\delta_{11}} = 317037.7$$

$$n_{\delta_{22}} = 23151.4$$

$$n_{\delta_{33}} = 317037.7$$

$$n_D = 23028.9$$

Rayleigh Ritz

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \sum m \delta}{\sum m \delta^2}}$$

$$n_R = 23505.5$$

No hay resonancia en el elemento

Análisis de rigidez eje 4

$$\delta_{11} = \frac{Pa^2 b^2}{3EI} = 1.67 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\delta_{21} = \frac{Pabx_1}{6EI} (l + a) = 5.088 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\delta_{31} = \frac{Pabx_1}{6EI} (l + a) = 1.01 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\delta_{12} = \frac{Pax}{6EI} (l^2 - x^2) = 1.49 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{22} = \frac{Pa^2}{3EI} (l + a) = 8.9 \times 10^{-6} \text{ mm}$$

$$\delta_{32} = \frac{Px_1}{6EI} (2al + 3ax_1 + x_1^2) = 1.78 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{13} = \frac{Pax}{6EI} (l^2 - x^2) = 1.194 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\delta_{23} = \frac{Px_1}{6EI} (2al + 3ax_1 + x_1^2) = 1.85 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{33} = \frac{Pa^2}{3EI} (l + a) = 3.89 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

Análisis de resonancia eje 4

Dunkerley

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta}}$$

$$n_{\delta_{11}} = 23144.5$$

$$n_{\delta_{22}} = 317037.7$$

$$n_{\delta_{33}} = 151646.04$$

$$n_D = 22820.2$$

Rayleigh Ritz

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \sum m \delta}{\sum m \delta^2}}$$

$$n_R = 24288.9$$

No hay resonancia en el elemento

Análisis de rigidez eje 6

$$\delta_{11} = \frac{Pa^2}{3EI} (l + a) = 8.7 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{21} = \frac{Pax}{6EI} (l^2 - x^2) = -6.6778 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{21} = \frac{Pabx_1}{6EI} (l + a) = -2.97 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\delta_{22} = \frac{Pa^2b^2}{3EI} = 4.87 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$y_1 = \delta_1 = 2.88 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$y_2 = \delta_2 = 4.8 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Análisis de resonancia del eje 6

Dunkerley

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta}}$$

$$n_{\delta_{11}} = 101350.24$$

$$n_{\delta_{22}} = 13546.27$$

$$n_D = 13426.87$$

Rayleigh Ritz

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \sum m \delta}{\sum m \delta^2}}$$

$$n_R = 13683.1$$

No hay resonancia en el elemento

3.5.3. Selección de cadena

Engranés rectos rodillo laminadora

Selección de los engranes según Rexnort

Catalina Eje 1-2 al motor

$$N_1 = 29.17 \text{ rpm}$$

$$N_2 = 14.58 \text{ rpm}$$

Motores eléctricos

$$C_7 = 1.5$$

$$Pd = 1(1.5) = 1.5 \text{ Hp}$$

Cadena 60 – 1 hilera

$$i = \frac{29.17}{14.58} = 2$$

$$p = 750$$

$$Z_1 = 25$$

$$P = 1 \text{ Hp}$$

$$Z_2 = 50$$

$$G = \frac{Z_2 P}{\pi} = 5.97 \text{ in}$$

$$g = \frac{Z_1 P}{\pi} = 11.93 \text{ in}$$

$$e = G + 0.5g = 11.93 \text{ in} \approx 12 \text{ in}$$

$$A = \frac{G - g}{2e} = \frac{5.97 - 11.93}{2(12)} = 0.248333$$

$$B = 1.9373$$

$$C = 0.4200$$

$$D = 0.5799$$

$$N = \frac{Be}{P} + Ct + DT = \frac{1.9373(12)}{0.75} + 0.42(25) + 0.5799(50)$$

$$N = 70.9918 \approx 71$$

Longitud de cadena

$$E = \frac{(N - Ct - DT)P}{B} = \frac{(70 - 0.42(25) - 0.5799(50))}{1.9373}$$

$$E = 12.196 \text{ in}$$

Tabla 11-4: Especificaciones de cadena seleccionada

Cadena	Catalina	Dientes	Hilera	Lubricación
71 eslabones	25	60	1	Tipo A
	50	60	1	

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerza en el eje

$$V = \frac{25(0.75)29.17}{12} = 45.57 \frac{ft}{min}$$

$$F = \frac{33000(1Hp)}{45.57} = 724.16 \text{ lbf}$$

$$F_c = 760.4 \text{ lbf}$$

Cadena eje 4 y eje 5

$$N_1 = 14.58 \text{ rpm}$$

$$N_2 = 14.58 \text{ rpm}$$

Motores eléctricos

$$C_7 = 1.5$$

$$Pd = 1(1.5) = 1.5 \text{ Hp}$$

Cadena 80 – 1 hilera

$$i = \frac{14.58}{14.58} = 1$$

Trans Flex Lubricated

3.5.4. *Diseño de engranes*

Se realiza el diseño de engranes rectos según la norma AGMA 2001-D04

Relación de transmisión

$$i = 1$$

$$n_s = 2$$

$$Q_v = 6$$

$$1Hp$$

Carcasa abierta

$$0.99\% C$$

$$m_b = \frac{14.58}{14.58} 1$$

$$N_p = 24$$

$$N_G = 24$$

Prediseño de Lewis

$$\sigma = \frac{k_v W_t P}{F_y}$$

$$P_d = 10 \frac{\text{dientes}}{\text{in}}$$

$$1.57 < F < 2.61$$

$$P_d = 6$$

$$N_p = 28$$

Fatiga por flexión

$$d_p = \frac{28}{6} = 4.667$$

$$V = 17.81$$

$$W_t = 1852.597$$

$$k_v = 1.01$$

$$y = 0.353$$

$$F = 1.66$$

$$F = 2$$

$$\sigma = W_t \cdot k_o \cdot k_v \cdot k_s \cdot \frac{P_d}{F} \cdot \frac{k_m k_B}{J}$$

$$k_o = 1$$

$$k_v = \left(\frac{A + \sqrt{V}}{A} \right)$$

$$B = 0.25(12 - 6)^{\frac{2}{3}} = 0.825$$

$$A = 50 + 56(1 - 0.825) = 59.8$$

$$k_s = 1.192 \left(\frac{F \sqrt{y}}{P} \right)^{0.0535} = 1.093$$

$$k_m = 1 + c_{mc}(c_{pf} c_{pm} + c_{ma} c_e)$$

$$c_{mc} = 1$$

$$c_{pf} = \frac{F}{10d} - 0.0375 + 0.0125F = 0.0375$$

$$\frac{F}{10d} < 0.05 \rightarrow \text{se usa } \frac{F}{10d} = 0.05$$

Se considera piñón montado por separado $S_1/S < 0.175$

$$c_{pm} = 1$$

$$c_{ma} = A + BF + CF^2$$

Para engranajes abiertos se considera

$$A = 0.247$$

$$B = 0.0167$$

$$C = -0.765(10^{-4})$$

$$c_{ma} = 0.28$$

$$c_e = 1$$

$$k_m = 1.3175$$

$$k_B = 1$$

$$J = 0.36$$

Por lo tanto

$$\sigma = 23343.17$$

$$S_F = \frac{S_t Y_N / (k_T k_R)}{G}$$

$$k_T = 1$$

$$k_R = 1$$

$$Y_N = 9.4518N^{-0.198} = 1.22$$

Factor de seguridad para el piñón

$$S_{Fp} = 2.01$$

Factor de seguridad para la corona

$$S_{Fc} = 2.01$$

Por lo que si cumple los requerimientos para fatiga por flexión.

Desgaste superficial

$$\sigma_c = C_p \left(W_t K_o K_v K_s \frac{K_m C_f}{dF I} \right)^{1/2} = 14070.3083$$

$$C_p = 2300$$

Tomando en cuenta engranes abiertos

$$m_N = 1$$

$$I = \frac{\cos \phi \sin \phi}{2m_N} \frac{m_G}{m_G + 1} = \frac{\cos 20 \sin 20}{2(1)} \frac{1}{1 + 1} = 0.08$$

Obteniendo un esfuerzo de contacto de

$$\sigma_c = 14070.3083$$

Para calcular el factor de seguridad al desgaste, se tiene:

$$S_H = \frac{S_C Z_N C_H / (k_T k_R)}{\sigma_c}$$

$$S_C = 322(330) + 29100 = 135360$$

$$Z_N = 2.466(10^6)^{-0.056} = 1.1376$$

$$C_H = 1$$

$$S_H = 1.0931$$

$$S_{Hp} = 1.1$$

$$S_H^2 = 1.21$$

3.5.5. Selección de cuñas

Para la selección de estos pequeños elementos se tiene a continuación la siguiente tabla, en donde se especifica la cuña seleccionada en base a norma DIN 6885-1, la cual se encuentra en el anexo C.

Tabla 12-4: Especificaciones de cuñas seleccionadas según DIN 6885-1

Descripción	Cantidad	Diámetro de eje		Cuñas DIN 6885-1
		in	mm	B x h
Eje 1	1	2.25	57.15	16x10
	2	2.5	63.50	18x11
Eje 2	1	2.5	63.50	18x11
Eje 3	2	2.5	63.50	18x11
Eje 4	1	2.25	57.15	16x10
	1	2.5	63.50	18x11
Eje 5	1	1.75	44.45	14x9
Eje 6	1	2	50.8	16x10

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Las cuñas seleccionadas se consideran de acero AISI 1045.

3.5.5.1. Factores de seguridad para cuñas seleccionadas

Cuña 14x9

Diseño a corte

$$\tau = \frac{2T}{dwl} \leq \frac{S_y}{2n}$$

$$\frac{2(493.42 \times 10^3)}{44.45(14)(32)} \leq \frac{310}{2n}$$

$$n = 3.13$$

Diseño a compresión

$$\tau_c = \frac{4T}{dlh} \leq \frac{S_y}{2n}$$

$$\frac{4(493.42 \times 10^3)}{44.45(32)(9)} \leq \frac{310}{n}$$

$$n = 2.01$$

Cuña 16x10

Diseño a corte

$$\tau = \frac{2T}{dwl} \leq \frac{S_y}{2n}$$

$$\frac{2(493.42 \times 10^3)}{57.15(16)(41)} \leq \frac{310}{2n}$$

$$n = 5.89$$

Diseño a compresión

$$\tau_c = \frac{4T}{dlh} \leq \frac{S_y}{2n}$$

$$\frac{4(493.42 \times 10^3)}{57.15(41)(10)} \leq \frac{310}{n}$$

$$n = 3.68$$

Cuña 18x11

Diseño a corte

$$\tau = \frac{2T}{dwl} \leq \frac{S_y}{2n}$$
$$\frac{2(493.42 \times 10^3)}{63.50(18)(49)} \leq \frac{310}{2n}$$
$$n = 8.79$$

Diseño a compresión

$$\tau_c = \frac{4T}{dlh} \leq \frac{S_y}{2n}$$
$$\frac{4(493.42 \times 10^3)}{63.50(49)(11)} \leq \frac{310}{n}$$
$$n = 5.38$$

3.5.6. Selección de rodamientos

Analizando las cargas que van a ejercer sobre los rodamientos, se tiene que solo existen cargas axiales, por lo que se seleccionan rodamientos axiales de bolas en una sola dirección, a continuación, se presentan los cálculos.

$$P = 150 \text{ N}$$

$$n = 14.58 \text{ rpm}$$

Se asume,

$$\text{Confiabilidad} = 0.90$$

$$L_{10} = 12500 \text{ h}$$

$$C' = \frac{f_h \cdot P}{f_n}$$

$$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500}\right)^{1/3} = \left(\frac{12500}{500}\right)^{1/3} = 2.92$$

$$f_n = \left(\frac{33.3}{n}\right)^{1/3} = \left(\frac{33.3}{14.58}\right)^{1/3} = 1.32$$

$$C' = \frac{2.92 \cdot 0.15}{1.32} = 0.33$$

$$C' < C_a$$

$$0.33 < 43.0$$

Para un diámetro de 70 mm correspondiente a los ejes 1, 2, 3, 4, se selecciona el rodamiento axial de bolas de una sola dirección 51114.

Se recalcula el tiempo de vida útil:

$$f_h = \frac{C_a \cdot f_n}{P} = \frac{43 \cdot 1.32}{0.15} = 378.4$$

$$L_{10} = 500f_h^3 = 500(378.4)^3 = 2.709 \times 10^{10} \text{ horas}$$

Para el eje 5, con un diámetro de 55 mm, se selecciona el rodamiento axial de bolas de una sola dirección 51111

$$C' < C_a$$

$$0.33 < 35.0$$

Se recalcula el tiempo de vida útil:

$$f_h = \frac{C_a \cdot f_n}{P} = \frac{35 \cdot 1.32}{0.15} = 308$$

$$L_{10} = 500f_h^3 = 500(308)^3 = 1.461 \times 10^{10} \text{ horas}$$

Para el eje 6, con un diámetro de 60 mm, se selecciona el rodamiento axial de bolas de una sola dirección 51112

$$C' < C_a$$

$$0.33 < 41.5$$

Se recalcula el tiempo de vida útil:

$$f_h = \frac{C_a \cdot f_n}{P} = \frac{41.5 \cdot 1.32}{0.15} = 365.2$$

$$L_{10} = 500f_h^3 = 500(365.2)^3 = 2.43 \times 10^{10} \text{ horas}$$

3.5.7. *Diseño del bastidor*

$$A = 0.025(0.1) = 2.5 \times 10^{-3}$$

$$b = 0.1$$

$$h = 0.0254$$

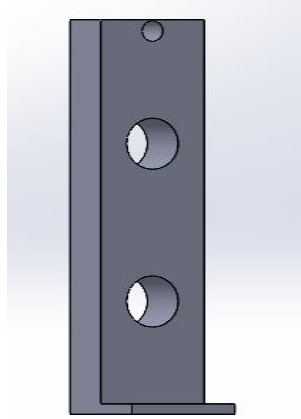


Figura 16-3: Bastidor para soporte de ejes de laminación

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

$$F_A = 4609.66j + 29848.65k$$

$$F_B = -5117.56j + 14265.72k$$

$$n = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0 & 0.226295 & 0 \\ 0 & 4609.66 & 29848.65 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0 & 0.107765 & 0 \\ 0 & -5117.56 & 14265.72 \end{vmatrix}$$

$$n = 6754.6i + 1537.34i = 8291.94i$$

$$M = 8291.94i$$

$$F = -507.9j + 44114.4k$$

Corte

$$F = \sqrt{507.9^2 + 44114.4^2} = 44117.32 \text{ N}$$

$$\tau_c = \frac{F}{A} = \frac{44117.32}{2.5 \times 10^{-3}} = 17646928 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Tracción y compresión

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{8291.94 \text{ Nm}}{\frac{0.1^3}{6}} = 49751641.51 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Aplicando Von mises

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{n}$$

$$\sqrt{49751641.51^2 + 3(17646928)^2} = \frac{210 \times 10^6}{n}$$

$$n = 3.59$$

Luego de realizar los cálculos para el diseño de elementos, y selección de elementos normalizados, se logra ensamblar todos los elementos para conseguir la máquina estampadora y laminadora de cera de abejas. A continuación, se muestra el resultado del ensamble:

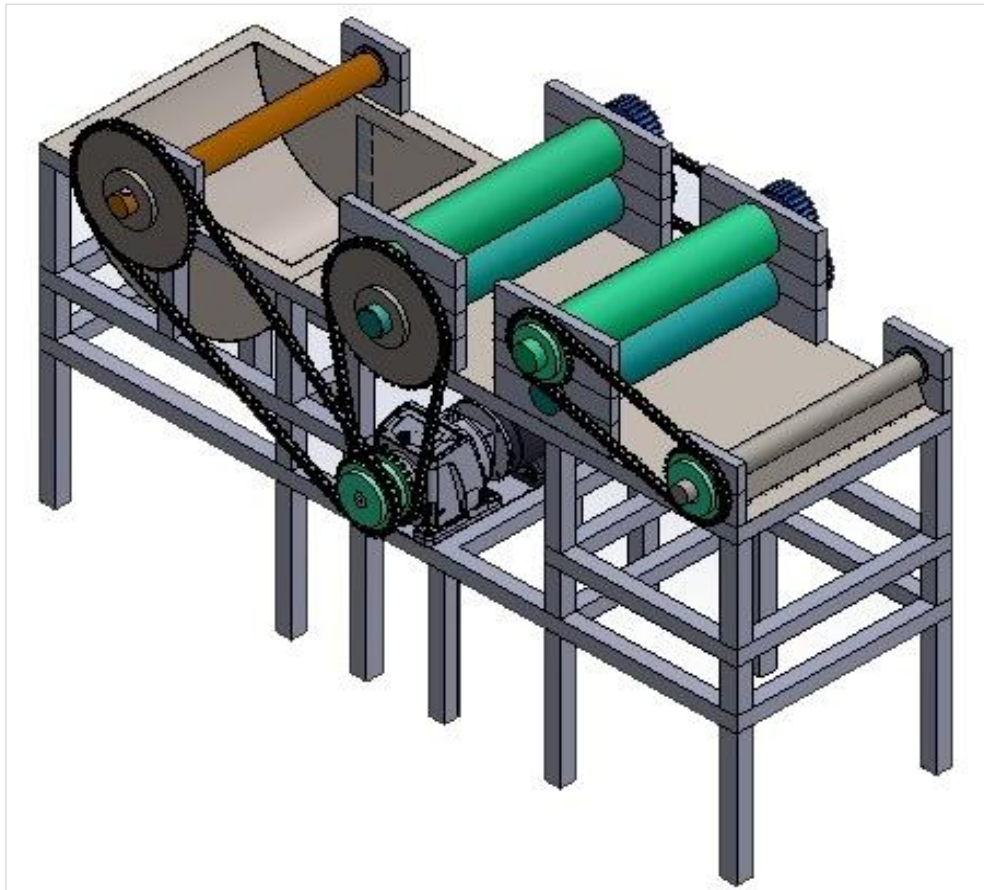


Figura 17-3: Máquina laminadora y estampadora de cera de abejas

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6. Validación mediante software de los elementos mecánicos

Para realizar la validación de los elementos, utilizamos como principal herramienta softwares de diseño que puedan confirmar y validar los diseños y selecciones de los diferentes elementos mecánicos que van a conformar la máquina propuesta.

3.6.1. Validación mediante SAP 2000 – Eje 1

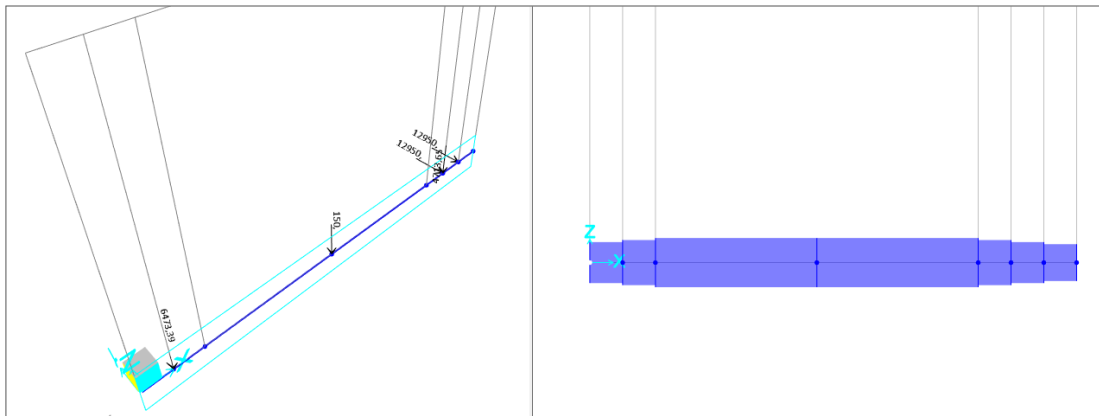


Figura 18-3: Representación del eje 1 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

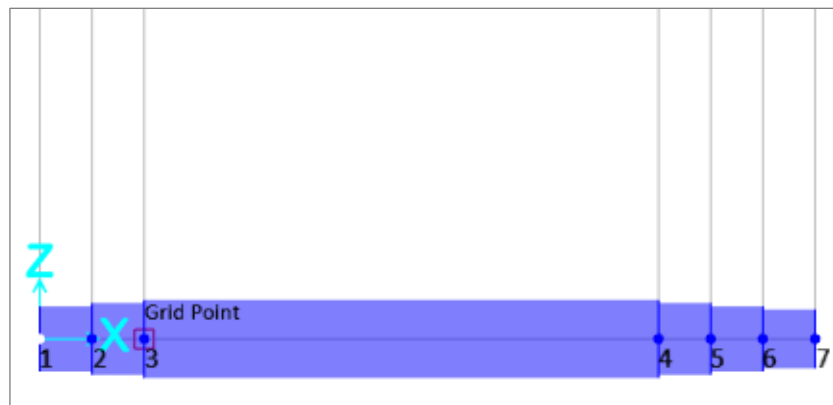


Figura 19-3: Vista frontal del eje 1 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación: Eje 1

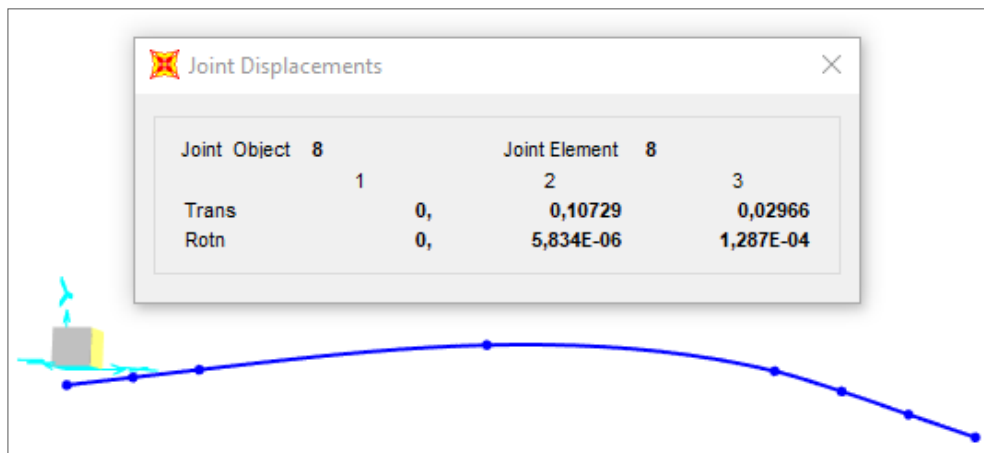


Figura 20-3: Deformación del eje 1 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Momentos:

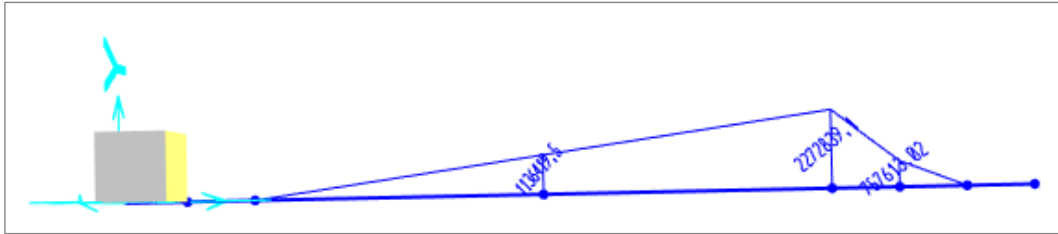


Figura 21-3: Esquema de momentos en plano X-Y del eje 1 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

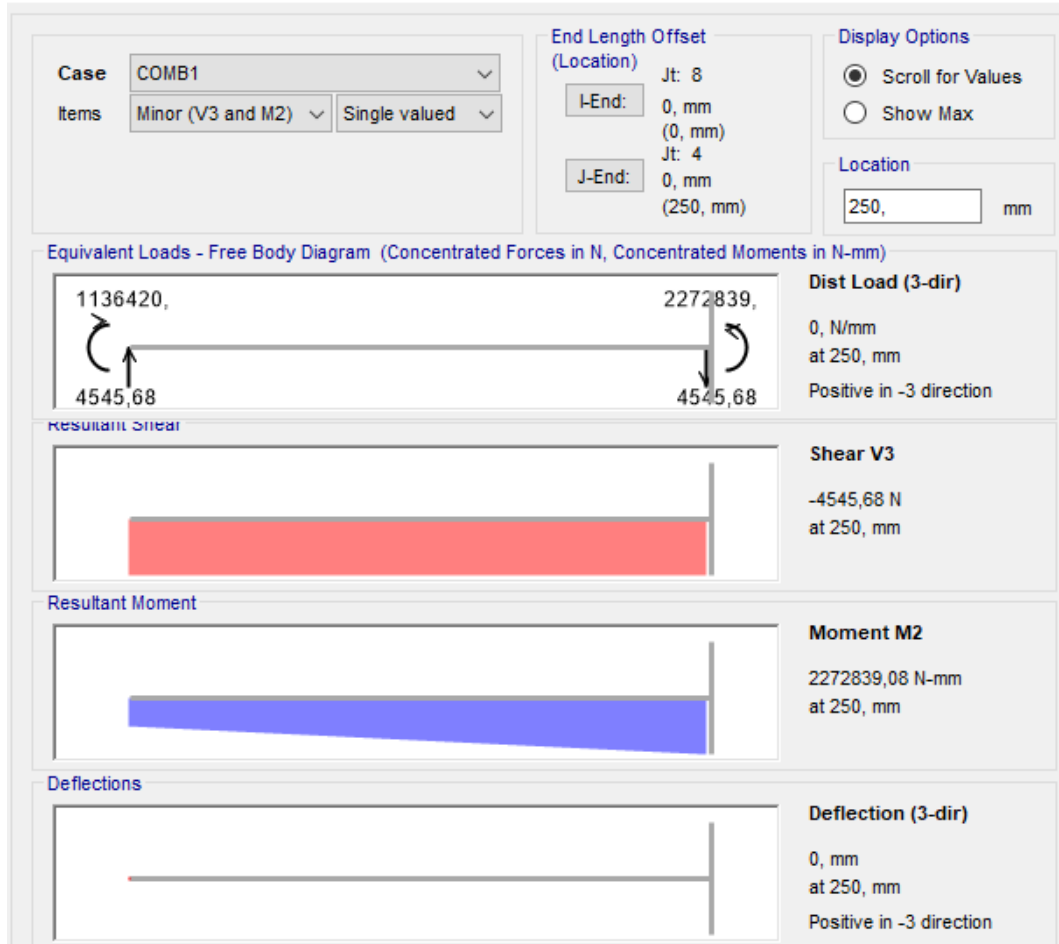


Figura 22-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

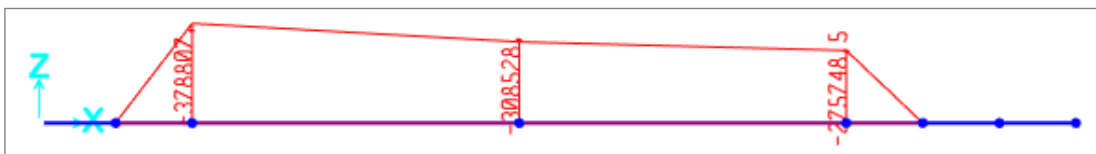


Figura 23-3: Esquema de momentos en plano X-Z del eje 1 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

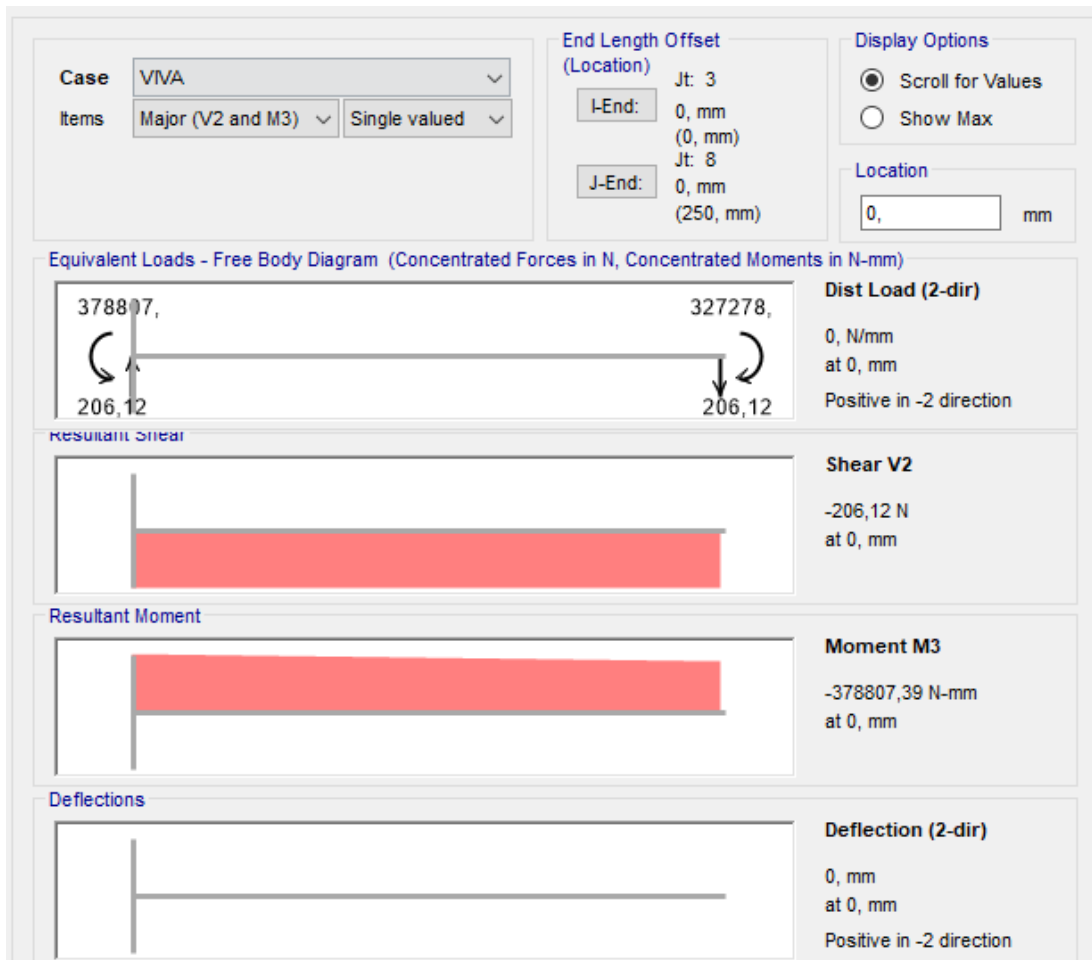


Figura 24-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.2. Validación mediante SAP 2000 – Eje 2

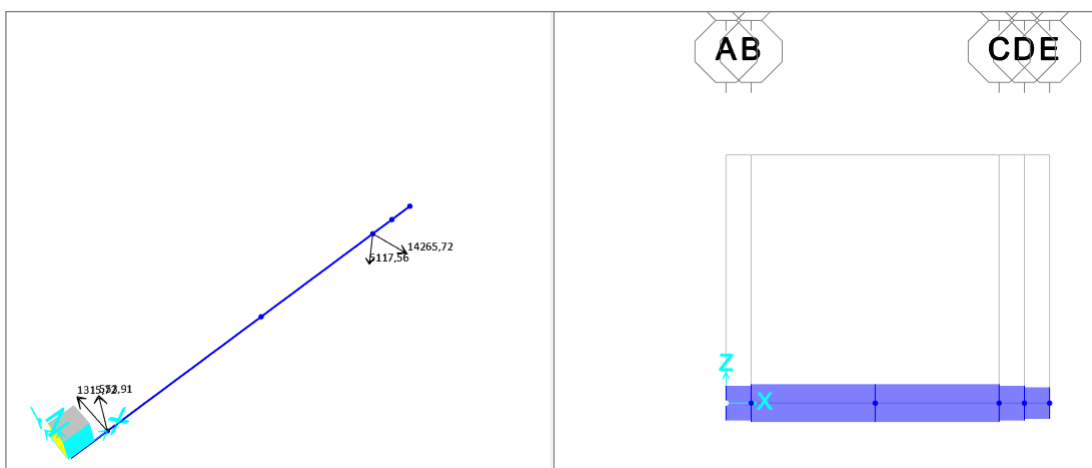


Figura 25-3: Representación del eje 2 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

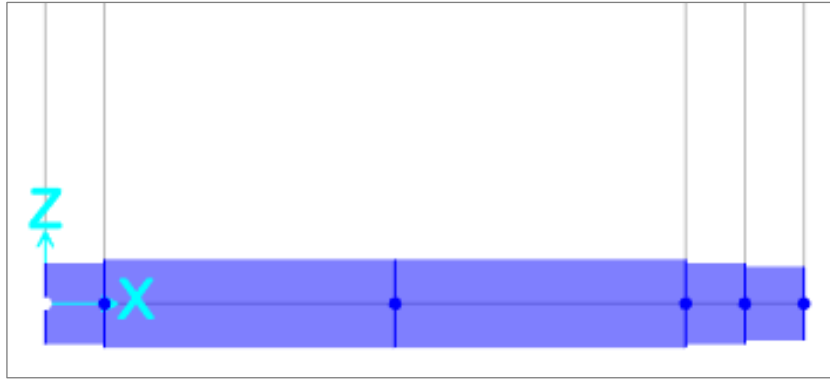


Figura 26-3: Vista frontal del eje 2 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación: Eje 2

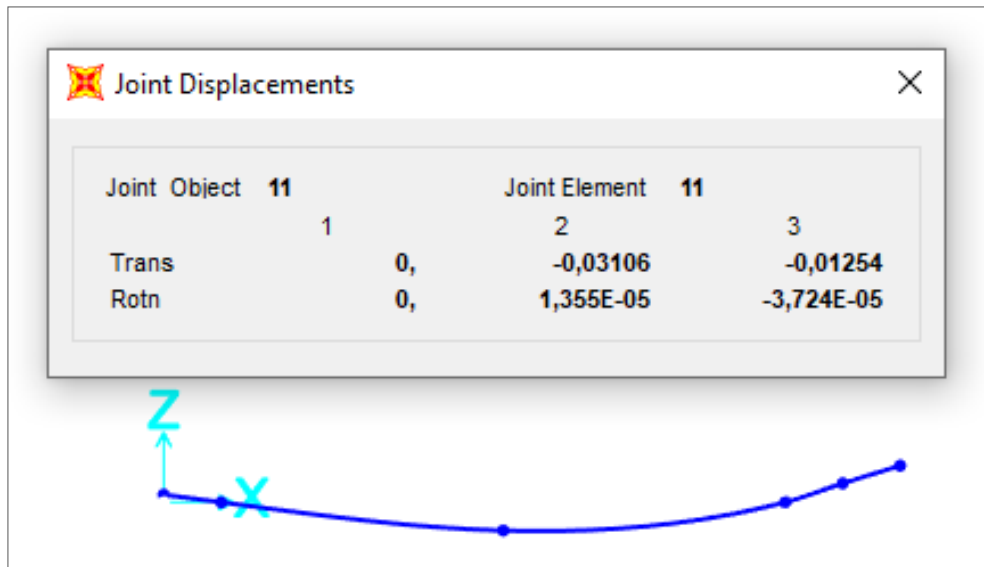


Figura 27-3: Deformación del eje 2 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Momentos: Eje 2

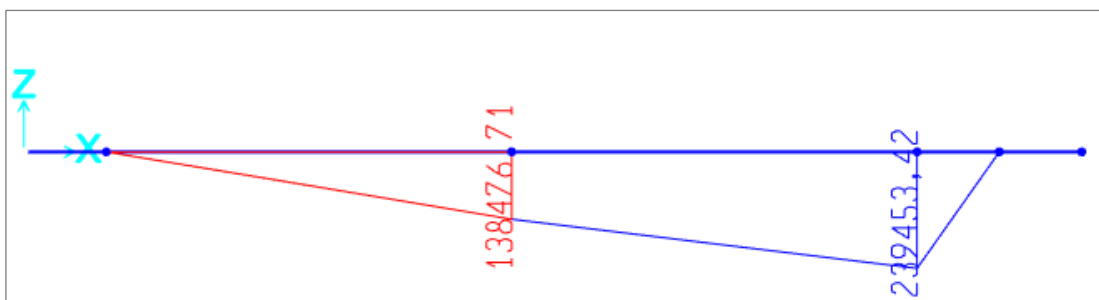


Figura 28-3: Esquema de momentos en plano X-Y del eje 2 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

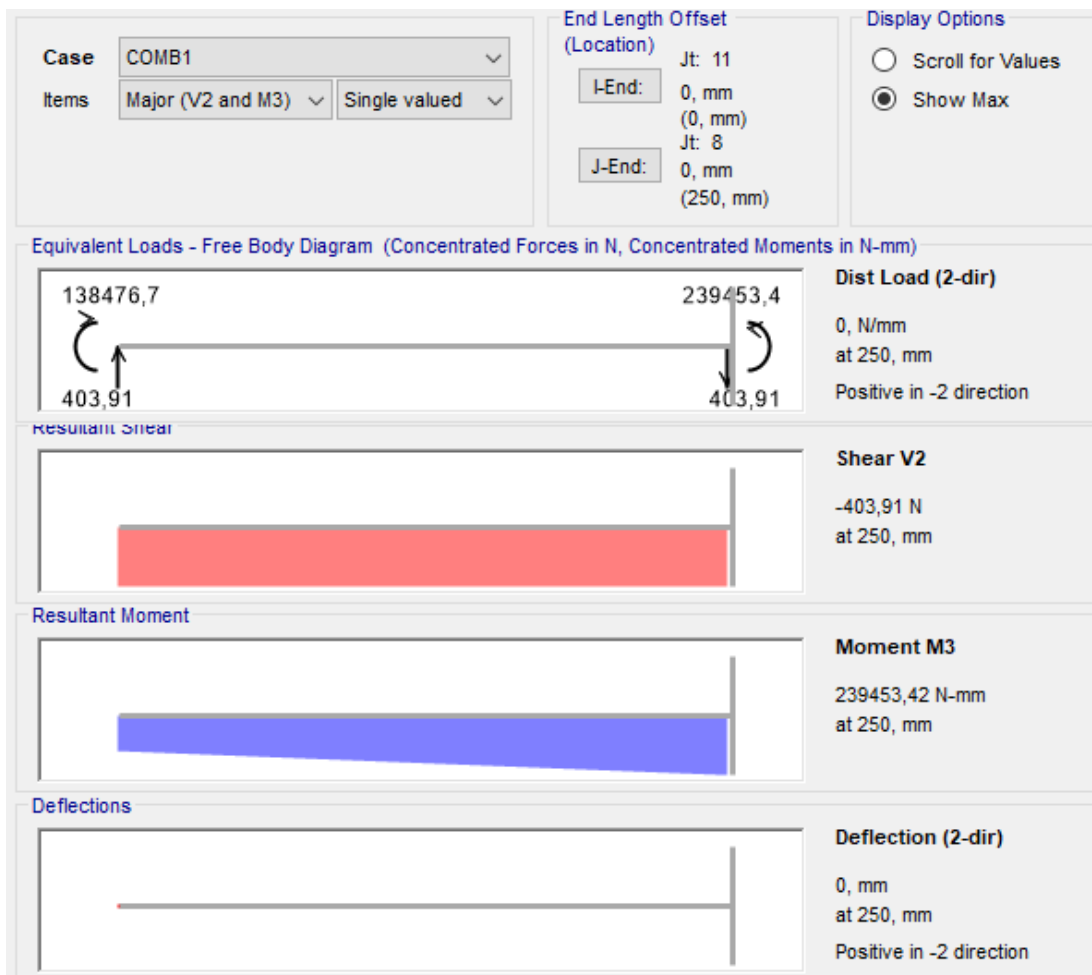


Figura 29-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

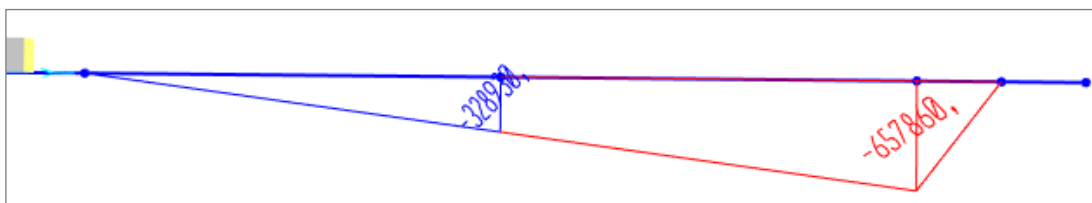


Figura 30-3: Esquema de momentos en plano X-Z del eje 2 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

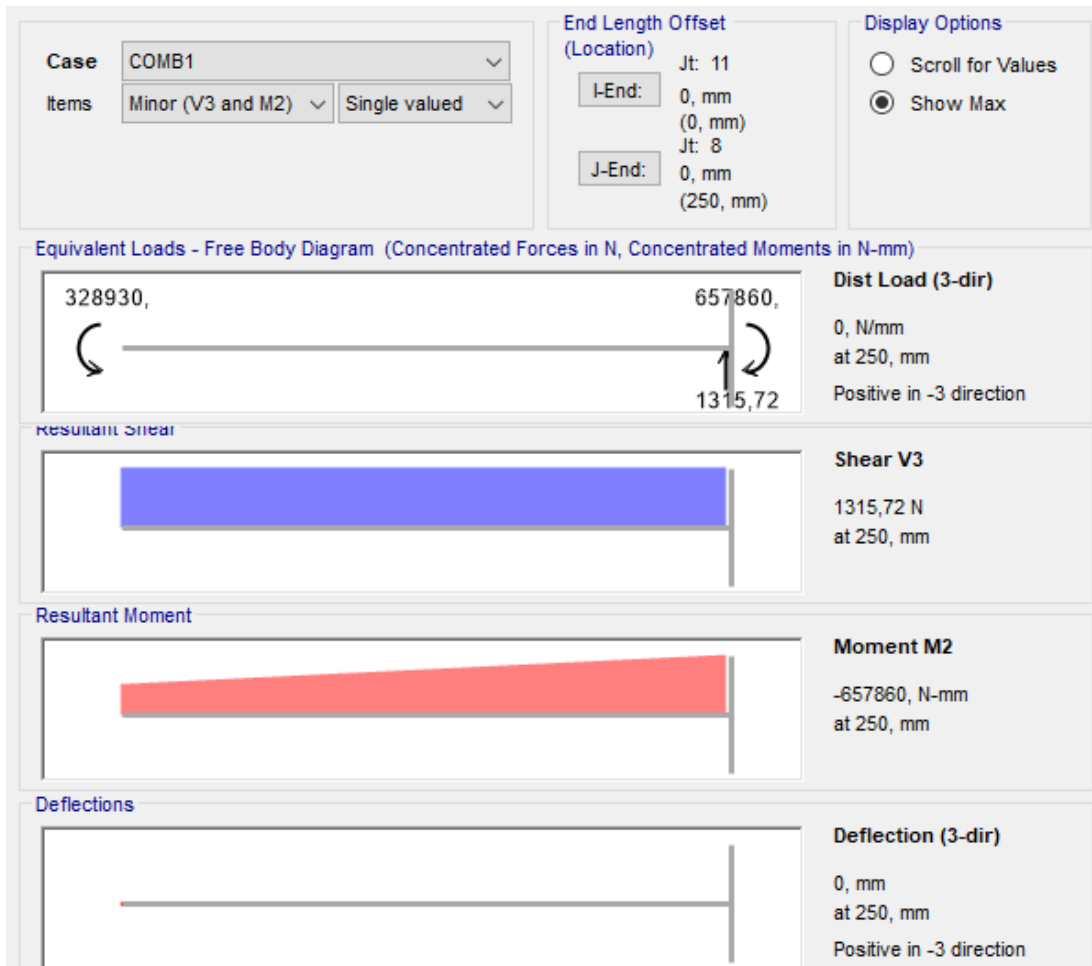


Figura 31-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.3. Validación mediante SAP 2000 – Eje 3

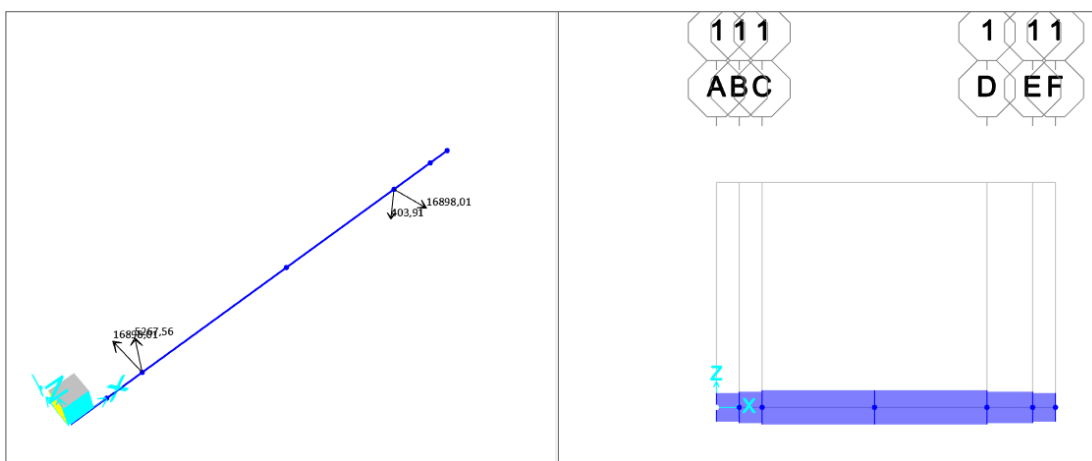


Figura 32-3: Representación del eje 3 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

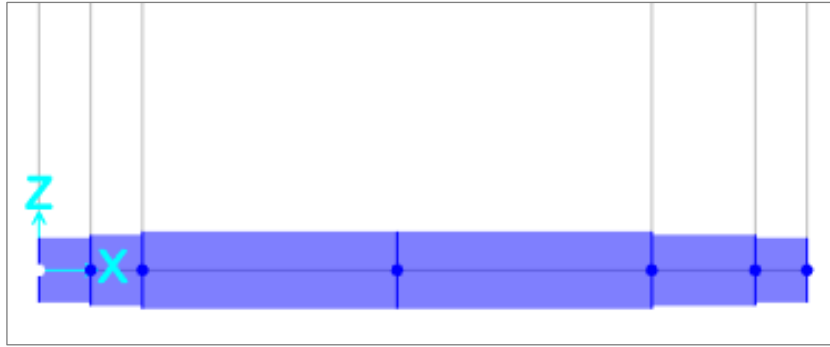


Figura 33-3: Vista frontal del eje 3 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación: Eje 3

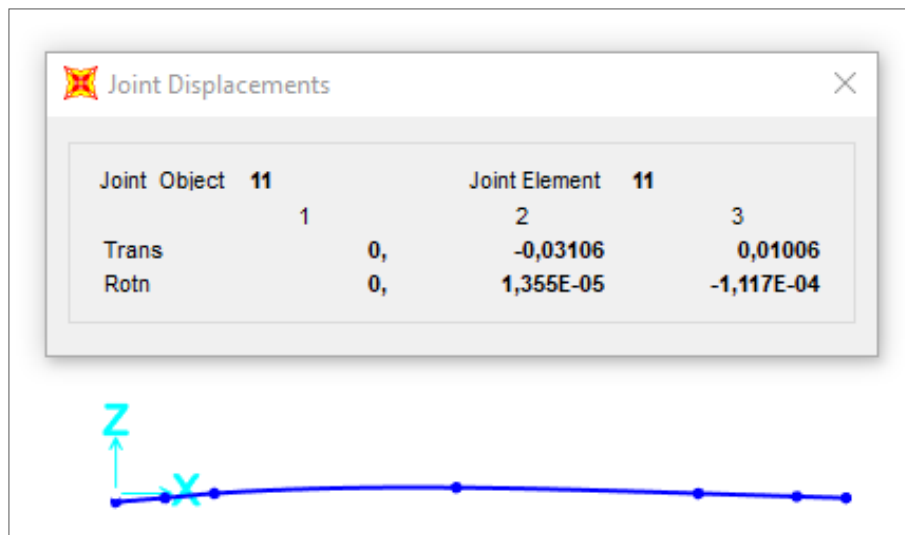


Figura 34-3: Deformación del eje 3 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Momentos: Eje 3

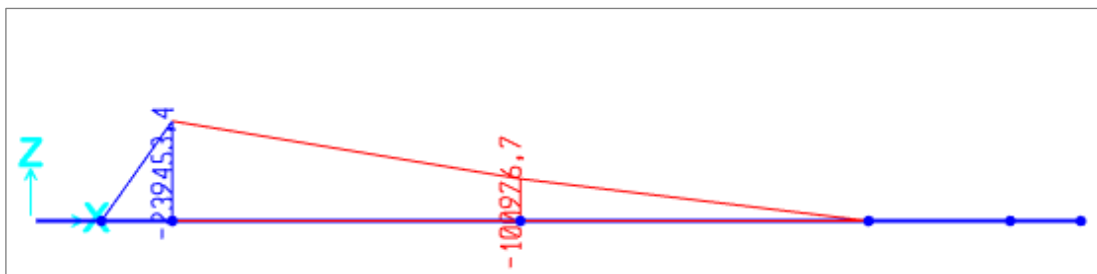


Figura 35-3: Esquema de momentos en plano X-Y del eje 3 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

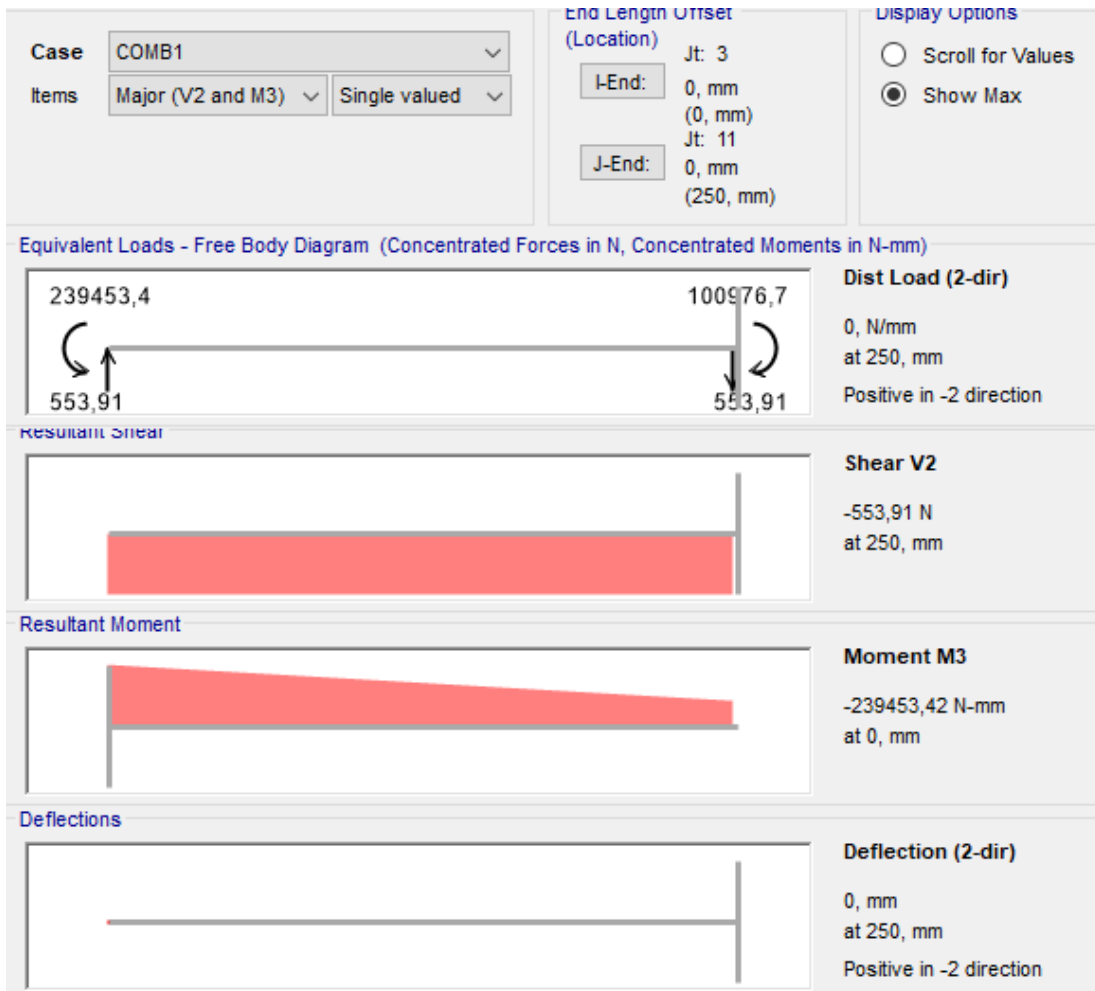


Figura 36-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

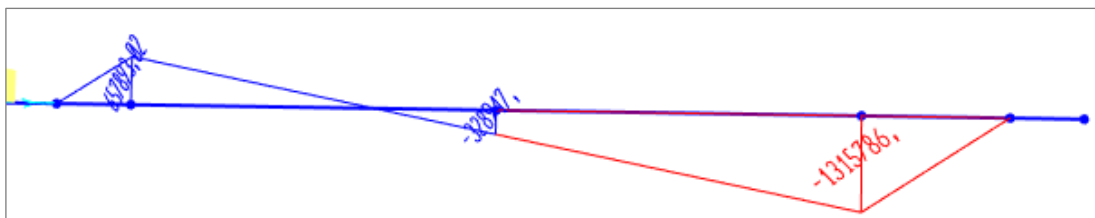


Figura 37-3: Esquema de momentos en plano X-Z del eje 3 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

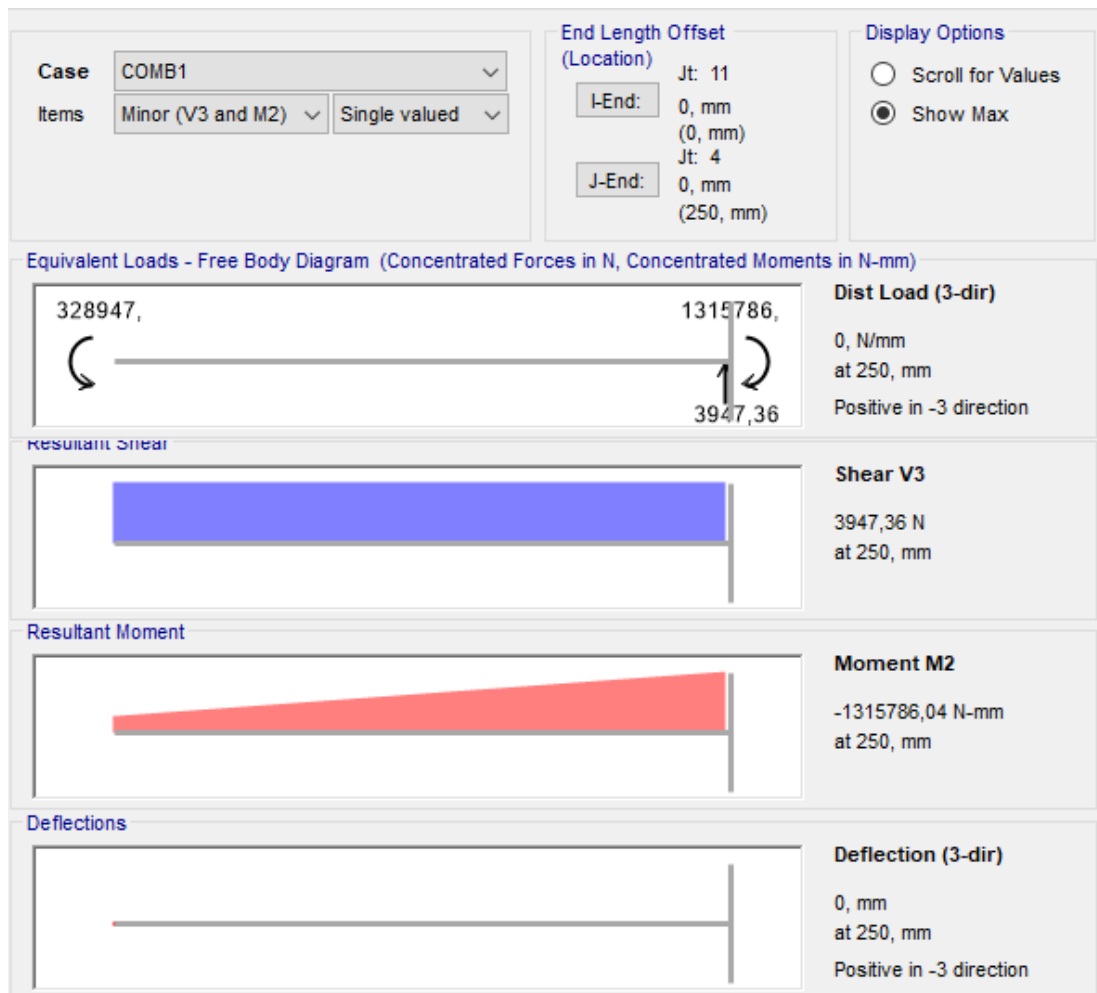


Figura 38-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.4. Validación mediante SAP 2000 – Eje 4

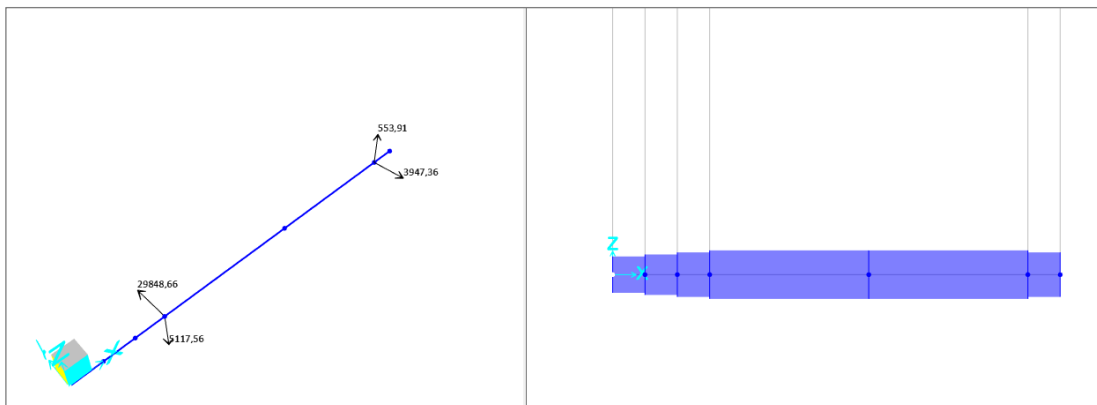


Figura 39-3: Representación del eje 4 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

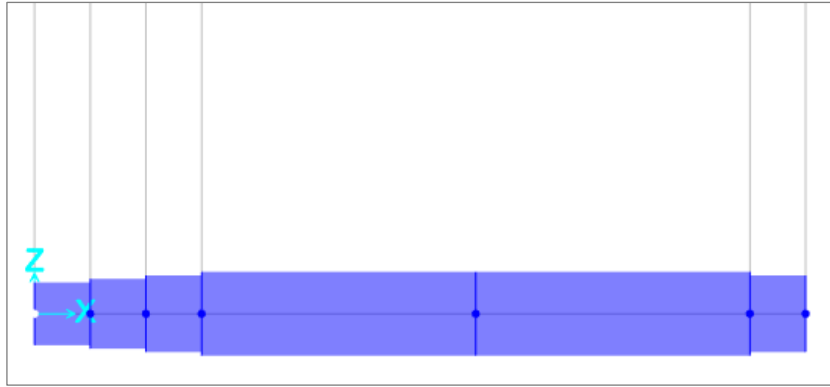


Figura 40-3: Vista frontal del eje 4 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación: Eje 4

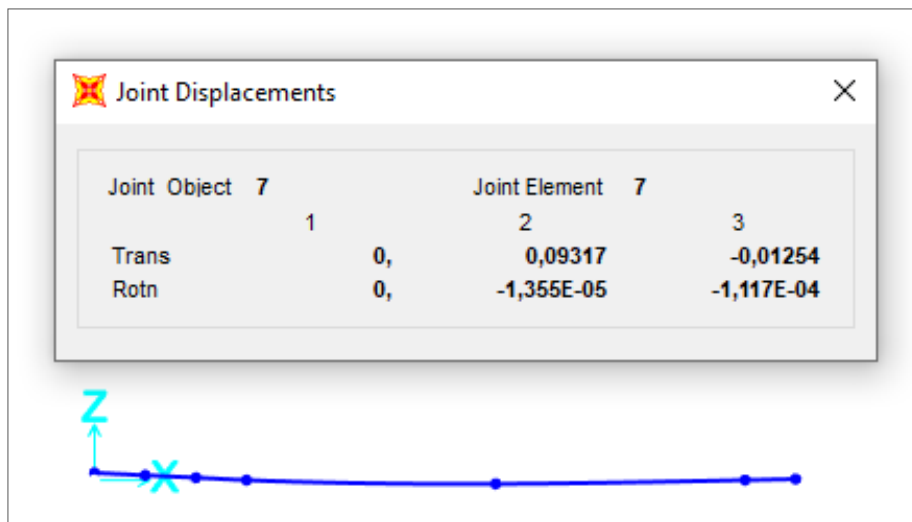


Figura 41-3: Deformación del eje 4 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Momentos: Eje 4

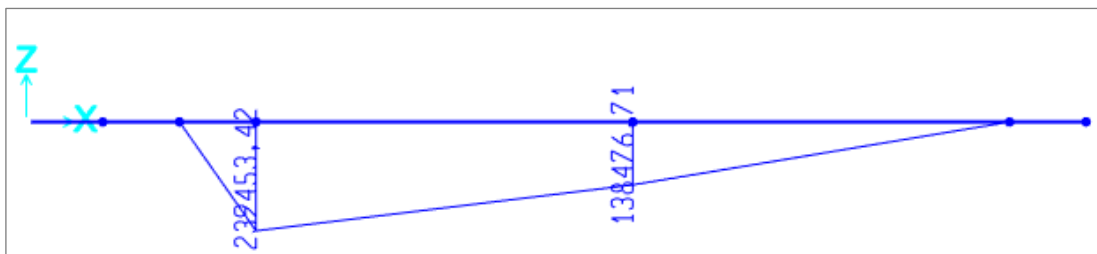


Figura 42-3: Esquema de momentos en plano X-Y del eje 4 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

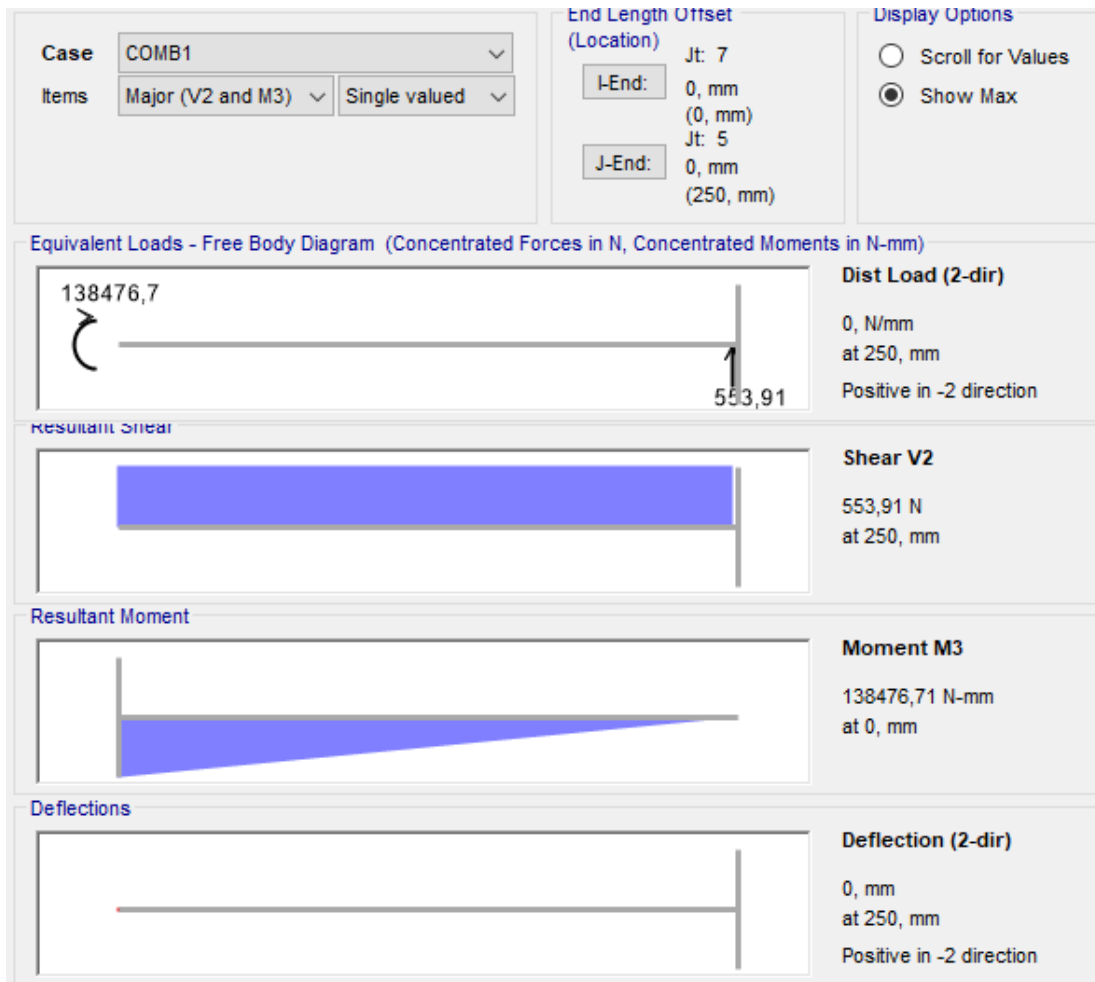


Figura 43-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

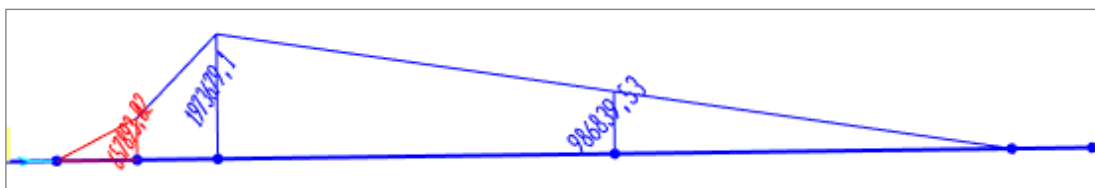


Figura 44-3: Esquema de momentos en plano X-Z del eje 4 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

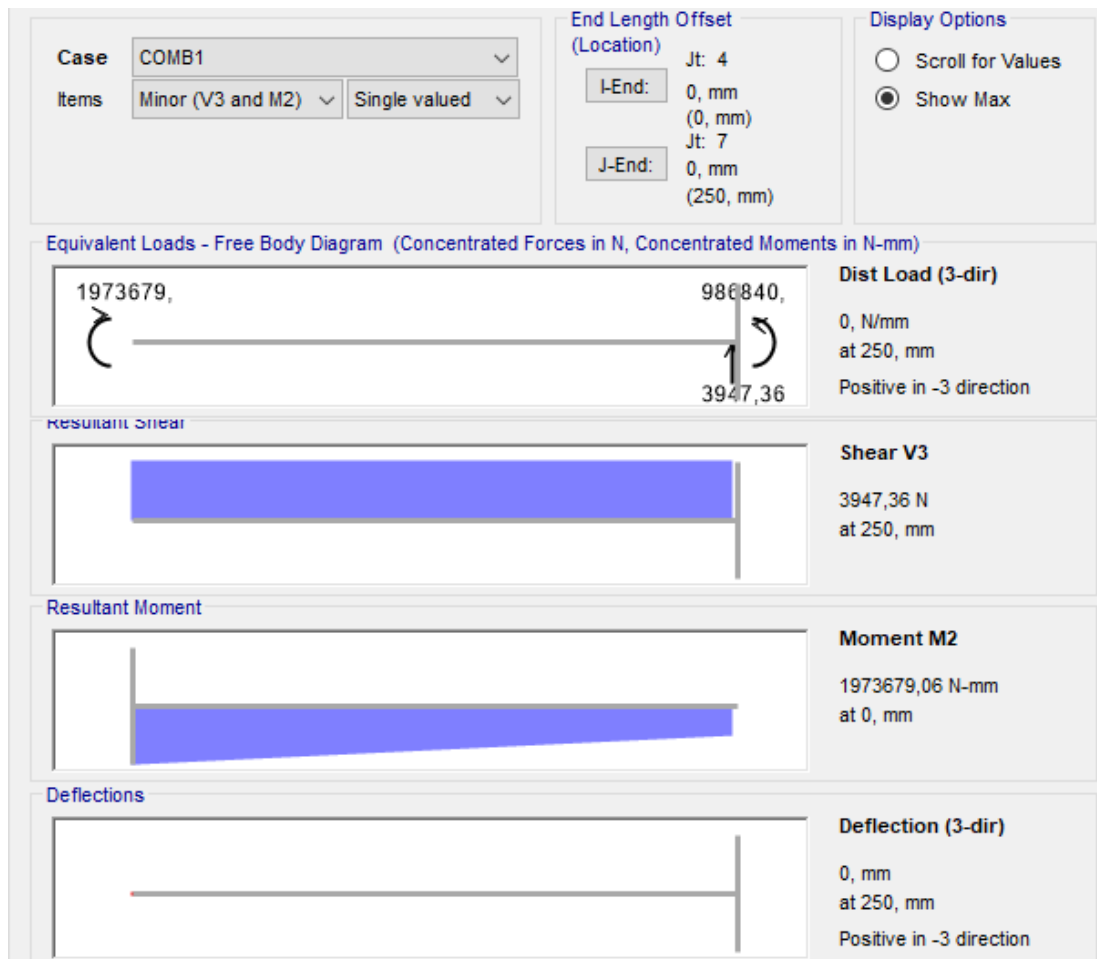


Figura 45-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.5. Validación mediante SAP 2000 – Eje 5

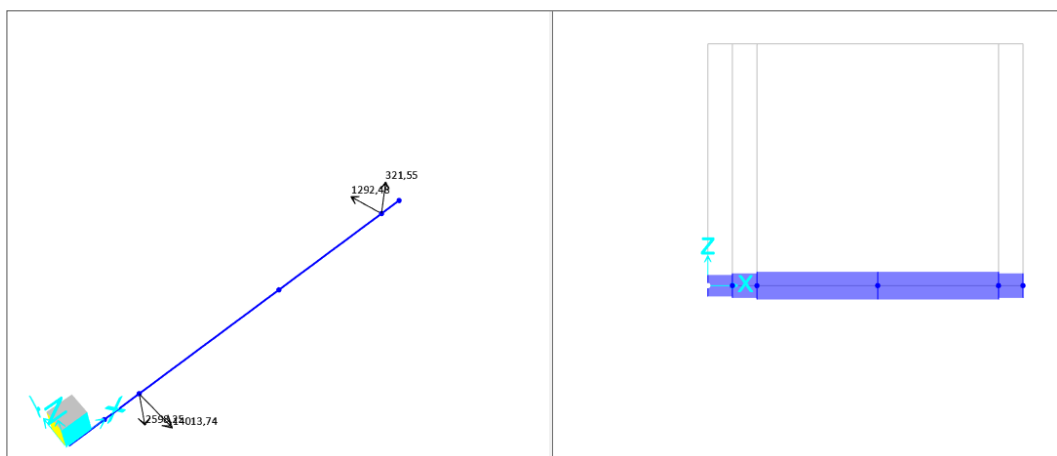


Figura 46-3: Representación del eje 5 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

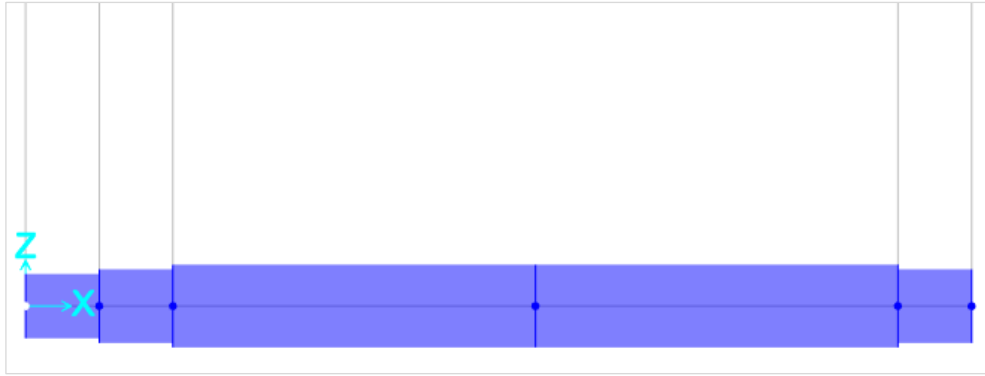


Figura 47-3: Vista frontal del eje 5 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación: Eje 5

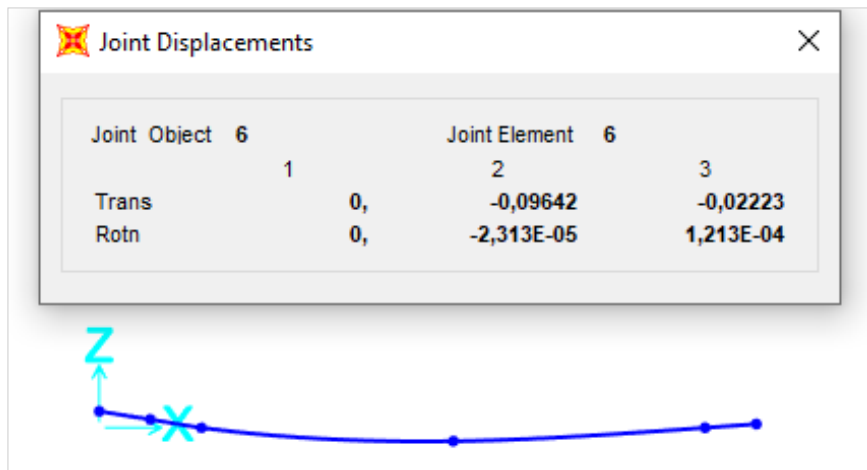


Figura 48-3: Deformación del eje 5 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Momentos: Eje 5

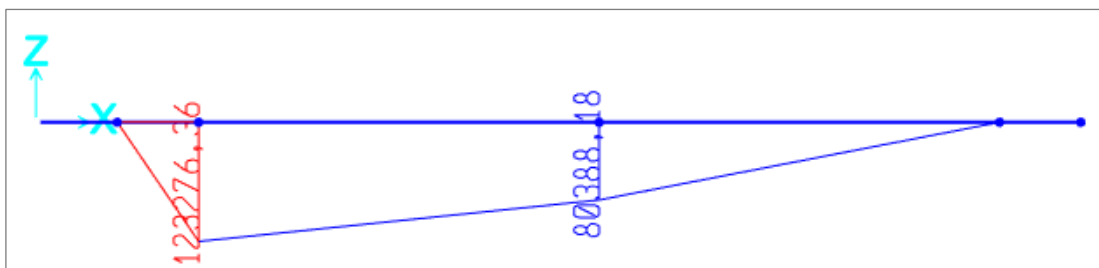


Figura 49-3: Esquema de momentos en plano X-Y del eje 5 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

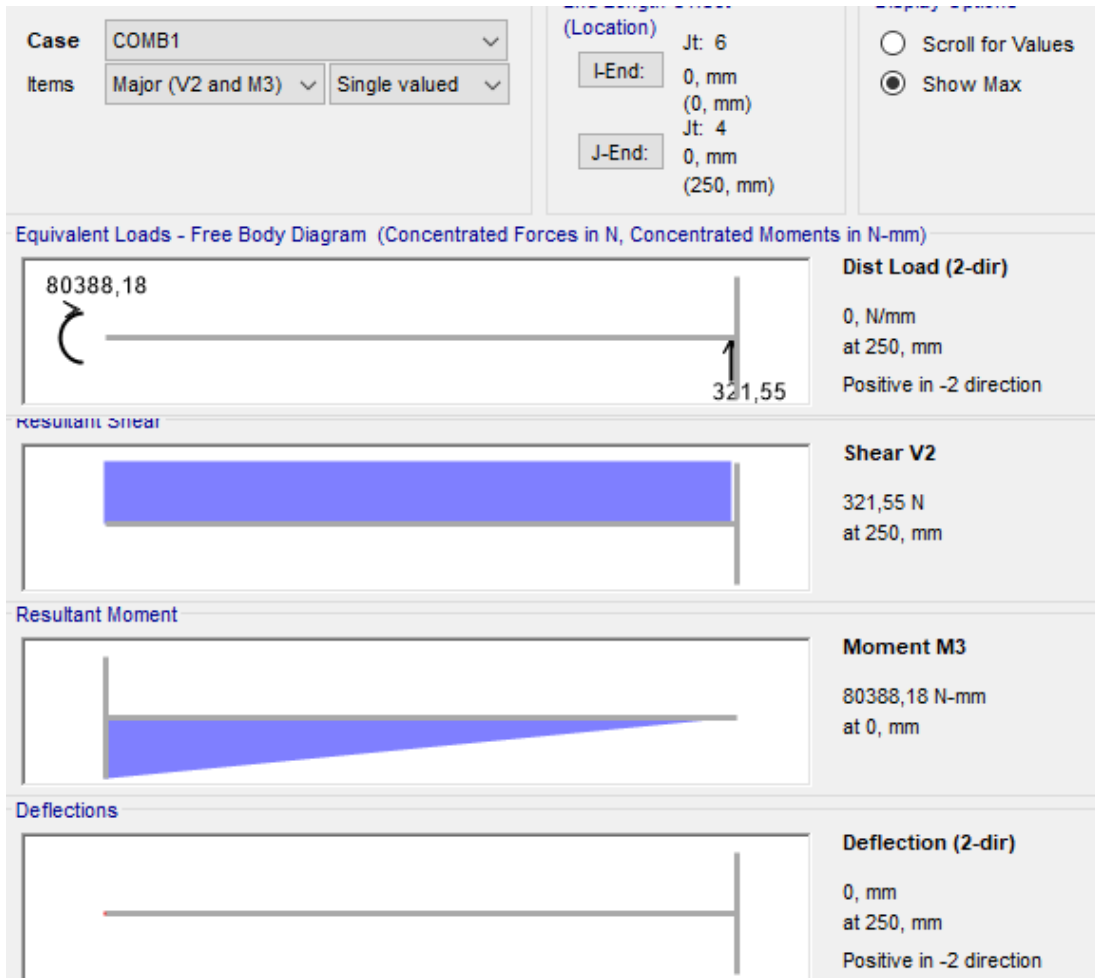


Figura 50-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

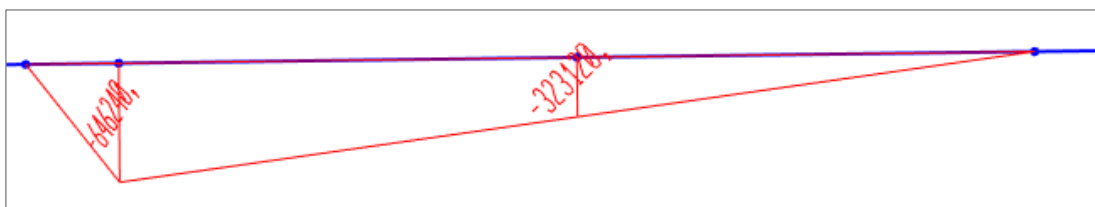


Figura 51-3: Esquema de momentos en plano X-Z del eje 5 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

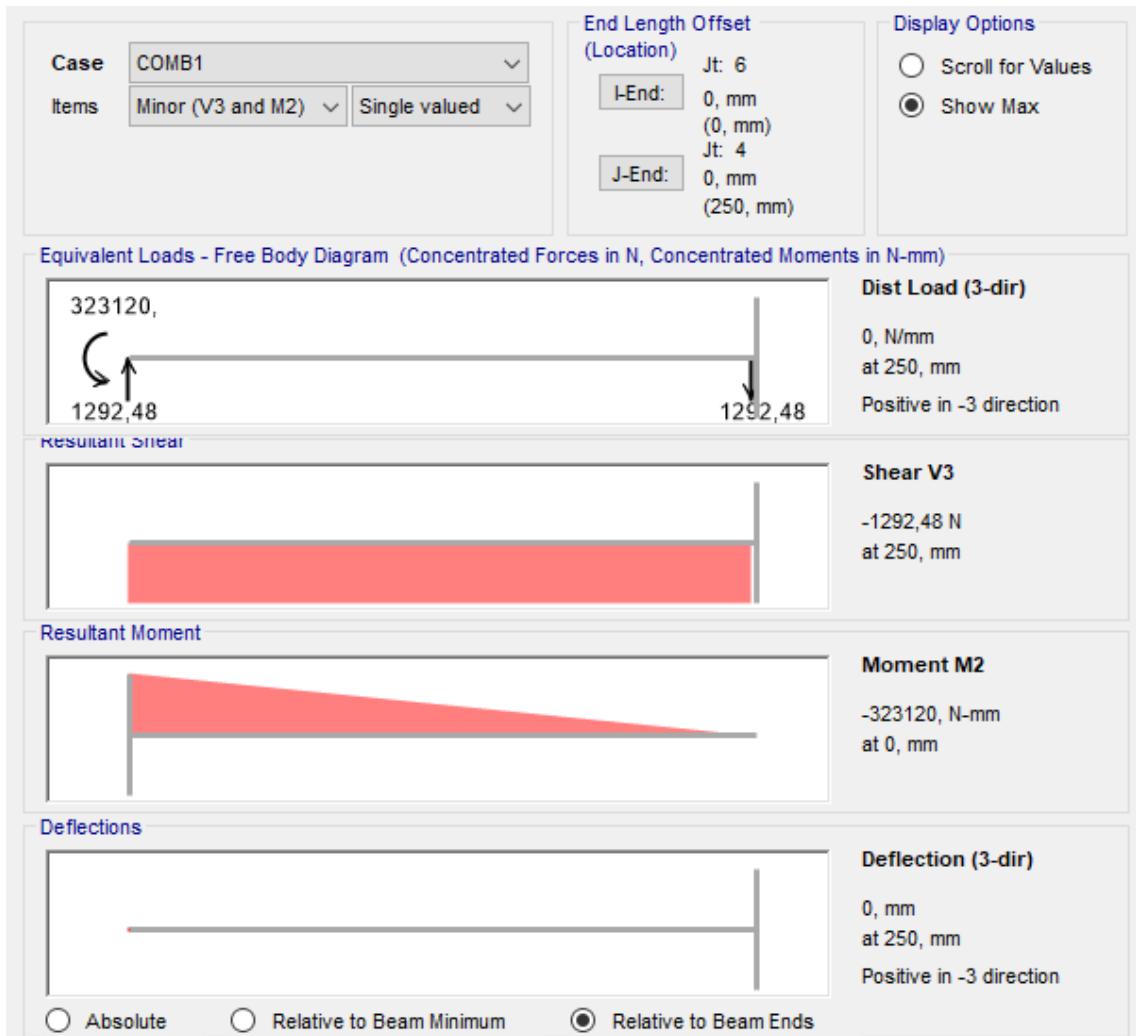


Figura 52-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.6. Validación mediante SAP 2000 – Eje 6

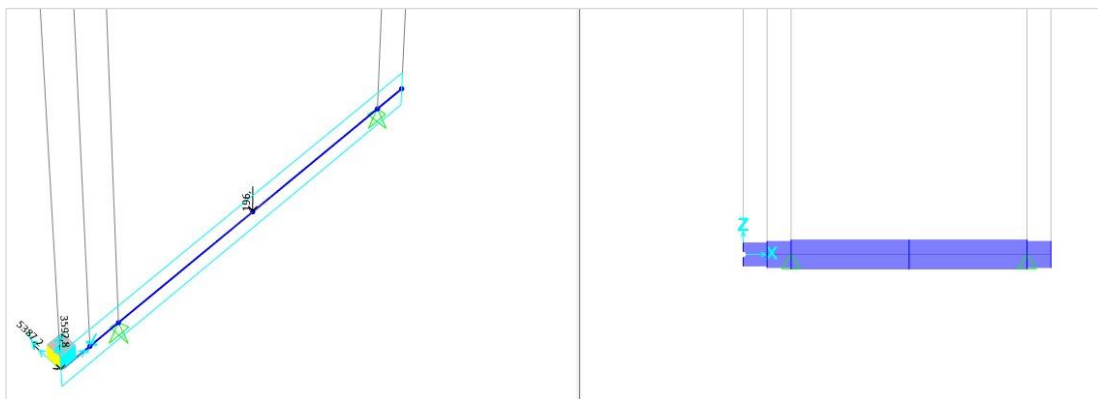


Figura 53-3: Representación del eje 6 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

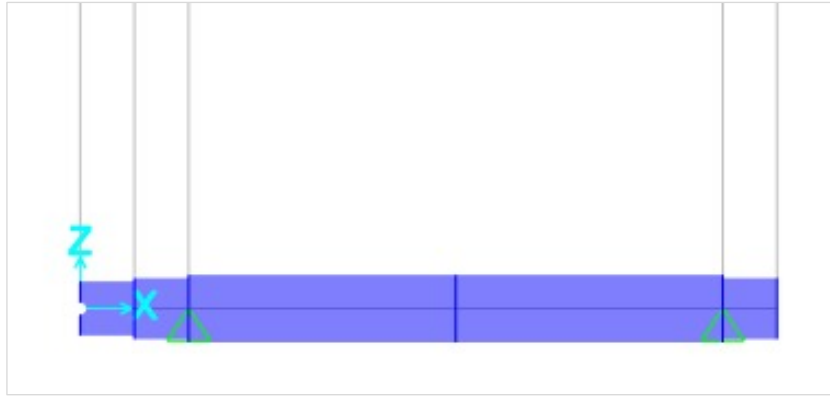


Figura 54-3: Vista frontal del eje 6 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación: Eje 6

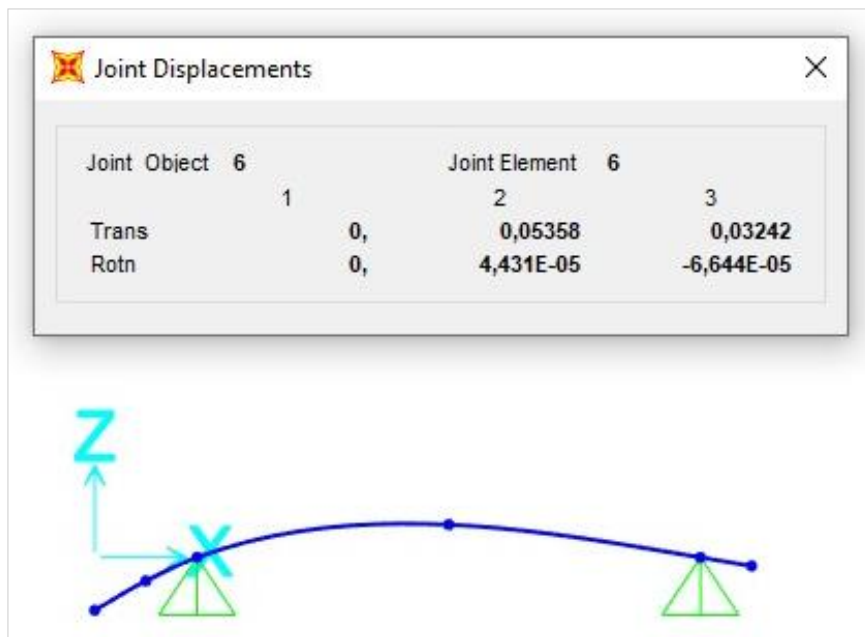


Figura 55-3: Deformación del eje 6 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Momentos: Eje 6

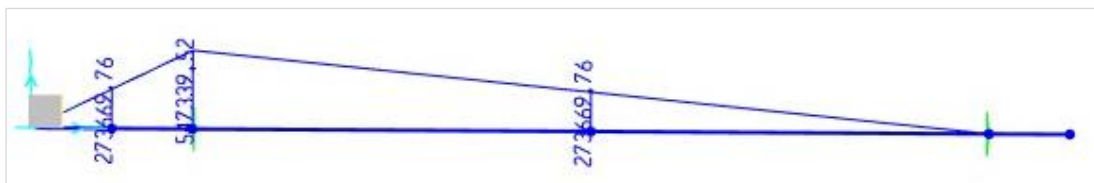


Figura 56-3: Esquema de momentos en plano X-Y del eje 6 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

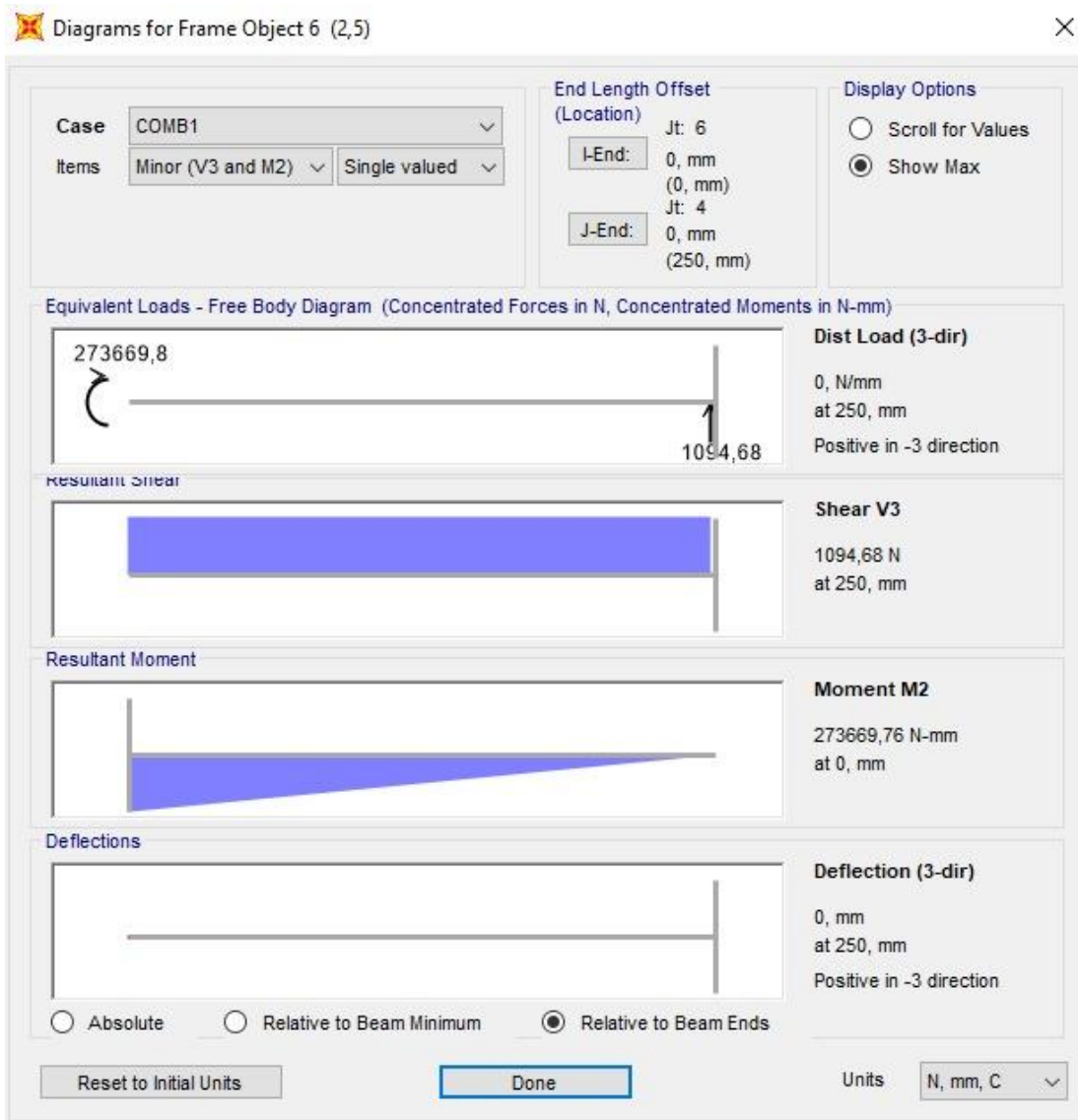


Figura 57-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Y del eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

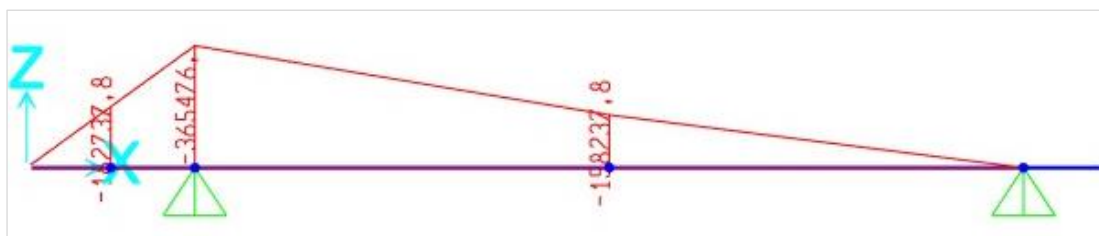


Figura 58-3: Esquema de momentos en plano X-Z del eje 6 en SAP 2000

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

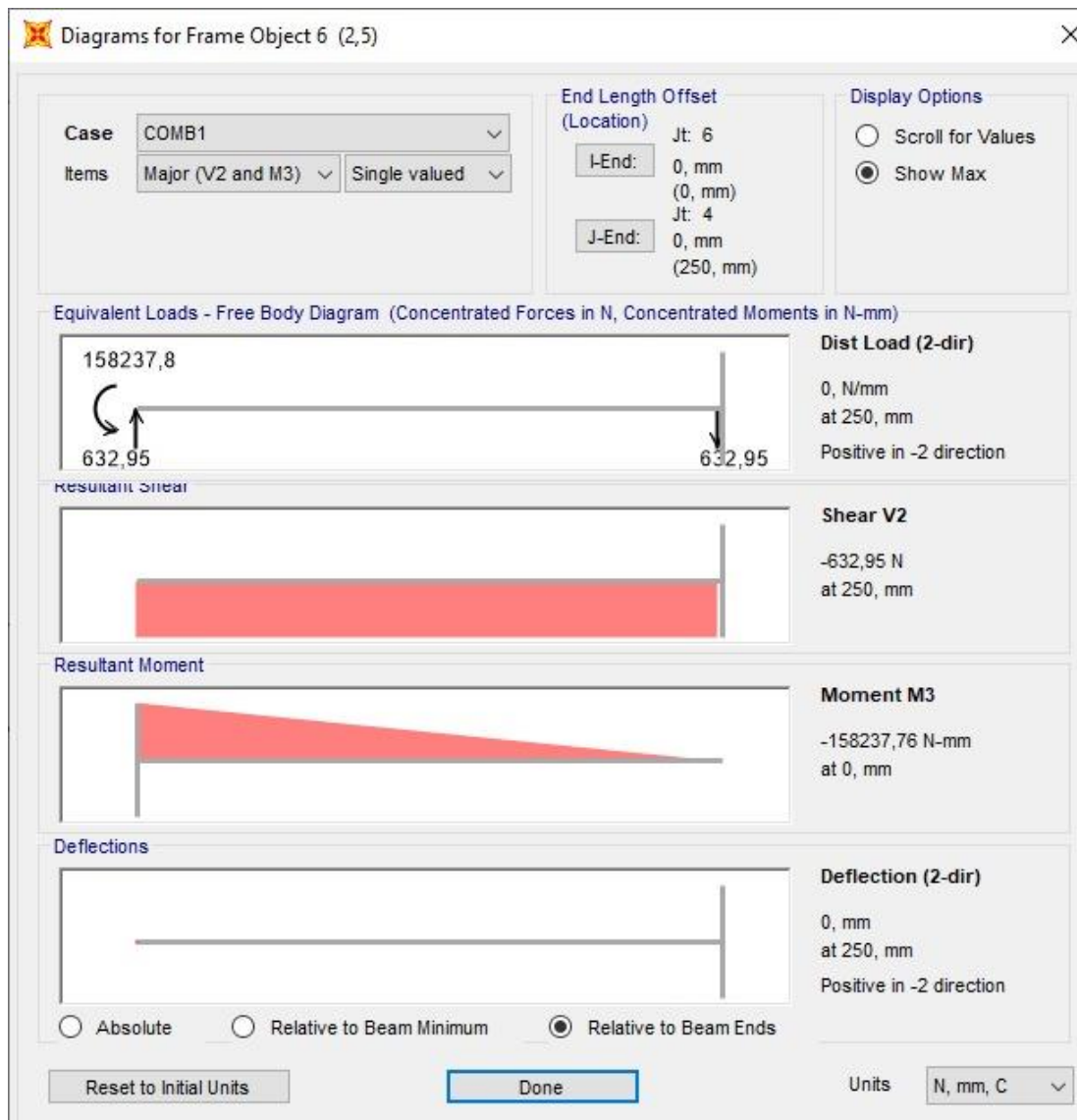


Figura 59-3: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en plano X-Z del eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.7. Validación mediante SAP 2000 – Estructura

La configuración de la estructura que va a soportar todos los elementos de la máquina se diseñó en base a la geometría necesaria para la colocación de dichos elementos en función de las operaciones que se van a realizar. Se consideró tubo cuadrado estructural 40x3 en el catálogo de Aceros DIPAC, en cual se especifica en anexo D.

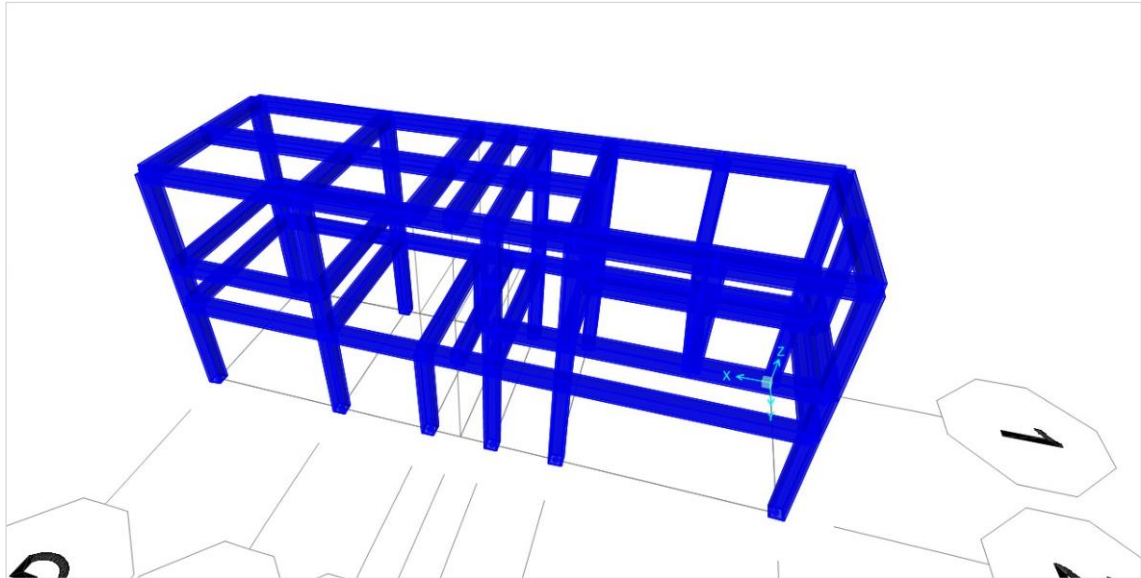


Figura 60-3: Definición de la estructura en SAP

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	A36
Material Type	Steel
Material Grade	Grade 36
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	7,697E-05
Mass per Unit Volume	7,849E-09
Units: N, mm, C	
Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	200000
Poisson, U	0,3
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1,170E-05
Shear Modulus, G	76923,08
Other Properties For Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	248,2113
Minimum Tensile Stress, Fu	399,896
Expected Yield Stress, Fye	372,3169
Expected Tensile Stress, Fue	439,8856
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display	
OK Cancel	

Figura 61-3: Propiedades del material

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

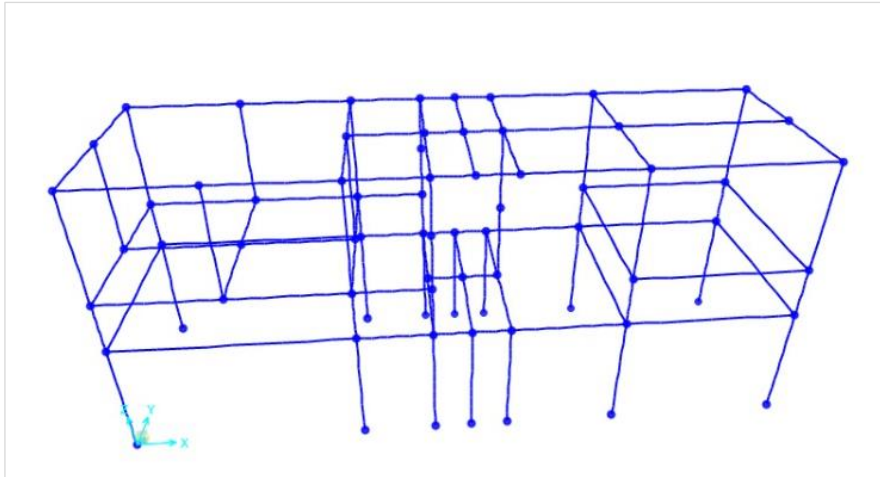


Figura 62-3: Deformación de la estructura en SAP

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

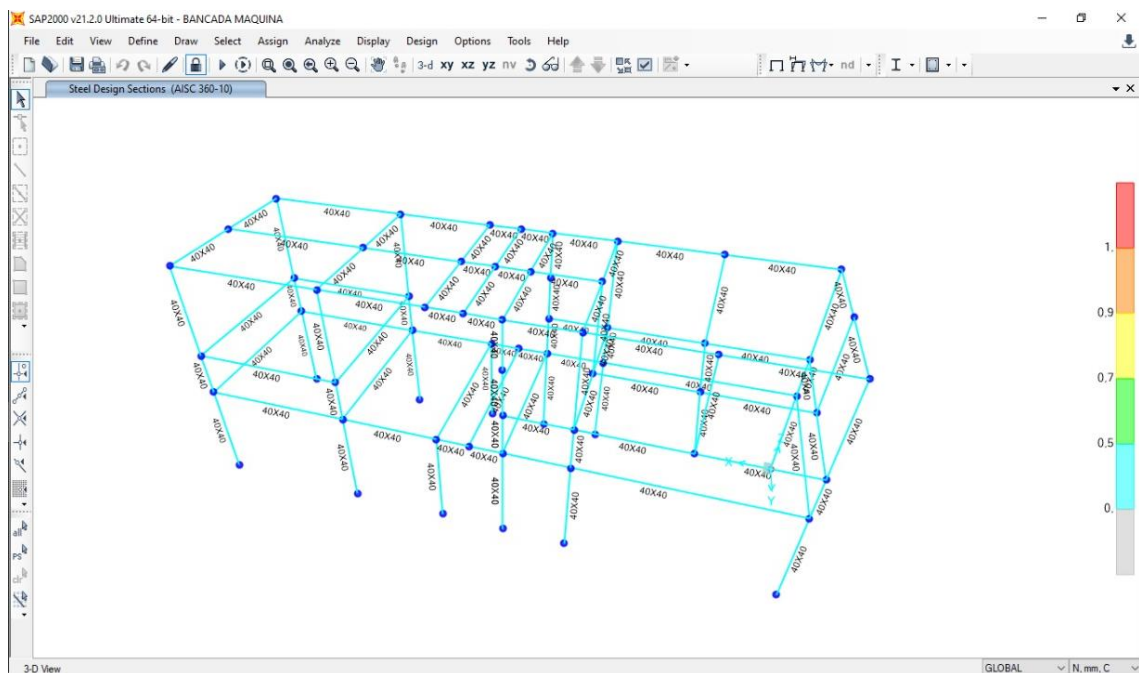


Figura 63-3: Sección de diseño de la estructura

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Luego de realizar el análisis, es evidente que la estructura soporta las cargas y esfuerzos a los cuales va a ser sometida, por lo que se considera validada la estructura.

3.6.8. Validación mediante ANSYS – Eje 1

A continuación, se presentan el análisis estático estructural correspondiente al eje 1, del sistema de laminado, mediante la utilización del software ANSYS.

3.6.8.1. Preproceso - Eje 1

Material

Para el eje 1, se consideró un acero AISI 1045 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

Properties of Outline Row 3: Acero 1045				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	<input checked="" type="checkbox"/> Material Field Variables	Table		
3	<input checked="" type="checkbox"/> Density	7850	kg m ⁻³	
4	<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Elasticity			
12	<input checked="" type="checkbox"/> Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	<input checked="" type="checkbox"/> Strain-Life Parameters			
24	<input checked="" type="checkbox"/> Tensile Yield Strength	530	MPa	
25	<input checked="" type="checkbox"/> Compressive Yield Strength	530	MPa	
26	<input checked="" type="checkbox"/> Tensile Ultimate Strength	625	MPa	
27	<input checked="" type="checkbox"/> Compressive Ultimate Strength	0	Pa	
28	<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹	
29	<input checked="" type="checkbox"/> Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹	
30	<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Relative Permeability	10000		
31	<input checked="" type="checkbox"/> Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m	

Figura 64-3: Propiedades del acero AISI 1045 - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 65-3, se muestra la geometría del eje 1, la cual fue realizada en SolidWorks.

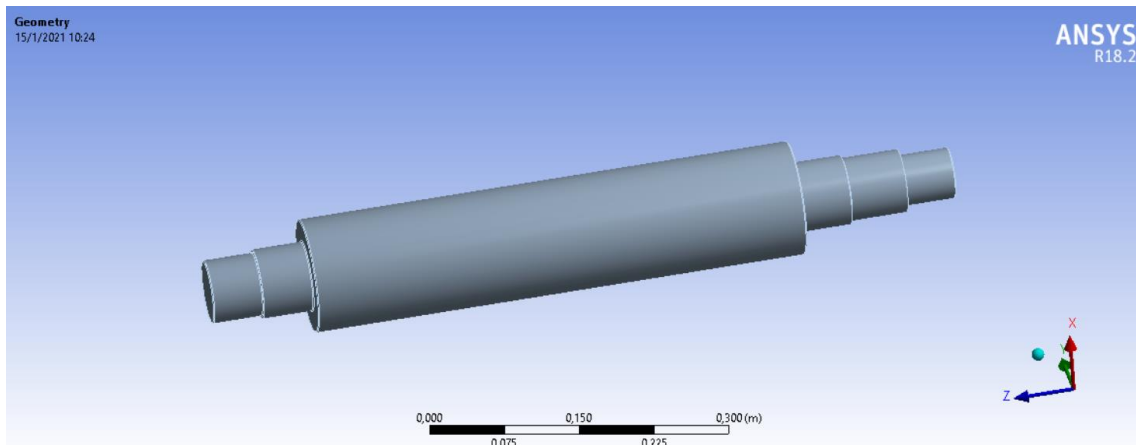


Figura 65-3: Definición de geometría - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

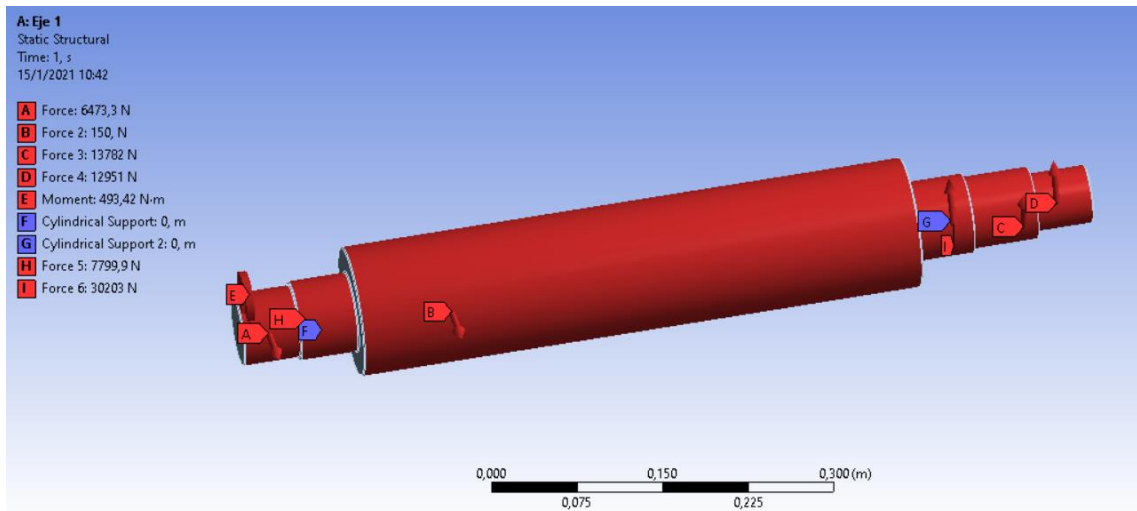


Figura 66-3: Cargas asignadas - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera un soporte en las secciones señaladas A y B, las cuales están sujetas por rodamientos al bastidor, es decir que corresponden a soportes fijos.

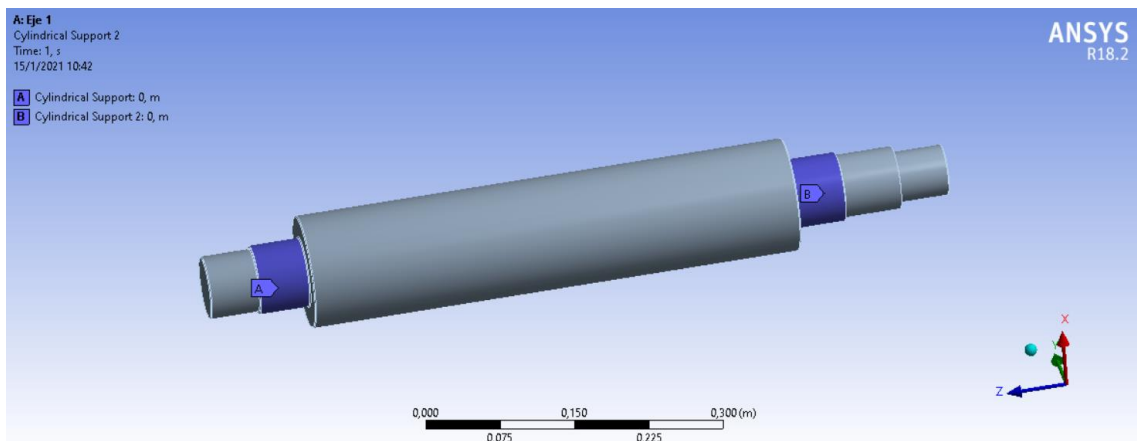


Figura 67-3: Soportes - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

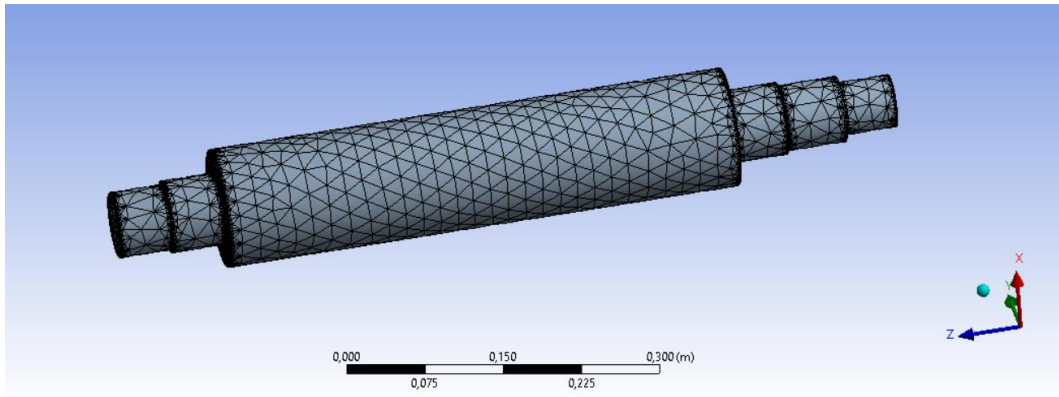


Figura 68-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

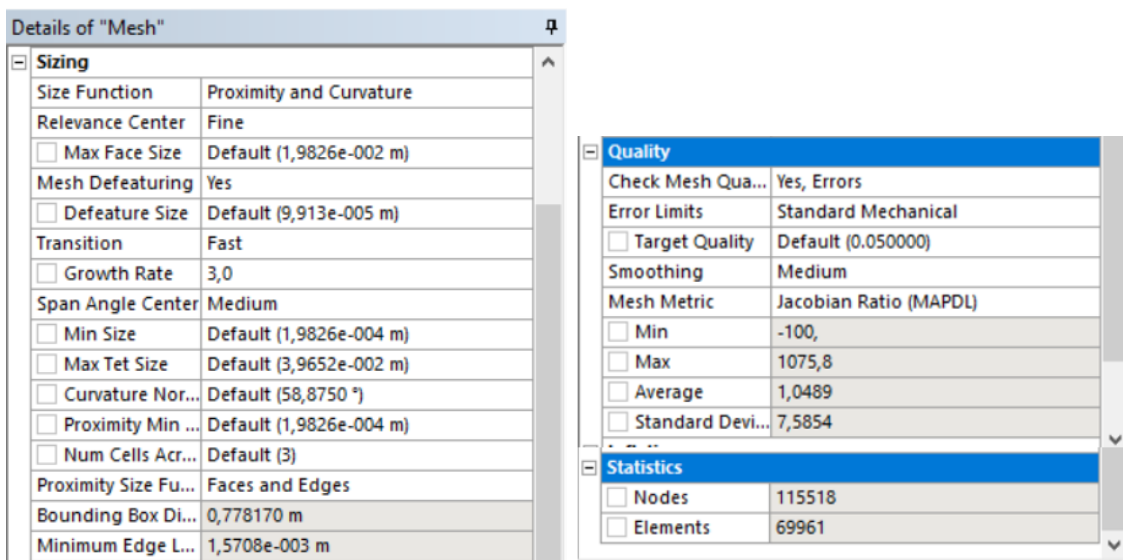


Figura 69-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 69-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0489, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta para este tipo de malla.

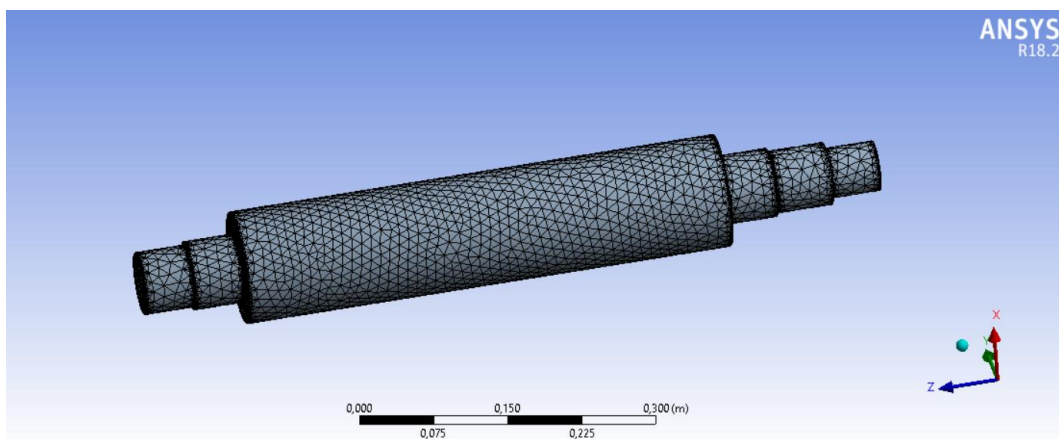


Figura 70-3: Malla Skewness - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

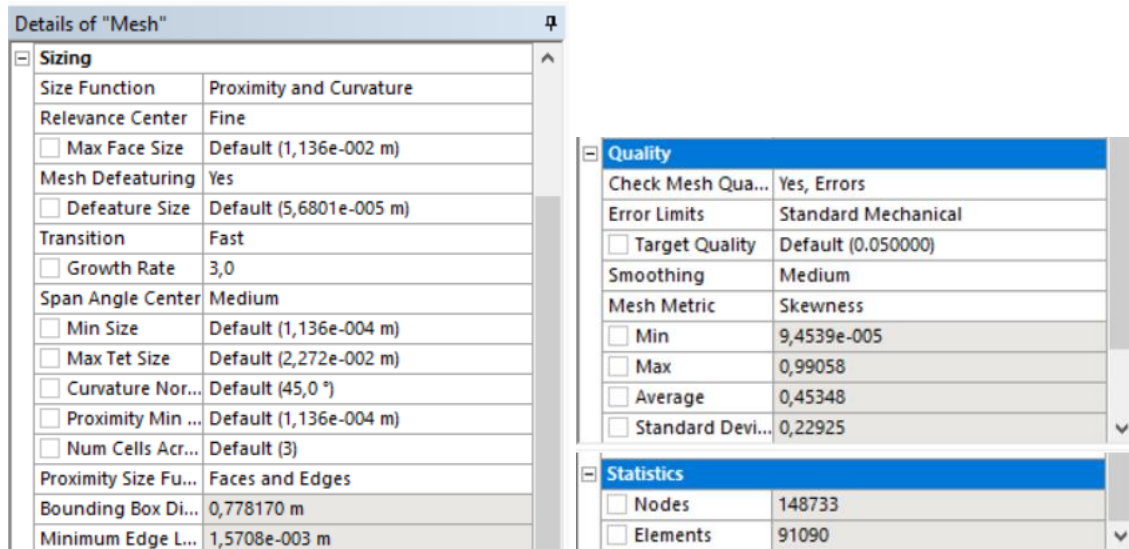


Figura 71-3: Detalles de la malla Skewness - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.45348, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.8.2. Postproceso - Eje 1

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio

Deformación

De acuerdo con la figura 72-3, se observa que la deformación máxima es de 0.04749 mm con la malla Jacobian Ratio, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

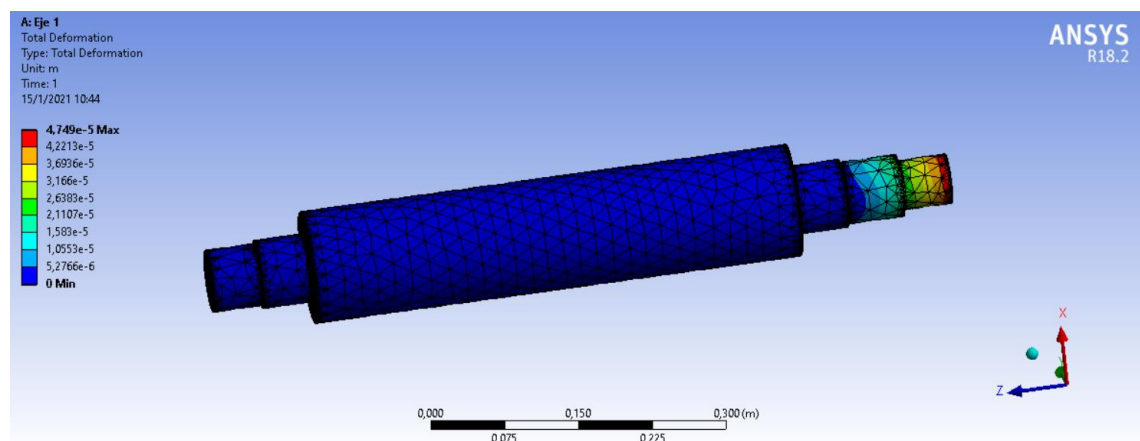


Figura 72-3: Resultado de deformación - malla Jacobian Ratio - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida para la malla Jacobian Ratio fue de 0.046257 mm, como se observa en la figura 73-3.

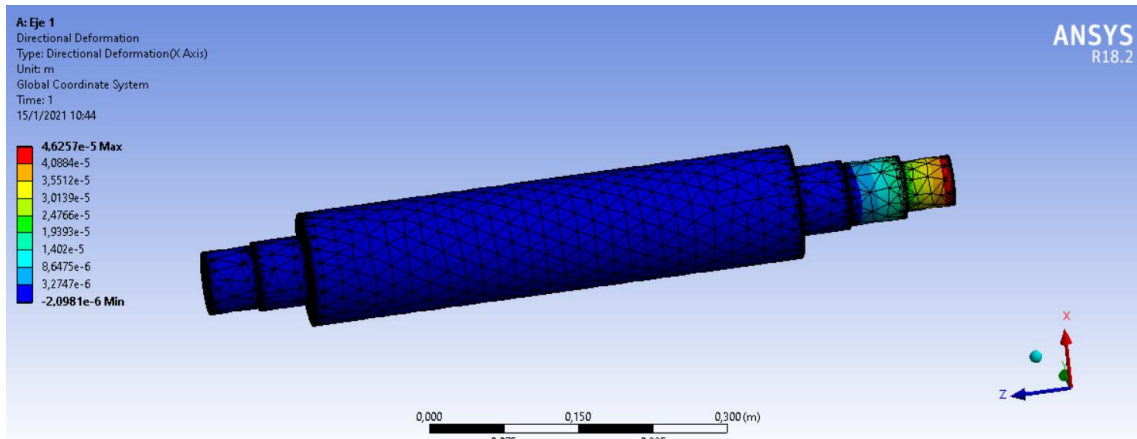


Figura 73-3: Resultado de deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 74-3, con un valor de 209.3 MPa para la malla Jacobian Ratio.

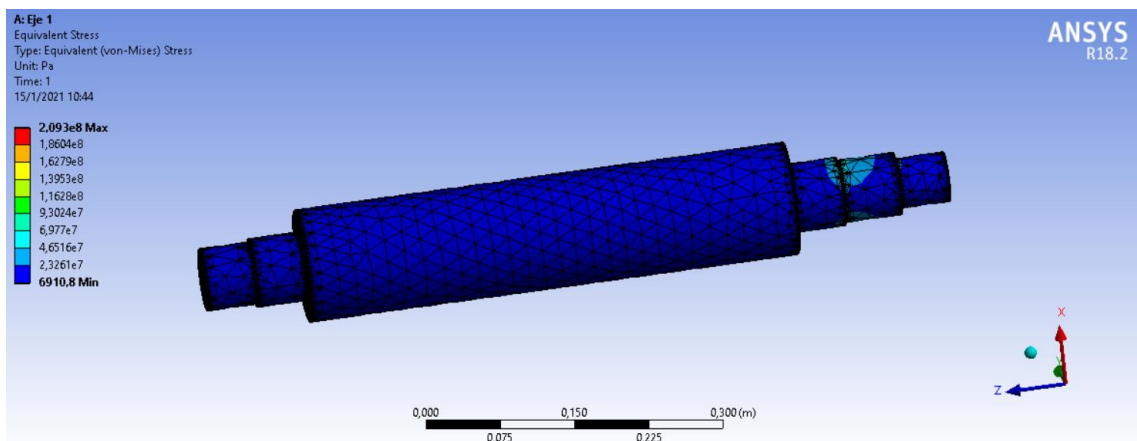


Figura 74-3: Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 2.53, siendo un valor aceptable, ya que se diseñó con un valor de 2 inicialmente.

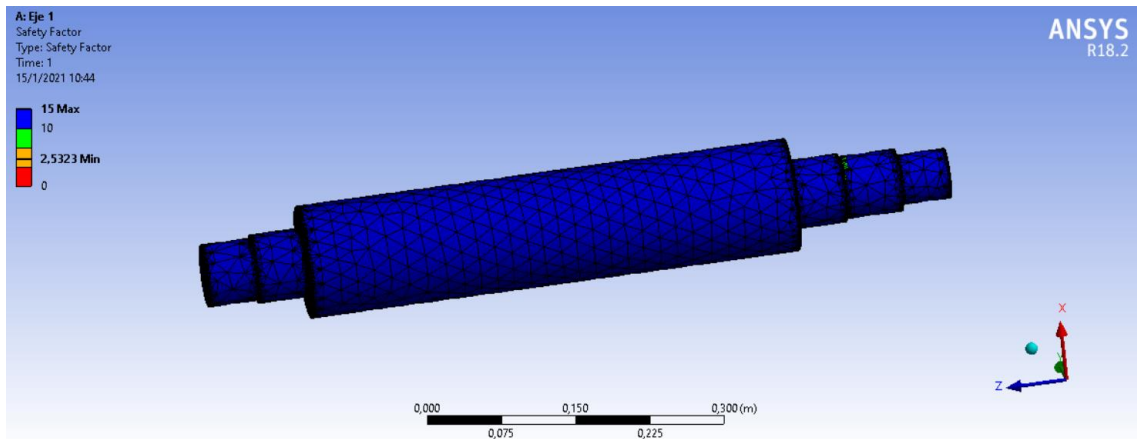


Figura 75-3: Factor de seguridad obtenido - malla Jacobian Ratio - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 76-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.047589 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

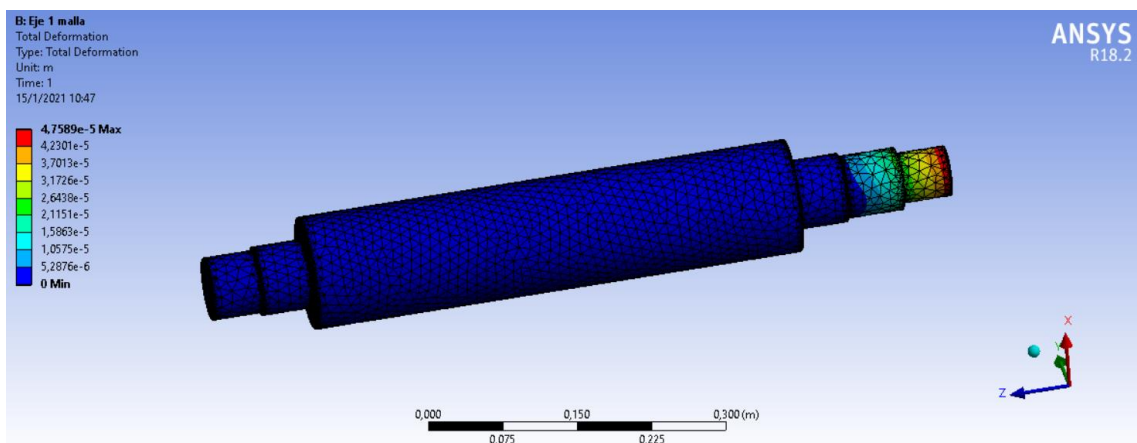


Figura 76-3: Resultado de deformación - malla Skewness - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.046352 mm para la malla Skewness, como se observa en la figura 77-3.

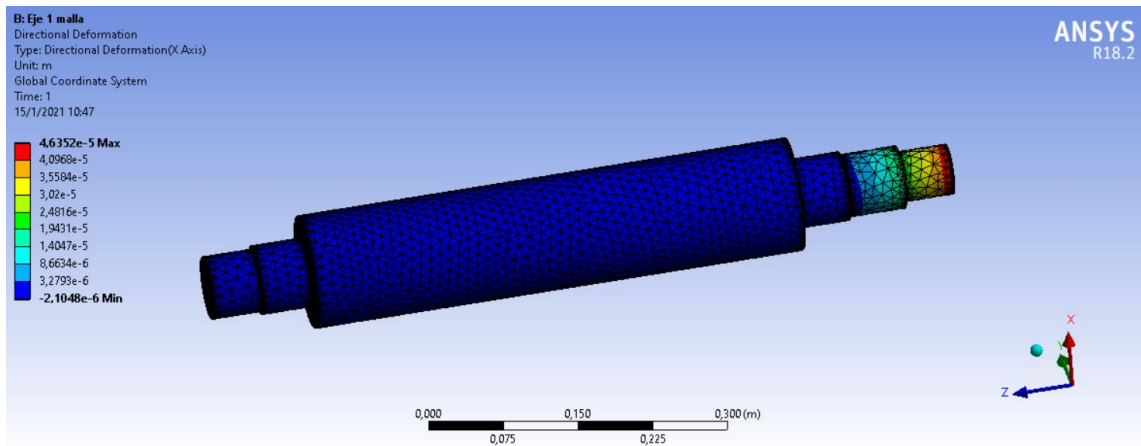


Figura 77-3: Resultado de deformación unitaria - malla Skewness - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el eje 1 se muestra en la figura 78-3, con un valor de 234.5 MPa.

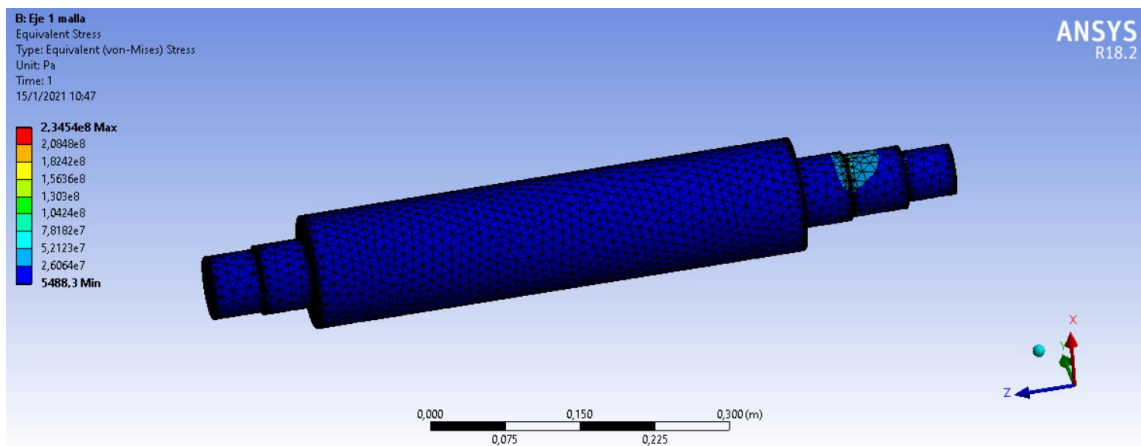


Figura 78-3: Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Skewness es de 2.2598, siendo un valor aceptable, ya que se diseñó con un valor de 2.

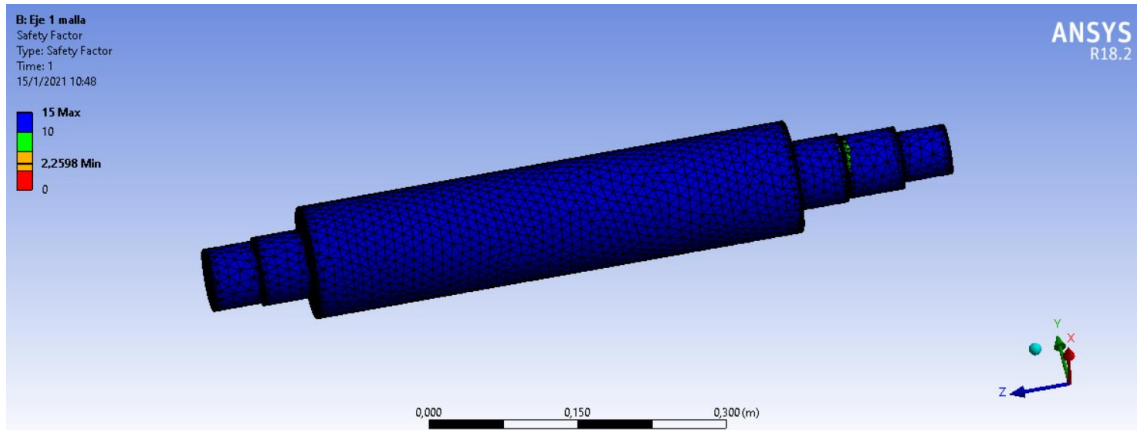


Figura 79-3: Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.8.3. Análisis de resultados del eje 1

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el eje 1:

Tabla 13-4: Resumen de resultados de las pruebas del eje 1

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	115518	0.04749	0.046257	209.3	2.5323
2	Skewness	148733	0.047589	0.046352	234.5	2.2598

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del eje 1 varía entre 0.04749 y 0.047589 mm, siendo un valor muy pequeño, ya que el valor máximo permisible según el análisis de rigidez es de 0.1 a 0.15 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.9. Validación mediante ANSYS – Eje 2

3.6.9.1. Preproceso - Eje 2

Material

Para el eje 2, se consideró un acero AISI 1045 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

Properties of Outline Row 3: Acero 1045				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	530	MPa	
25	Compressive Yield Strength	530	MPa	
26	Tensile Ultimate Strength	625	MPa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹	
29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹	
30	Isotropic Relative Permeability	10000		
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m	

Figura 80-3: Propiedades del material acero AISI 1045 - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 81-3, se muestra la geometría del eje 2:

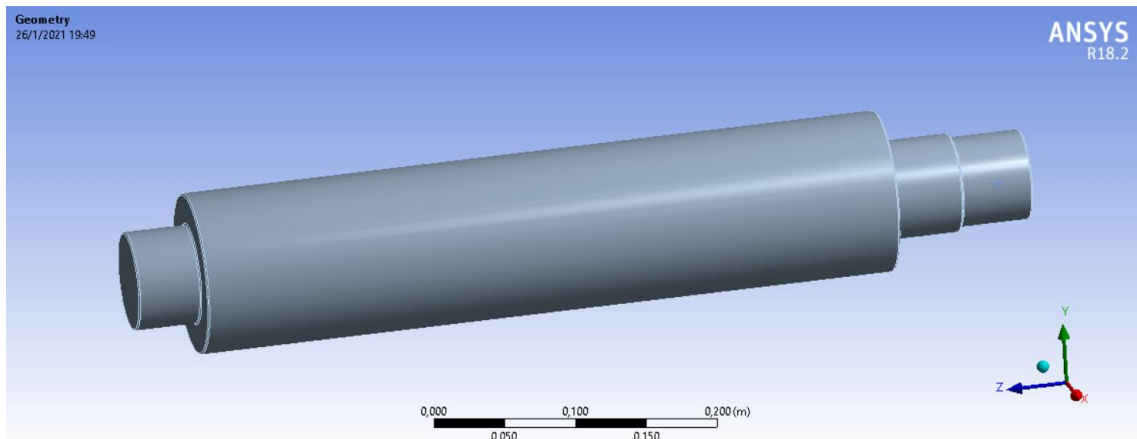


Figura 81-3: Definición de geometría - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

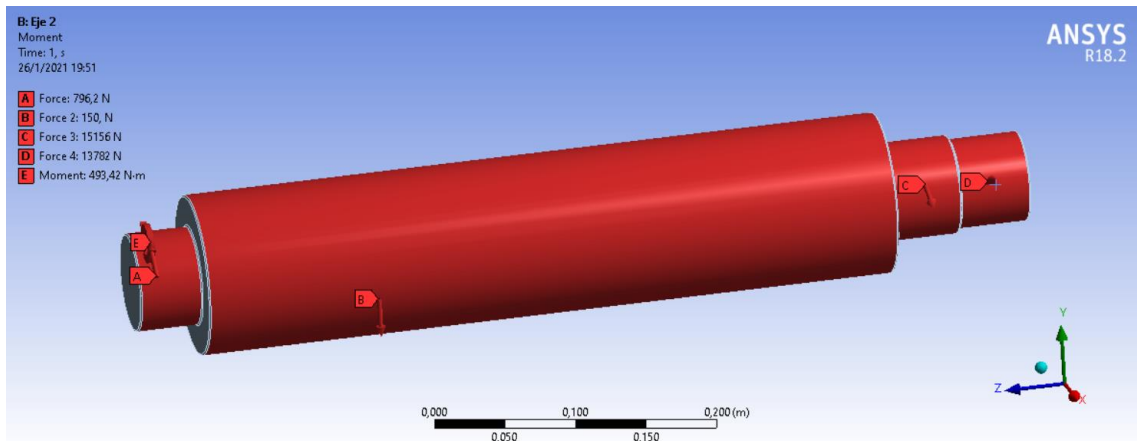


Figura 82-3: Cargas asignadas - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte o apoyos

Se considera un soporte en las secciones señaladas A y B, las cuales están sujetas por rodamientos al bastidor, es decir que corresponden a soportes fijos.

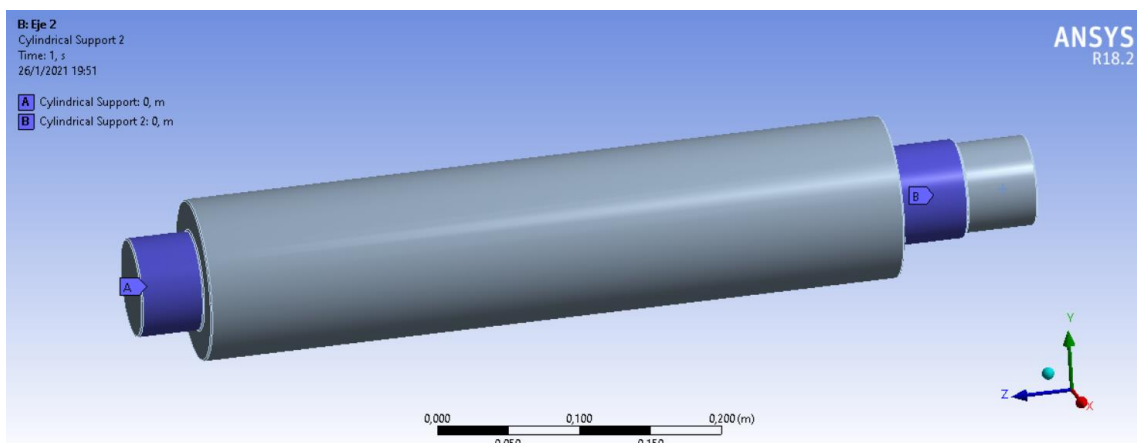


Figura 83-3: Soportes - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

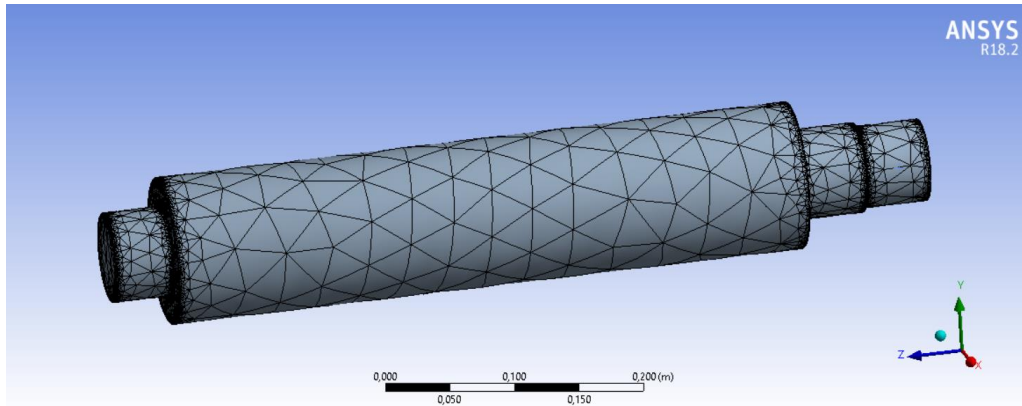


Figura 84-3: Malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

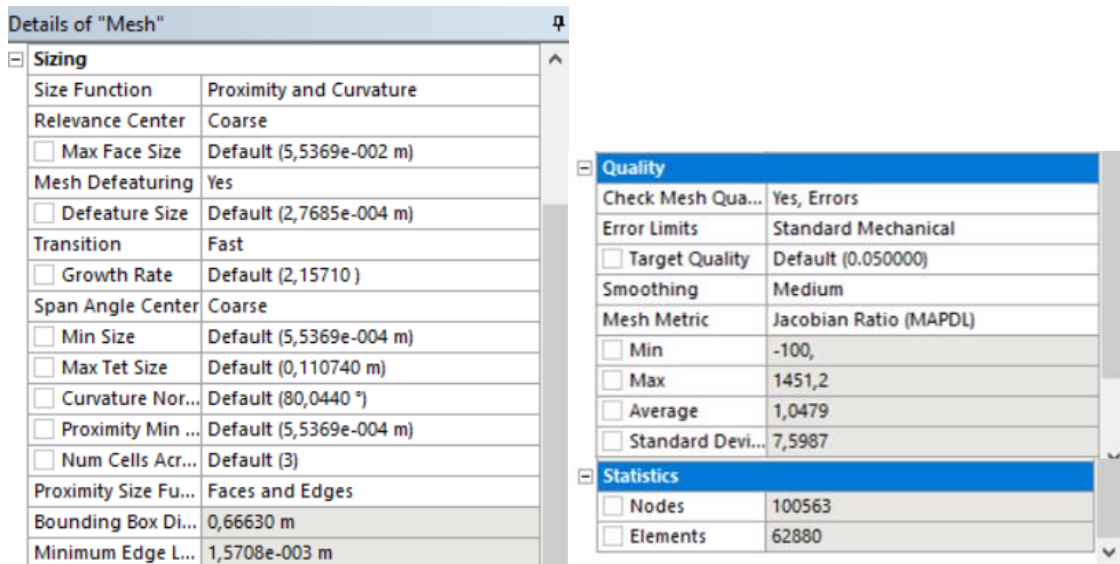


Figura 85-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 85-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0479, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta.

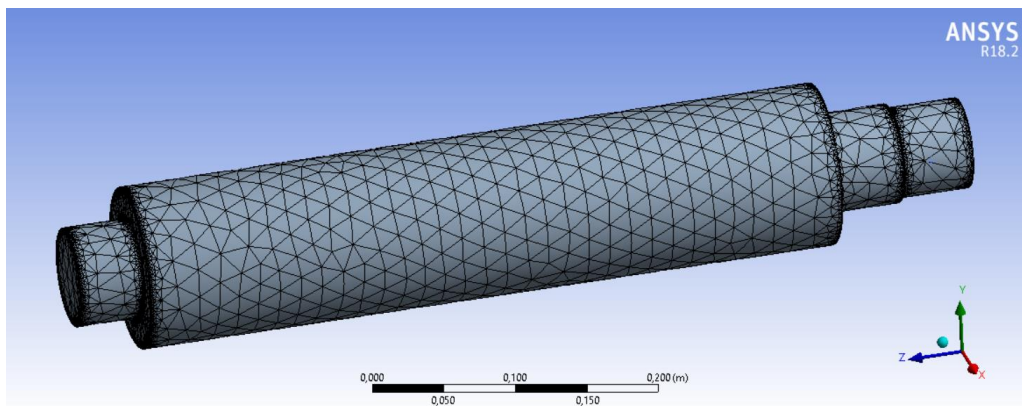


Figura 86-3: Malla Skewness - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Details of "Mesh"	
Sizing	
Size Function	Proximity and Curvature
Relevance Center	Fine
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (1,777e-002 m)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (8,8852e-005 m)
Transition	Fast
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (2,15710)
Span Angle Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (1,777e-004 m)
<input type="checkbox"/> Max Tet Size	Default (3,5541e-002 m)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (80,0440 °)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (1,777e-004 m)
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	Default (3)
Proximity Size Function Sources	Faces and Edges
Bounding Box Diagonal	0,66630 m
Minimum Edge Length	1,5708e-003 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	9,1975e-004
<input type="checkbox"/> Max	0,96101
<input type="checkbox"/> Average	0,40884
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,19401
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	118340
<input type="checkbox"/> Elements	73876

Figura 87-3: Detalles de la malla Skewness - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.40884, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.9.2. Postproceso - Eje 2

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio MADL

Deformación

De acuerdo con la figura 88-3, se observa que la deformación máxima es de 0.0045738 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

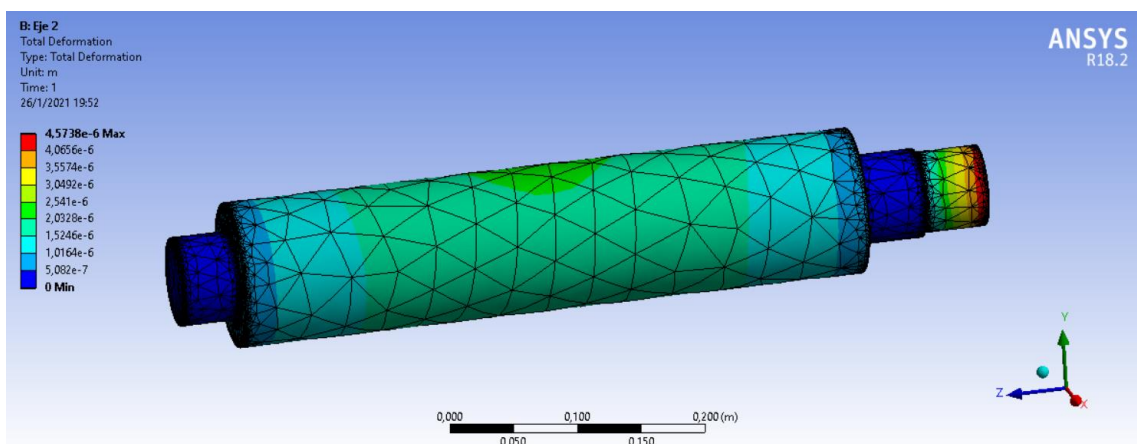


Figura 88-3: Resultado de deformación - malla Jacobian Ratio - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0042182 mm para la malla Jacobian Ratio, como se observa en la figura 89-3.

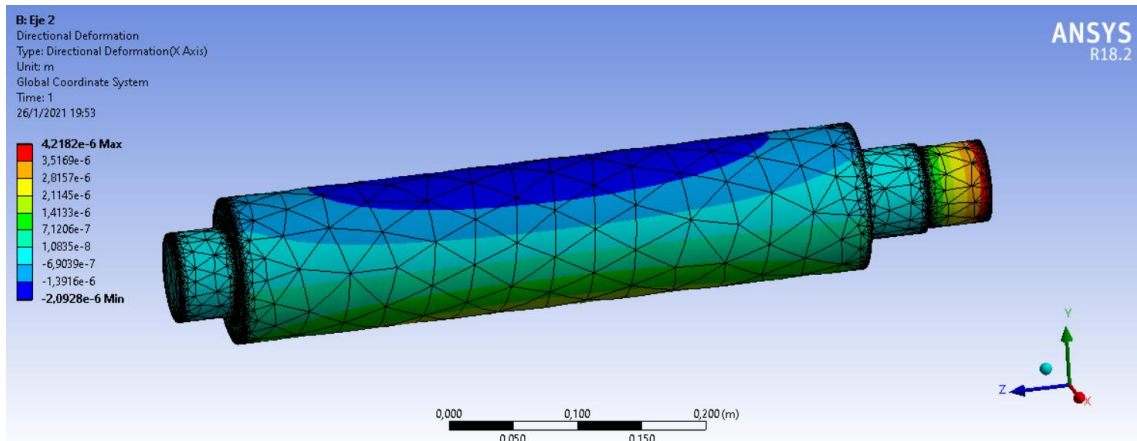


Figura 89-3: Resultado de deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 90-3, con un valor de 62.615 MPa.

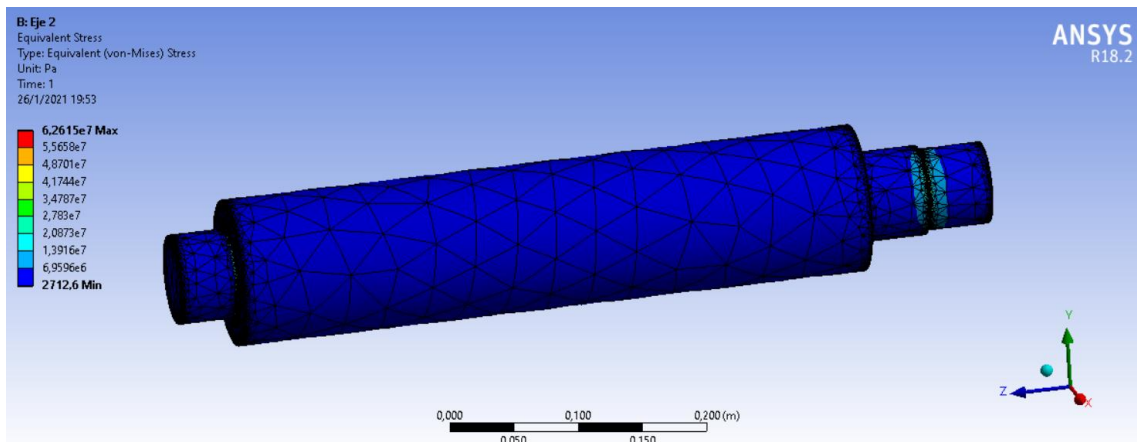


Figura 90-3: Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 8.4645, como se muestra a continuación:

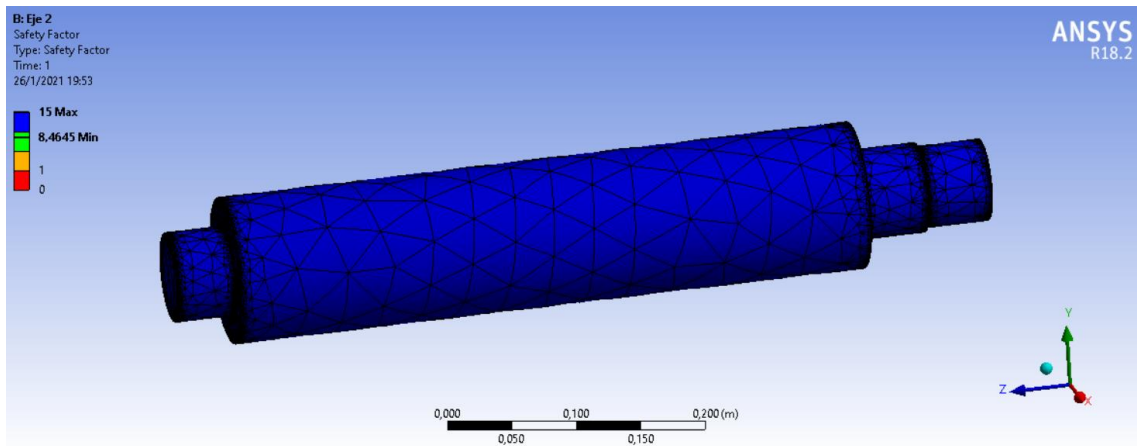


Figura 91-3: Factor de seguridad obtenido - malla Jacobian Ratio - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 92-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.0045781 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

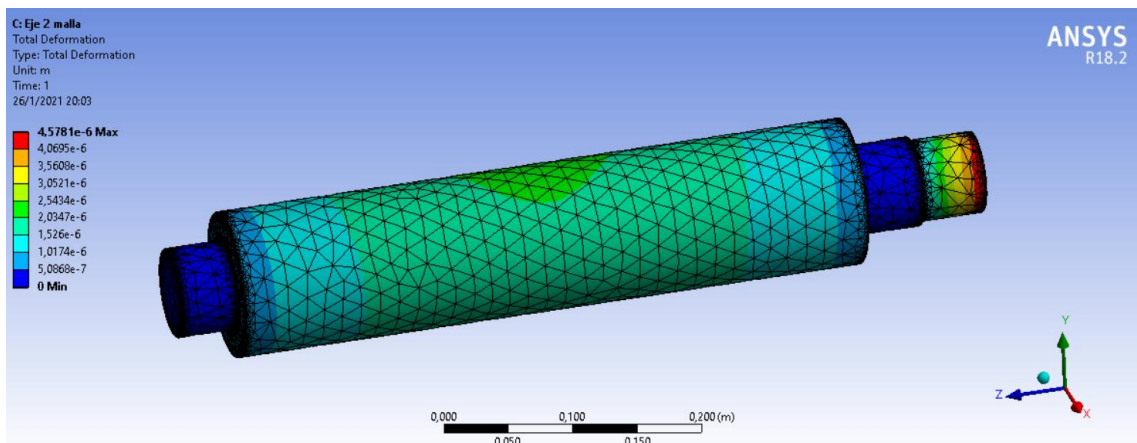


Figura 92-3: Resultado de deformación - malla Skewness - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0042214 mm, como se observa en la figura 93-3.

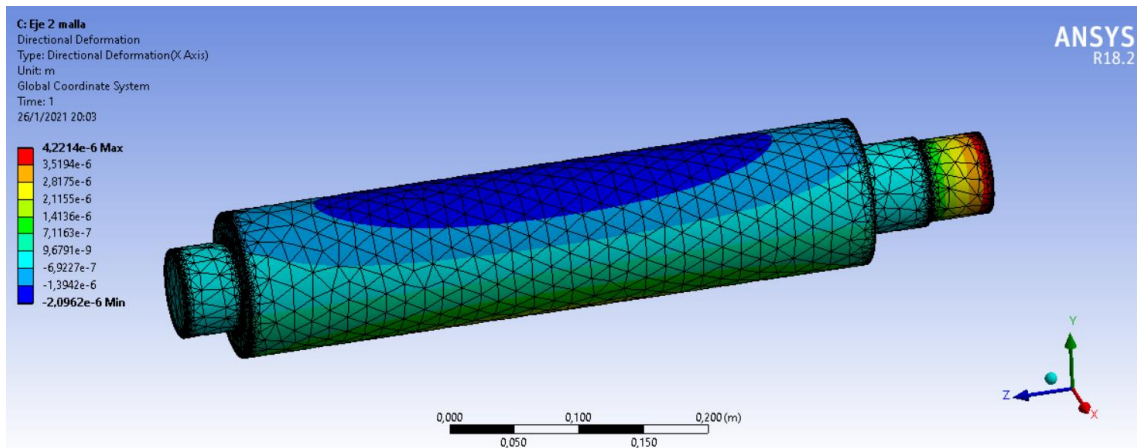


Figura 93-3: Resultado de deformación unitaria - malla Skewness - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el eje 2 se muestra en la figura 94-3, con un valor de 64.78 MPa.

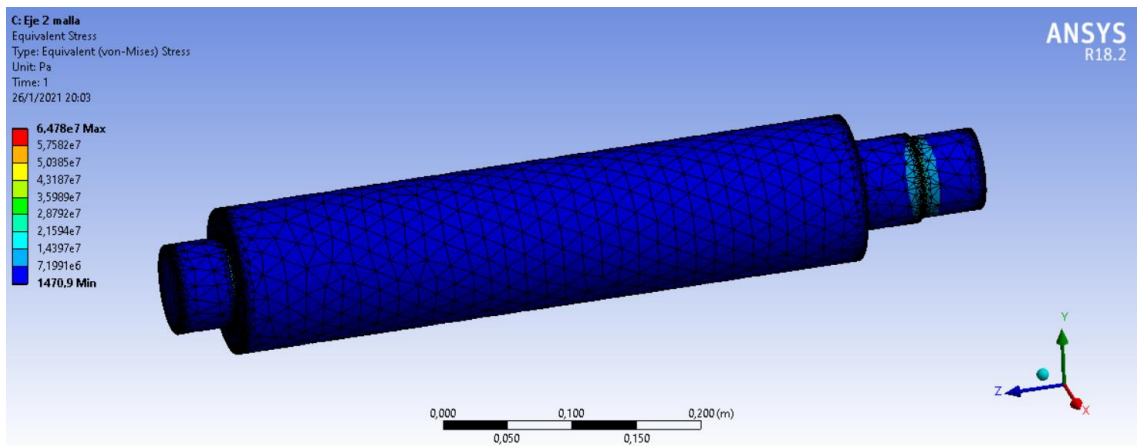


Figura 94-3: Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Skewness es de 8.1816, como se muestra a continuación:

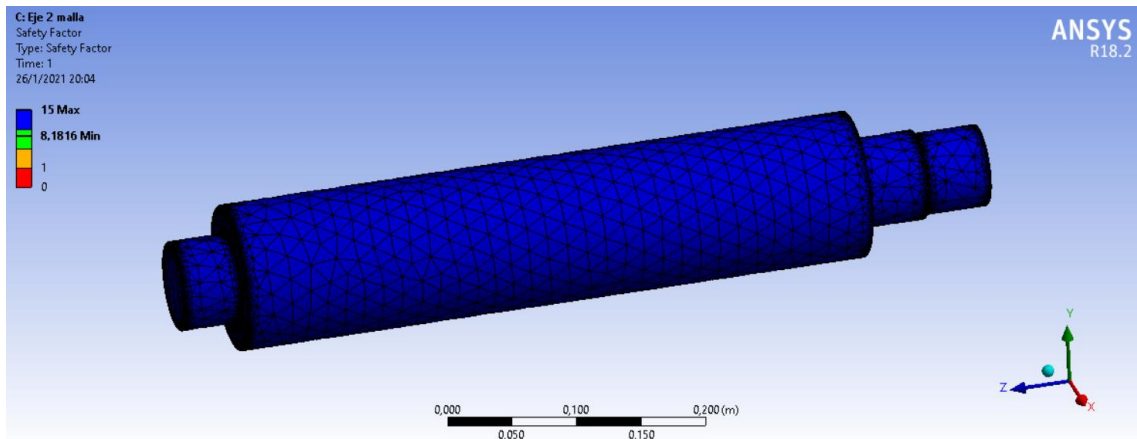


Figura 95-3: Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 2

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.9.3. Análisis de resultados del eje 2

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el eje 2:

Tabla 14-4: Resumen de resultados de las pruebas del eje 2

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	100563	0.0045738	0.0042182	62.615	8.4645
2	Skewness	118340	0.0045781	0.0042214	64.78	8.1816

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se procede a realizar un gráfico No. de nodos vs deformación, en donde se aprecia que la deformación del eje 1 varía entre 0.004576 y 0.04577 mm, siendo un valor casi despreciable, ya que el valor máximo permisible según el análisis de rigidez es de 0.1 a 0.15 mm. Así queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.10. Validación mediante ANSYS – Eje 3

3.6.10.1. Preproceso - Eje 3

Material

Para el eje 3, se consideró un acero AISI 1045 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

Properties of Outline Row 3: Acero 1045				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	530	MPa	
25	Compressive Yield Strength	530	MPa	
26	Tensile Ultimate Strength	625	MPa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹	
29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹	
30	Isotropic Relative Permeability	10000		
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m	

Figura 96-3: Propiedades del acero AISI 1045 - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 97-3, se muestra la geometría del eje 3, la cual fue realizada en SolidWorks.

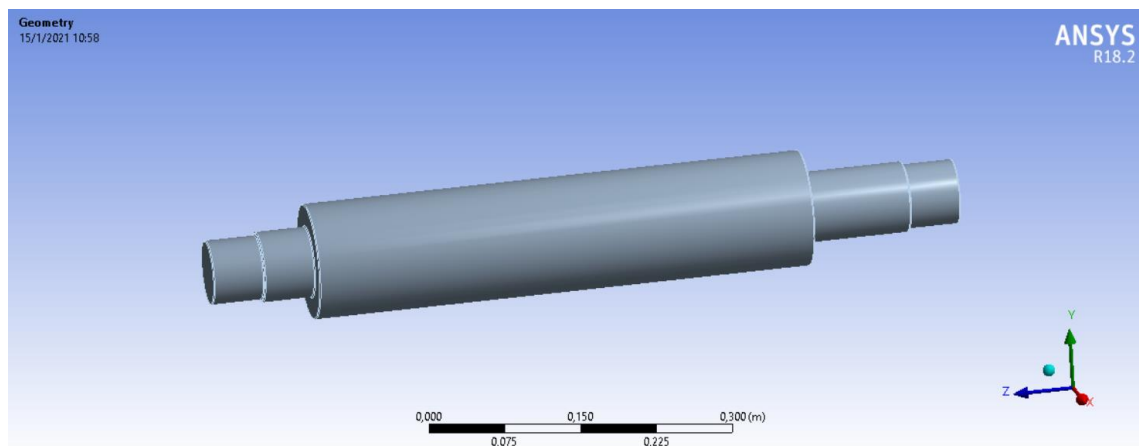


Figura 97-3: Definición de geometría - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

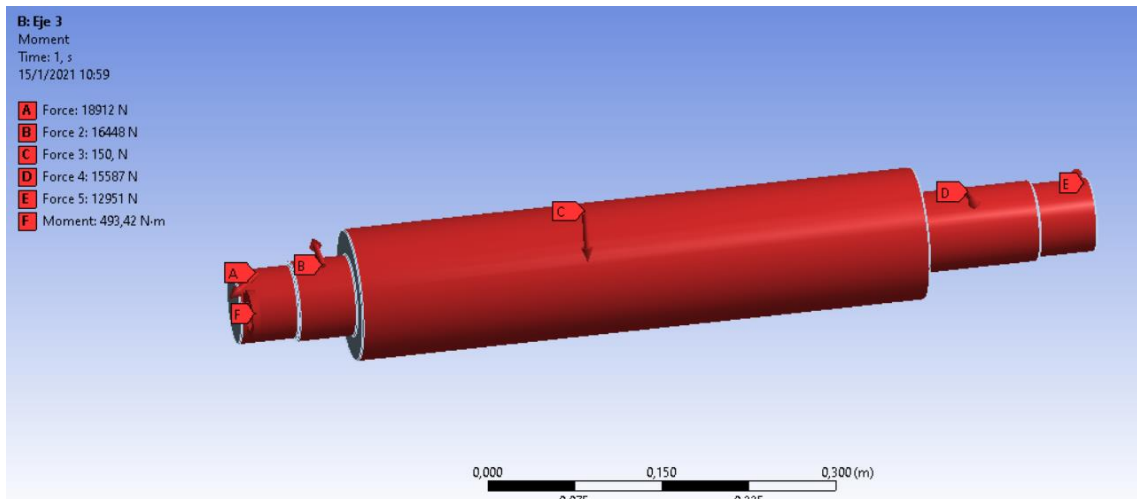


Figura 98-3: Cargas asignadas - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera un soporte en las secciones señaladas A y B, las cuales están sujetas por rodamientos al bastidor, es decir que corresponden a soportes fijos.

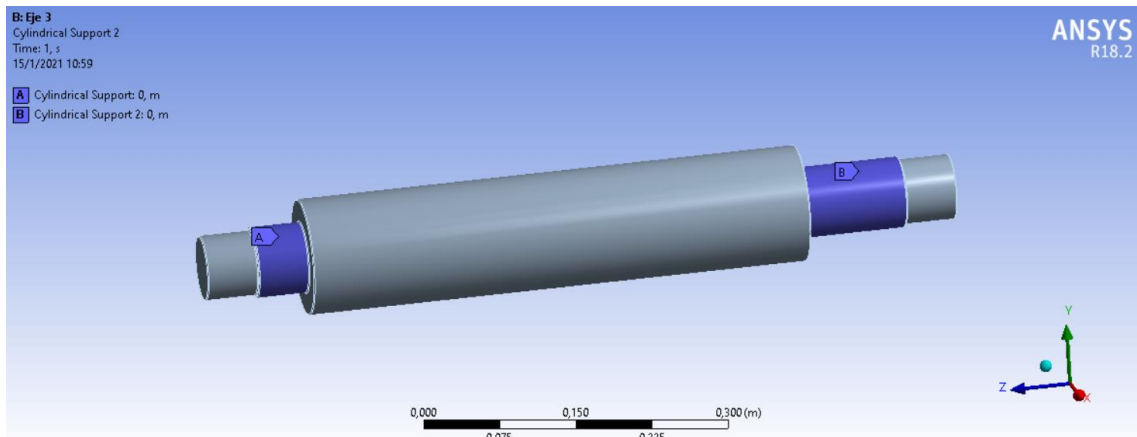


Figura 99-3: Soportes - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Malla

Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

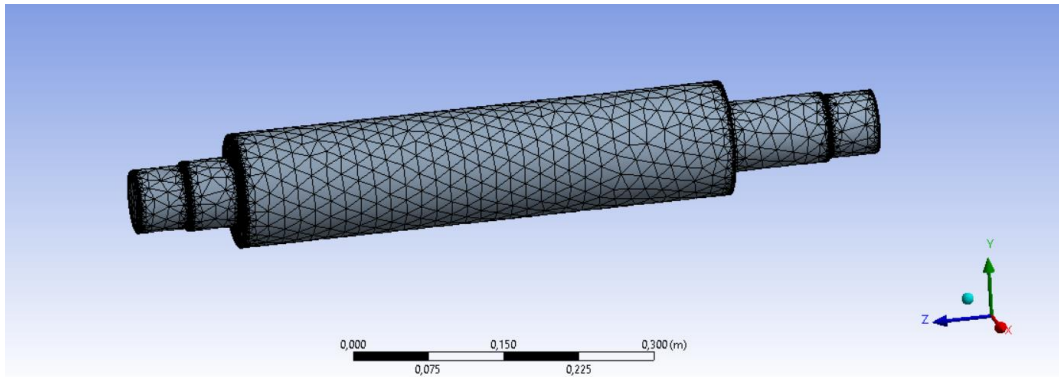


Figura 100-3: Malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

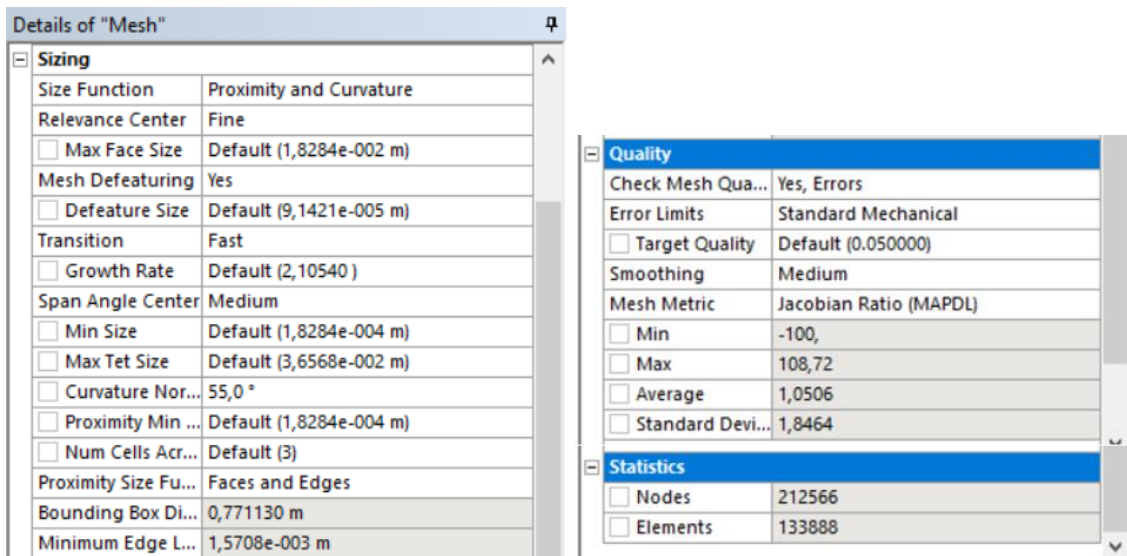


Figura 101-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 101-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0506, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta.

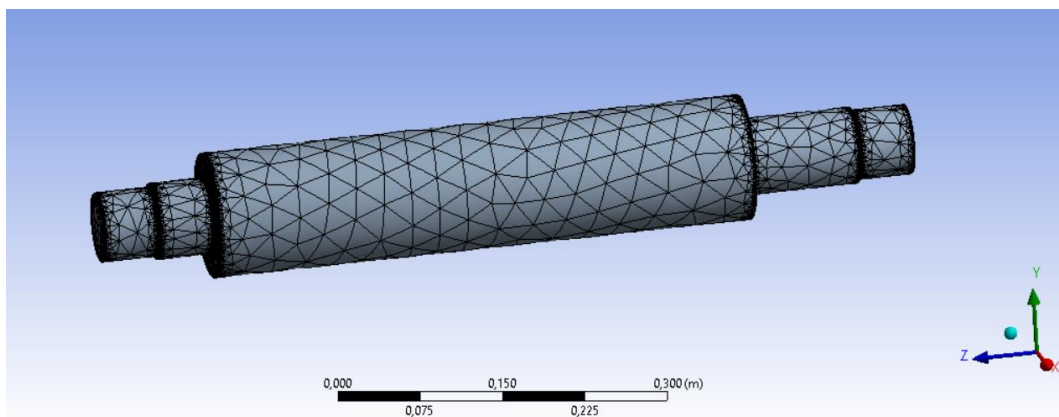


Figura 102-3: Malla Skewness - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

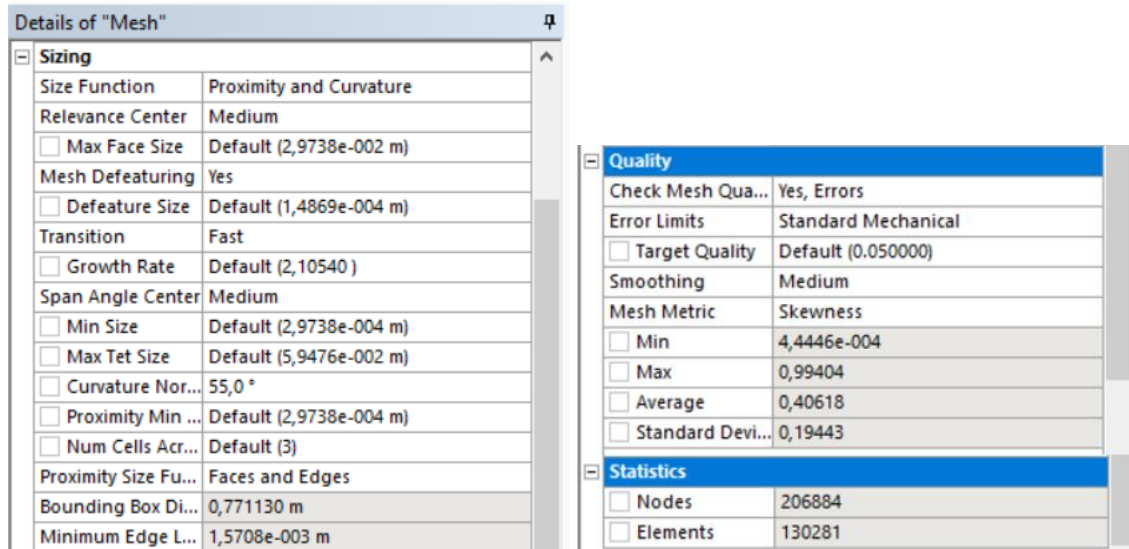


Figura 103-3: Detalles de la malla Skewness - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.40618, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.10.2. Postproceso - Eje 3

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio MAPDL

Deformación

De acuerdo con la figura 104-3, se observa que la deformación máxima es de 0.0052126 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

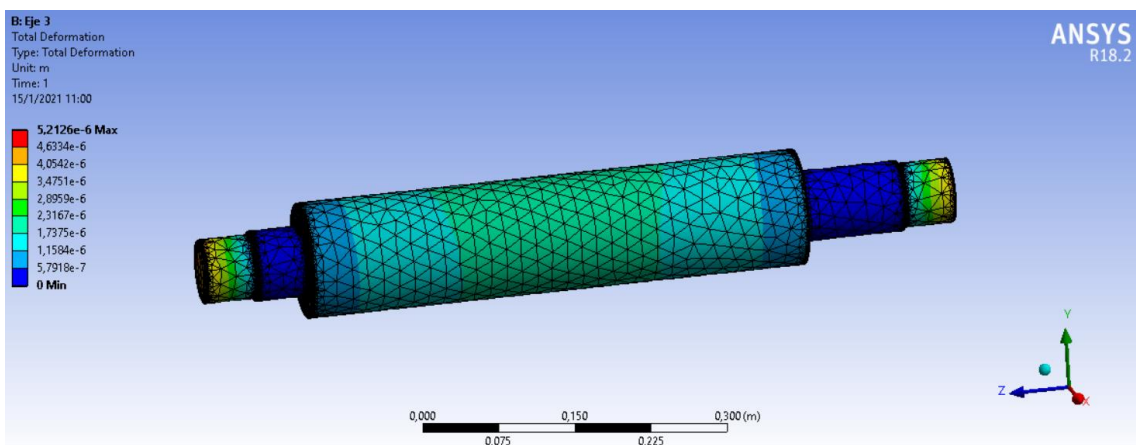


Figura 104-3: Resultado de deformación - malla Jacobian Ratio - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0043049 mm, como se observa en la figura 105-3.

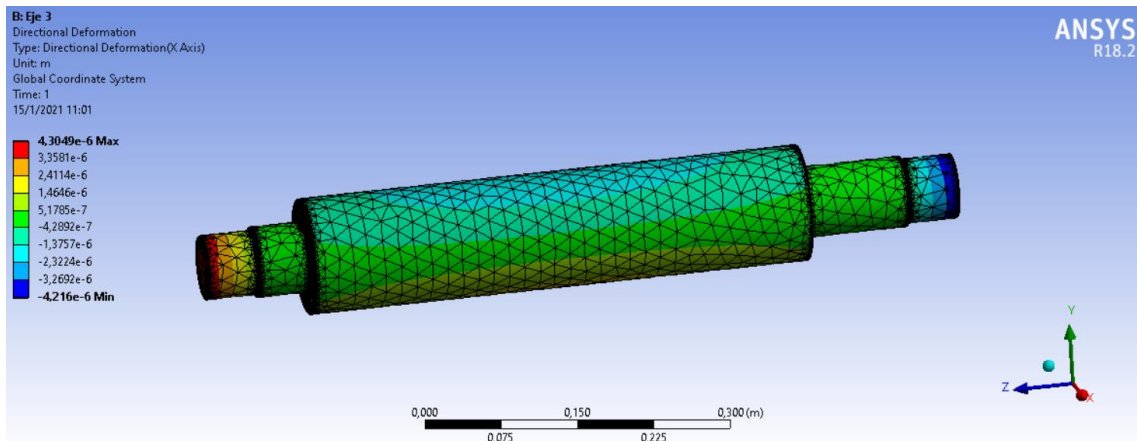


Figura 105-3: Resultado de deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 106-3, con un valor de 83.696 MPa.

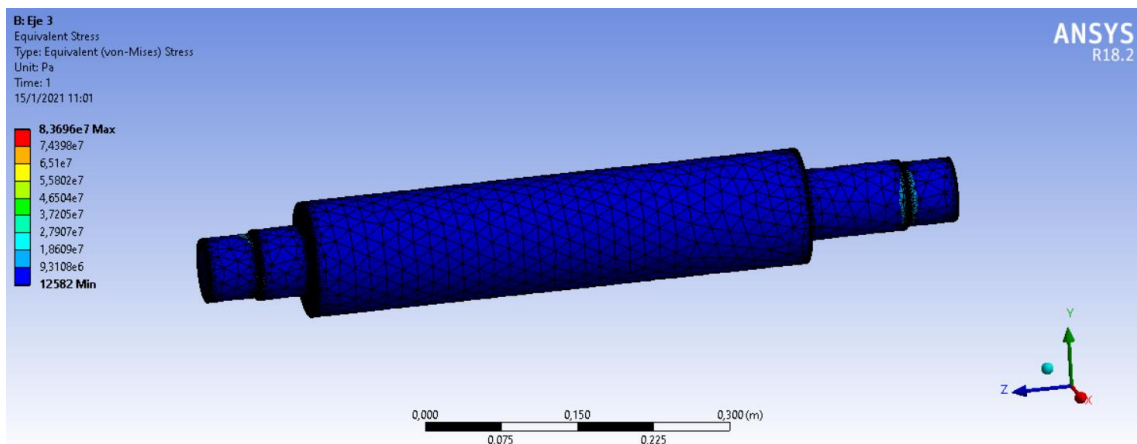


Figura 106-3: Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido es de 6.3324, como se muestra en la siguiente figura:

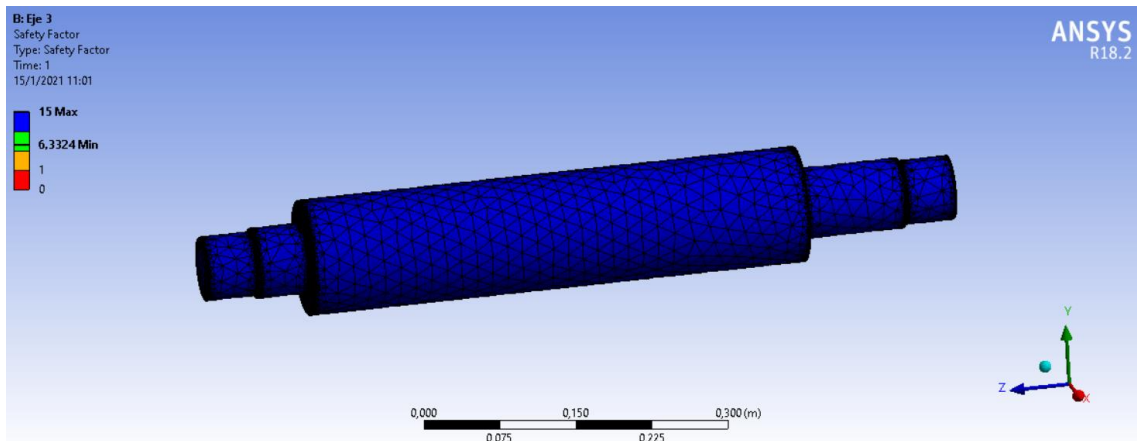


Figura 107-3: Factor de seguridad obtenido - malla Jacobian Ratio - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 108-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.0052098 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

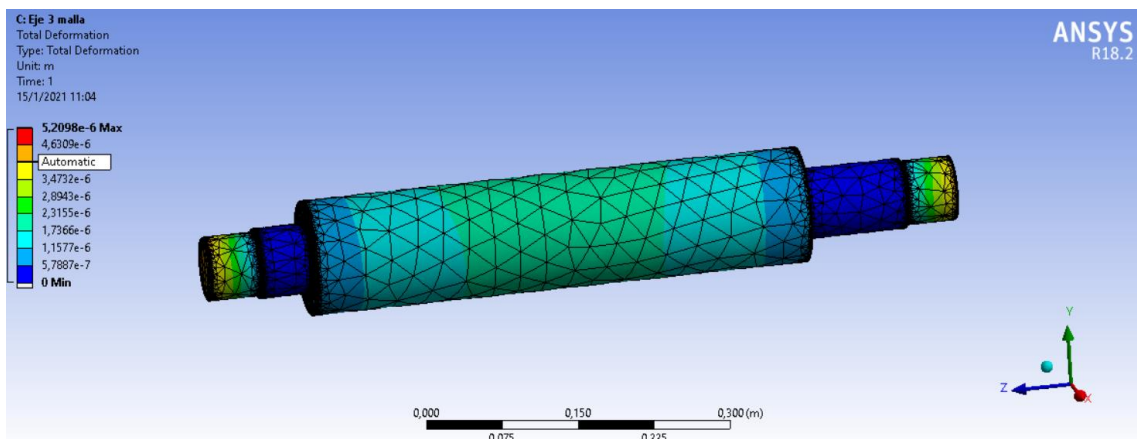


Figura 108-3: Resultado de deformación - malla Skewness - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.004302 mm, como se observa en la figura 109-3.

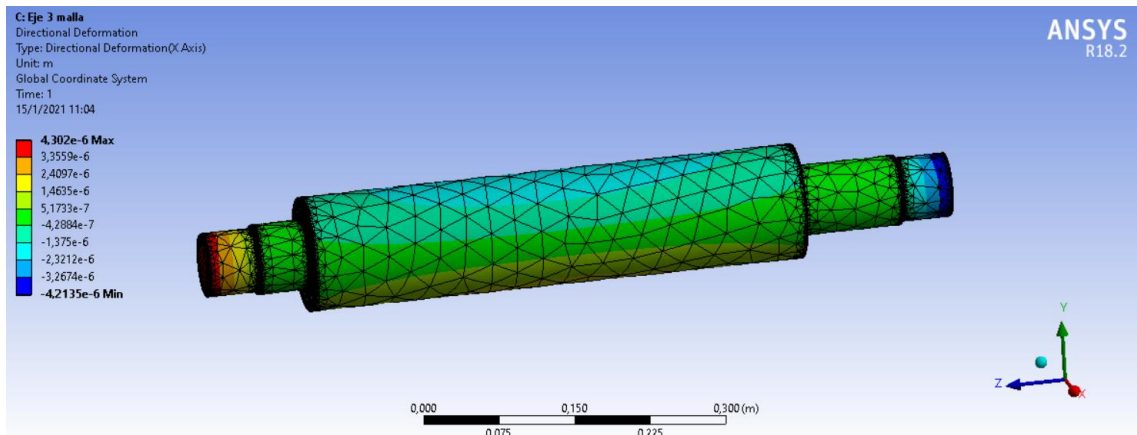


Figura 109-3: Resultado de deformación unitaria - malla Skewness - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el eje 1 se muestra en la figura 110-3, con un valor de 87.282 MPa.

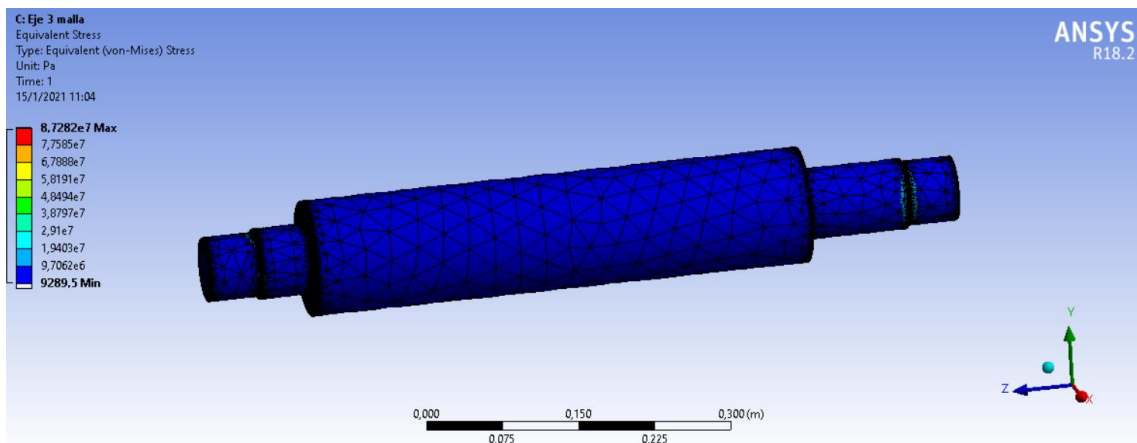


Figura 110-3: Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para esta prueba con malla Skewness es de 6.0723.

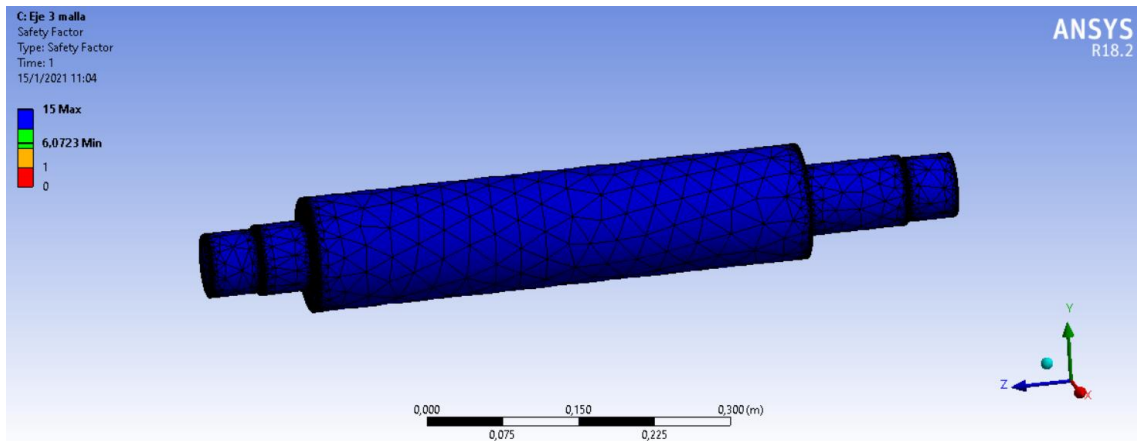


Figura 111-3: Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 3

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.10.3. Análisis de resultados del eje 3

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el eje 3:

Tabla 15-4: Resumen de resultados de las pruebas del eje 3

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	212566	0.0052126	0.0043049	83.696	6.3324
2	Skewness	206884	0.0052098	0.004302	87.282	6.0723

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del eje 3 varía entre 0.0052126 y 0.0052098 mm, siendo un valor casi despreciable, ya que el valor máximo permisible según el análisis de rigidez es de 0.1 a 0.15 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.11. Validación mediante ANSYS – Eje 4

3.6.11.1. Preproceso - Eje 4

Material

Para el eje 4, se consideró un acero AISI 1045 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

Properties of Outline Row 4: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa	
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa	
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹	
29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹	
30	Isotropic Relative Permeability	10000		
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m	

Figura 112-3: Propiedades del material acero AISI 1045 - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 113-3, se muestra la geometría del eje 4, la cual fue realizada en SolidWorks.

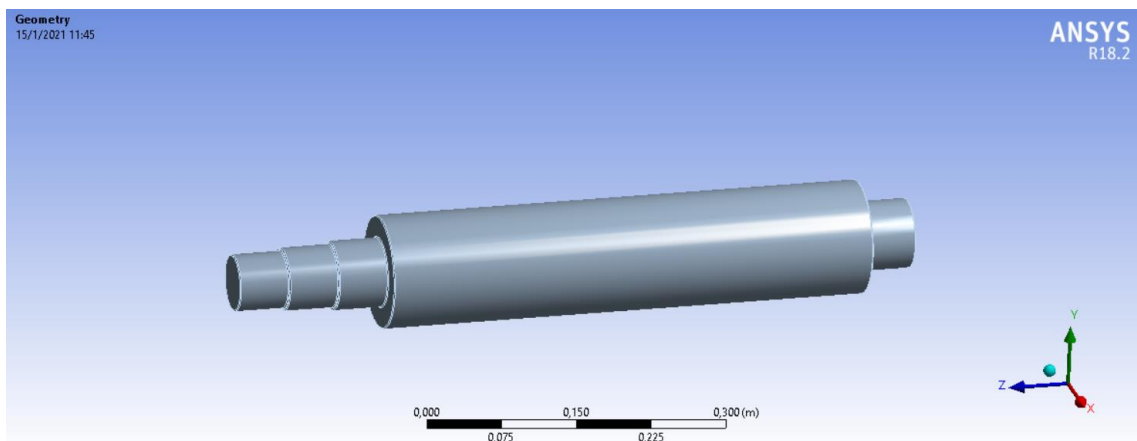


Figura 113-3: Definición de geometría - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

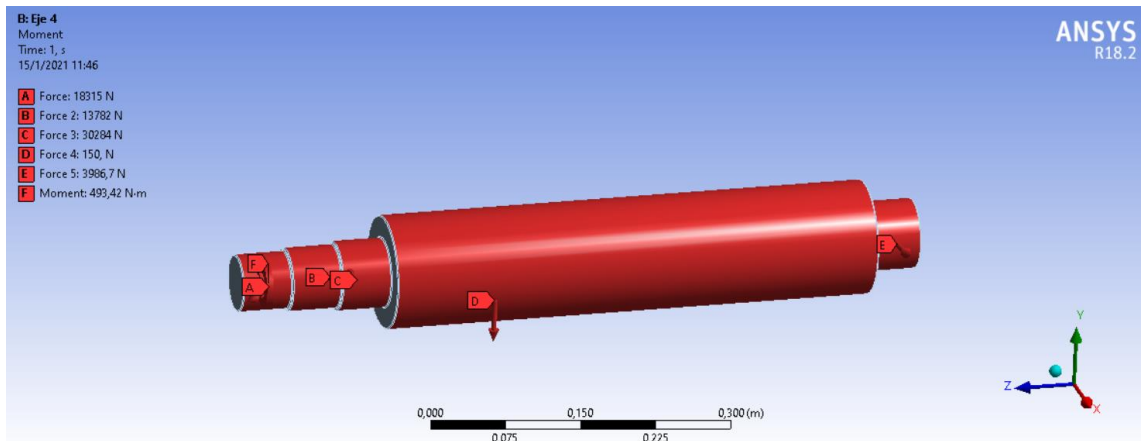


Figura 114-3: Cargas asignadas - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera un soporte en las secciones señaladas A y B, las cuales están sujetas por rodamientos al bastidor, es decir que corresponden a soportes fijos.

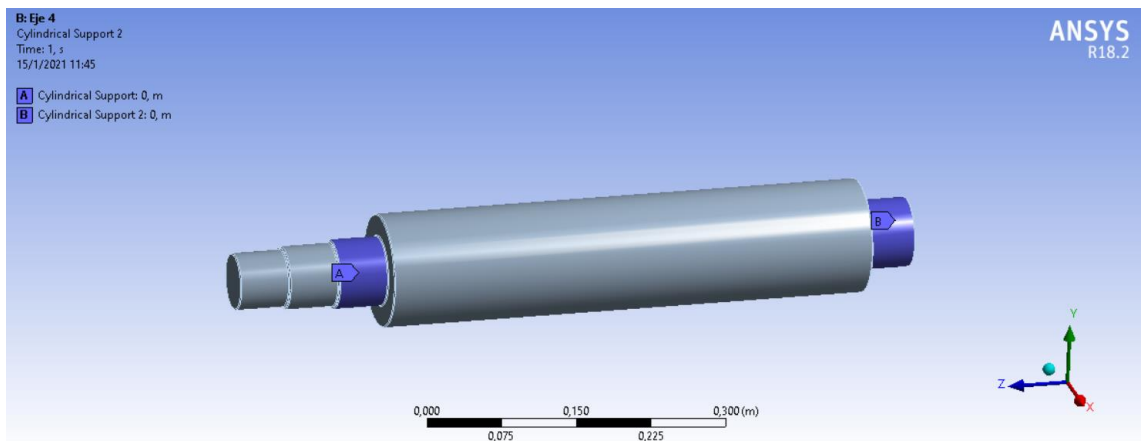


Figura 115-3: Soportes - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

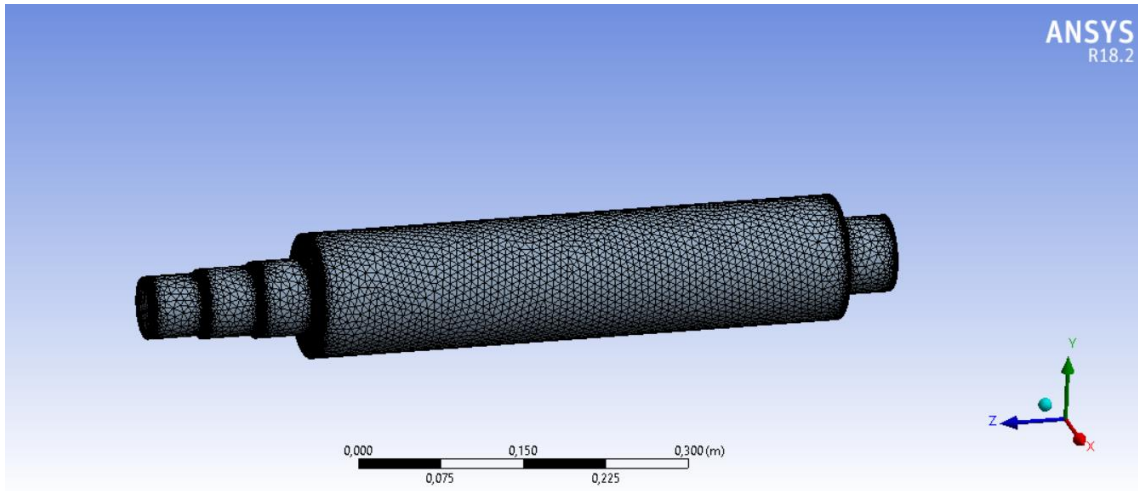


Figura 116-3: Malla Jacobian Ratio MAPDL – eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

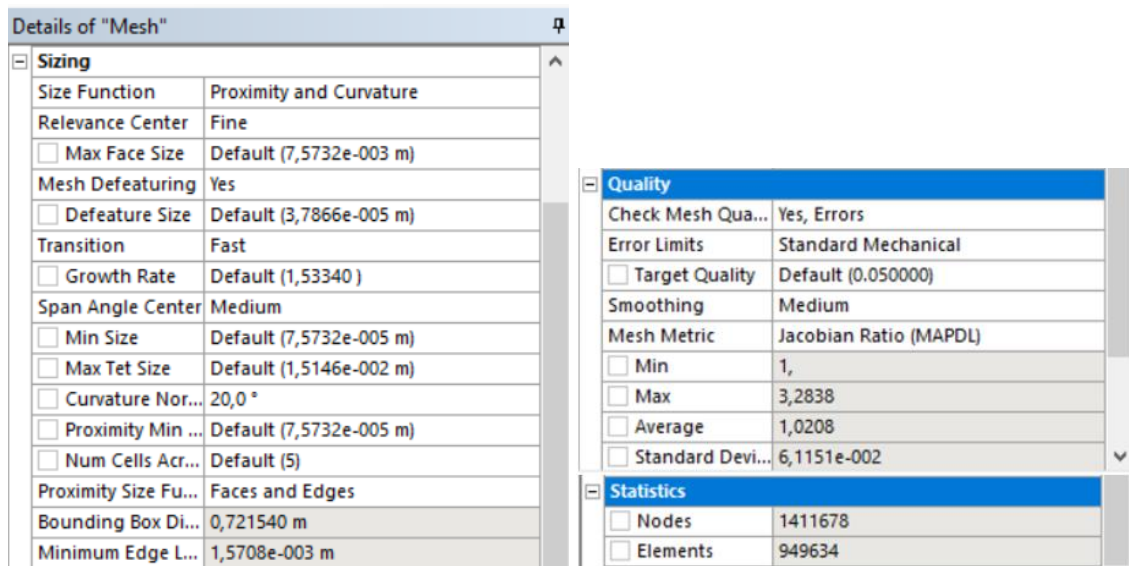


Figura 117-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 117-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0208, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta.

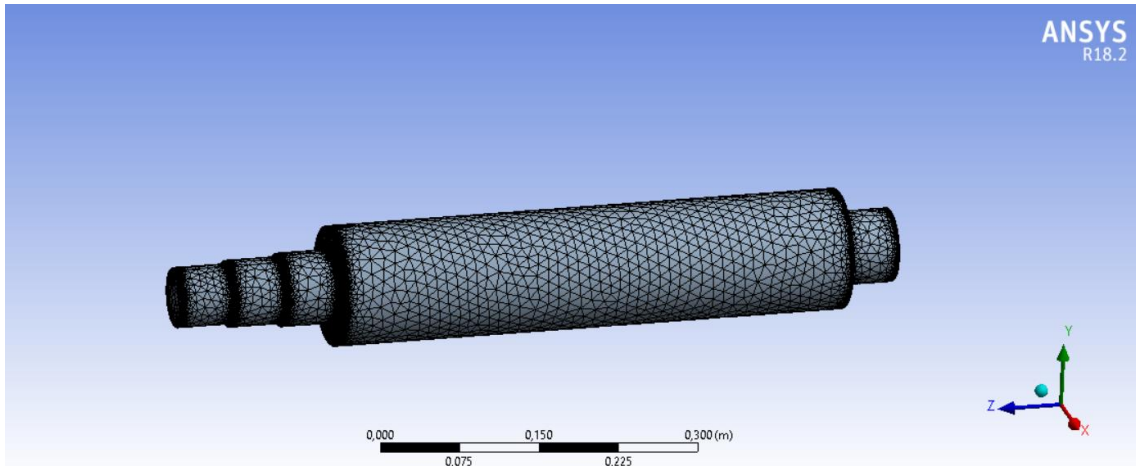


Figura 118-3: Malla Skewness - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

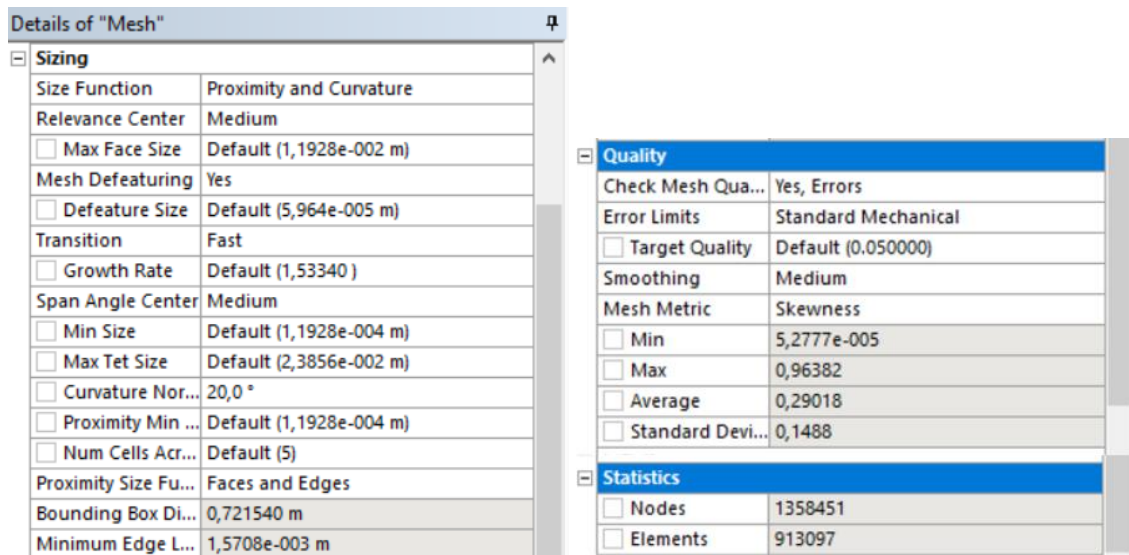


Figura 119-3: Detalles de la malla Skewness - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.29018, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.11.2. Postproceso - Eje 4

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio MAPDL

Deformación

De acuerdo con la figura 120-3, se observa que la deformación máxima es de 0.038114 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

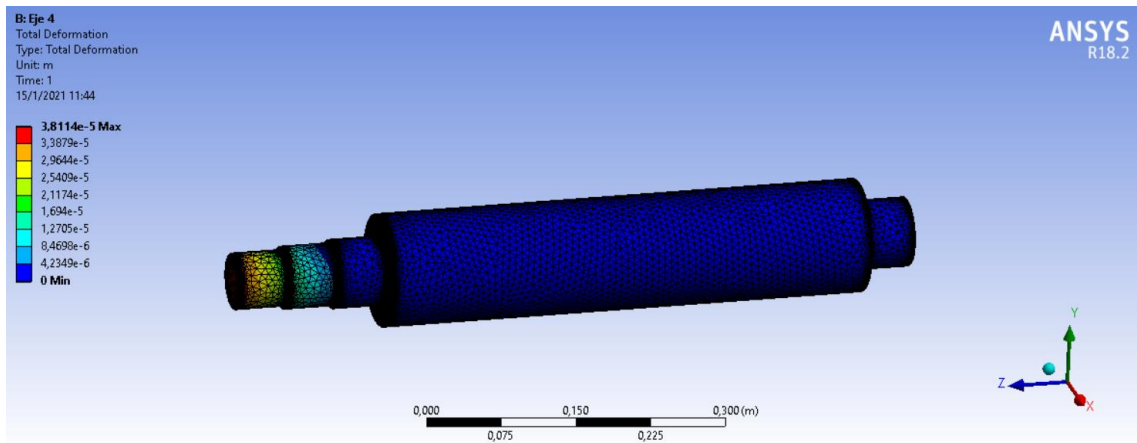


Figura 120-3: Deformación - malla Jacobian Ratio - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.035998 mm para la malla Jacobian Ratio, como se observa en la figura 121-3.

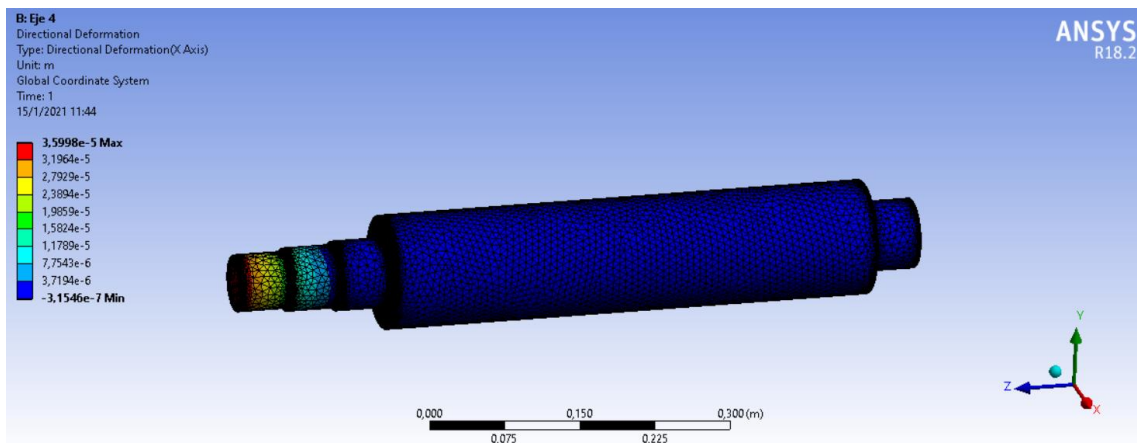


Figura 121-3: Deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 122-3, con un valor de 229.93MPa.

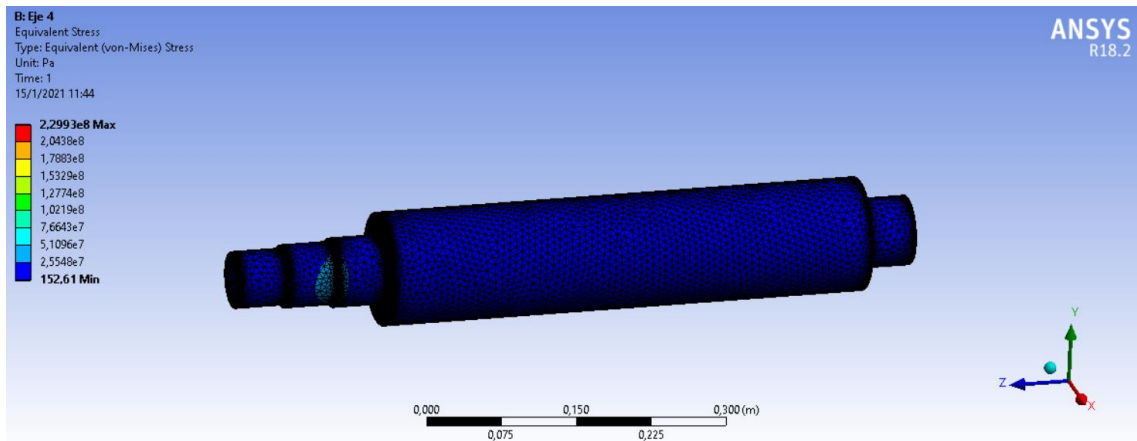


Figura 122-3: Esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 2.305, como se muestra en la figura 123-3.

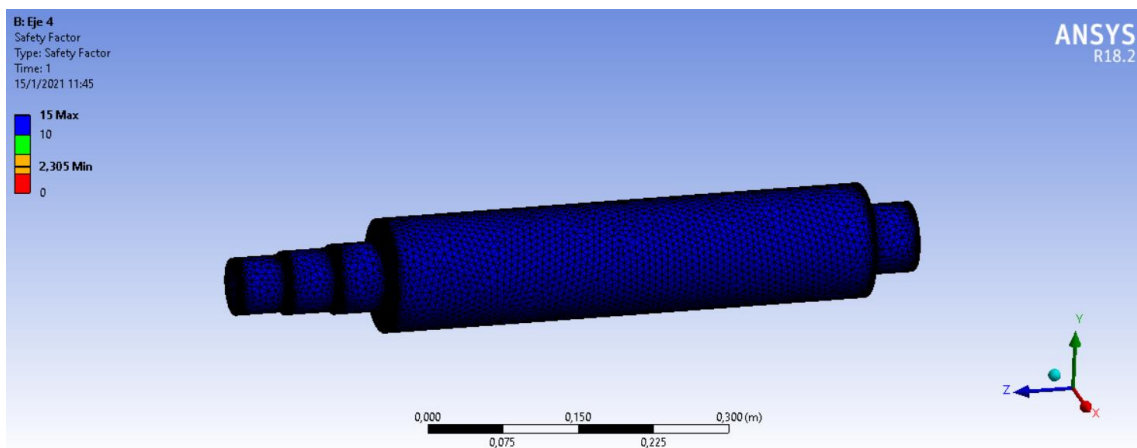


Figura 123-3: Factor de seguridad - malla Jacobian Ratio - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 124-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.03811 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

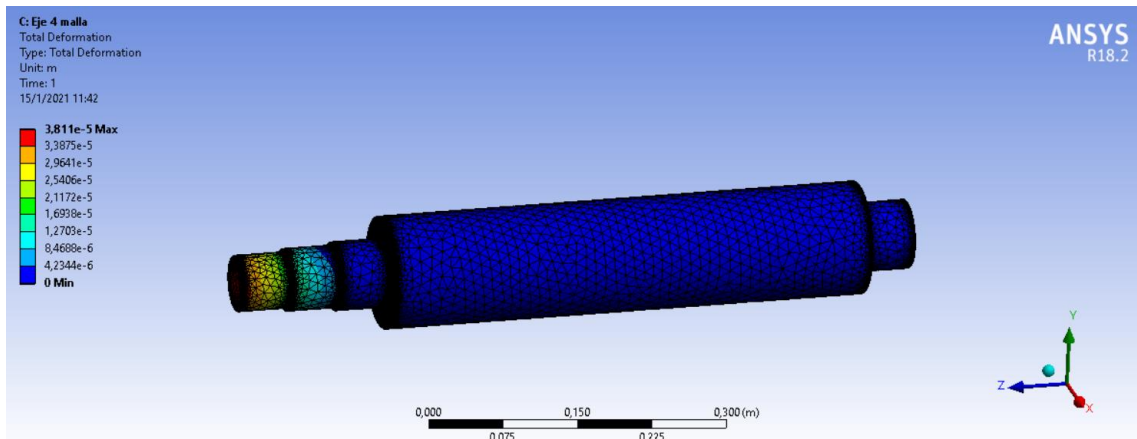


Figura 124-3: Resultado de deformación - malla Skewness - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.03599 mm, como se observa en la figura 125-3, para la malla Skewness.

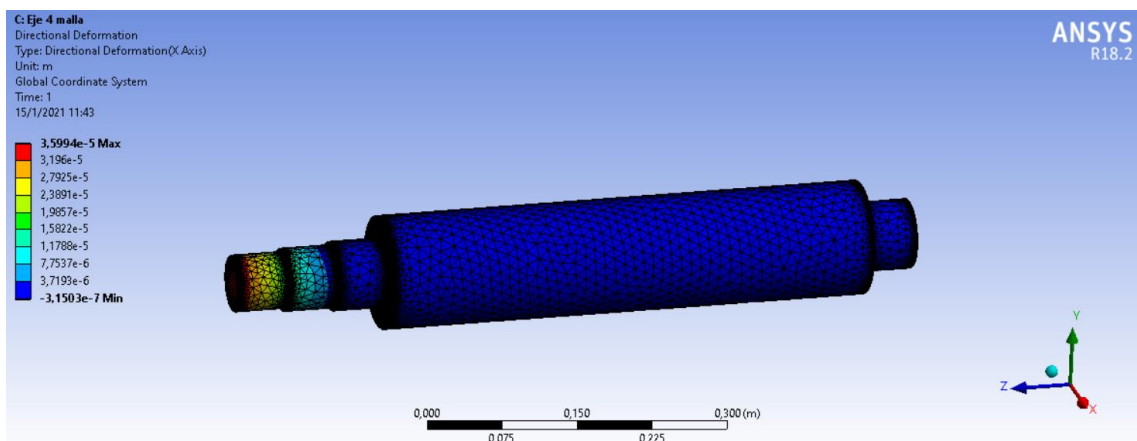


Figura 125-3: Resultado de deformación unitaria - malla Skewness - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el eje 4 se muestra en la figura 126-3, con un valor de 233.58 MPa.

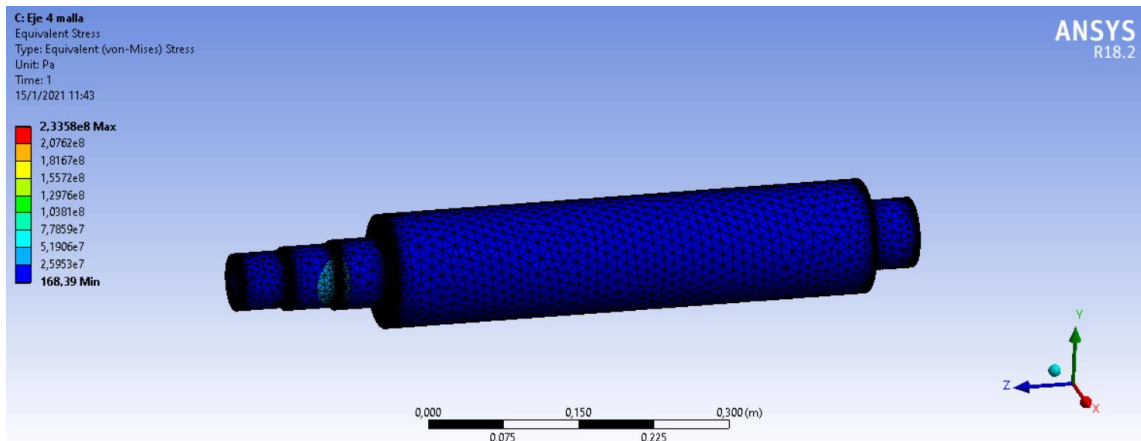


Figura 126-3: Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

Se obtuvo un factor de seguridad de 2.2691, como se observa en la figura 127-3.

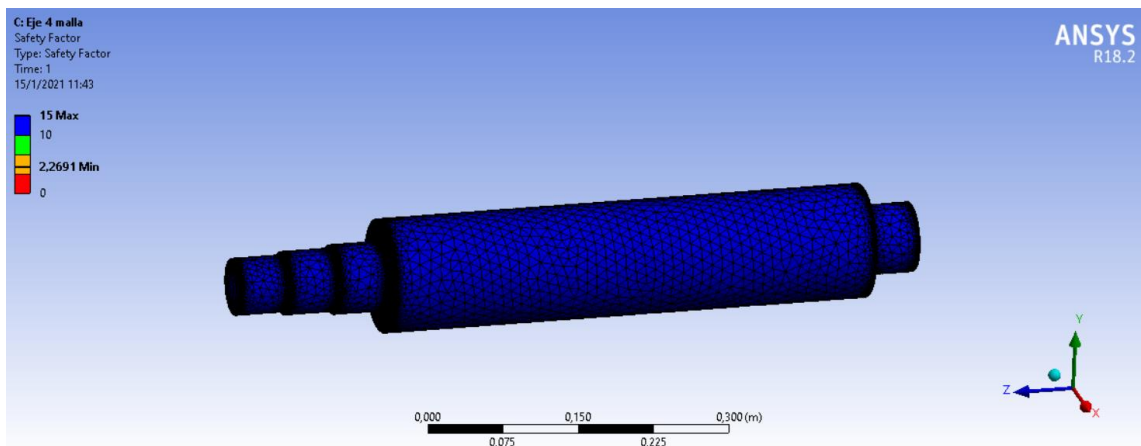


Figura 127-3: Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 4

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.11.3. Análisis de resultados del eje 4

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el eje 4:

Tabla 16-4: Resumen de resultados de las pruebas del eje 4

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	1411678	0.038114	0.035998	229.93	2.305
2	Skewness	1358451	0.03811	0.035994	233.58	2.2691

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del eje 4 varía entre 0.038114 y 0.03811 mm, siendo un valor casi despreciable, ya que el valor máximo permisible según el análisis de rigidez es de 0.1 a 0.15 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.12. Validación mediante ANSYS – Eje 5

3.6.12.1. Preproceso - Eje 5

Material

Para el eje 5, se consideró un acero AISI 1045 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

Properties of Outline Row 3: Acero 1045			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	7850	kg m ⁻³
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
16	Strain-Life Parameters		
24	Tensile Yield Strength	530	MPa
25	Compressive Yield Strength	530	MPa
26	Tensile Ultimate Strength	625	MPa
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹
29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹
30	Isotropic Relative Permeability	10000	
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m

Figura 128-3: Propiedades del material acero AISI 1045 - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 129-3, se muestra la geometría del eje 5.

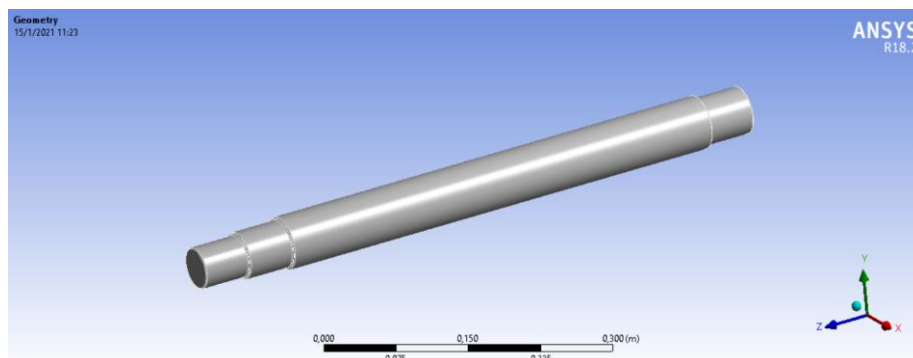


Figura 129-3: Definición de geometría - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

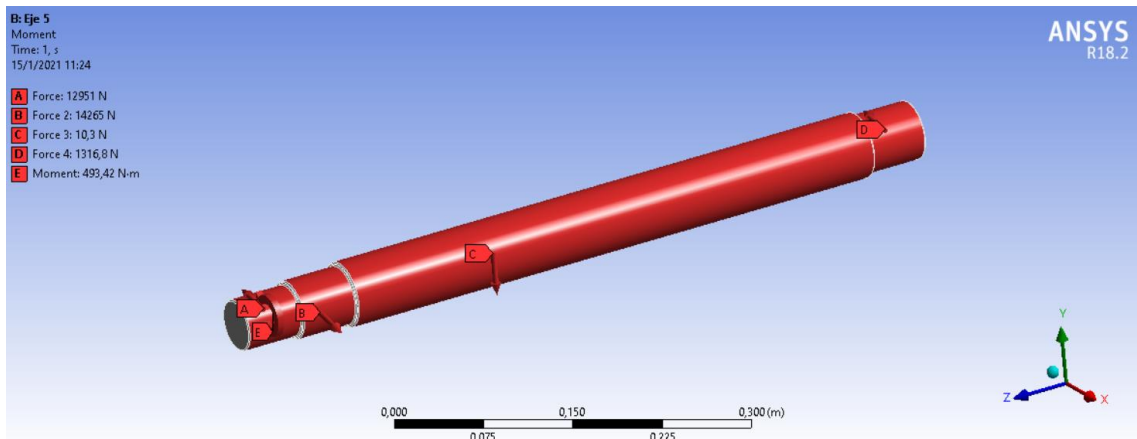


Figura 130-3: Cargas asignadas - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera un soporte en las secciones señaladas A y B, las cuales están sujetas por rodamientos al bastidor, es decir que corresponden a soportes fijos.

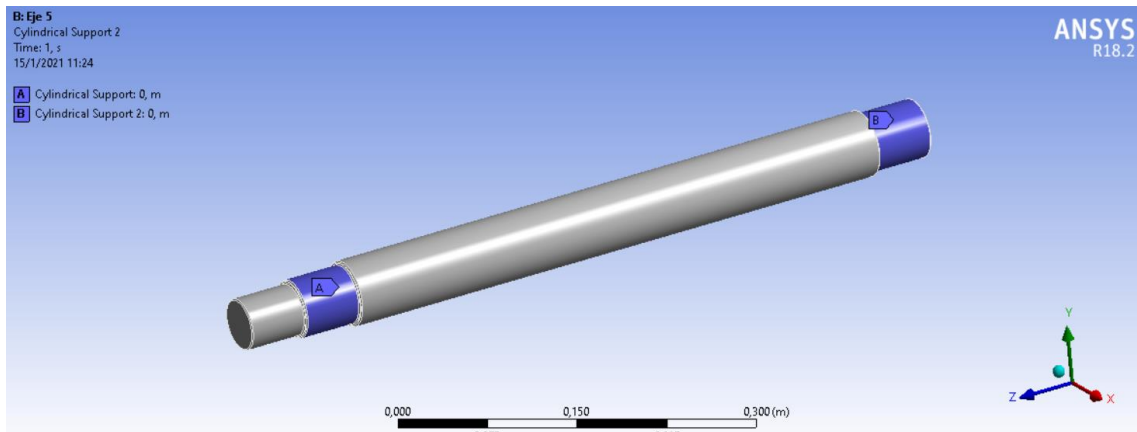


Figura 131-3: Soportes - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

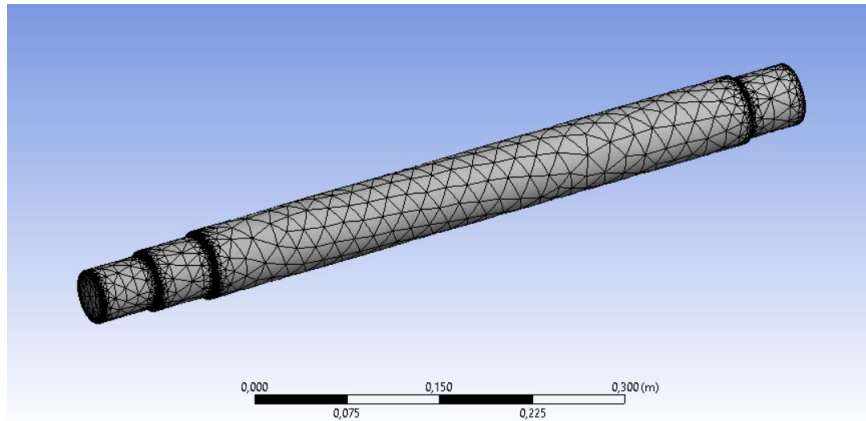


Figura 132-3: Malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Details of "Mesh"	
Sizing	
Size Function	Proximity and Curvature
Relevance Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (3,2767e-002 m)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (1,6383e-004 m)
Transition	Fast
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,850)
Span Angle Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (3,2767e-004 m)
<input type="checkbox"/> Max Tet Size	Default (6,5533e-002 m)
<input type="checkbox"/> Curvature Nor...	Default (70,3950 °)
<input type="checkbox"/> Proximity Min ...	Default (3,2767e-004 m)
<input type="checkbox"/> Num Cells Acr...	Default (3)
Proximity Size Fu...	Faces and Edges
Bounding Box Di...	0,657390 m
Minimum Edge L...	1,5708e-003 m
Quality	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Jacobian Ratio (MAPDL)
<input type="checkbox"/> Min	-100,
<input type="checkbox"/> Max	368,48
<input type="checkbox"/> Average	1,0228
<input type="checkbox"/> Standard Devi...	2,8901
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	150299
<input type="checkbox"/> Elements	97792

Figura 133-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 133-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0228, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta.

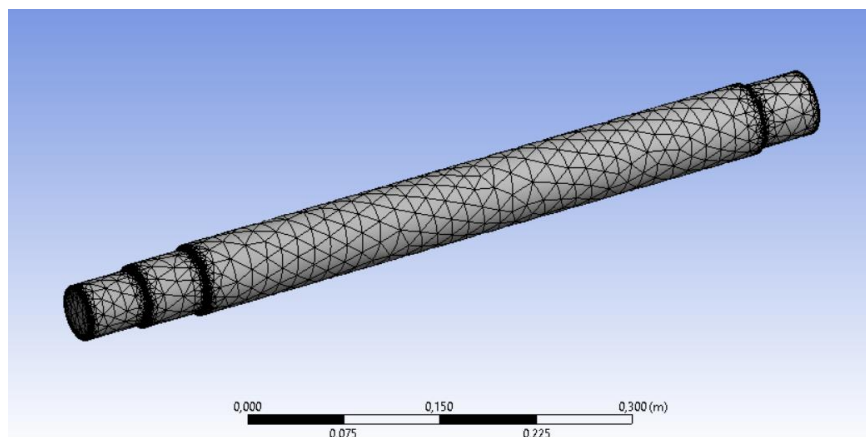


Figura 134-3: Malla Skewness - eje 1

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

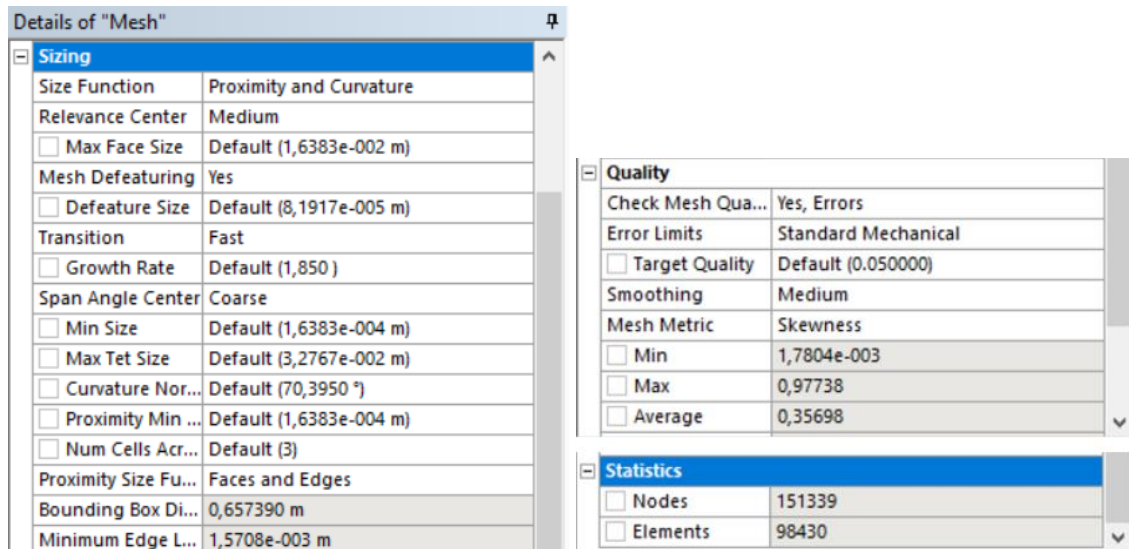


Figura 135-3: Detalles de la malla Skewness - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.35698, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.12.2. Postproceso - Eje 5

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio MAPDL

Deformación

De acuerdo con la figura 136-3, se observa que la deformación máxima es de 0.012516 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

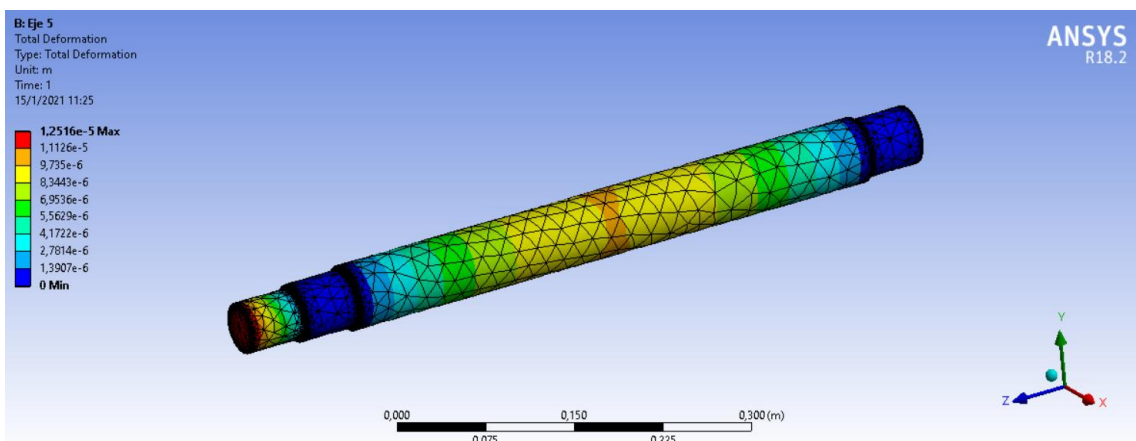


Figura 136-3: Resultado de deformación - malla Jacobian Ratio - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0098115 mm para la malla Jacobian Ratio, como se observa en la figura 137-3.

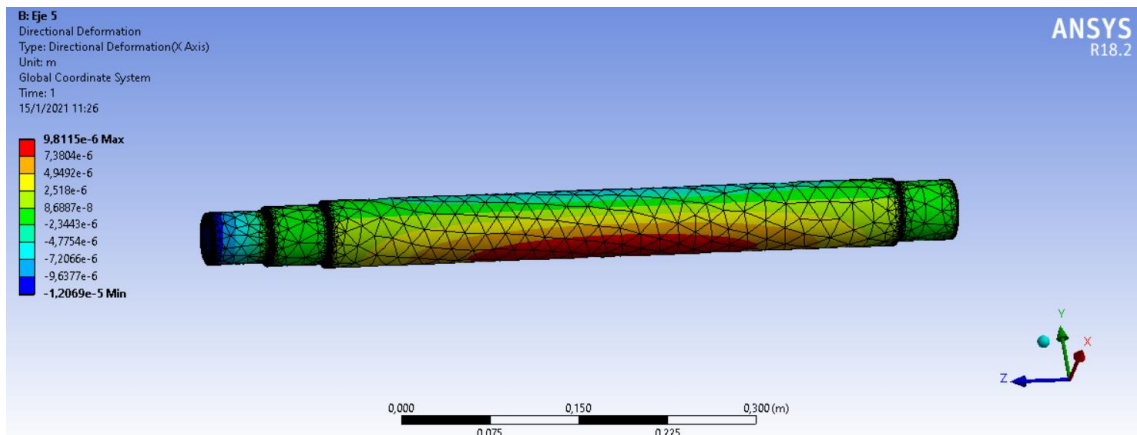


Figura 137-3: Resultado de deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 138-3, con un valor de 135.63 MPa.

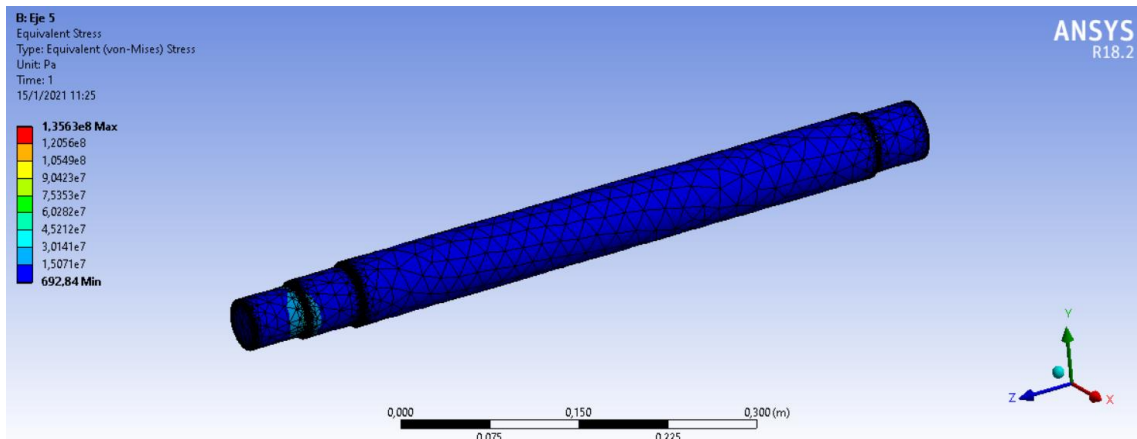


Figura 138-3: Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

Para la malla Jacobian Ratio se obtiene un factor de seguridad de 3.9076, como se muestra a continuación en la figura 139-3.

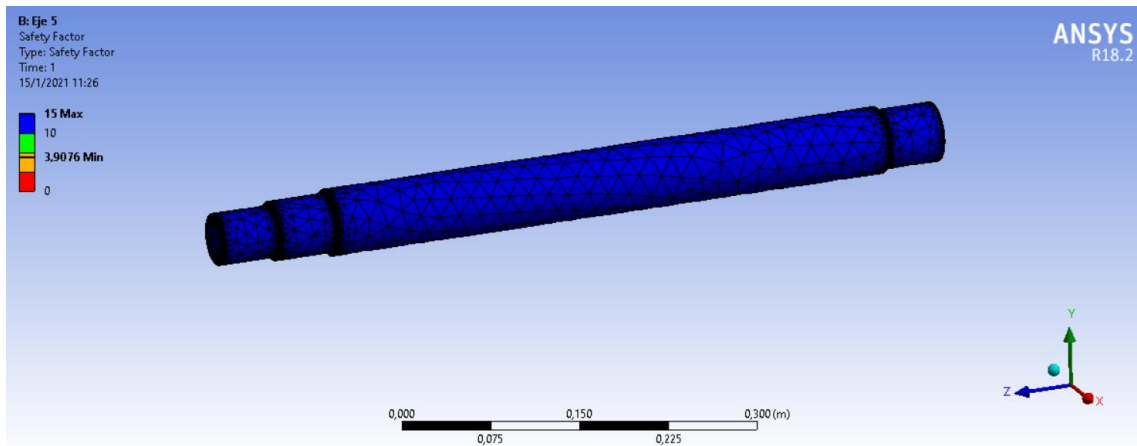


Figura 139-3: Factor de seguridad obtenido - malla Jacobian Ratio - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 140-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.012518 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

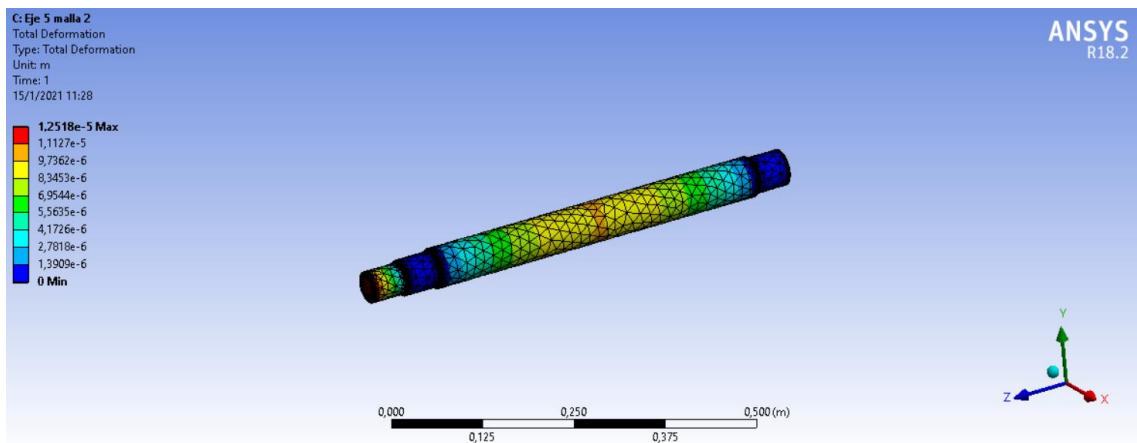


Figura 140-3: Resultado de deformación - malla Skewness - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0098087 mm, como se observa en la figura 141-3.

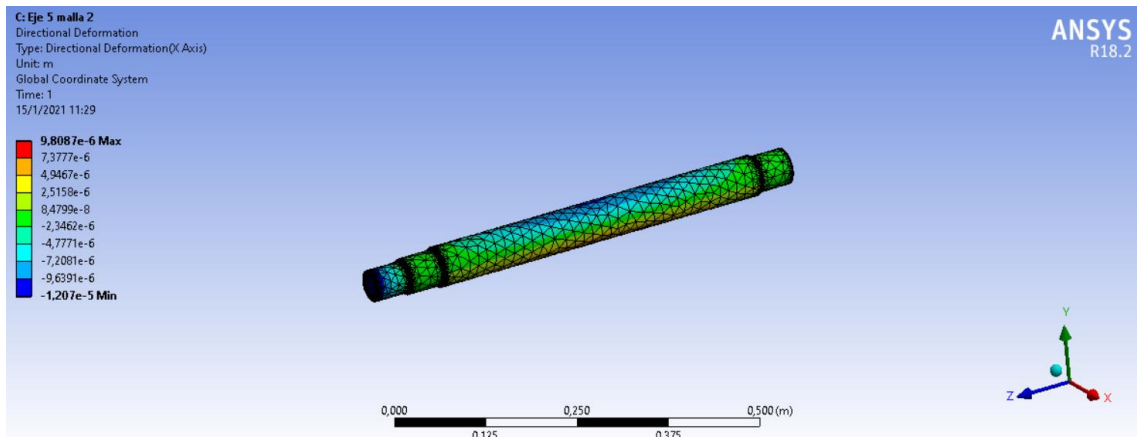


Figura 141-3: Resultado de Deformación unitaria - malla Skewness - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el eje 1 se muestra en la figura 142-3, con un valor de 138.44 MPa.

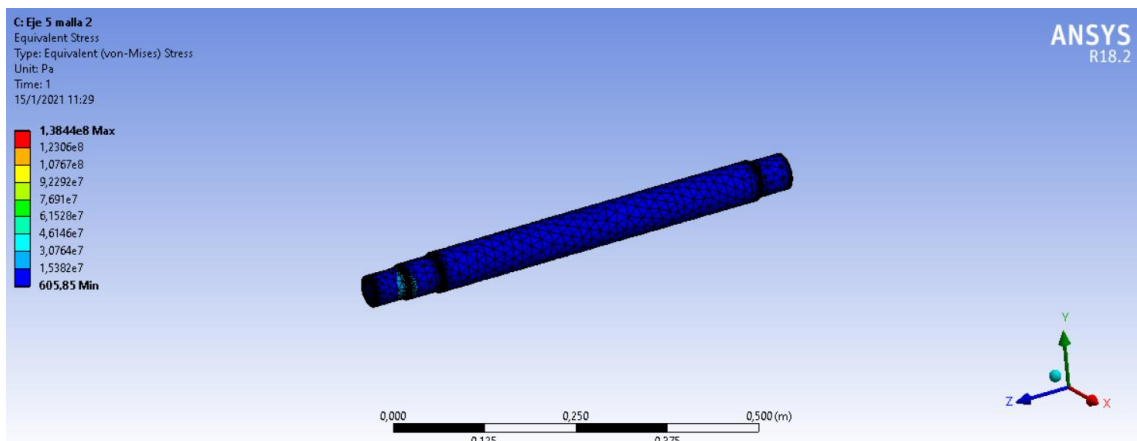


Figura 142-3: Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido es de 3.8285 para la malla Skewness en el eje 5.

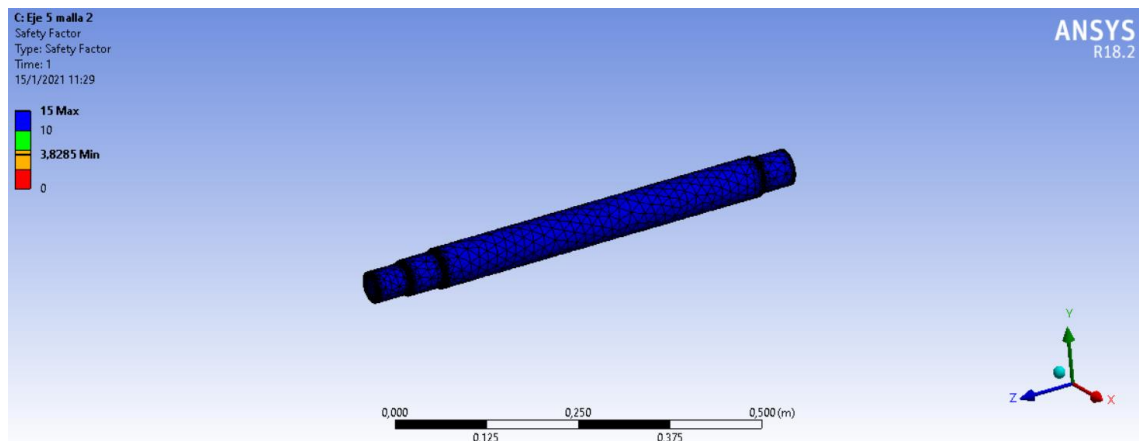


Figura 143-3: Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 5

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.12.3. Análisis de resultados del eje 5

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el eje 5

Tabla 17-4: Resumen de resultados de las pruebas del eje 5

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	150299	0.012516	0.0098115	135.63	3.9076
2	Skewness	151339	0.012518	0.0098087	138.44	3.8285

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del eje 1 varía entre 0.012516 y 0.012518 mm, siendo un valor casi despreciable, ya que el valor máximo permisible según el análisis de rigidez es de 0.1 a 0.15 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.13. Validación mediante ANSYS – Eje 6

3.6.13.1. Preproceso - Eje 6

Material

Para el eje 6, se consideró un acero AISI 1045 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

Properties of Outline Row 3: Acero 1045				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	530	MPa	
25	Compressive Yield Strength	530	MPa	
26	Tensile Ultimate Strength	625	MPa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹	
29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹	
30	Isotropic Relative Permeability	10000		
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m	

Figura 144-3: Propiedades del acero AISI 1045 - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 145-3, se muestra la geometría del eje 6.

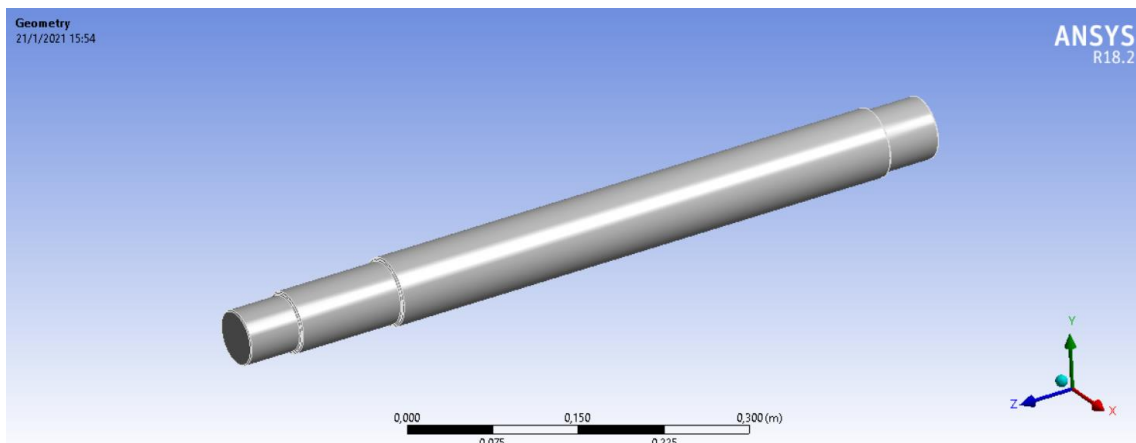


Figura 145-3: Definición de geometría - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

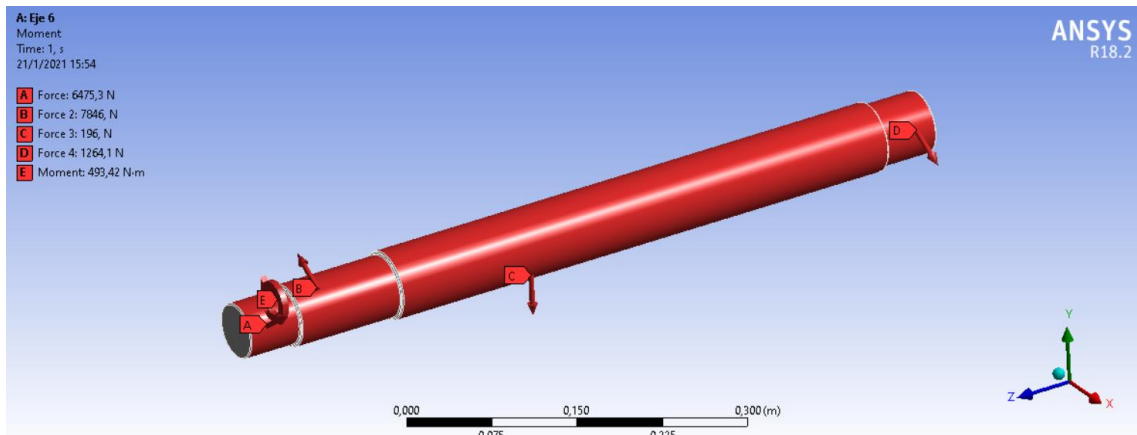


Figura 146-3: Cargas asignadas - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera un soporte en las secciones señaladas A y B, las cuales están sujetas por rodamientos al bastidor, es decir que corresponden a soportes fijos.

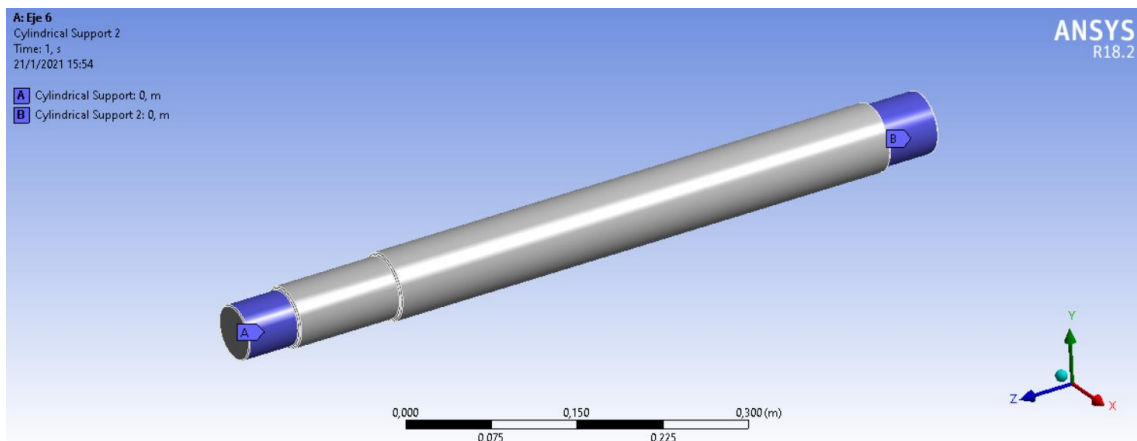


Figura 147-3: Soportes - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

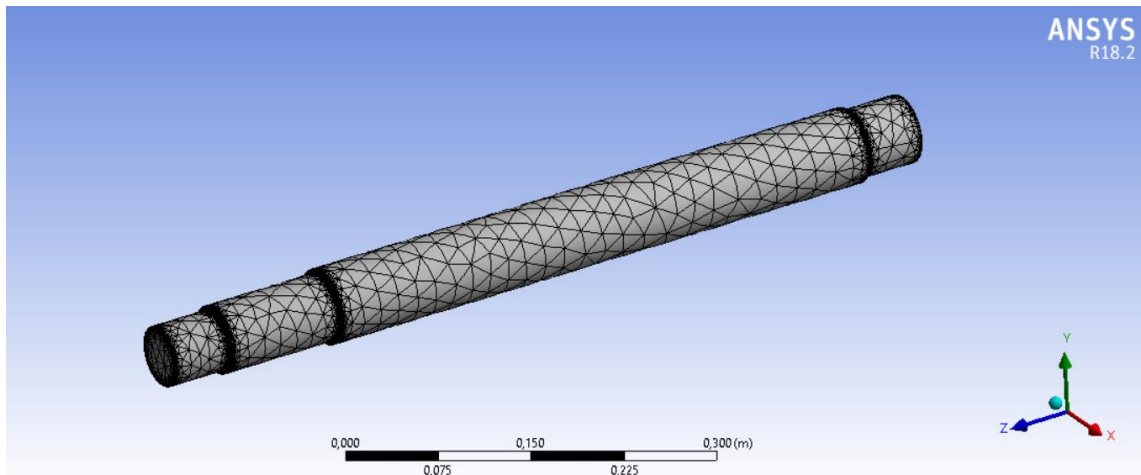


Figura 148-3: Malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

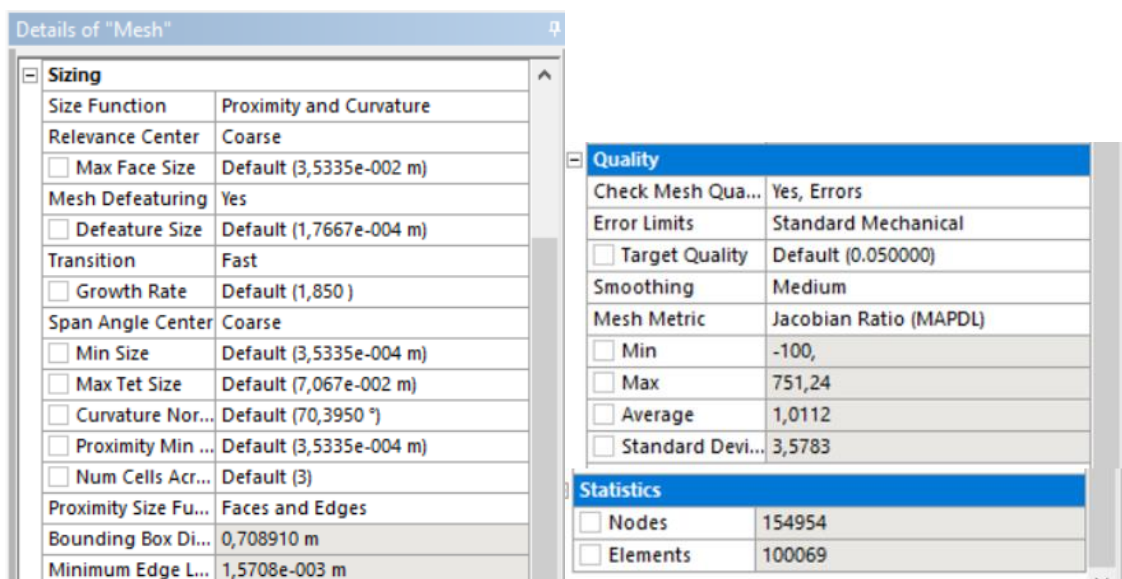


Figura 149-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 149-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0112, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta.

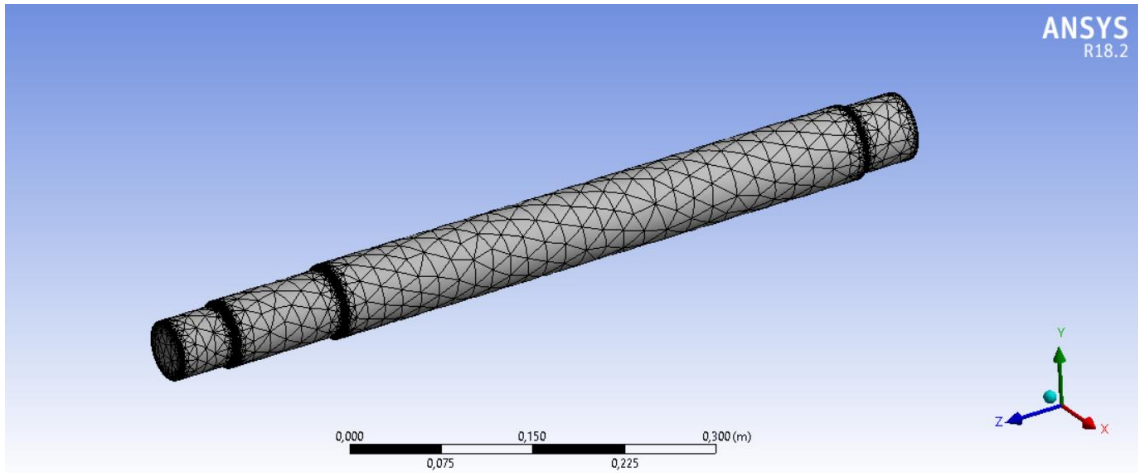


Figura 150-3: Malla Skewness - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

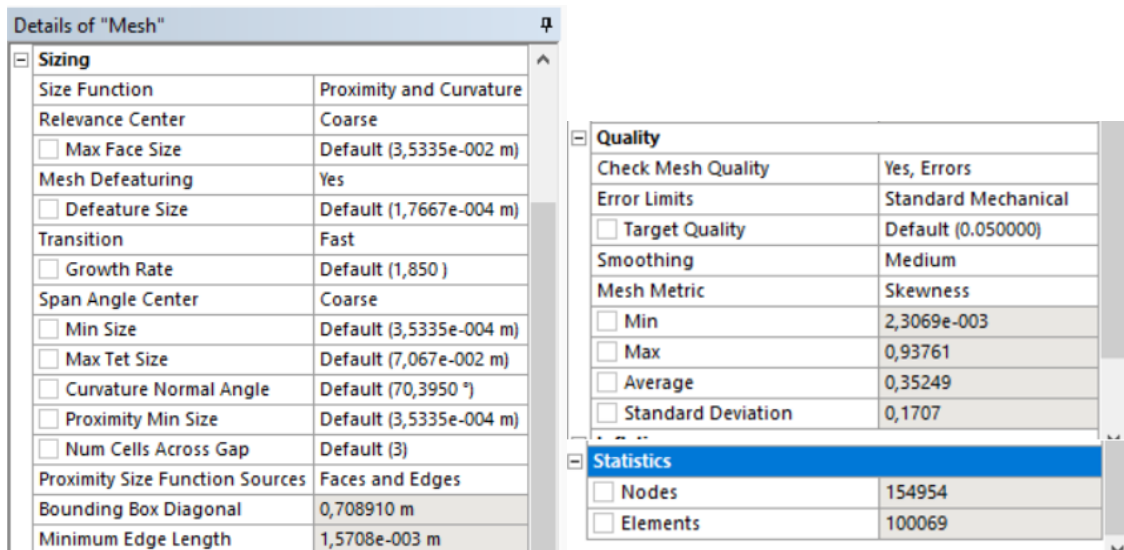


Figura 151-3: Detalles de la malla Skewness - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.35249, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.13.2. Postproceso - Eje 6

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio MAPDL

Deformación

De acuerdo con la figura 152-3, se observa que la deformación máxima es de 0.021003 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

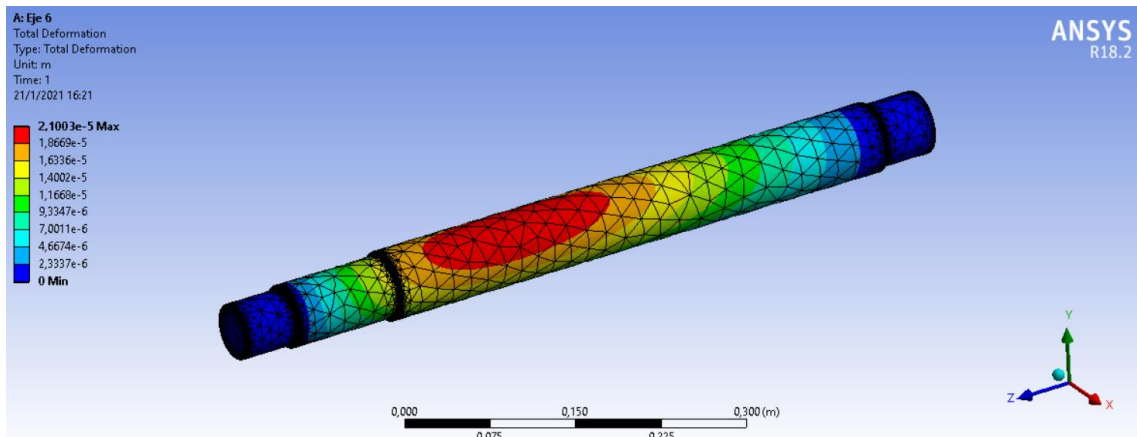


Figura 152-3: Resultado de deformación - malla Jacobian Ratio - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0047073 mm para la malla Jacobian Ratio, como se observa en la figura 153-3.

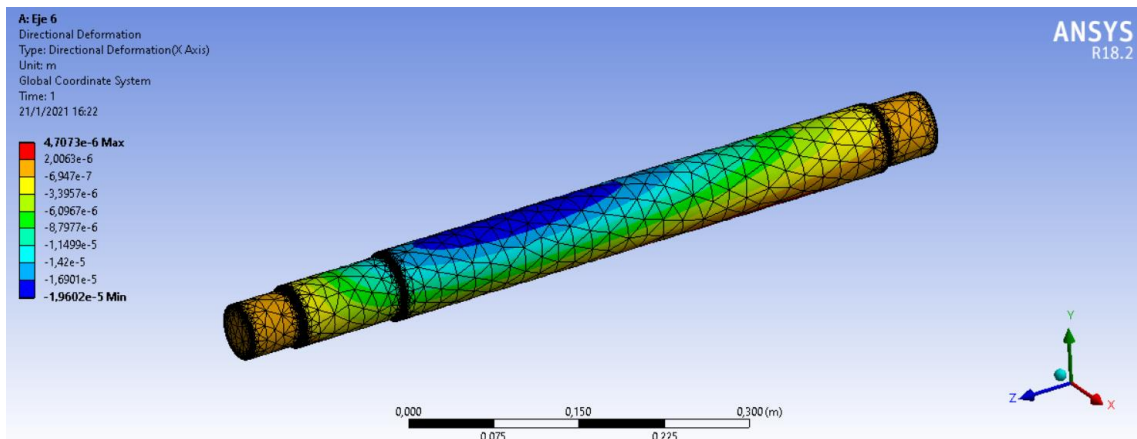


Figura 153-3: Resultado de deformación unitaria - malla Jacobian Ratio - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 154-3, con un valor de 150.27 MPa.

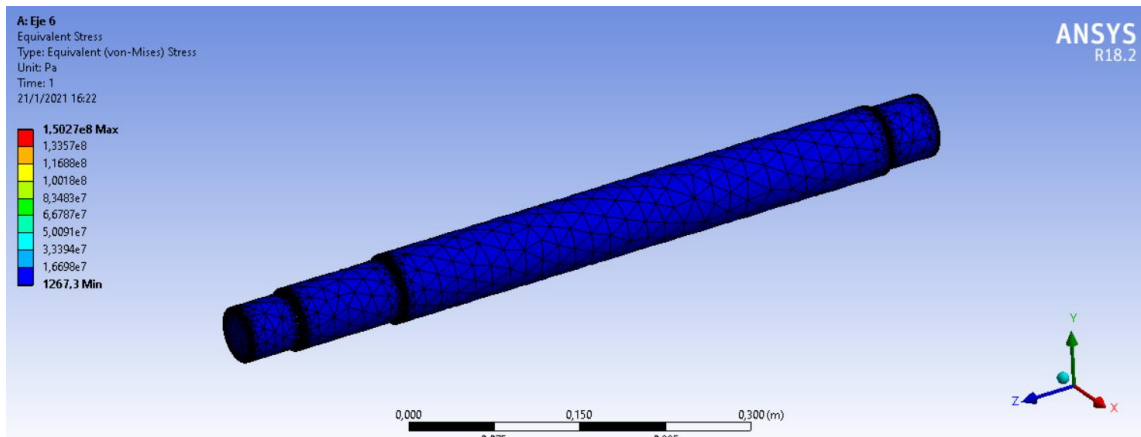


Figura 154-3: Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - eje 6

Realizado por Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

Para la malla Jacobian Ratio se obtiene un factor de seguridad de 3.527, como se muestra a continuación en la figura 155-3.

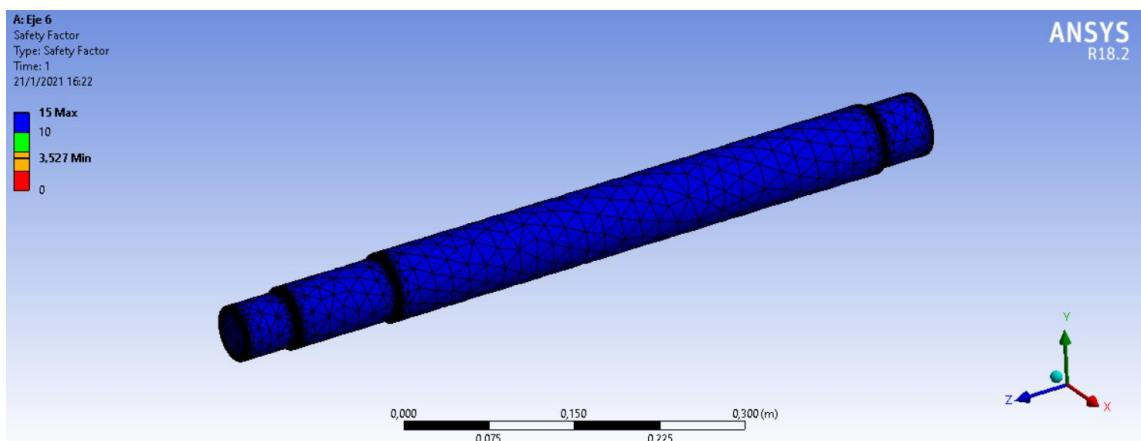


Figura 155-3: Factor de seguridad obtenido - malla Jacobian Ratio - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 156-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.021003 mm, lo cual valida que la deformación total está dentro del rango permisible según los criterios de rigidez del diseño del eje.

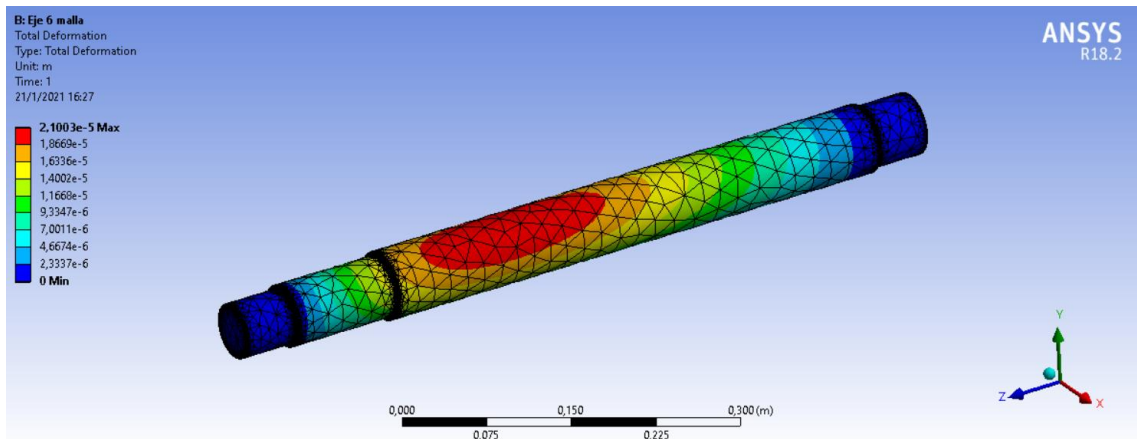


Figura 156-3: Resultado de deformación - malla Skewness - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0047073 mm, como se observa en la figura 141-3.

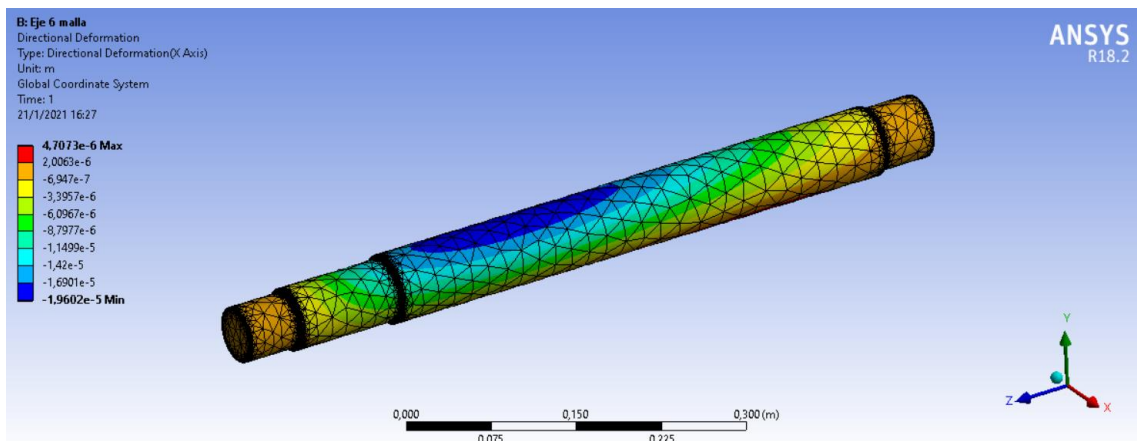


Figura 157-3: Resultado de Deformación unitaria - malla Skewness - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el eje 6 se muestra en la figura 78-3, con un valor de 150.27 MPa.

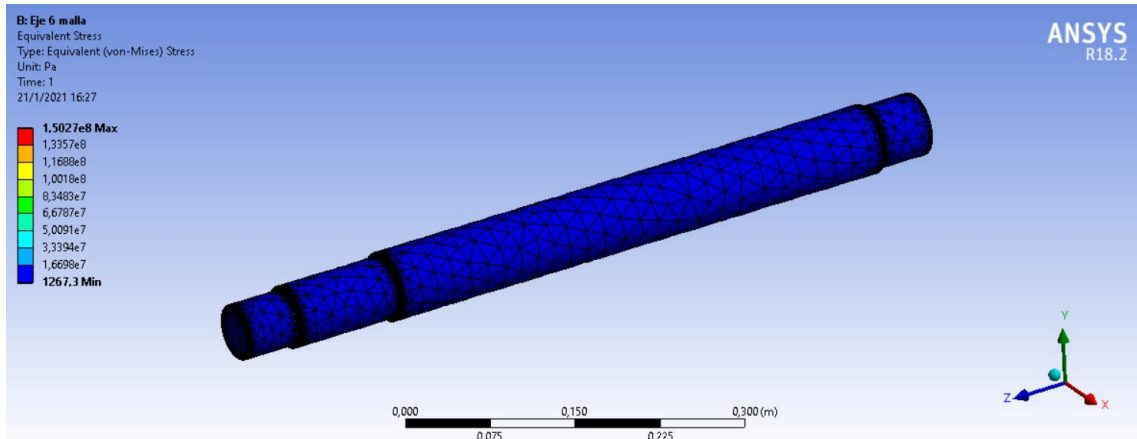


Figura 158-3: Resultado de esfuerzo - malla Skewness - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido es de 3.527 para la malla Skewness en el eje 6.

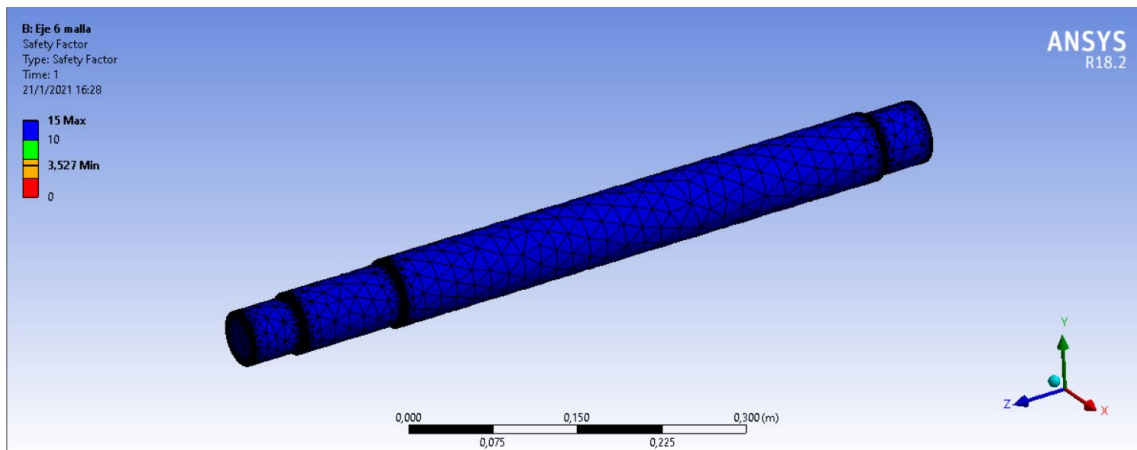


Figura 159-3: Factor de seguridad obtenido - malla Skewness - eje 6

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.13.3. Análisis de resultados del eje 6

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el eje 6

Tabla 18-4: Resumen de resultados de las pruebas del eje 6

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	154954	0.021003	0.0047073	150.27	3.527
2	Skewness	154954	0.021003	0.0047073	150.27	3.527

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del eje 6 resulta 0.021003 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.14. Validación mediante ANSYS – Bastidor derecho del laminado

3.6.14.1. Preproceso - Bastidor derecho laminado

Material

Para el bastidor derecho del laminador, se consideró un acero AISI 1045 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

Properties of Outline Row 3: Acero 1045				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	530	MPa	
25	Compressive Yield Strength	530	MPa	
26	Tensile Ultimate Strength	625	MPa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

Figura 160-3: Propiedades del acero AISI 1045 - bastidor derecho del laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 161-3, se muestra la geometría del bastidor derecho del laminado, la cual fue realizada en SolidWorks.

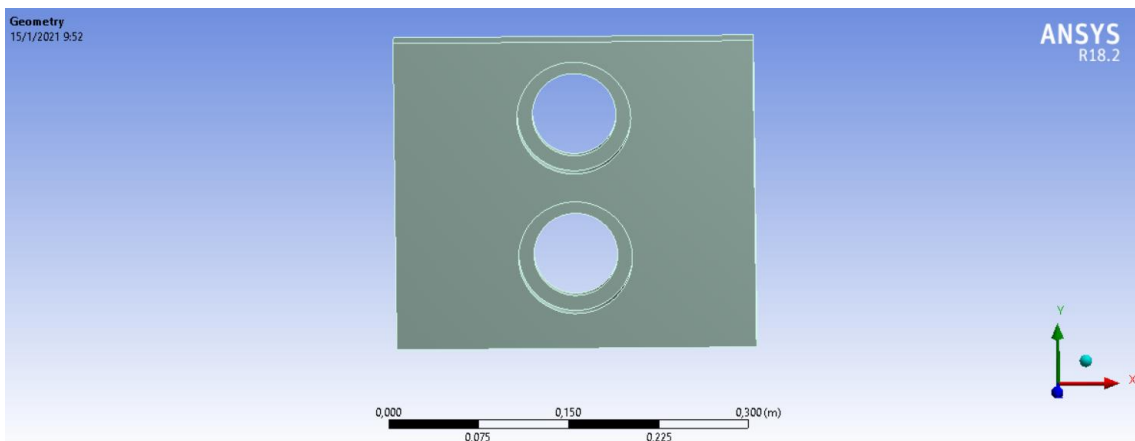


Figura 161-3: Definición de geometría - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elemento, como se puede ver a continuación:

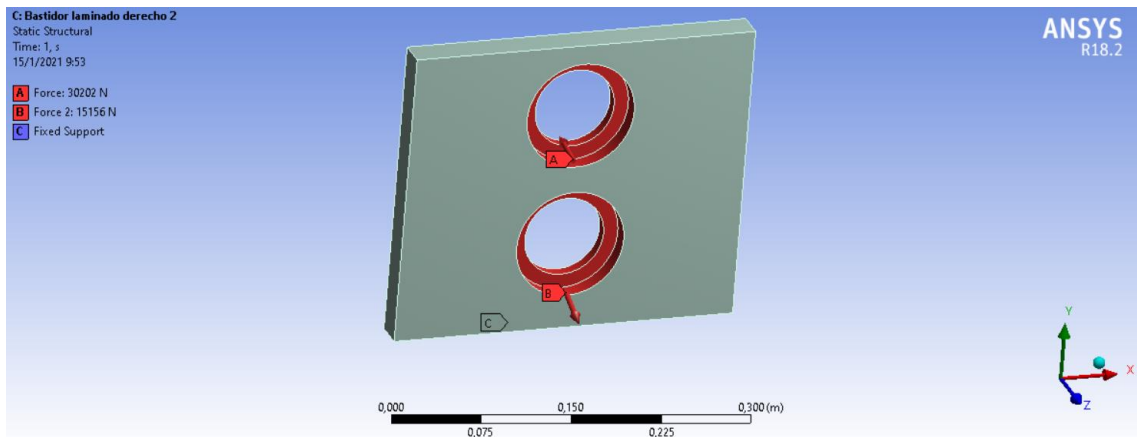


Figura 162-3: Cargas asignadas - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera soportes fijos en las secciones señaladas A y B.

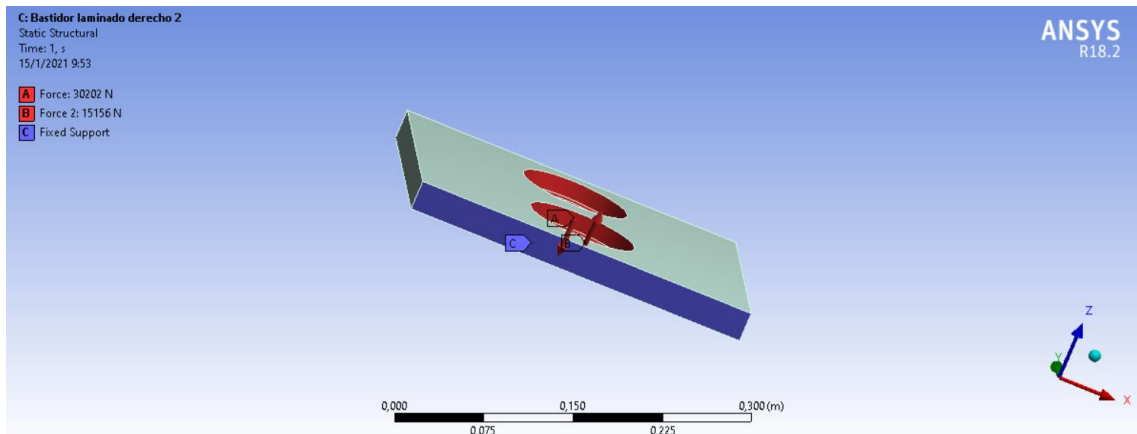


Figura 163-3: Soportes - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

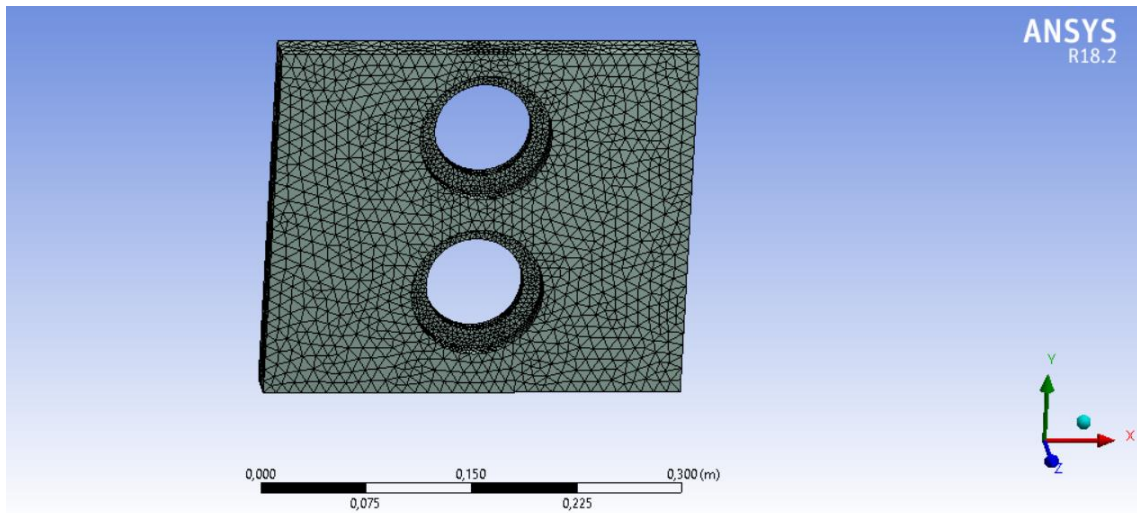


Figura 164-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

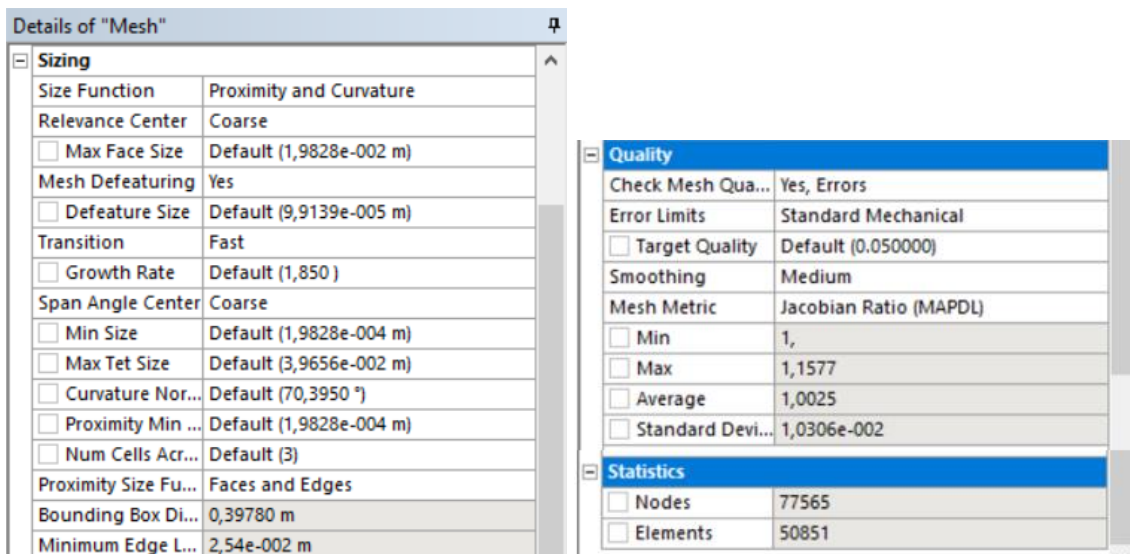


Figura 165-3: Detalles de la malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 165-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0025, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta para este tipo de malla.

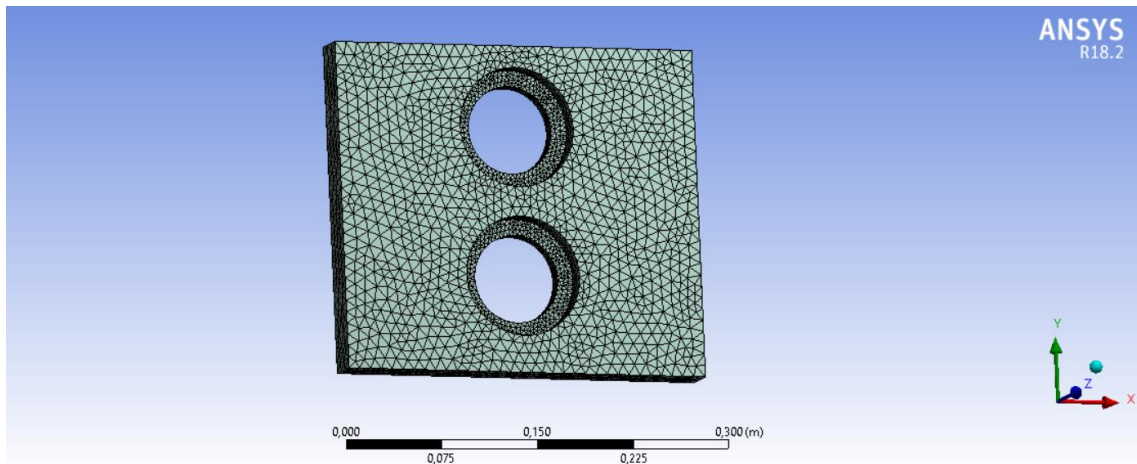


Figura 166-3: Malla Skewness - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

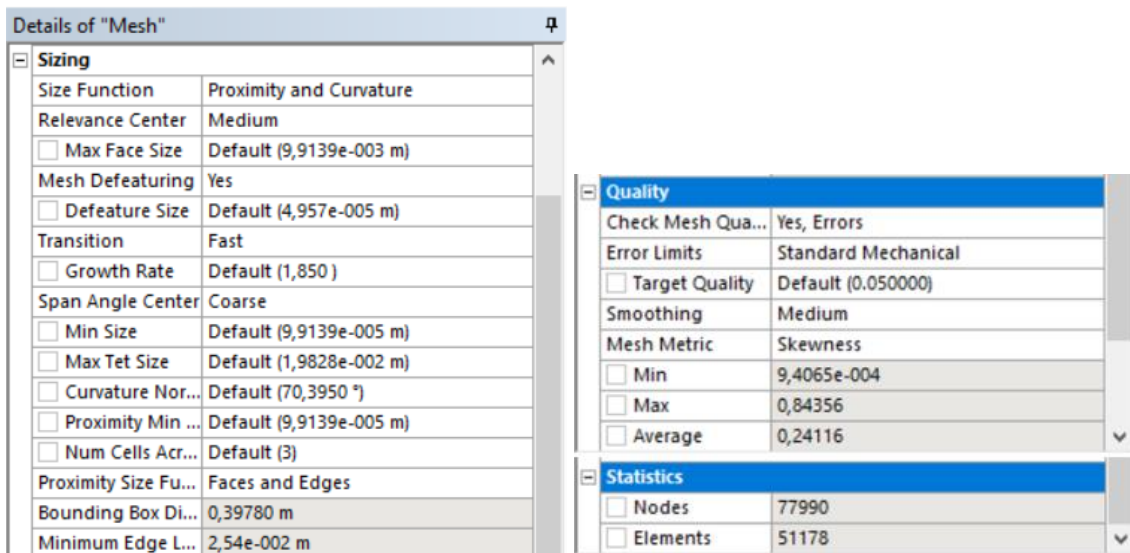


Figura 167-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.24116, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.14.2. Postproceso - Bastidor derecho de laminado

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio

Deformación

De acuerdo con la figura 168-3, se observa que la deformación máxima es de 1.6139 mm con la malla Jacobian Ratio.

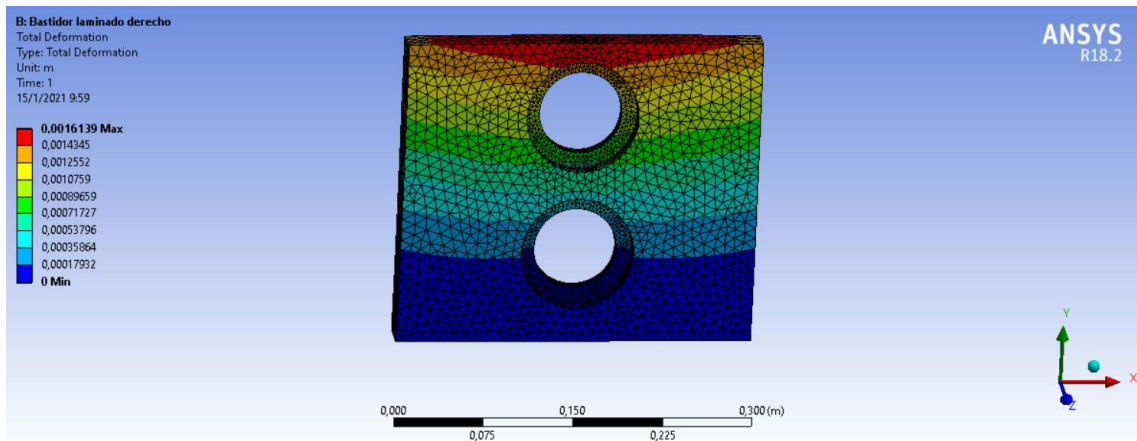


Figura 168-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida para la malla Jacobian Ratio fue de 0.021776 mm, como se observa en la figura 169-3.

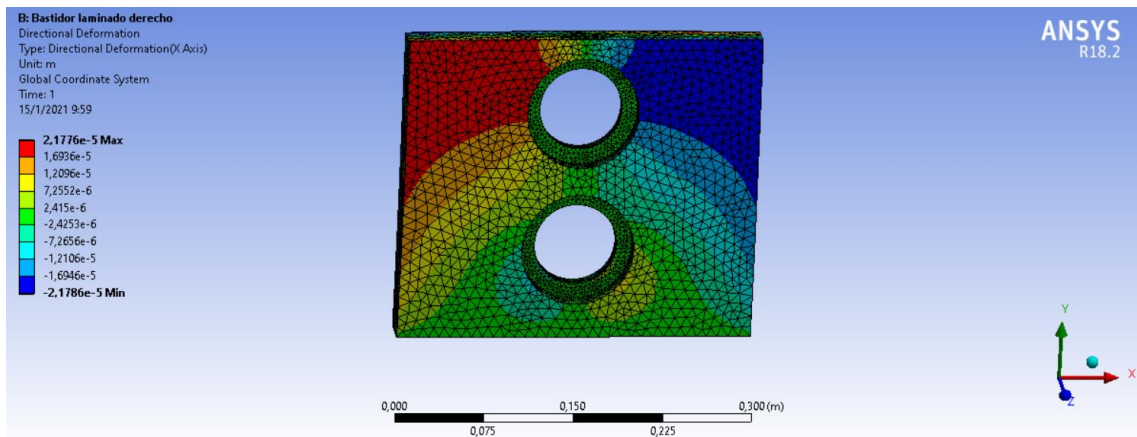


Figura 169-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian Ratio - bastidor derecho laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 170-3, con un valor de 236.56 MPa para la malla Jacobian Ratio.

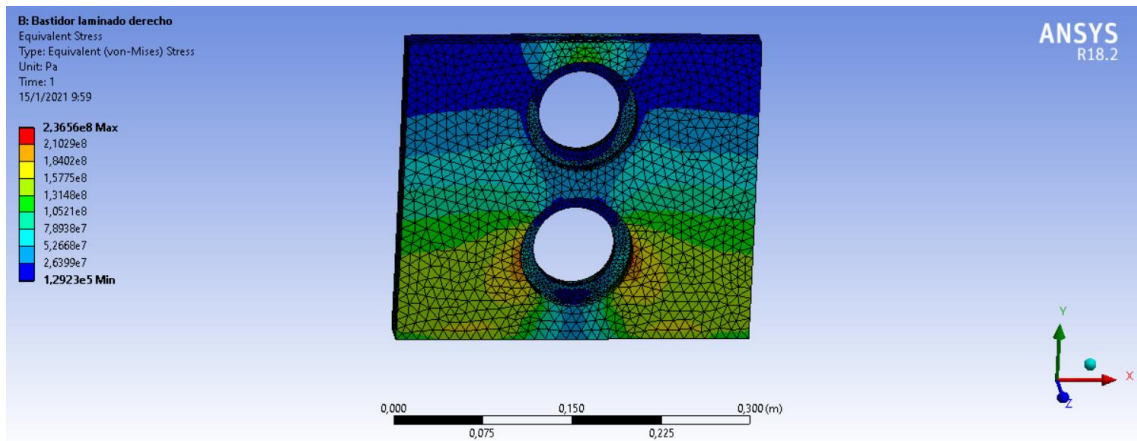


Figura 170-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor derecho laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 2.2405.

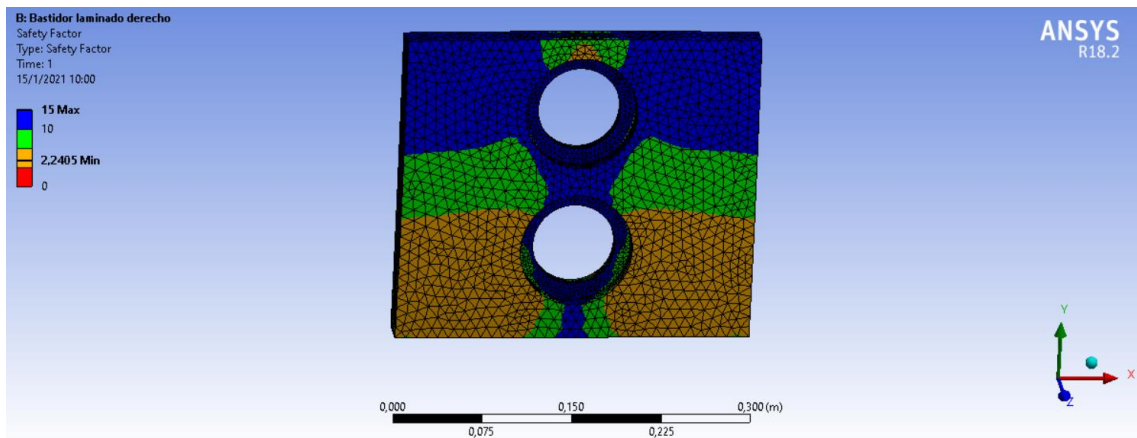


Figura 171-3: Factor de seguridad - Jacobian Ratio - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 172-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 1.6139 mm.

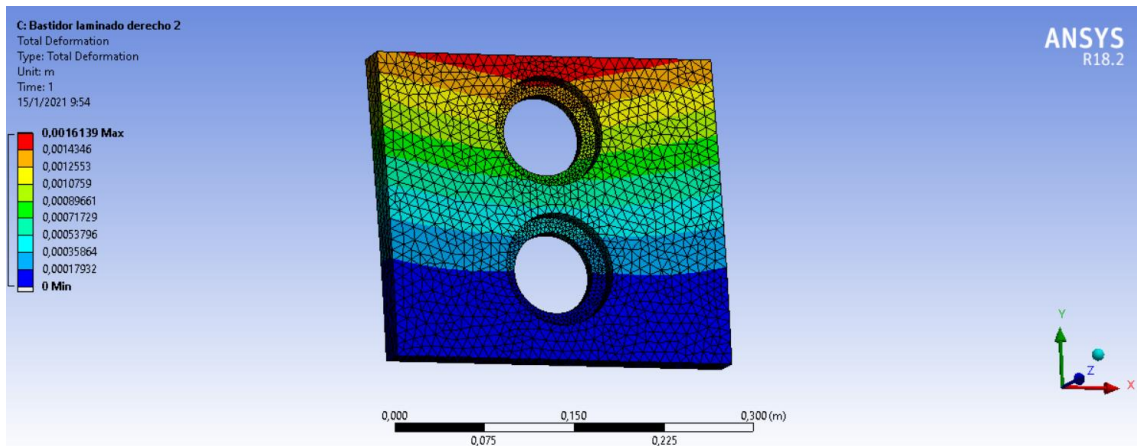


Figura 172-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.021774 mm para la malla Skewness, como se observa en la figura 173-3.

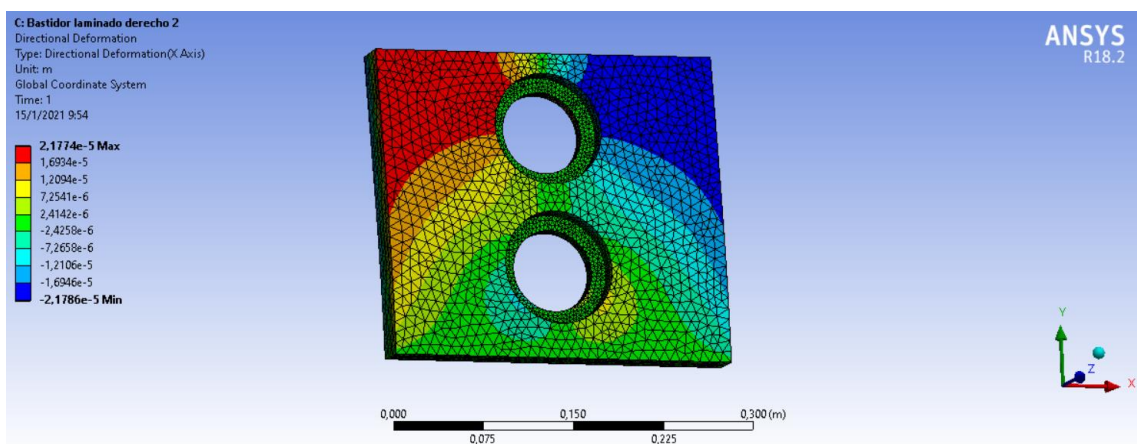


Figura 173-3: Resultado de deformación unitaria - Skewness - bastidor derecho laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el bastidor derecho del laminado se muestra en la figura 174-3, con un valor de 236.56 MPa.

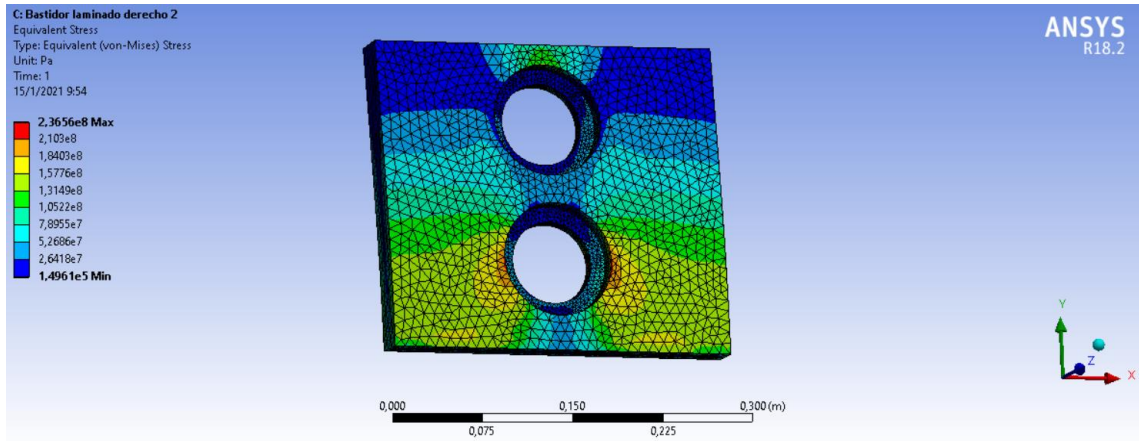


Figura 174-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor derecho de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 2.2404.

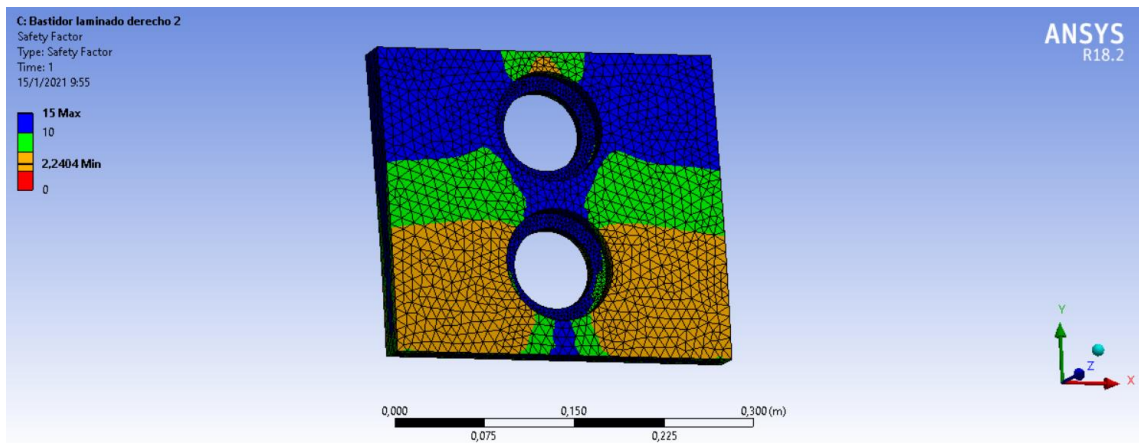


Figura 175-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor derecho laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.14.3. Análisis de resultados del bastidor derecho del laminado

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el bastidor derecho del laminado:

Tabla 19-4: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor derecho del laminado.

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	77565	1.6139	0.021776	236.56	2.2405
2	Skewness	77990	1.6139	0.021774	236.56	2.2404

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del bastidor resulta 1.6139 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.15. Validación mediante ANSYS – Bastidor izquierdo de laminado

3.6.15.1. Preproceso - Bastidor izquierdo de laminado

Material

Para el bastidor izquierdo de laminado, se consideró un acero AISI 1045 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	530	MPa		
25	Compressive Yield Strength	530	MPa		
26	Tensile Ultimate Strength	625	MPa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Figura 176-3: Propiedades del acero AISI 1045 - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 177-3, se muestra la geometría del bastidor izquierdo del laminador, la cual fue realizada en SolidWorks.

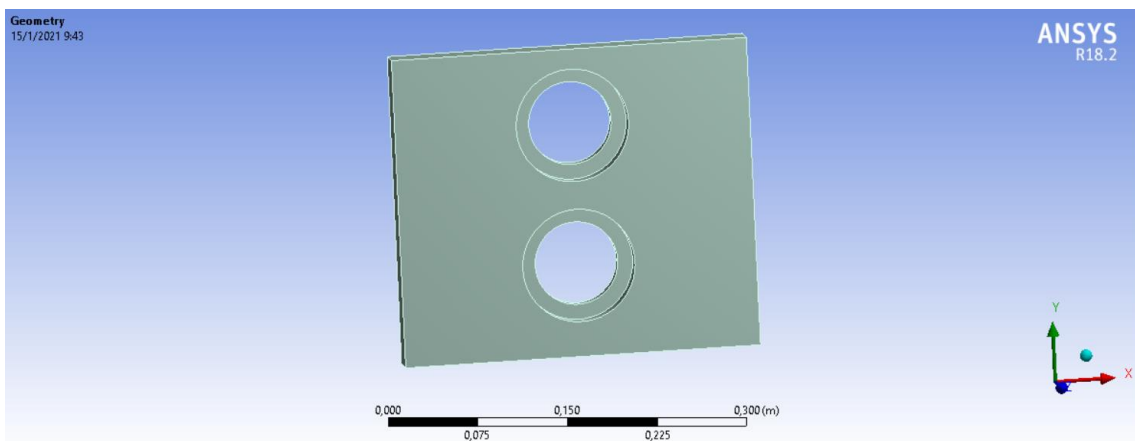


Figura 177-3: Definición de geometría - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

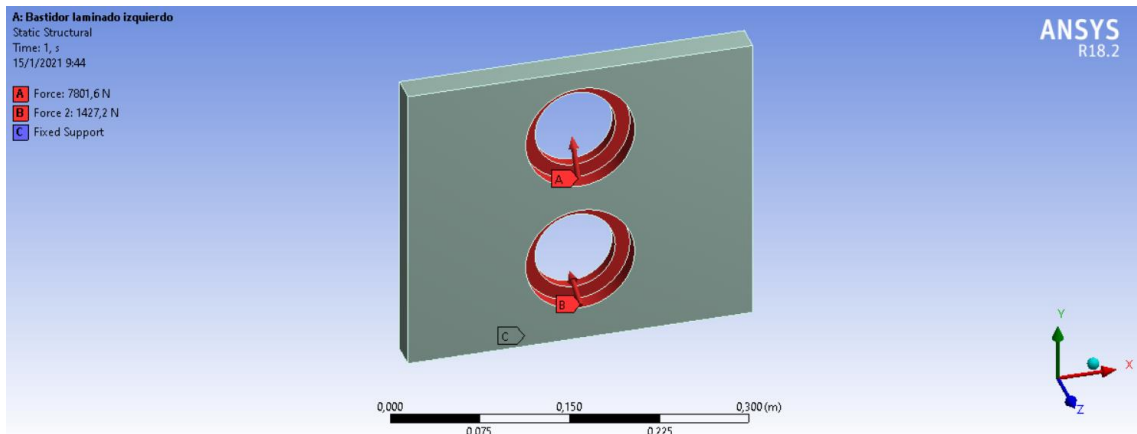


Figura 178-3: Cargas asignadas - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera soportes fijos en las secciones señaladas A y B.

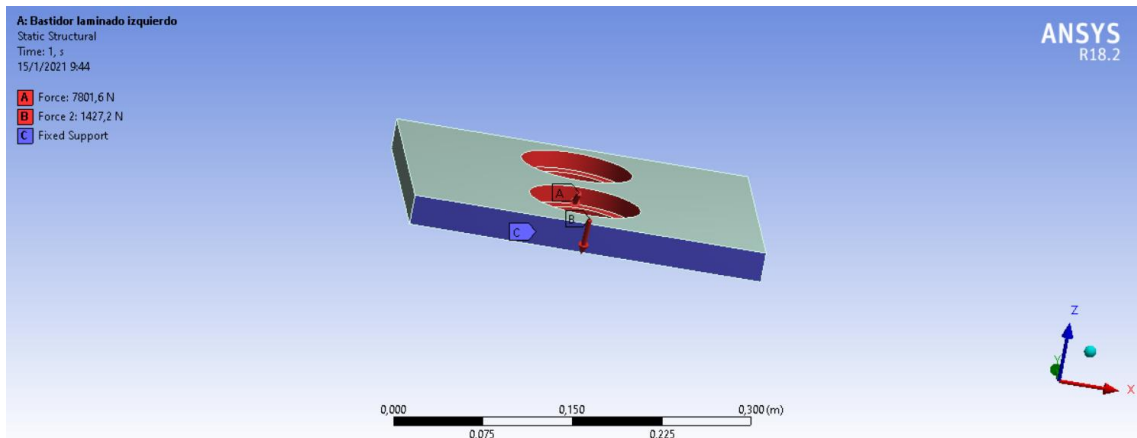


Figura 179-3: Soportes - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

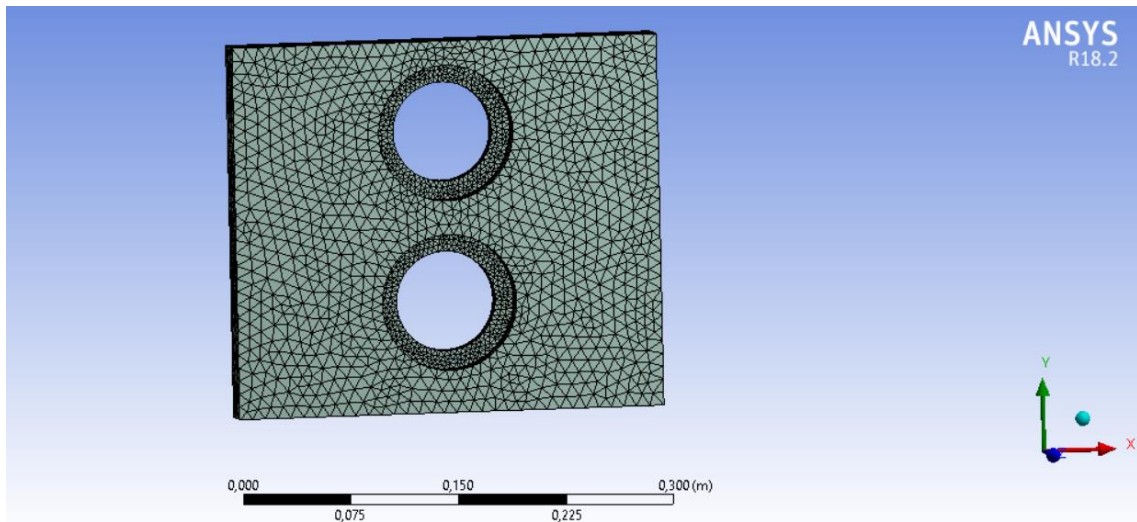


Figura 180-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

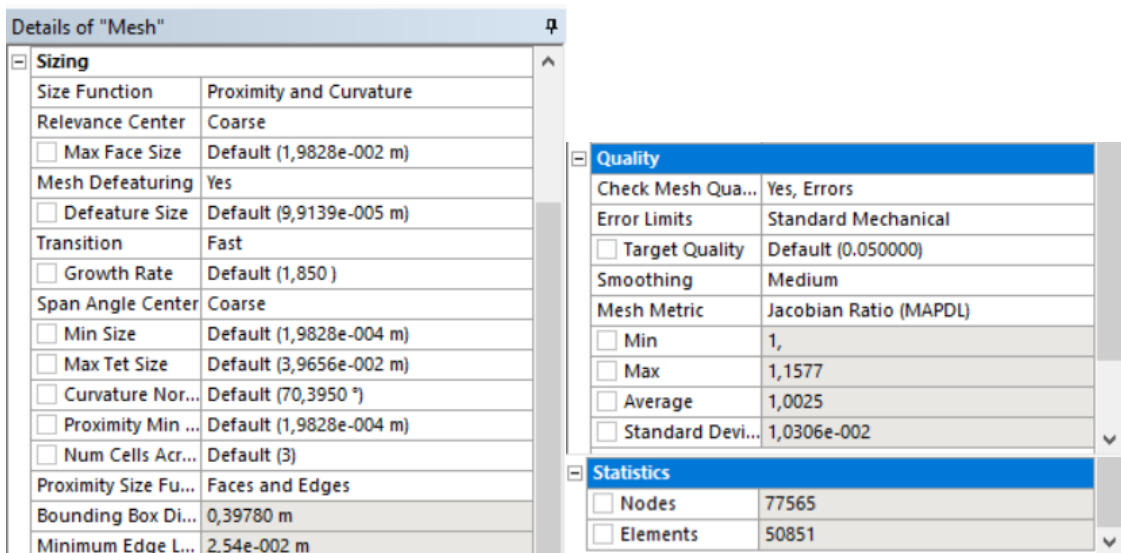


Figura 181-3: Detalles de la malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 181-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0025, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta para este tipo de malla.

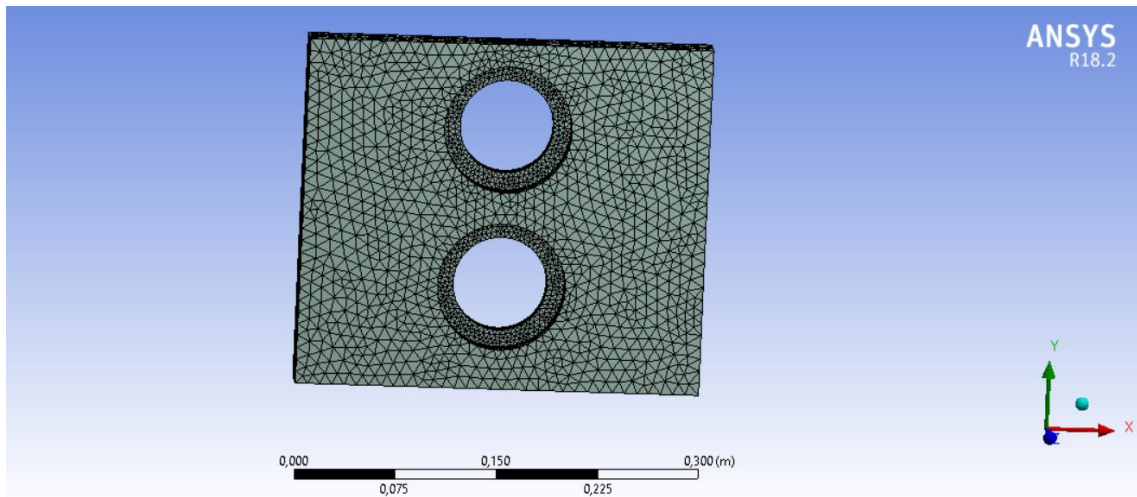


Figura 182-3: Malla Skewness - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

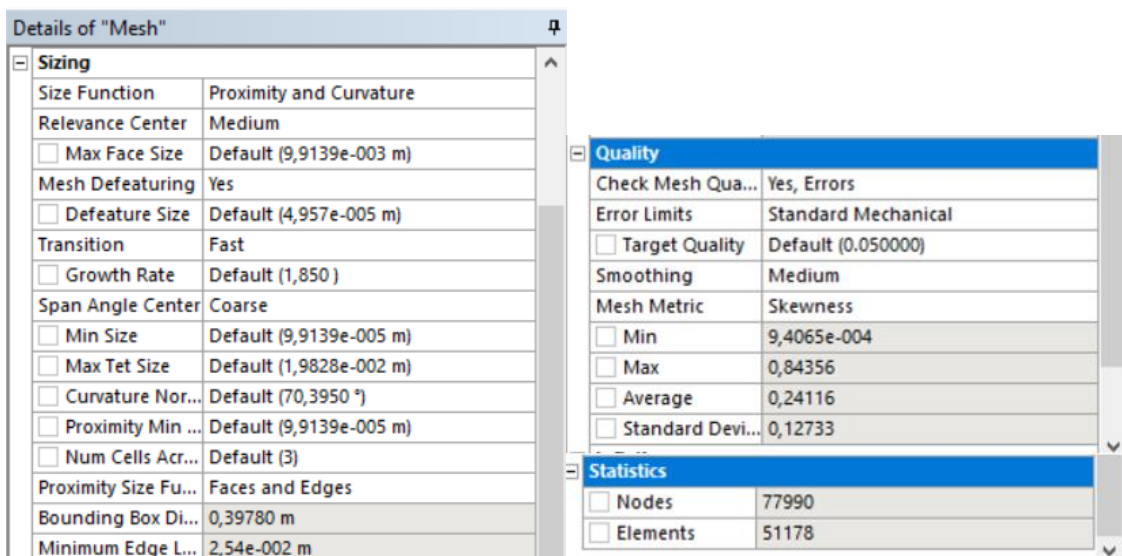


Figura 183-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.24116, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.15.2. Postproceso - Bastidor izquierdo del laminado

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio

Deformación

De acuerdo con la figura 184-3, se observa que la deformación máxima es de 0.25107 mm con la malla Jacobian Ratio.

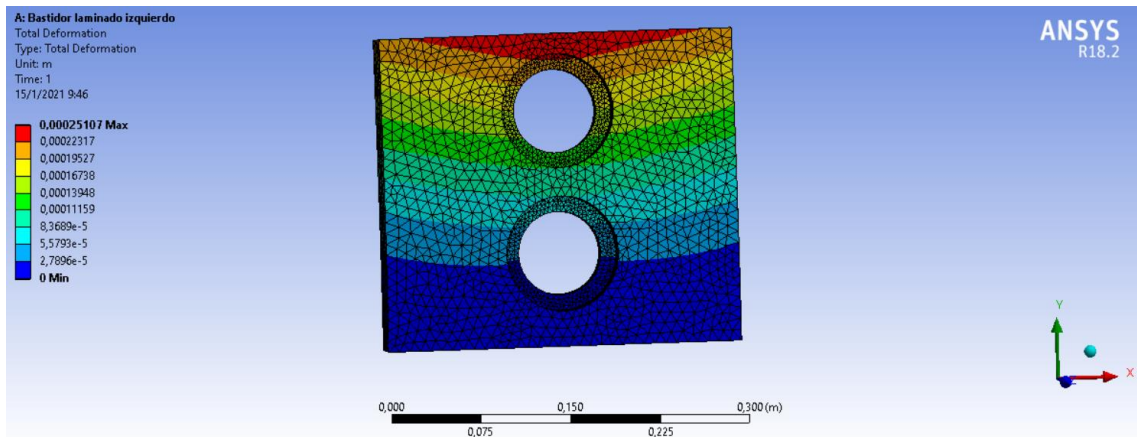


Figura 184-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida para la malla Jacobian Ratio fue de 0.003723 mm, como se observa en la figura 185-3.

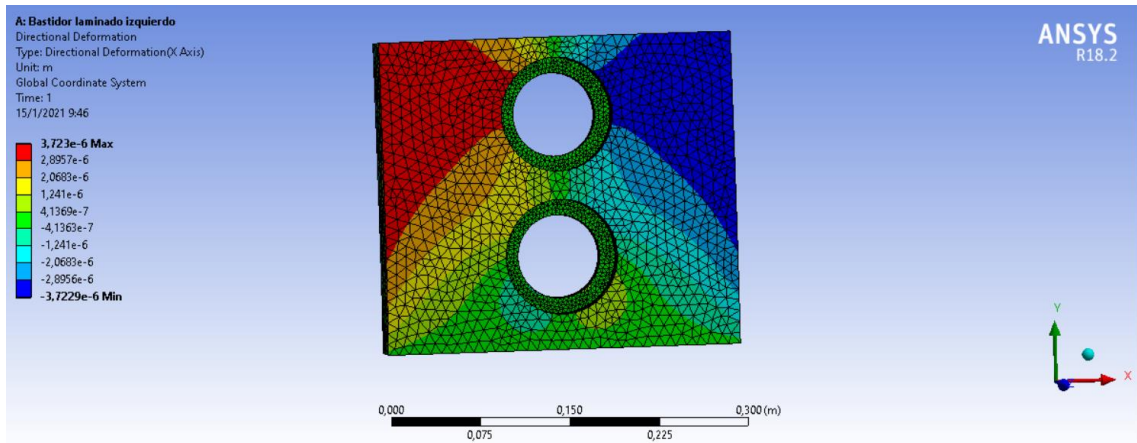


Figura 185-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 186-3, con un valor de 33.805 MPa para la malla Jacobian Ratio.

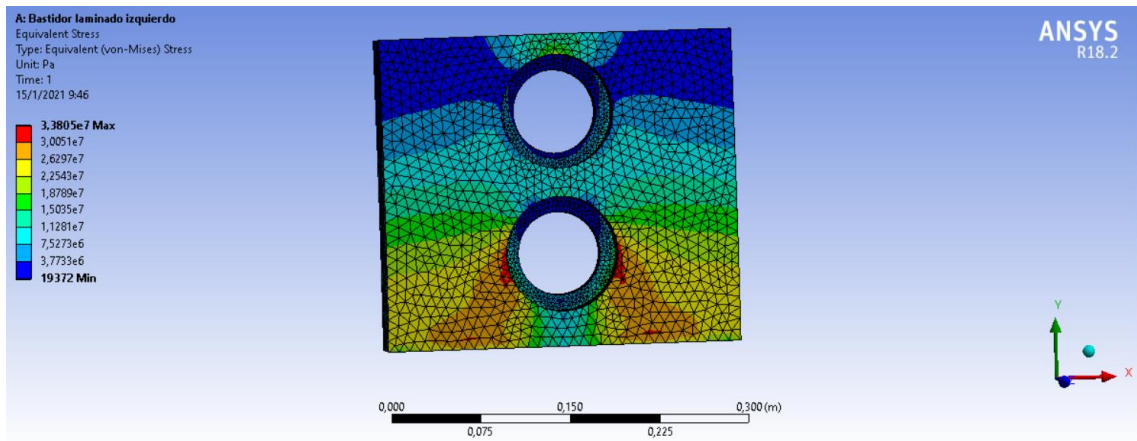


Figura 186-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 7.3954.

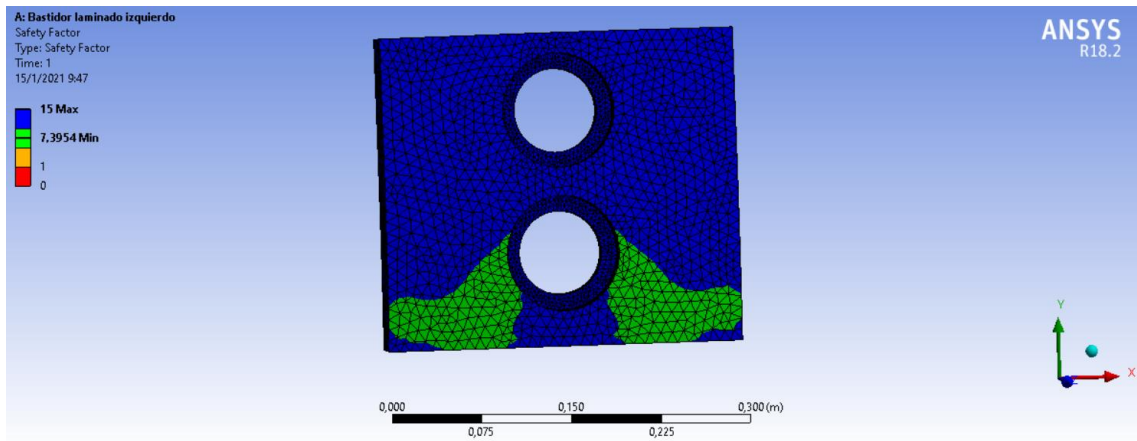


Figura 187-3: Factor de seguridad obtenido - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 188-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.25107 mm.

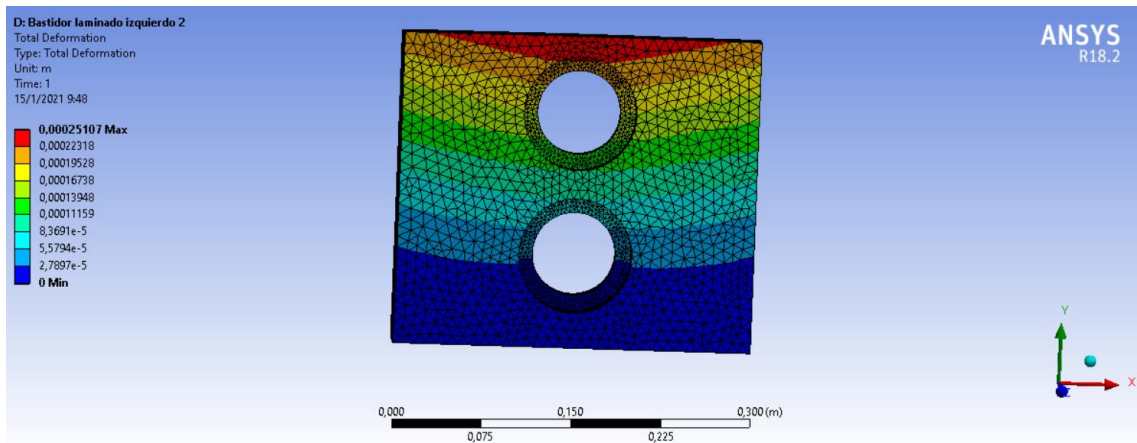


Figura 188-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0037224 mm para la malla Skewness, como se observa en la figura 189-3.

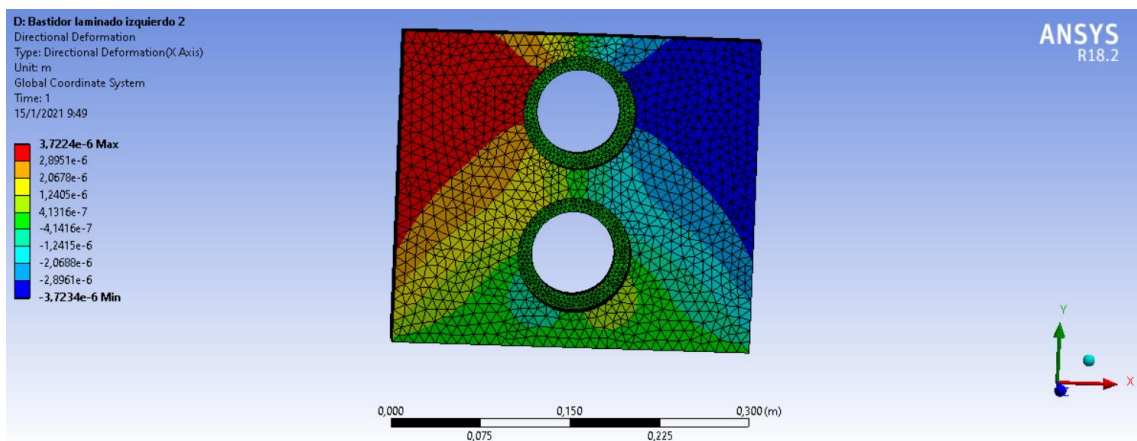


Figura 189-3: Resultado deformación unitaria - Skewness - bastidor izquierdo laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el bastidor izquierdo del laminado se muestra en la figura 190-3, con un valor de 33.794 MPa.

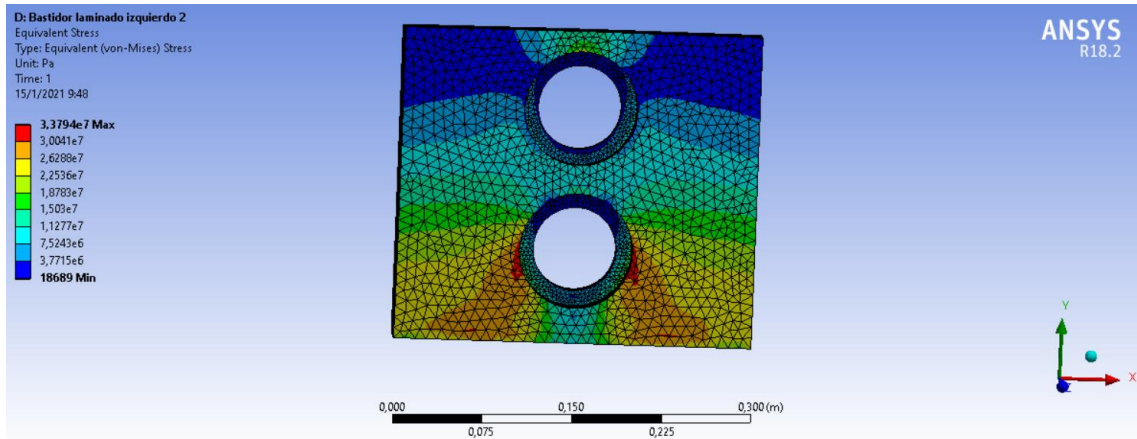


Figura 190-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 7.3977.

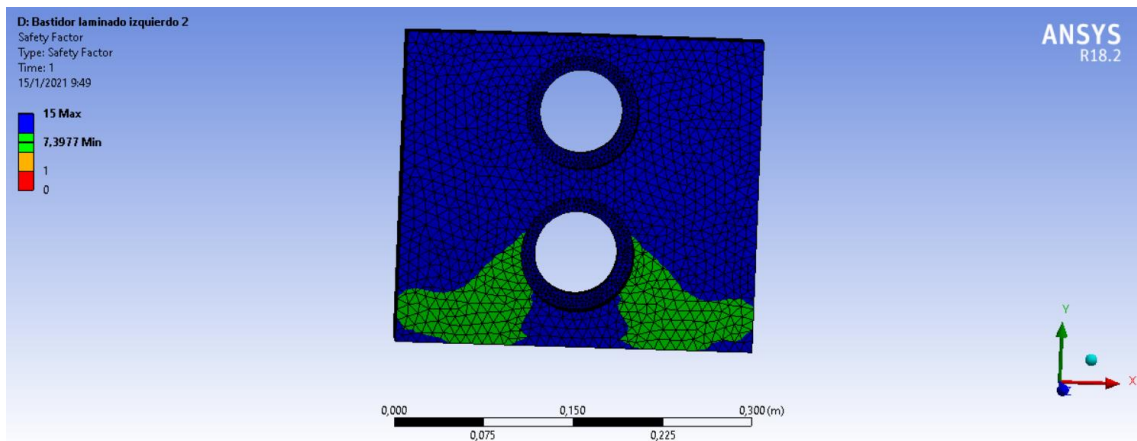


Figura 191-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor izquierdo de laminado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.15.3. Análisis de resultados del bastidor izquierdo del laminado

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el bastidor izquierdo de laminado:

Tabla 20-4: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor izquierdo de laminado.

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	77565	0.25107	0.003723	33.805	7.3954
2	Skewness	77990	0.25107	0.003722	33.794	7.3977

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se procede a realizar un gráfico No. de nodos vs deformación, en donde se aprecia que la deformación del bastidor izquierdo del laminador resulta 0.25107 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.16. Validación mediante ANSYS – Bastidor derecho de estampado

3.6.16.1. Preproceso - Bastidor derecho de estampado

Material

Para el bastidor derecho de estampado, se consideró un acero AISI 1045 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

Properties of Outline Row 3: Acero 1045				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	530	MPa	
25	Compressive Yield Strength	530	MPa	
26	Tensile Ultimate Strength	625	MPa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

Figura 192-3: Propiedades del acero AISI 1045 - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 193-3, se muestra la geometría del bastidor derecho de estampado, la cual fue realizada en SolidWorks.

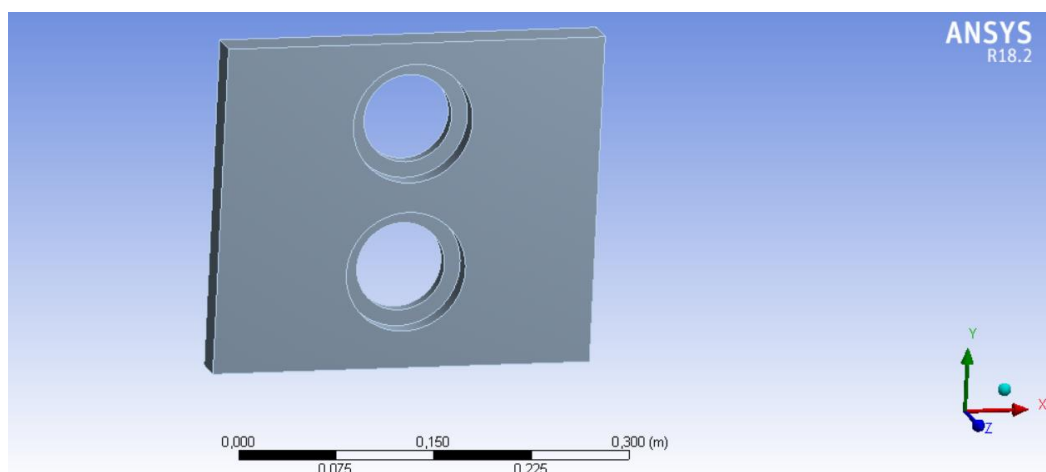


Figura 193-3: Definición de geometría - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

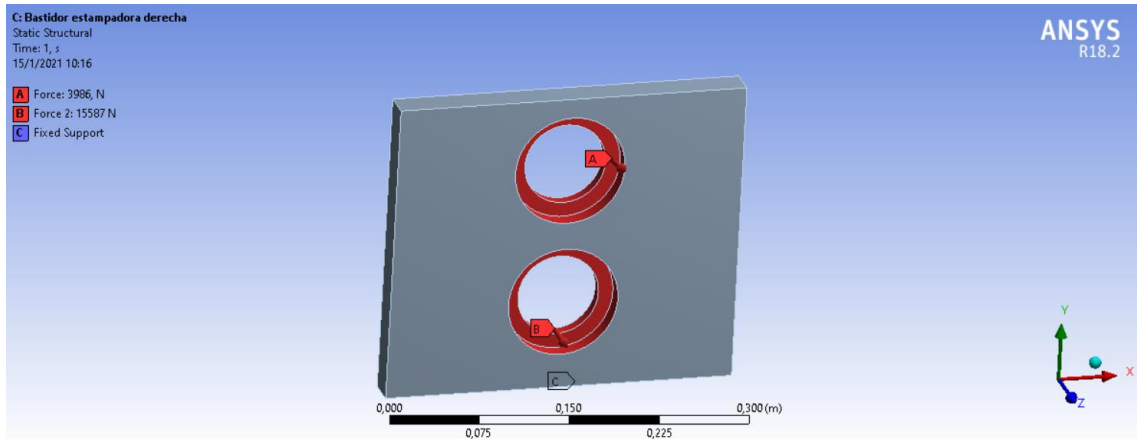


Figura 194-3: Cargas asignadas - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera soportes fijos en las secciones señaladas A y B.

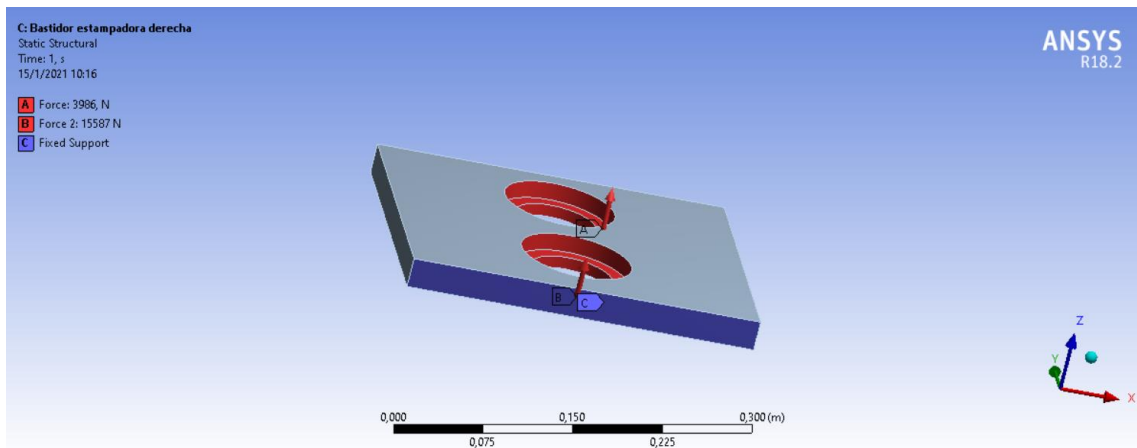


Figura 195-3: Soportes - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

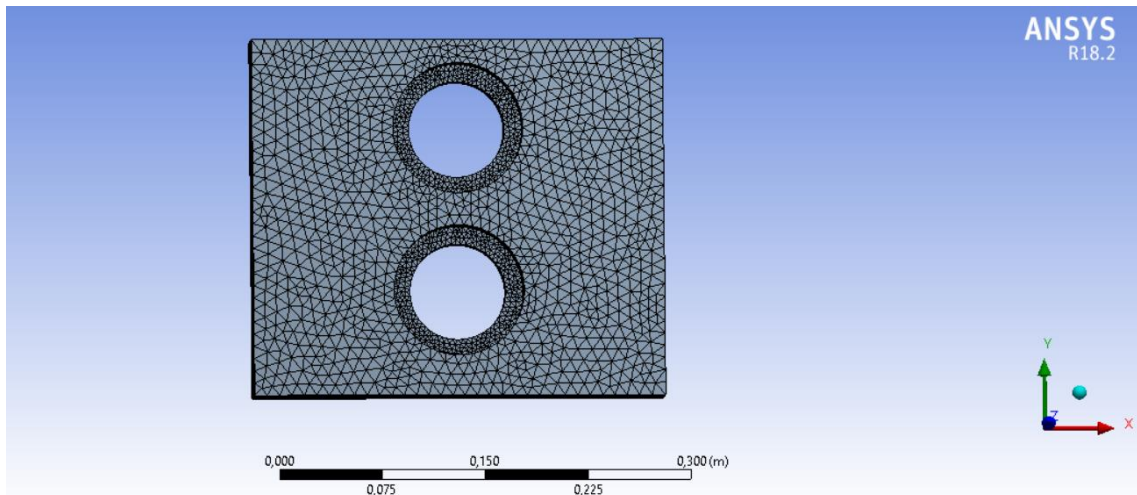


Figura 196-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

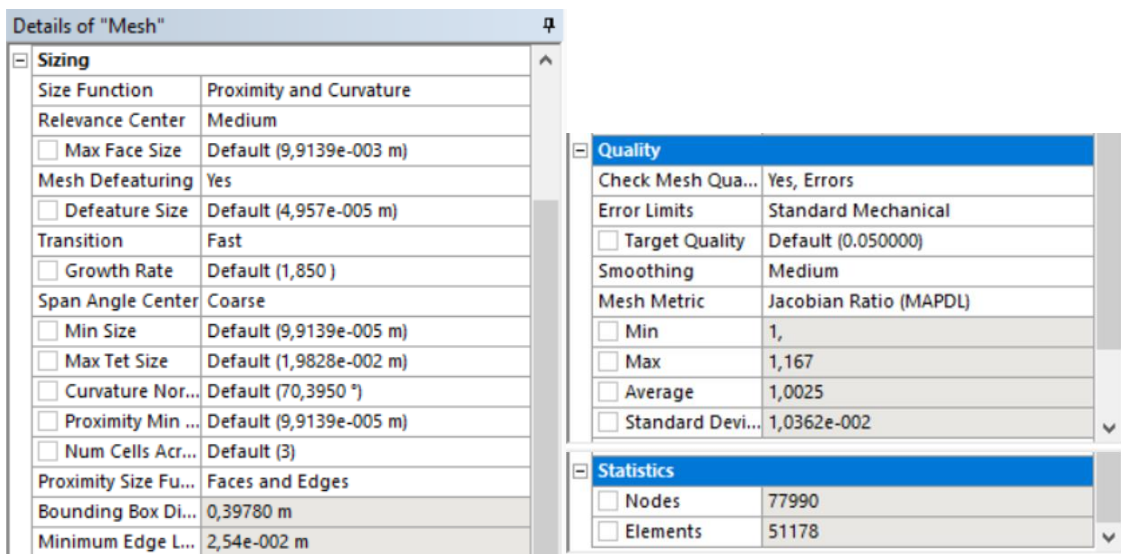


Figura 197-3: Detalles de malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 198-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0025, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta para este tipo de malla.

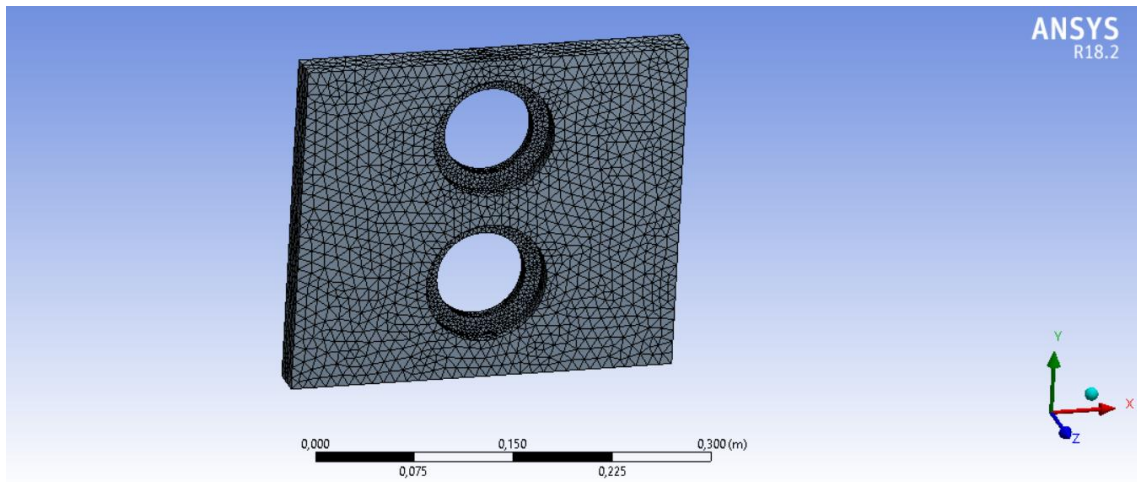


Figura 198-3: Malla Skewness - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

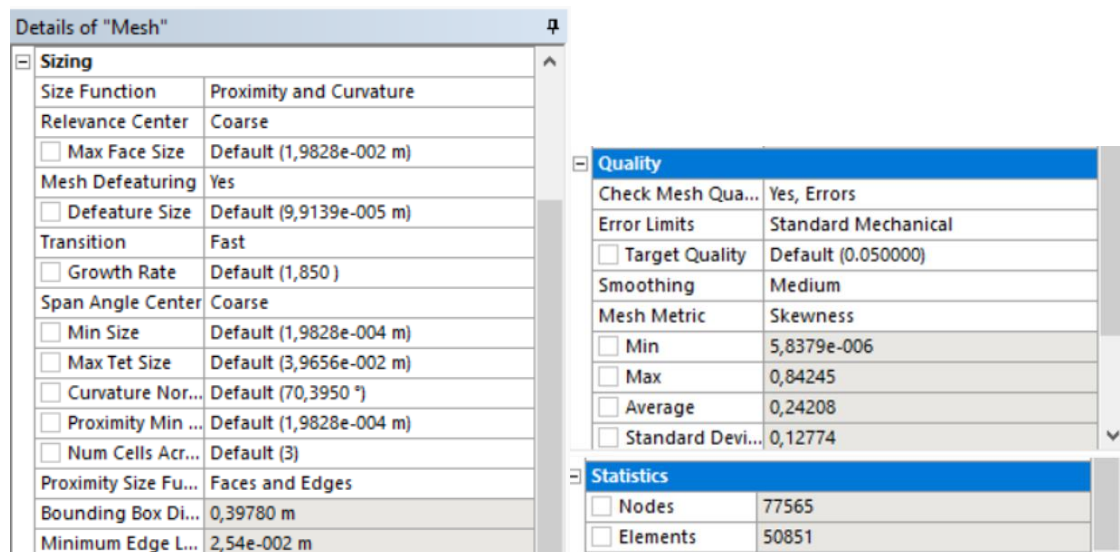


Figura 199-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.24208, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.16.2. Postproceso - Bastidor derecho del estampado

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio

Deformación

De acuerdo con la figura 200-3, se observa que la deformación máxima es de 0.40835 mm con la malla Jacobian Ratio.

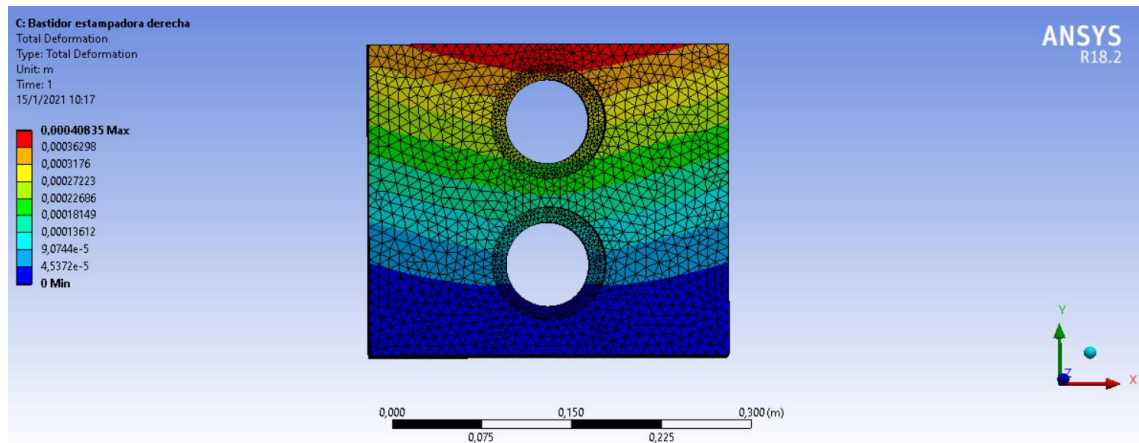


Figura 200-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida para la malla Jacobian Ratio fue de 0.0069183 mm, como se observa en la figura 201-3.

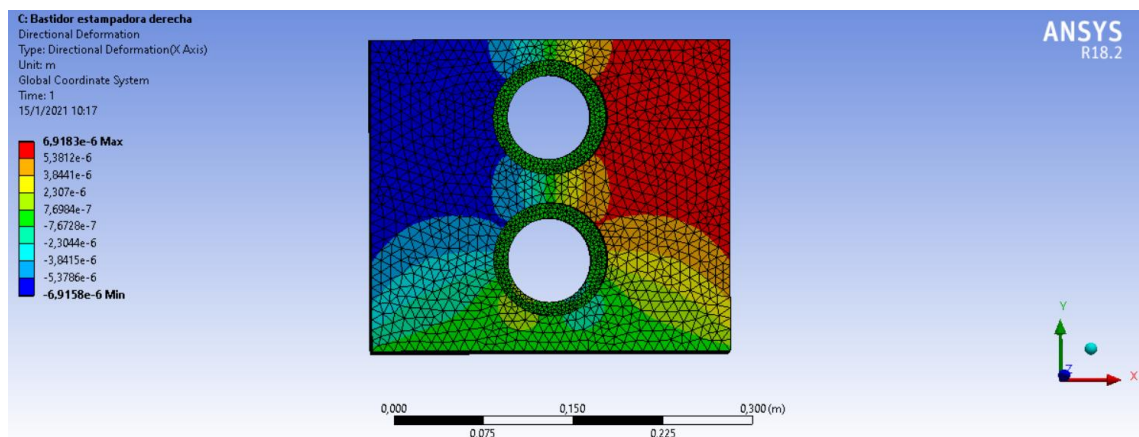


Figura 201-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian Ratio - bastidor derecho estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 202-3, con un valor de 65.582 MPa para la malla Jacobian Ratio.

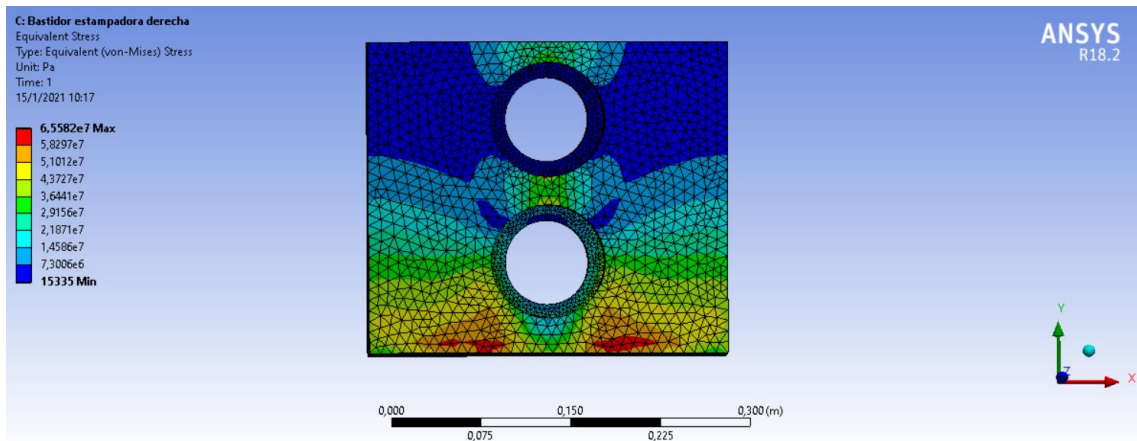


Figura 202-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor derecho estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 8.0814.

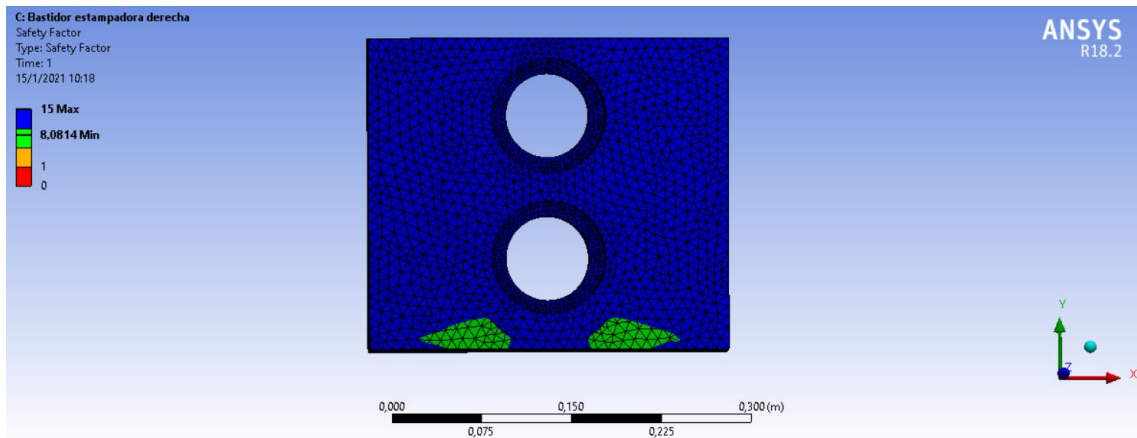


Figura 203-3: Factor de seguridad obtenido - Jacobian Ratio - bastidor derecho estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 204-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.40834 mm.

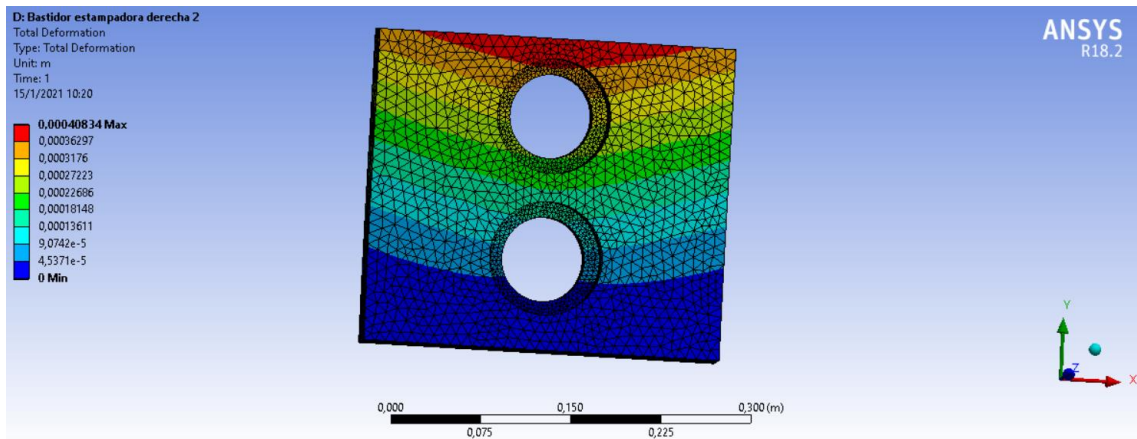


Figura 204-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0069184 mm para la malla Skewness, como se observa en la figura 205-3.

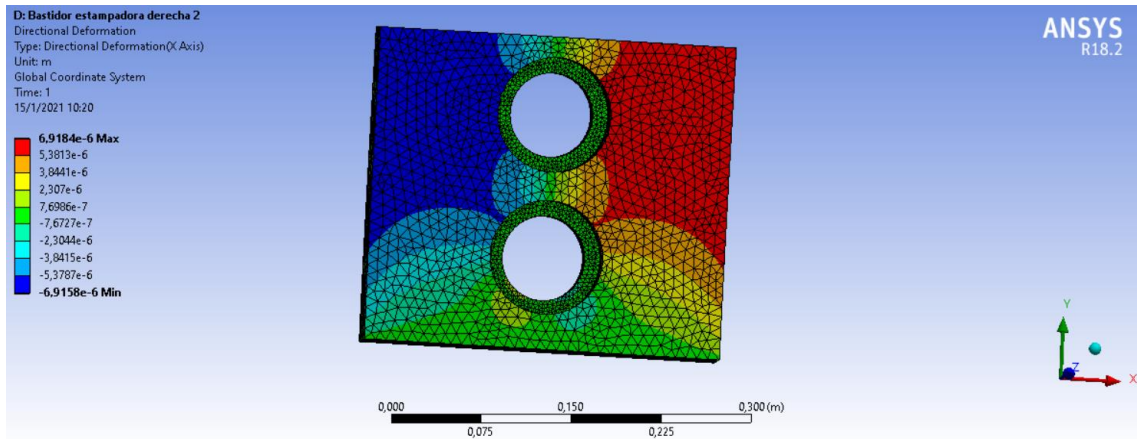


Figura 205-3: Resultado deformación unitaria - Skewness - bastidor derecho estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el bastidor derecho del estampado se muestra en la figura 206-3, con un valor de 65.834 MPa.

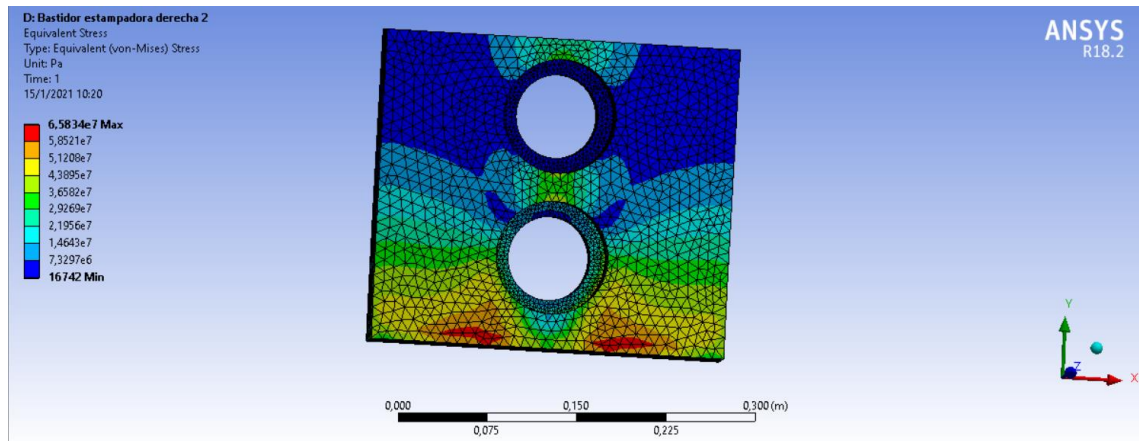


Figura 206-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 8.0506.

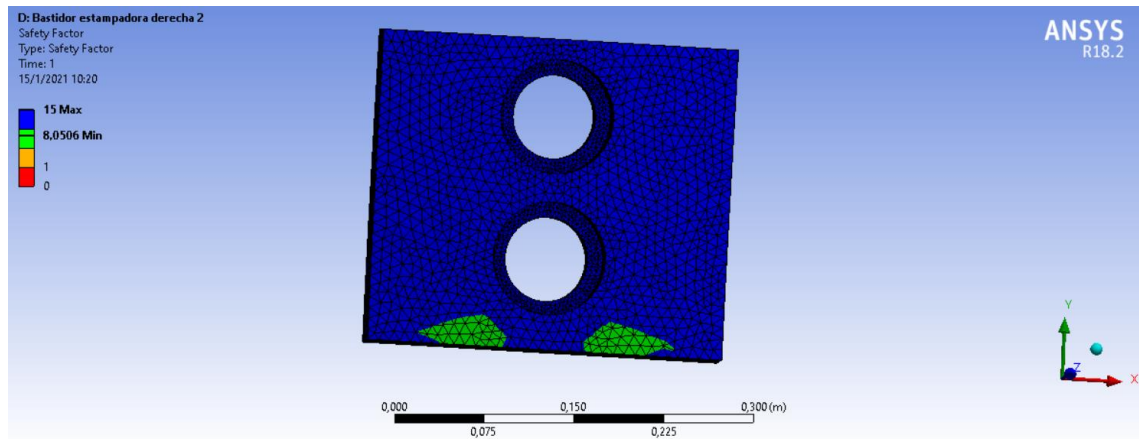


Figura 207-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor derecho de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.16.3. Análisis de resultados del bastidor derecho de estampado

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el bastidor derecho de estampado:

Tabla 21-4: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor derecho de estampado.

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	77565	0.40835	0.0069183	65.582	8.0814
2	Skewness	77990	0.40834	0.0069184	65.834	8.0506

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del bastidor varía entre 0.40834 y 0.40835 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.17. Validación mediante ANSYS – Bastidor izquierdo de estampado

3.6.17.1. Preproceso - Bastidor izquierdo del estampado

Material

Para el bastidor izquierdo del laminado, se consideró un acero AISI 1045 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

Properties of Outline Row 3: Acero 1045				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	530	MPa	
25	Compressive Yield Strength	530	MPa	
26	Tensile Ultimate Strength	625	MPa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

Figura 208-3: Propiedades del acero AISI 1045 - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 209-3, se muestra la geometría del bastidor izquierdo de estampado, la cual fue realizada en SolidWorks.

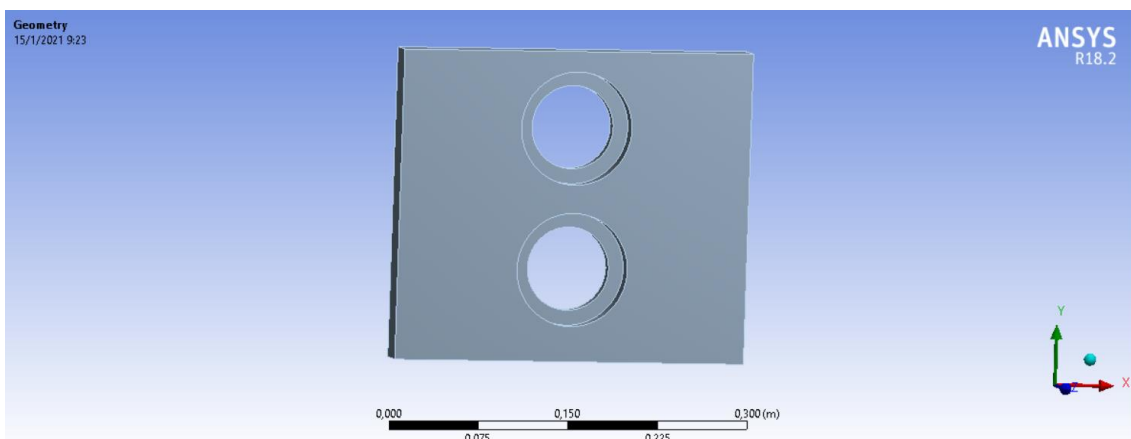


Figura 209-3: Definición de geometría - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

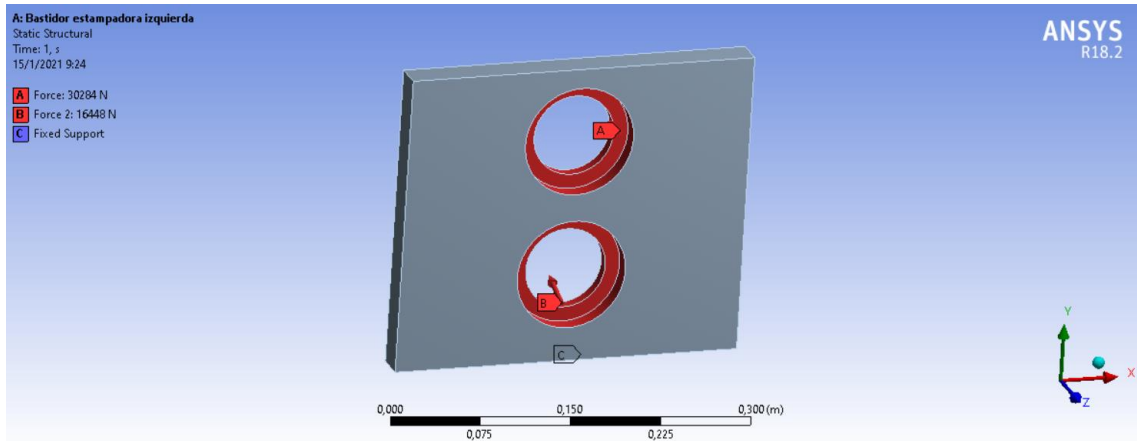


Figura 210-3: Cargas asignadas - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera soportes fijos en las secciones señaladas A y B.

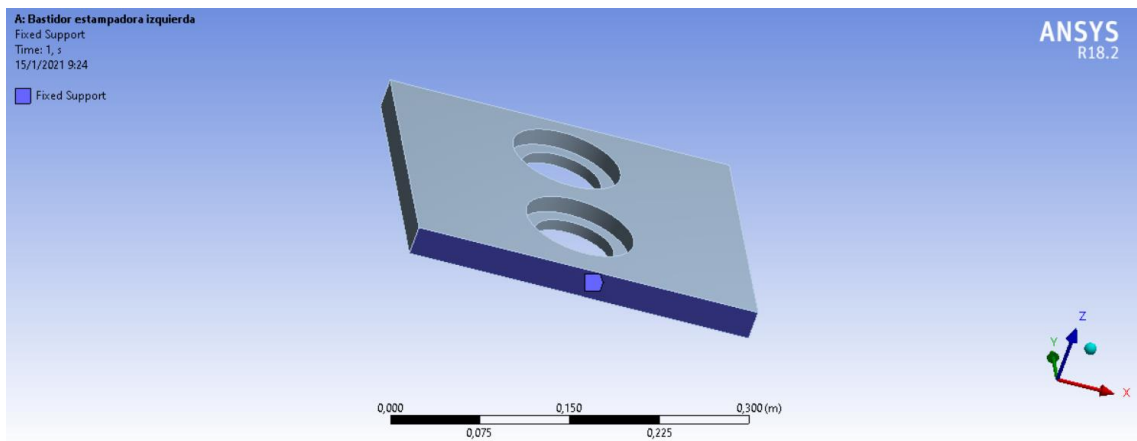


Figura 211-3: Soportes - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

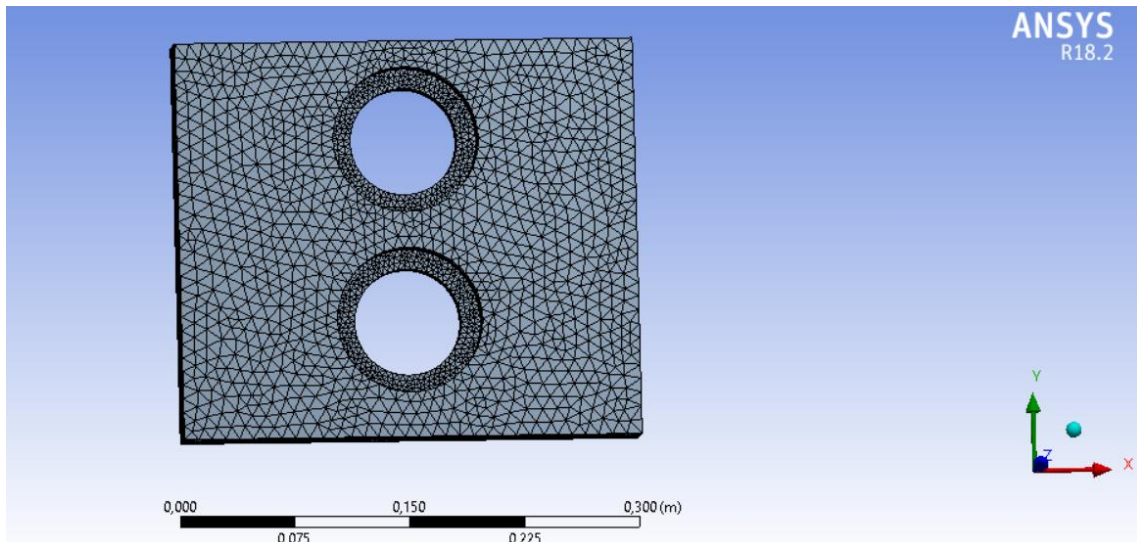


Figura 212-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

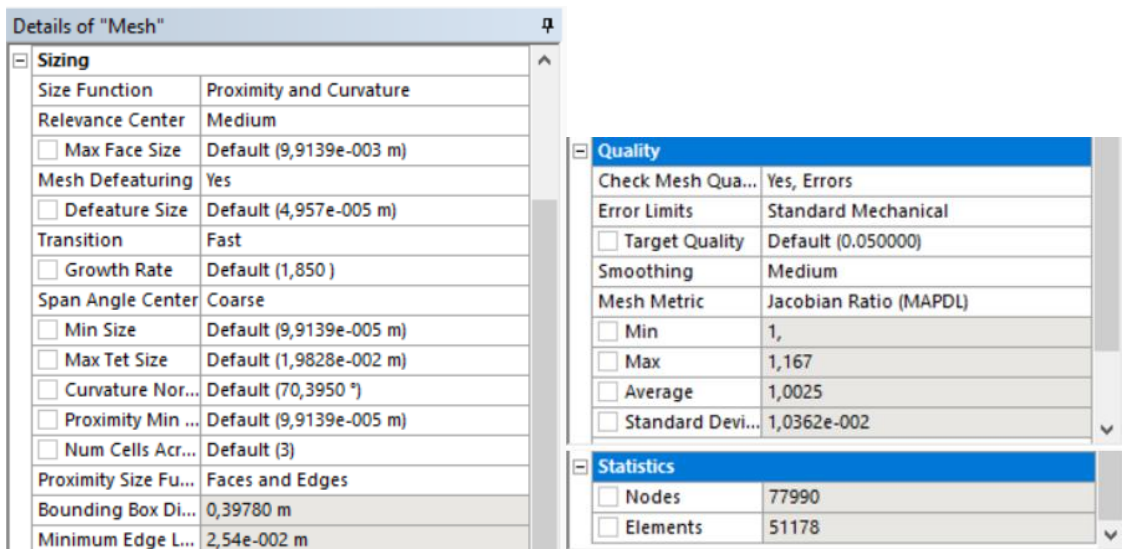


Figura 213-3: Detalles de malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 213-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0025, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta para este tipo de malla.

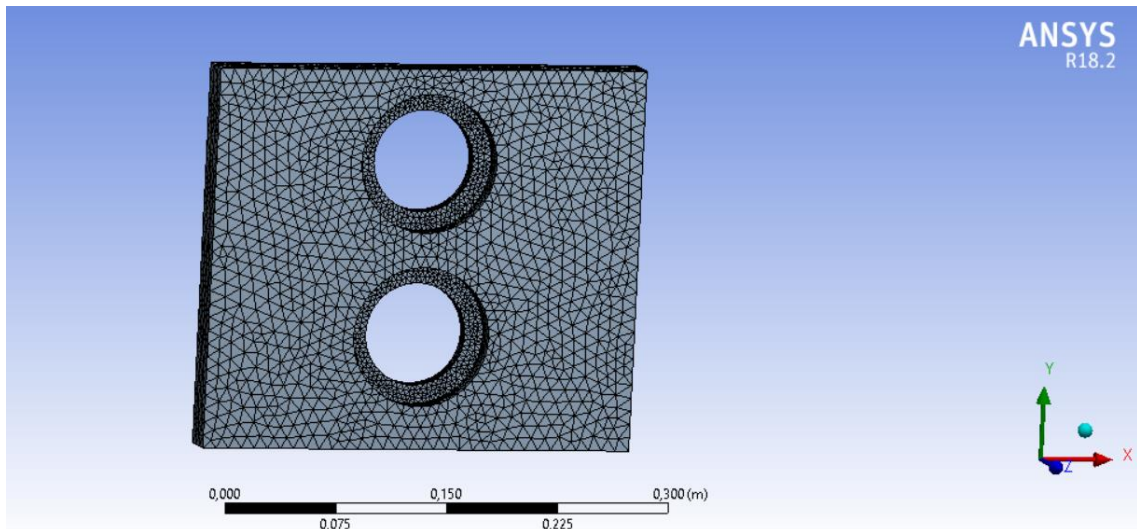


Figura 214-3: Malla Skewness - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

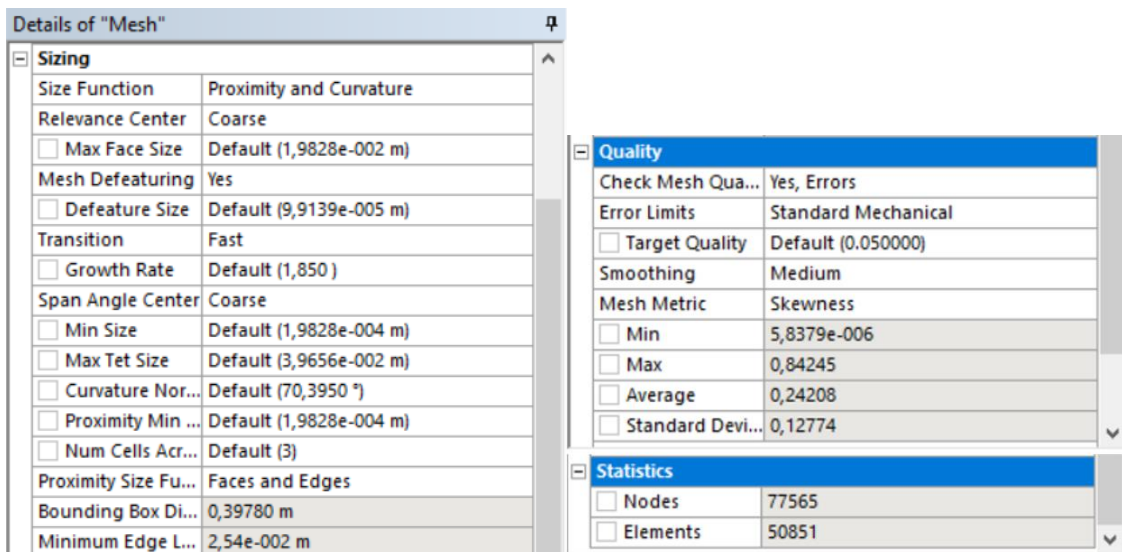


Figura 215-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.24208, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.17.2. Postproceso - Bastidor izquierdo de estampado

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio

Deformación

De acuerdo con la figura 200-3, se observa que la deformación máxima es de 1.94456 mm con la malla Jacobian Ratio.

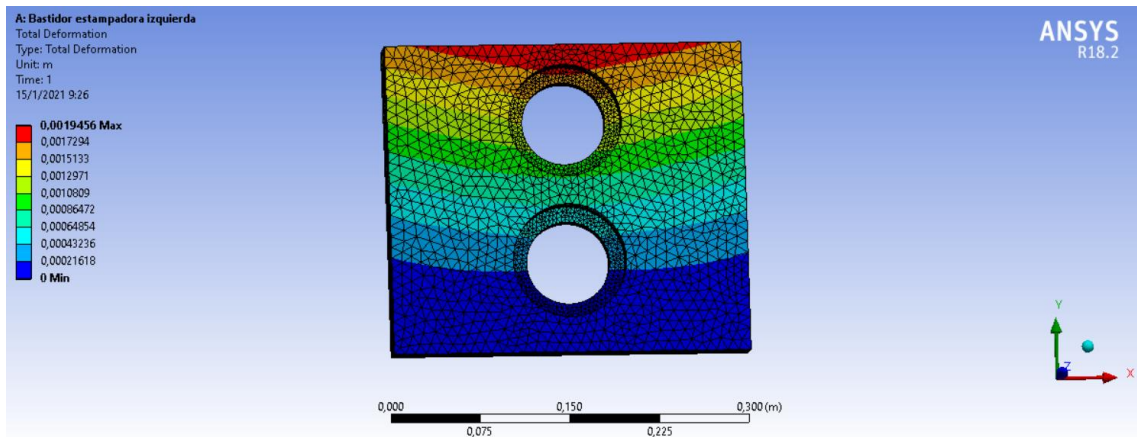


Figura 216-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida para la malla Jacobian Ratio fue de 0.028723 mm, como se observa en la figura 217-3.

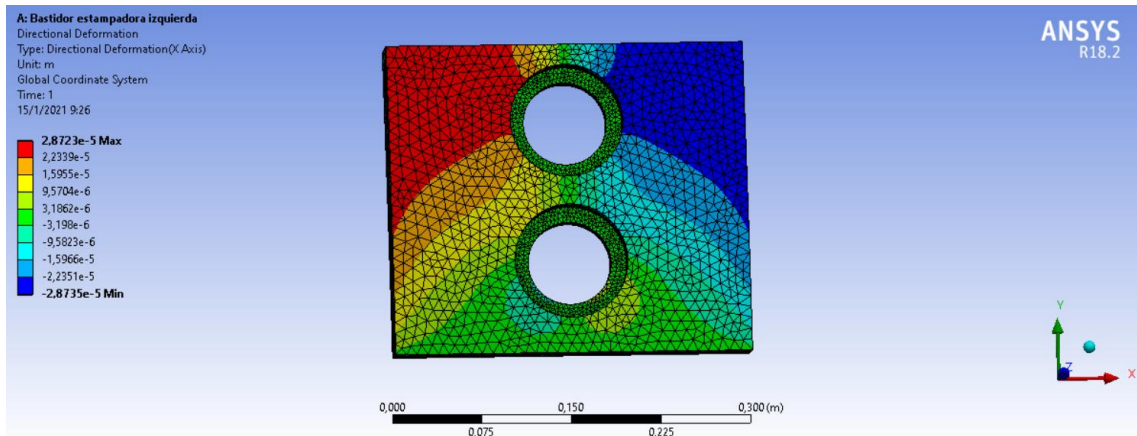


Figura 217-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian - bastidor izquierdo estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 202-3, con un valor de 2489.61 MPa para la malla Jacobian Ratio.

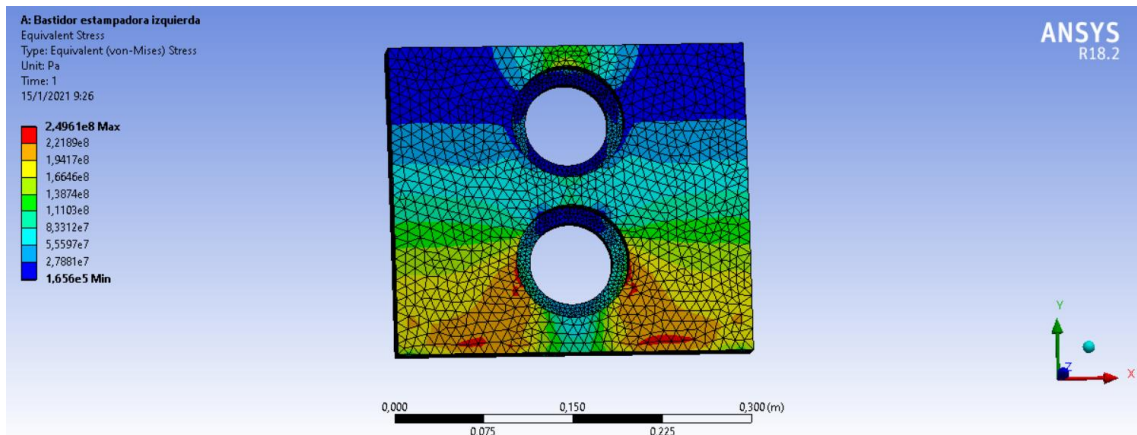


Figura 218-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 2.1234.

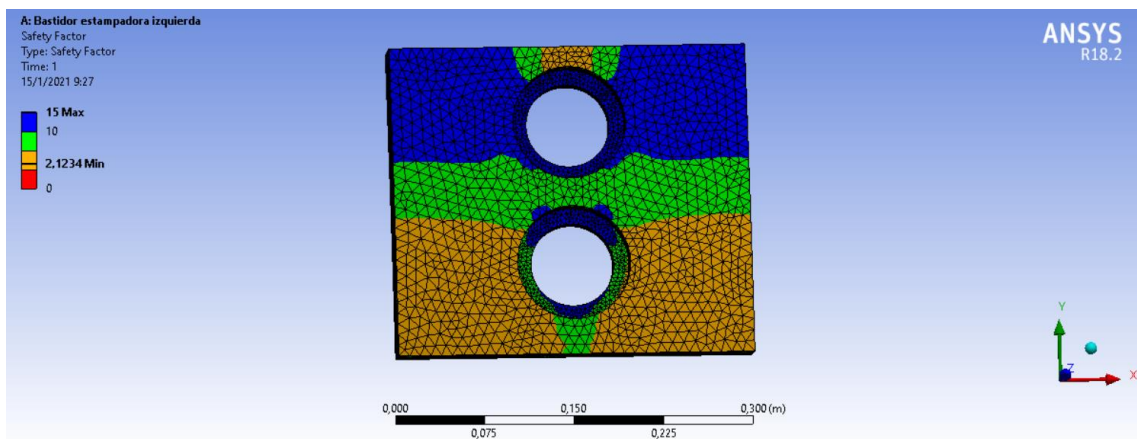


Figura 219-3: Factor de seguridad obtenido - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 220-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 1.9456 mm.

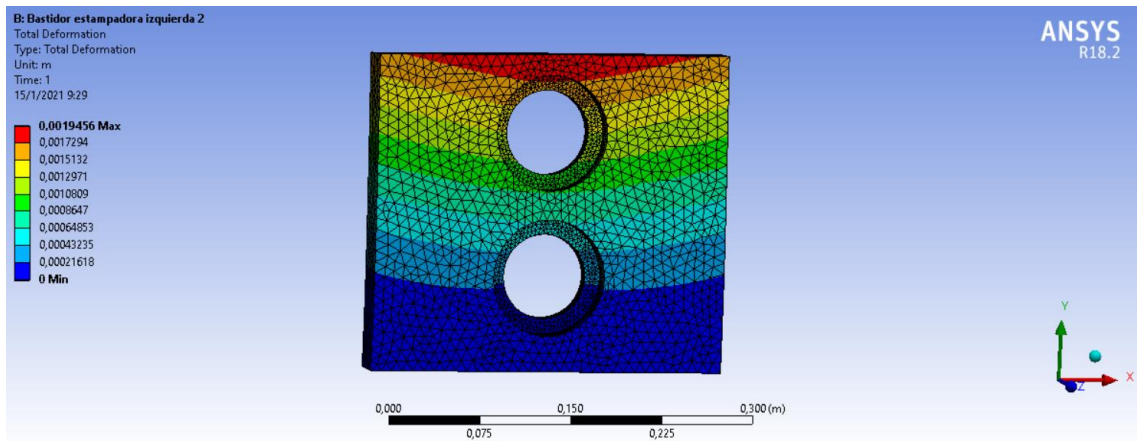


Figura 220-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.028723 mm para la malla Skewness, como se observa en la figura 221-3.

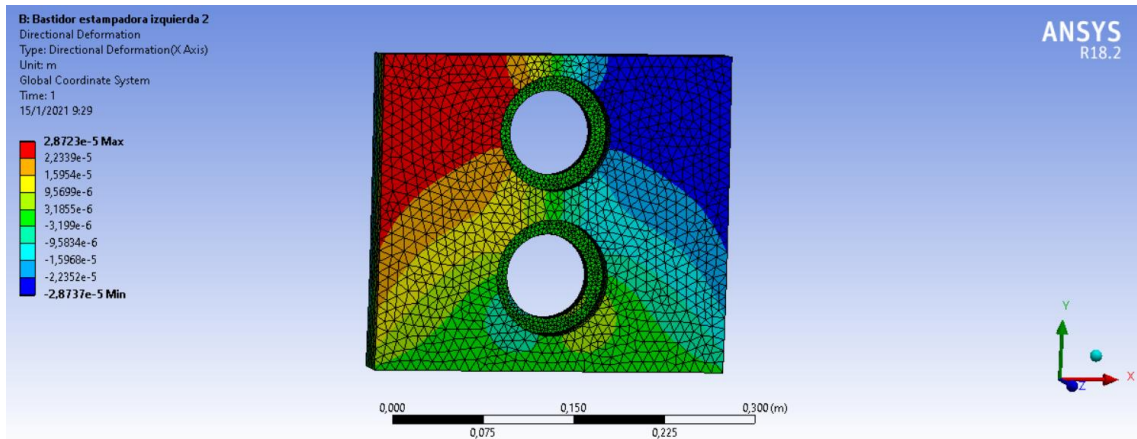


Figura 221-3: Resultado deformación unitaria - Skewness - bastidor izquierdo estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el bastidor izquierdo de estampado se muestra en la figura 222-3, con un valor de 249.67 MPa.

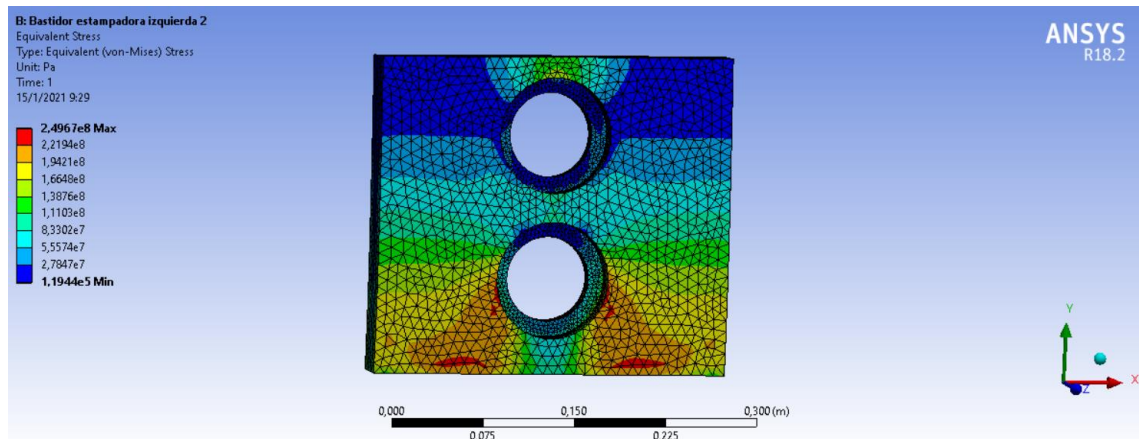


Figura 222-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 2.1228.

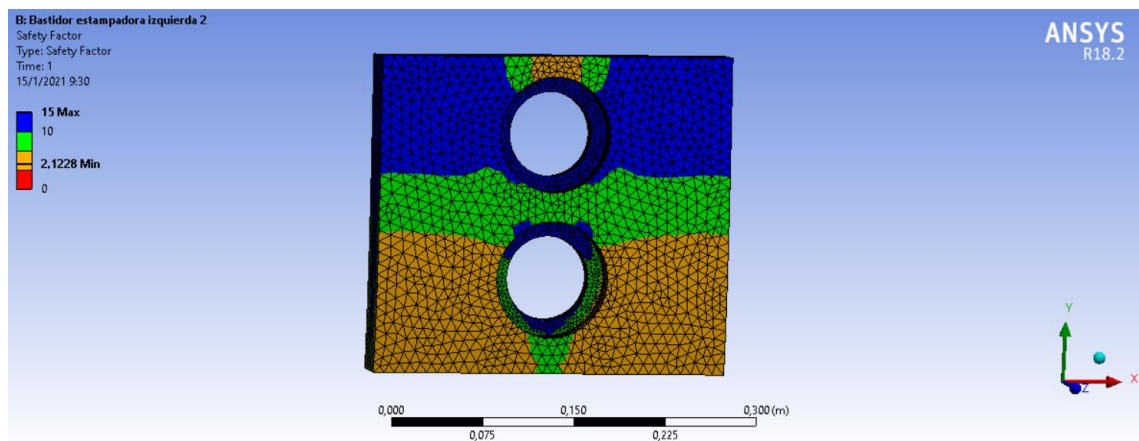


Figura 223-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor izquierdo de estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.17.3. Análisis de resultados del bastidor izquierdo de estampado

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el bastidor izquierdo del estampado:

Tabla 22-4: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor izquierdo de estampado.

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	77565	1.9456	0.028723	249.61	2.1234
2	Skewness	77990	1.9456	0.028723	249.67	2.1228

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del bastidor izquierdo del estampado resulta 1.9456 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.18. Validación mediante ANSYS – Bastidor derecho de corte

3.6.18.1. Preproceso - Bastidor derecho de corte

Material

Para el bastidor derecho de corte, se consideró un acero AISI 1020 como material para el diseño.

A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Figura 224-3: Propiedades del acero AISI 1020 - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 225-3, se muestra la geometría del bastidor derecho de corte, la cual fue realizada en SolidWorks.

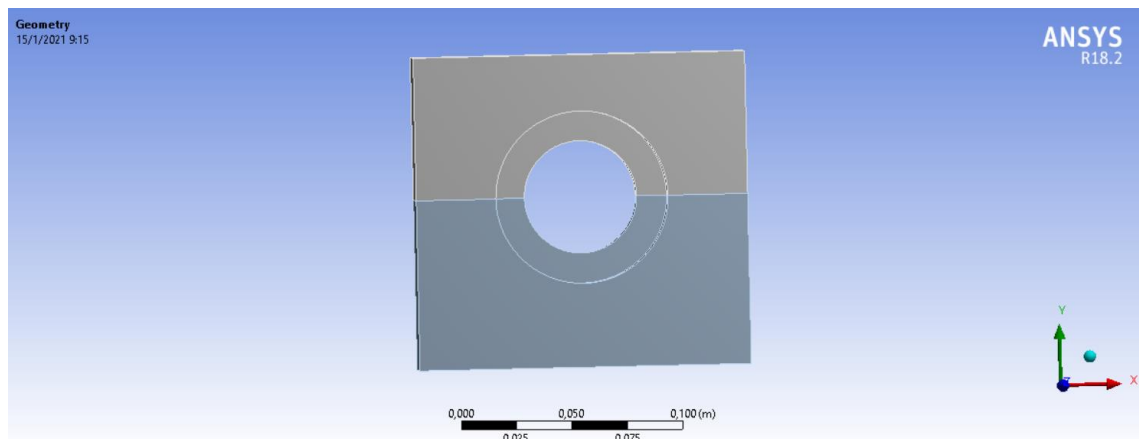


Figura 225-3: Definición de geometría - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

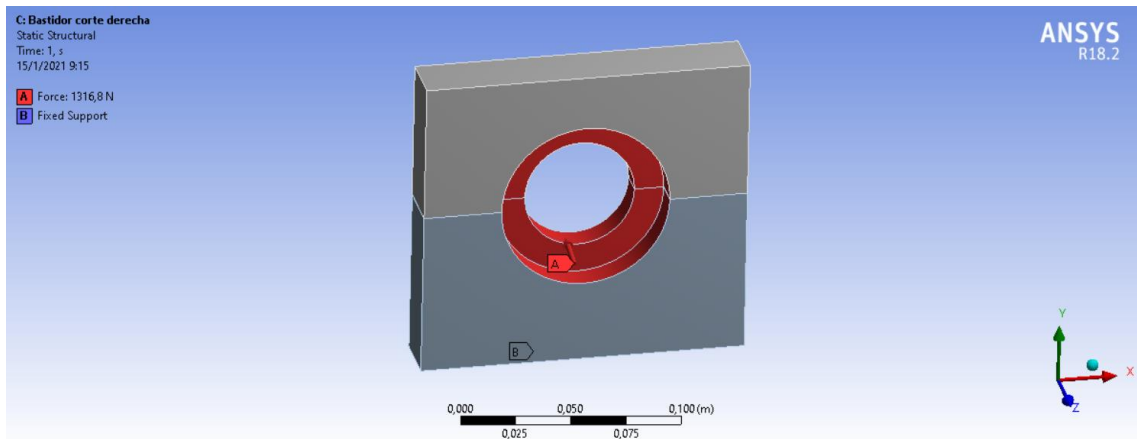


Figura 226-3: Cargas asignadas - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera soportes fijos en las secciones señaladas A y B.

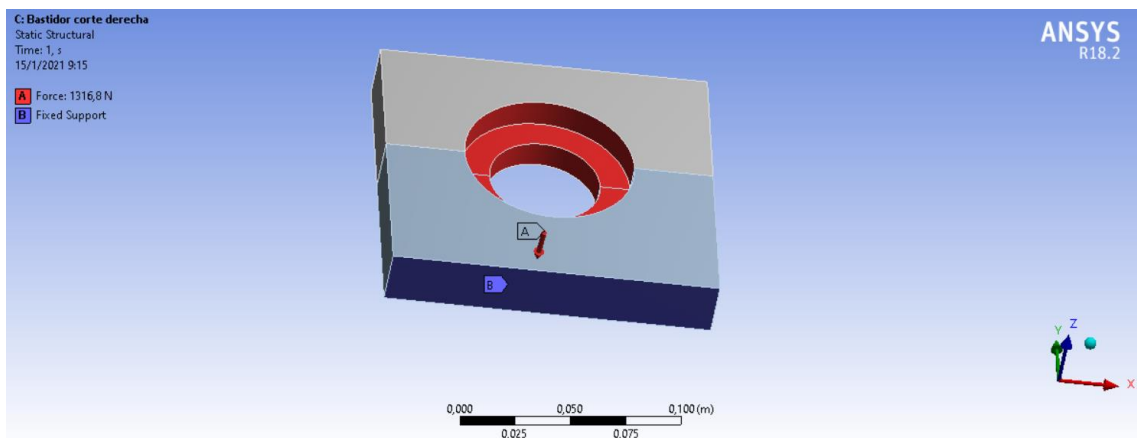


Figura 227-3: Soportes - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

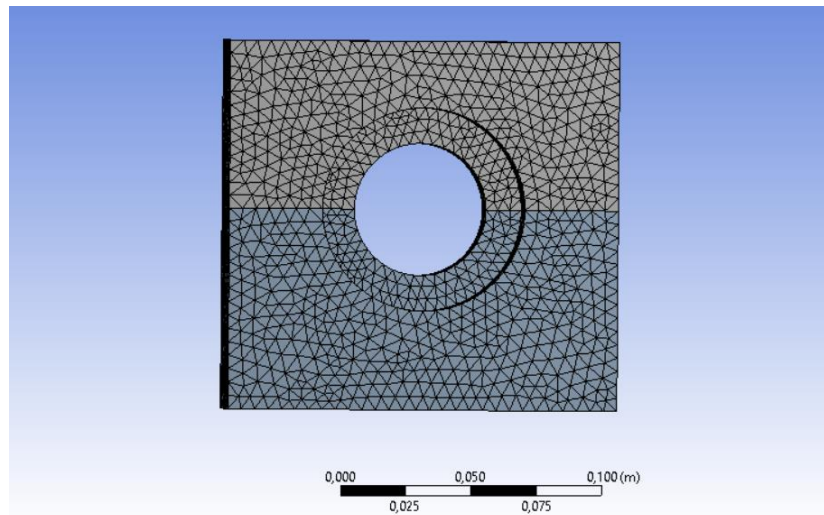


Figura 228-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

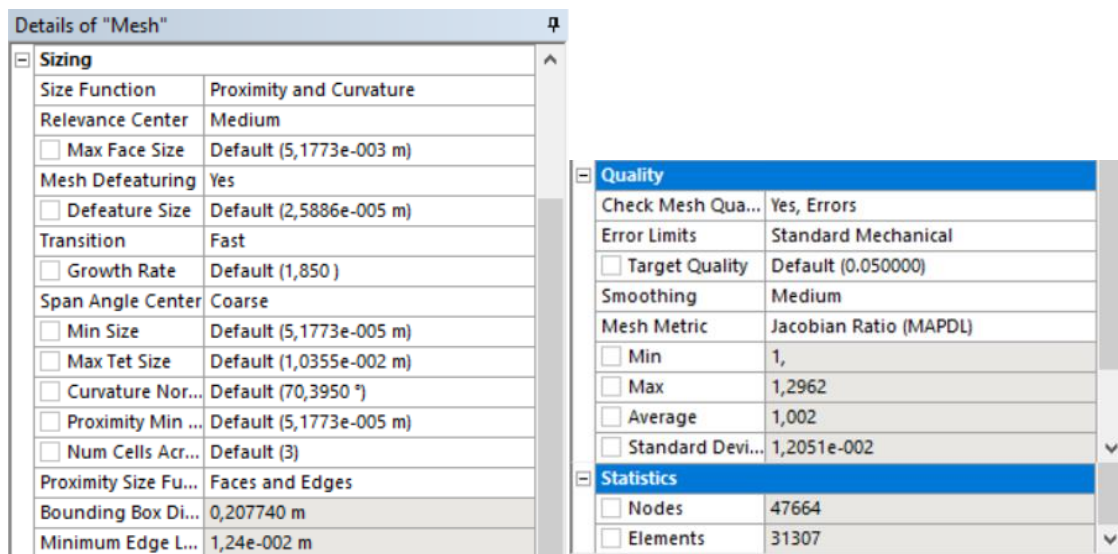


Figura 229-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 229-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.002, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta para este tipo de malla.

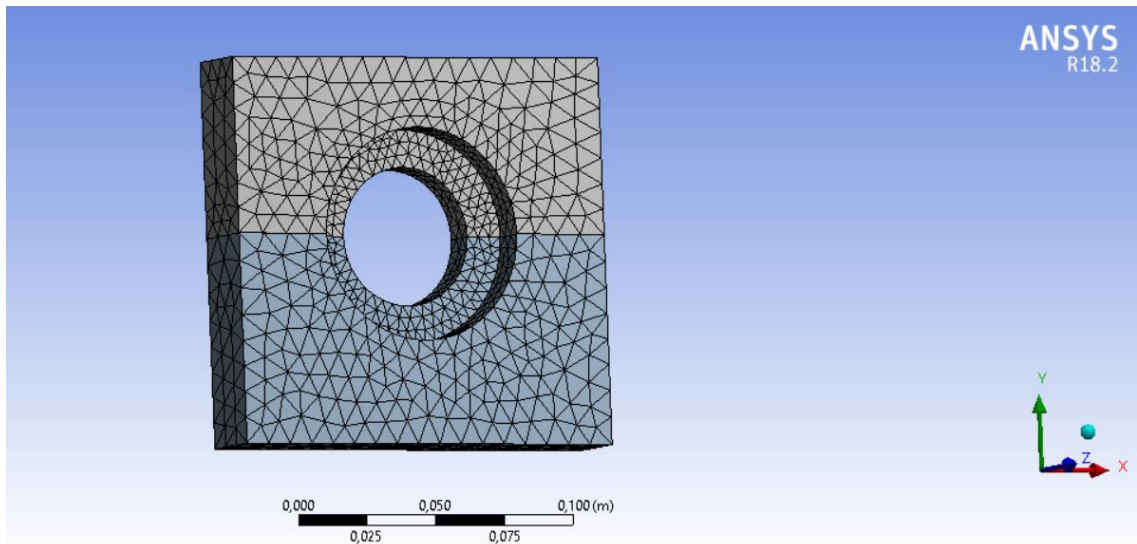


Figura 230-3: Malla Skewness - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

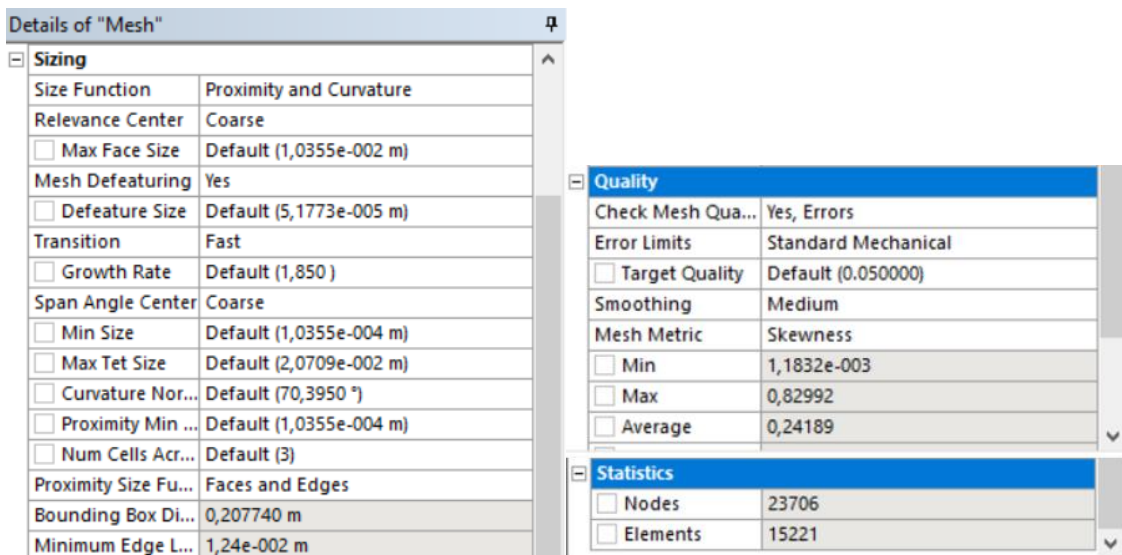


Figura 231-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.24189, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.18.2. Postproceso - Bastidor derecho de corte

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio

Deformación

De acuerdo con la figura 232-3, se observa que la deformación máxima es de 0.01435 mm con la malla Jacobian Ratio.

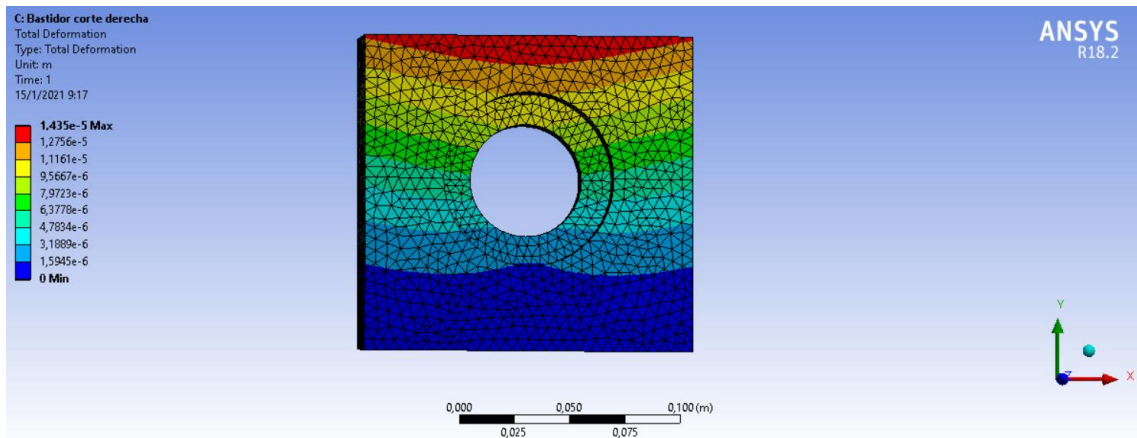


Figura 232-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida para la malla Jacobian Ratio fue de 0.00039587 mm, como se observa en la figura 233-3.

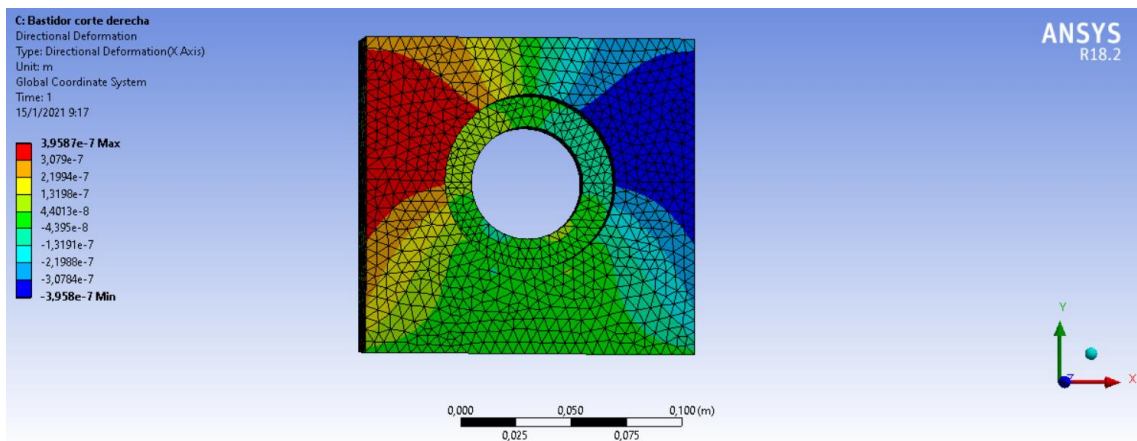


Figura 233-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian Ratio - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 234-3, con un valor de 6.036 MPa para la malla Jacobian Ratio.

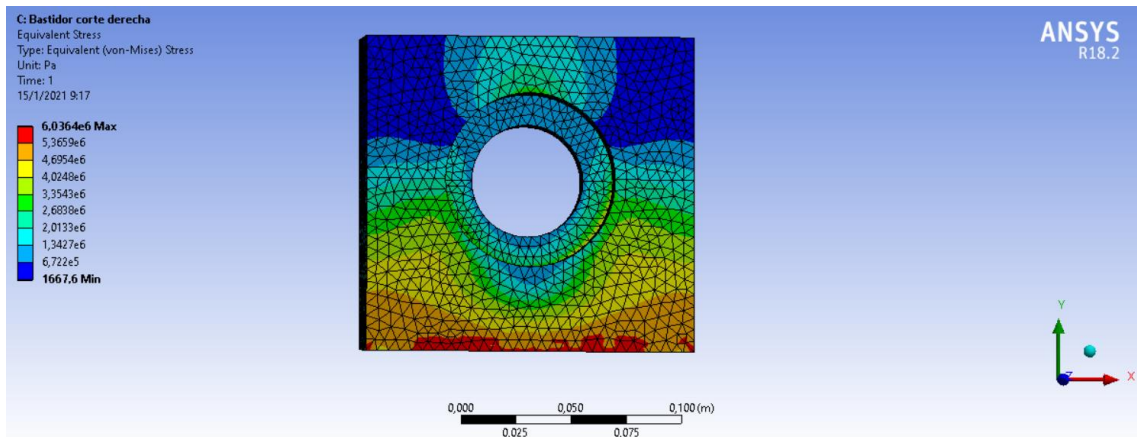


Figura 234-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 15.

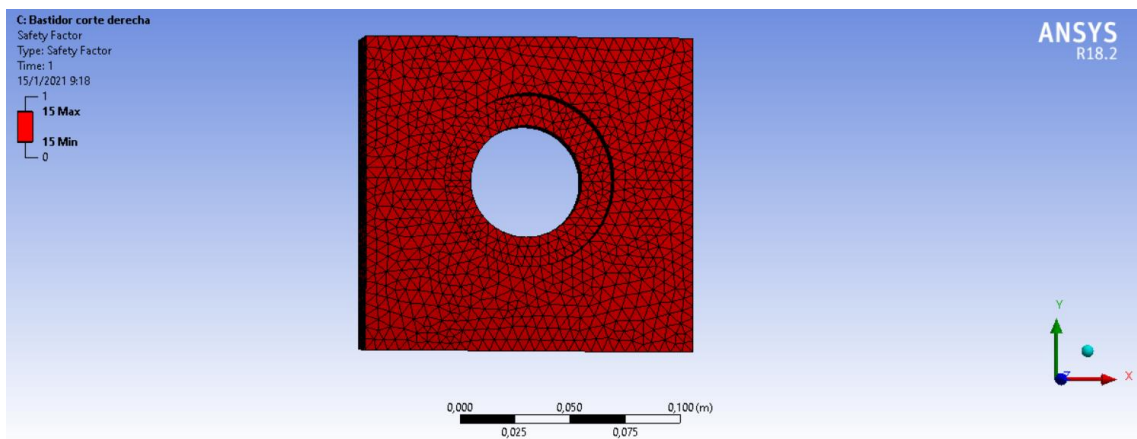


Figura 235-3: Factor de seguridad obtenido - Jacobian Ratio - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 236-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.014333 mm.

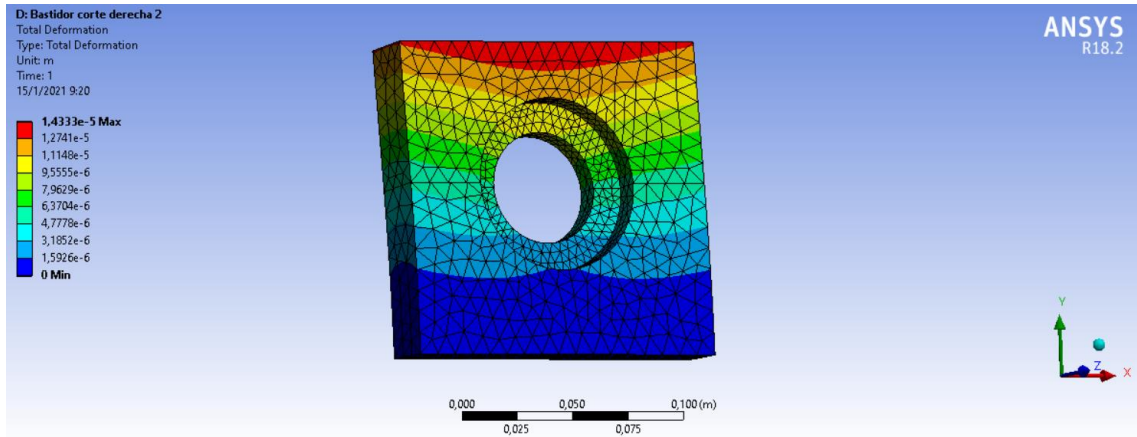


Figura 236-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.00039549 mm para la malla Skewness, como se observa en la figura 237-3.

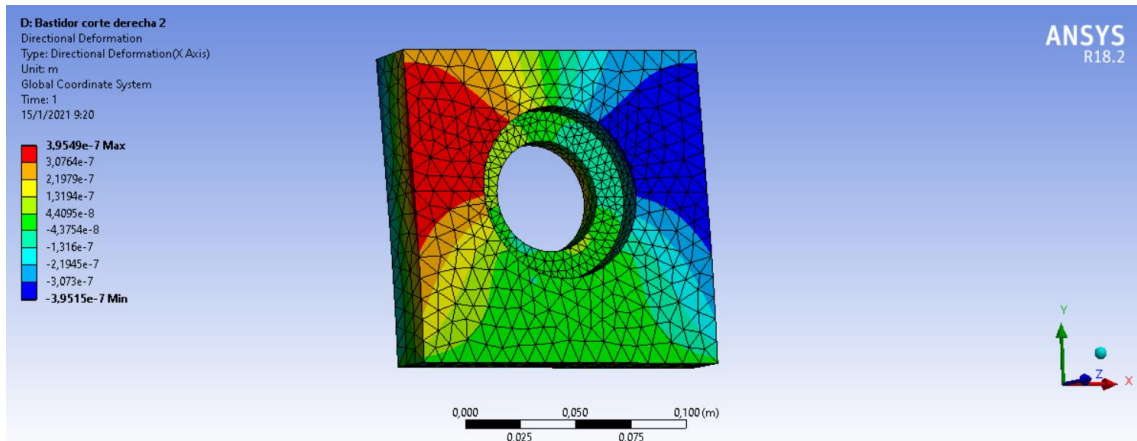


Figura 237-3: Resultado de deformación unitaria - Skewness - bastidor derecho estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el bastidor derecho del estampado se muestra en la figura 238-3, con un valor de 5.5498 MPa.

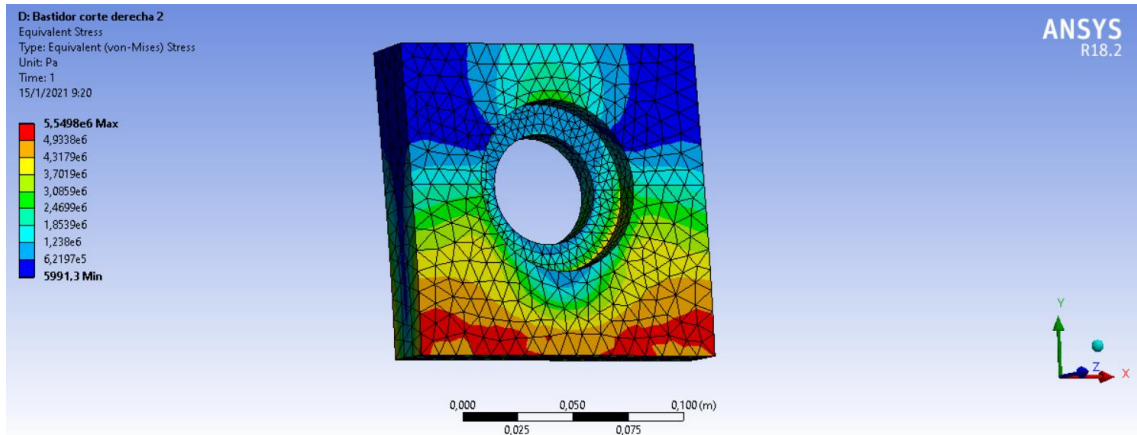


Figura 238-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor derecho del estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 15.

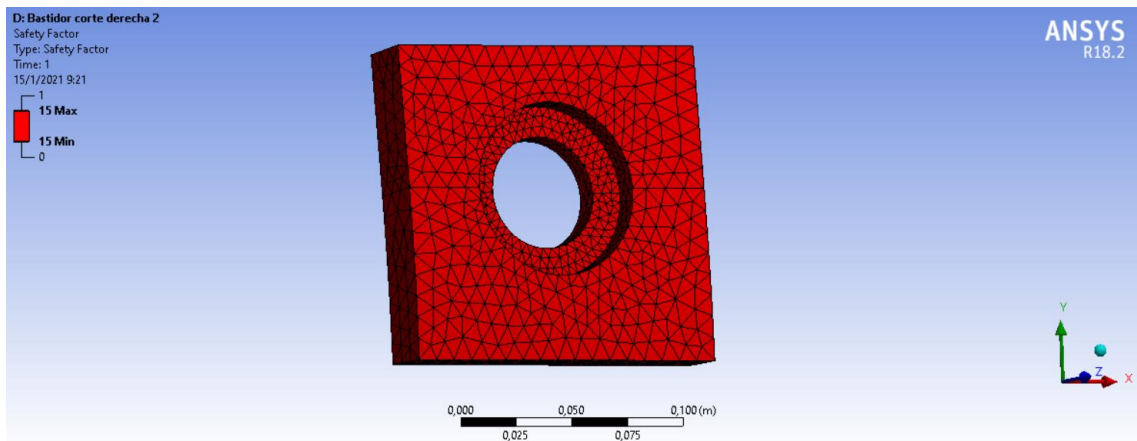


Figura 239-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor derecho de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.18.3. Análisis de resultados del bastidor derecho de corte

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el bastidor derecho de corte:

Tabla 23-4: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor derecho de corte.

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	47664	0.01435	0.00039587	6.0364	15
2	Skewness	23706	0.014333	0.00039549	5.5498	15

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del bastidor varía entre 0.014333 y 0.01435 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.19. Validación mediante ANSYS – Bastidor izquierdo de corte

3.6.19.1. Preproceso - Bastidor izquierdo de corte

Material

Para el bastidor izquierdo de corte, se consideró un acero AISI 1020 como material para el diseño.

A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

Properties of Outline Row 3: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Figura 240-3: Propiedades del acero AISI 1020 - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 241-3, se muestra la geometría del bastidor izquierdo de corte, la cual fue realizada en SolidWorks.

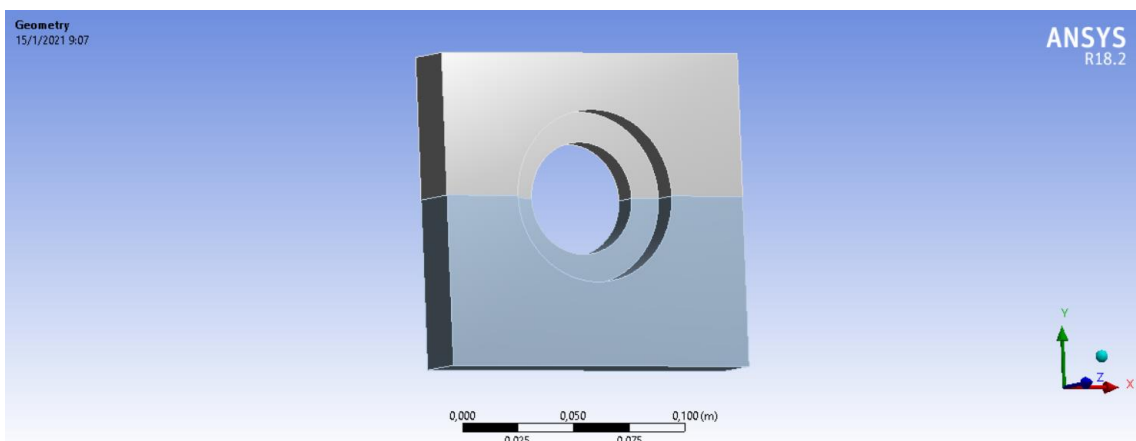


Figura 241-3: Definición de geometría - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

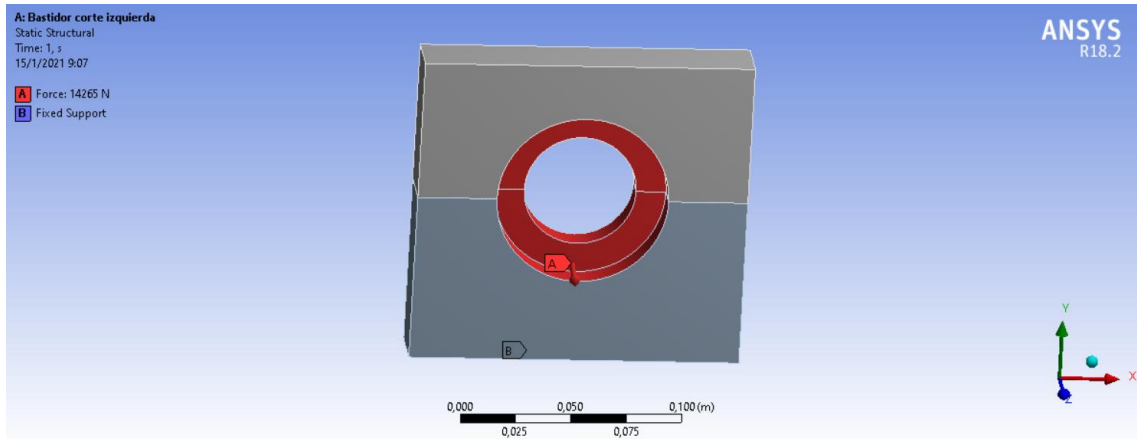


Figura 242-3: Cargas asignadas - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera soportes fijos en las secciones señaladas A y B.

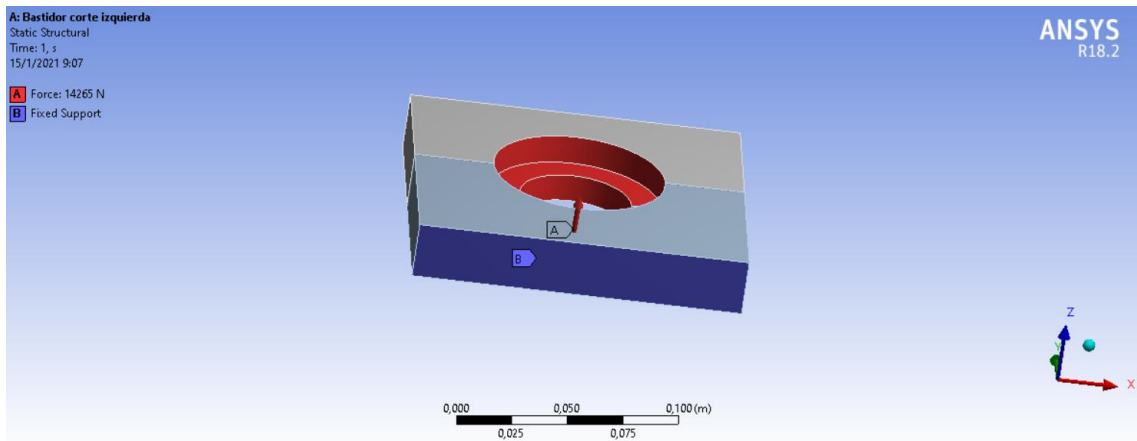


Figura 243-3: Soportes - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

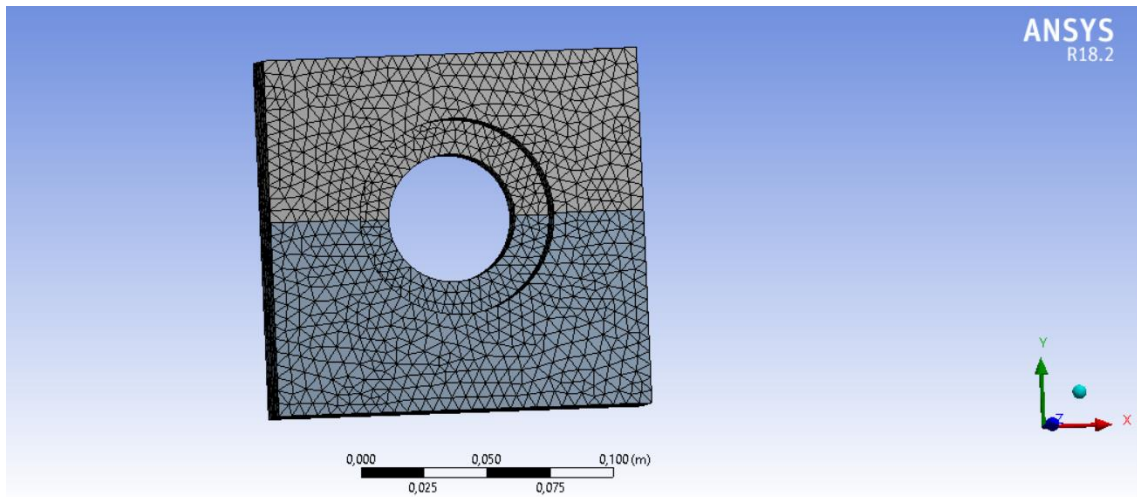


Figura 244-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

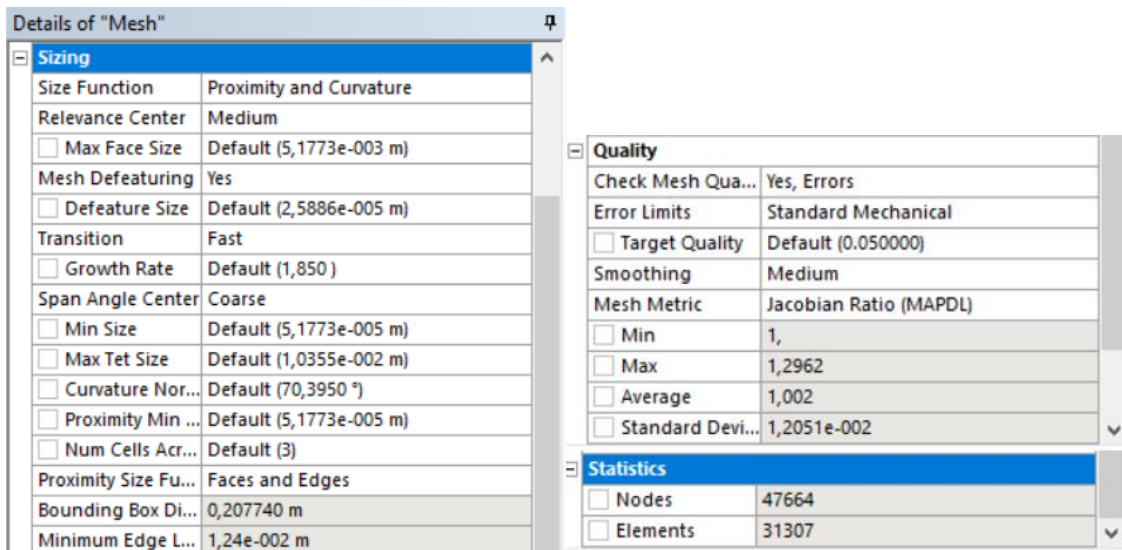


Figura 245-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 165-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.002, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta para este tipo de malla.

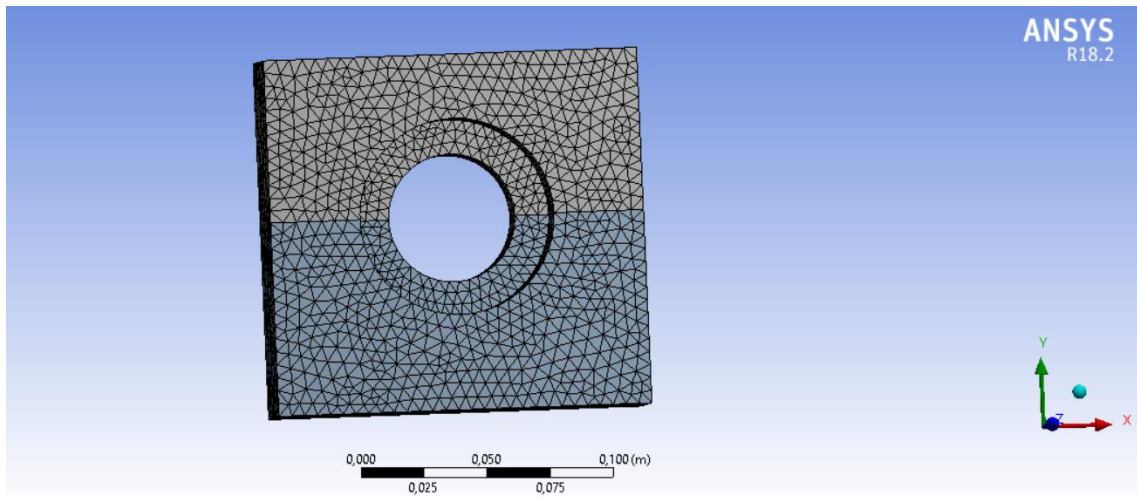


Figura 246-3: Malla Skewness - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

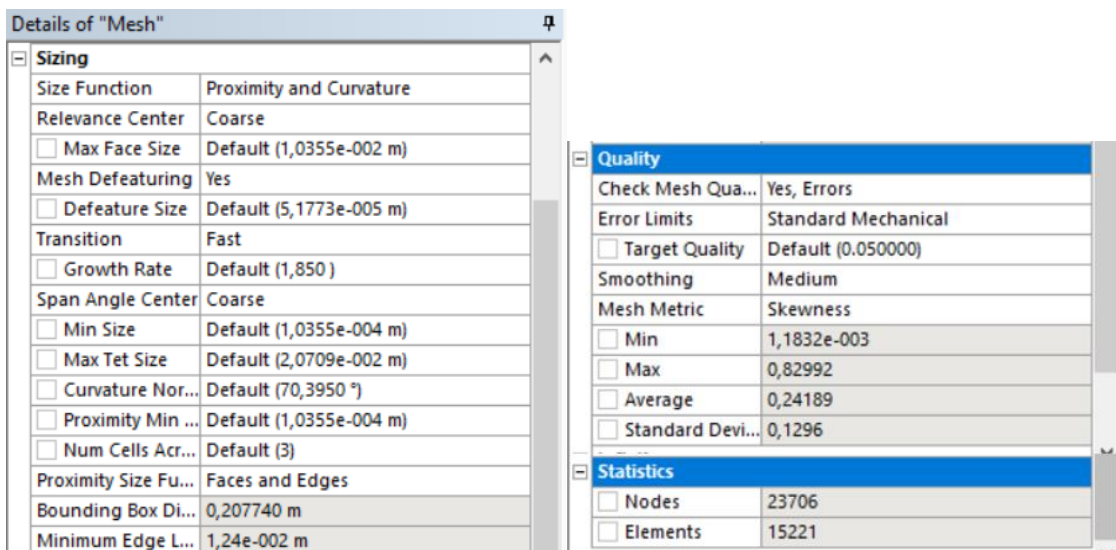


Figura 247-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor izquierdo de corte.

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.24189, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.19.2. Postproceso - Bastidor izquierdo de corte

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio

Deformación

De acuerdo con la figura 248-3, se observa que la deformación máxima es de 0.15556 mm con la malla Jacobian Ratio.

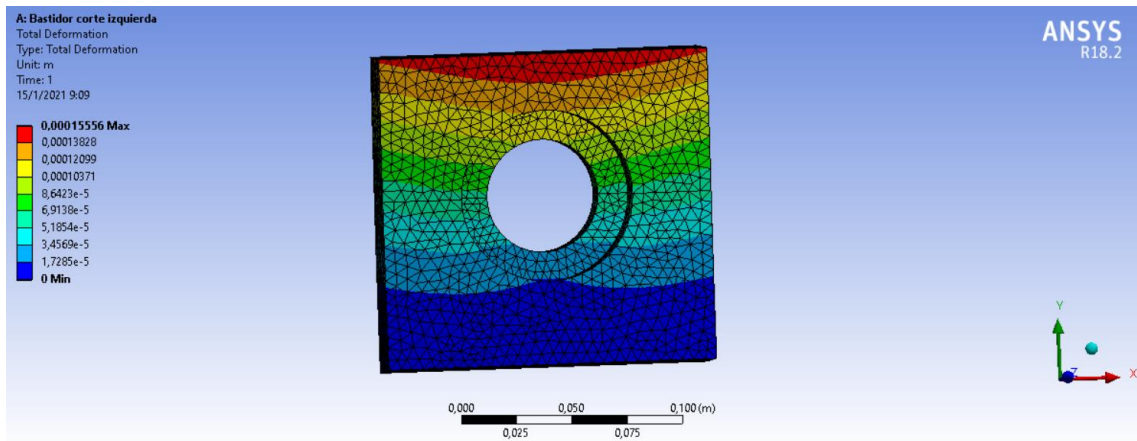


Figura 248-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida para la malla Jacobian Ratio fue de 0.0042877 mm, como se observa en la figura 249-3.

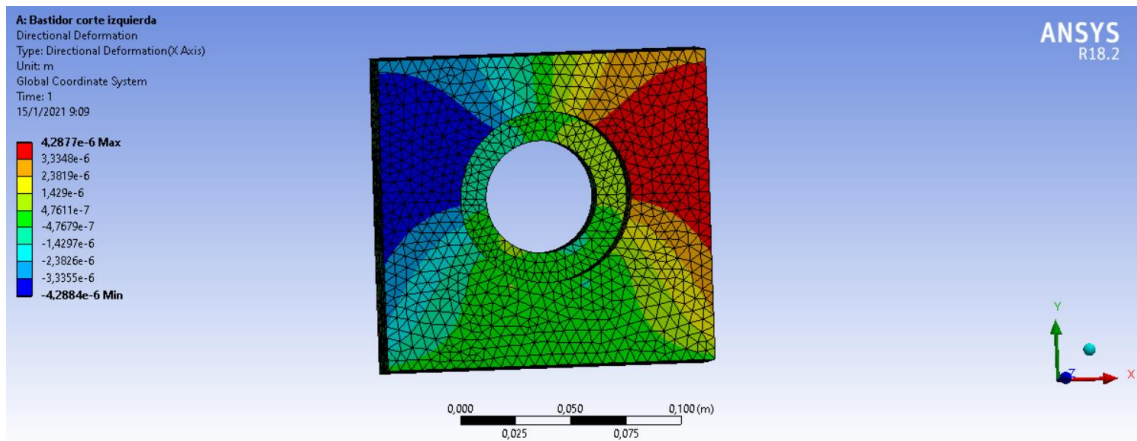


Figura 249-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 250-3, con un valor de 65.43 MPa para la malla Jacobian Ratio.

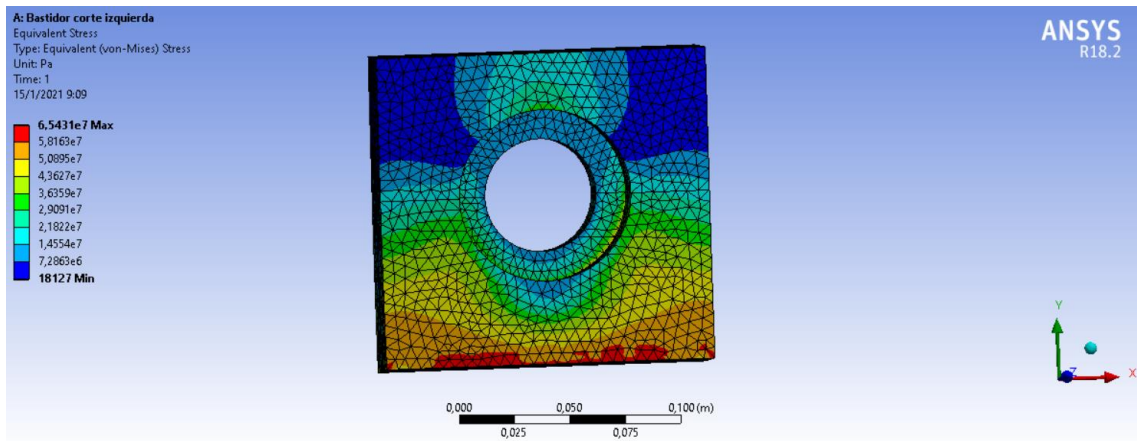


Figura 250-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 3.8208.

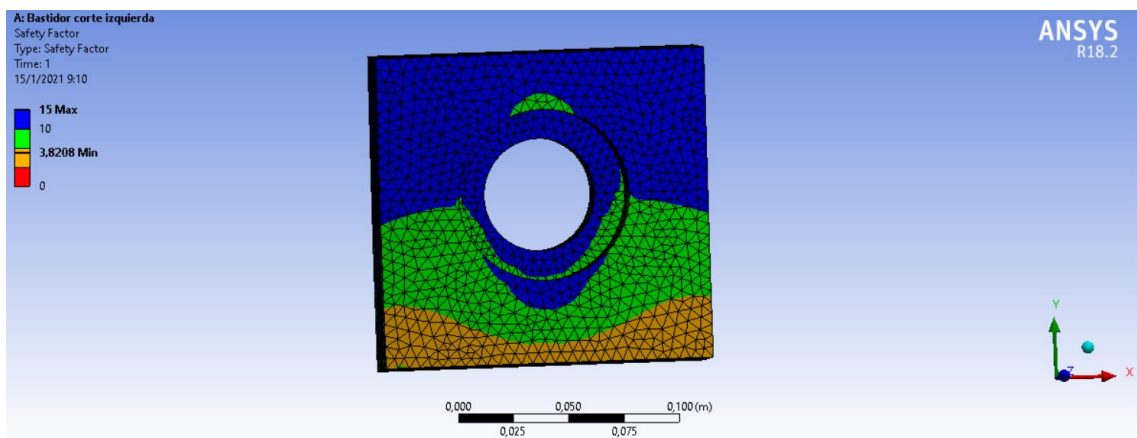


Figura 251-3: Factor de seguridad obtenido - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 252-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.15538 mm.

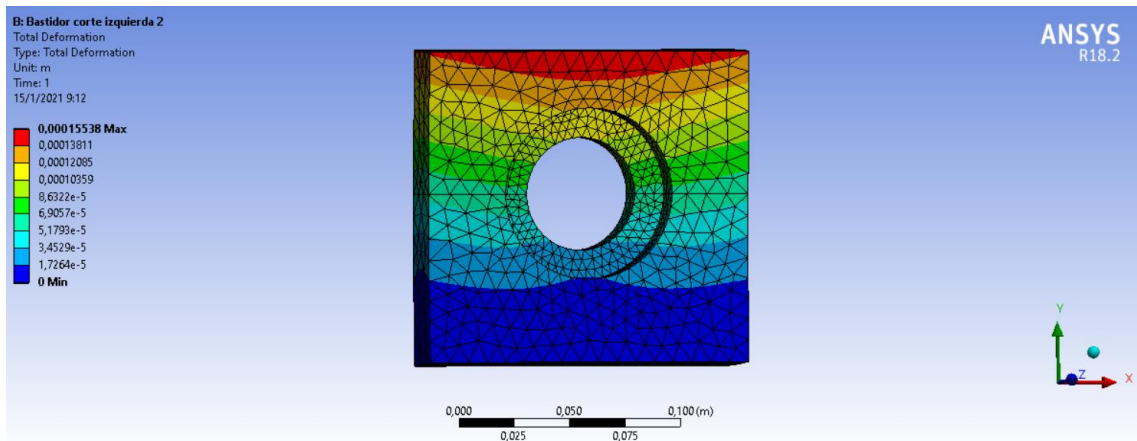


Figura 252-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0042804 mm para la malla Skewness, como se observa en la figura 253-3.

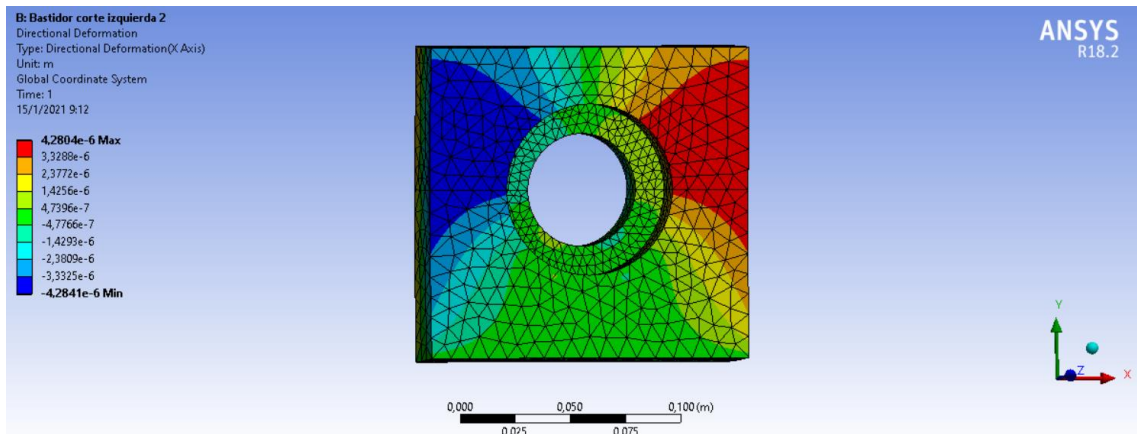


Figura 253-3: Resultado de deformación unitaria - Skewness - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el bastidor izquierdo del estampado se muestra en la figura 254-3, con un valor de 60.138 MPa.

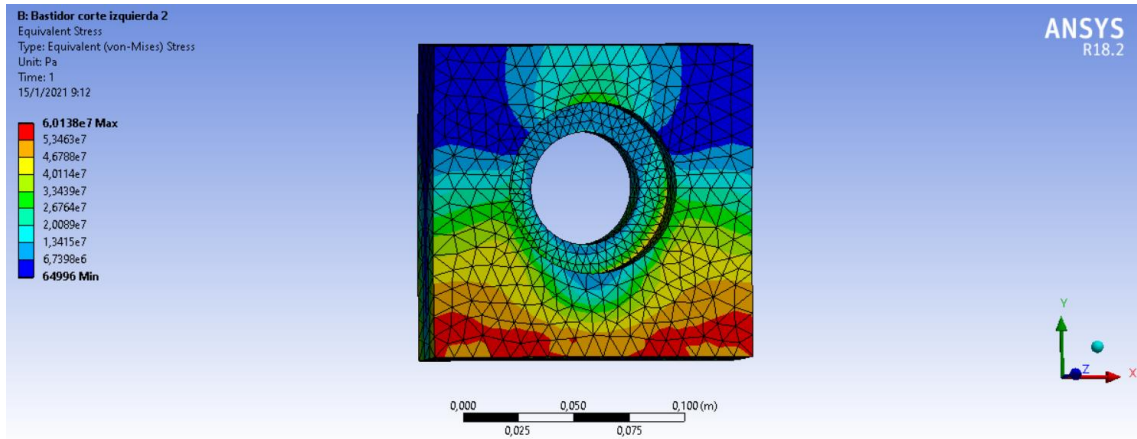


Figura 254-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 4.1571.

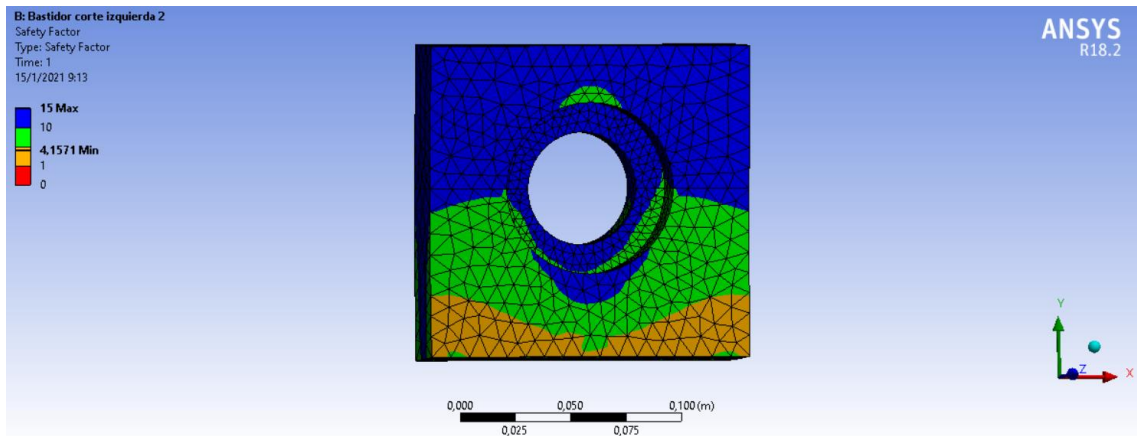


Figura 255-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor izquierdo de corte

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.19.3. Análisis de resultados del bastidor izquierdo de corte

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el bastidor izquierdo del corte:

Tabla 24-4: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor izquierdo de corte.

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	47664	0.15556	0.0042877	65.431	3.8208
2	Skewness	23706	0.15538	0.0042804	60.138	4.1571

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del bastidor izquierdo de corte varía 0.15538 y 0.15556 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.20. Validación mediante ANSYS – Bastidor derecho de bobina

3.6.20.1. Preproceso - Bastidor derecho de bobina

Material

Para el bastidor derecho de corte, se consideró un acero AISI 1020 como material para el diseño.

A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Figura 256-3: Propiedades del material acero AISI 1020 - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 257-3, se muestra la geometría del bastidor derecho de bobina, la cual fue realizada en SolidWorks.

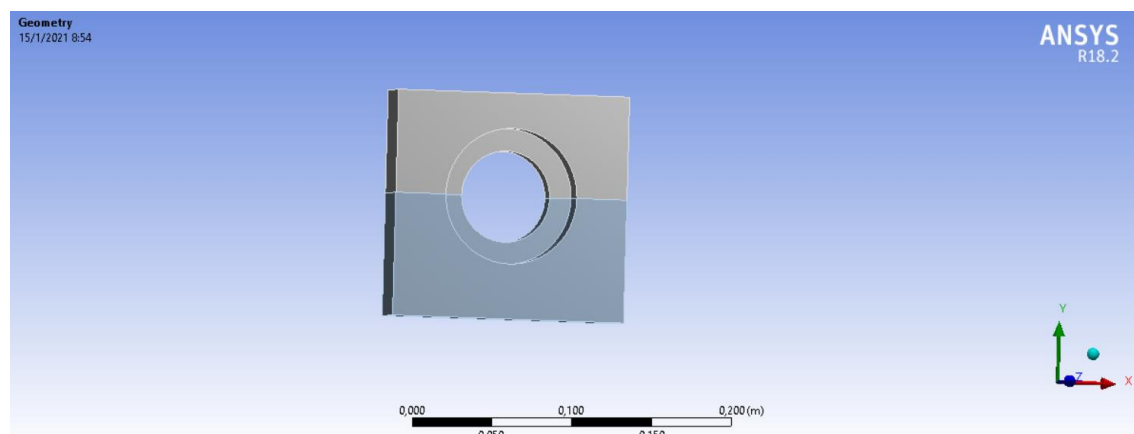


Figura 257-3: Definición de geometría - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

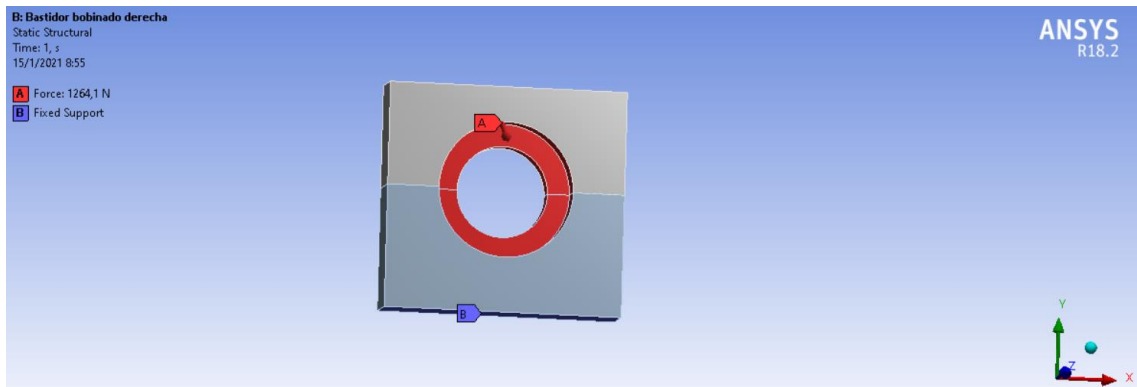


Figura 258-3: Cargas asignadas - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera soportes fijos en las secciones señaladas A y B.

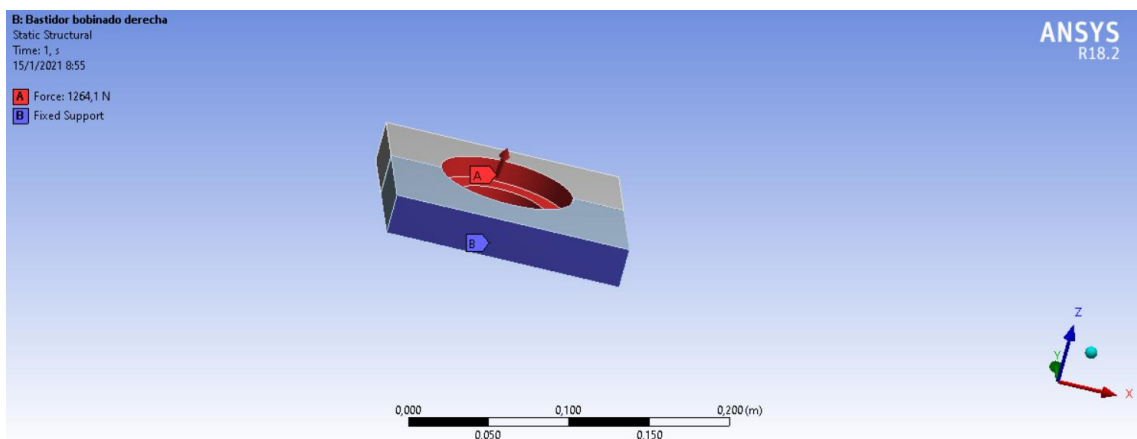


Figura 259-3: Soportes - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

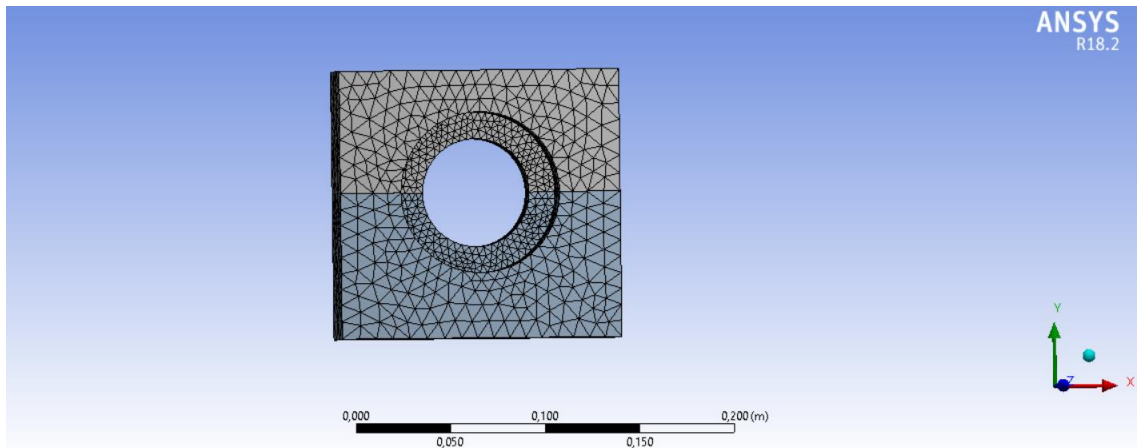


Figura 260-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

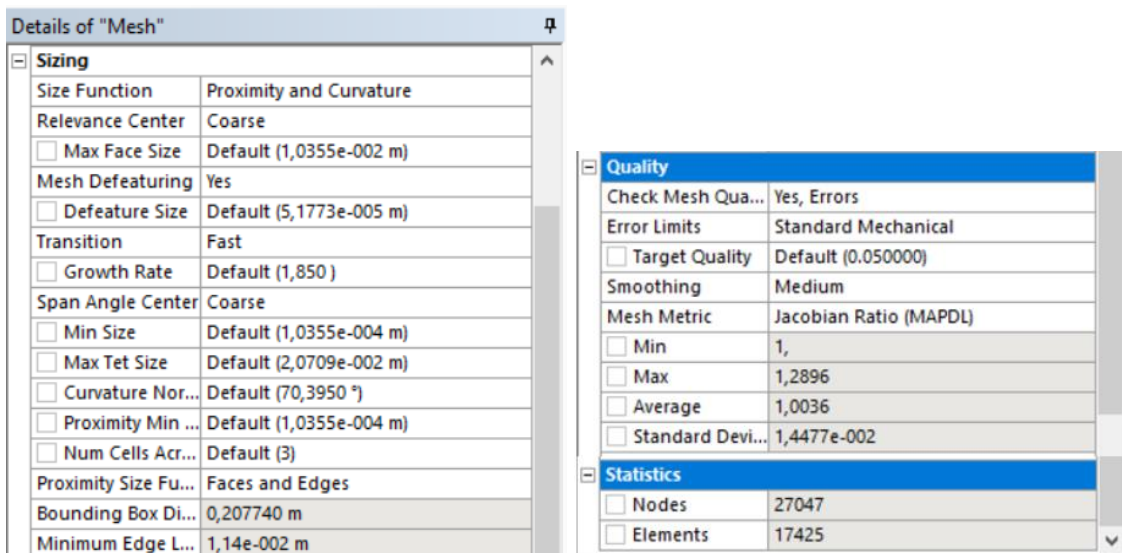


Figura 261-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 261-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0036, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta para este tipo de malla.

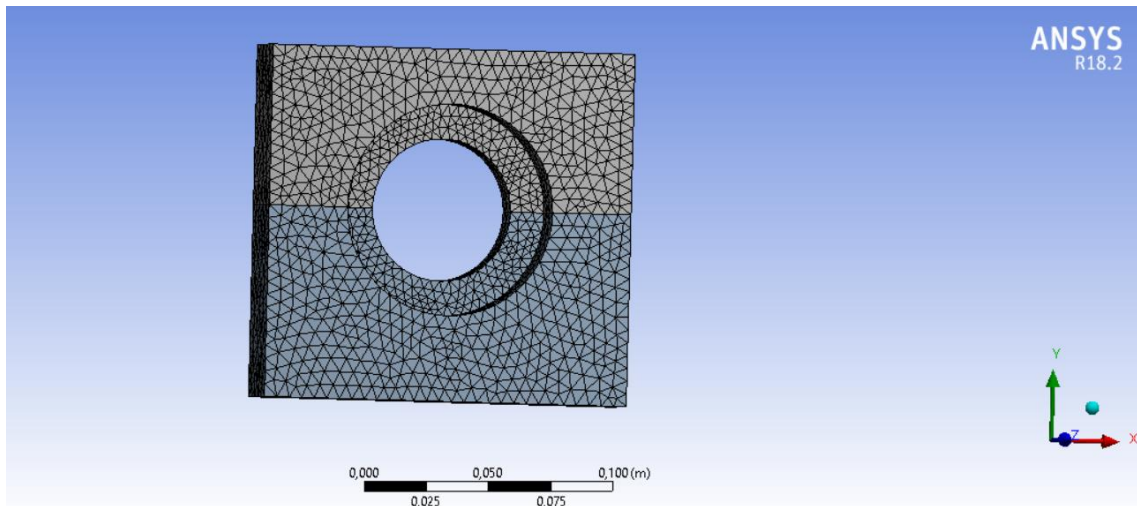


Figura 262-3: Malla Skewness - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

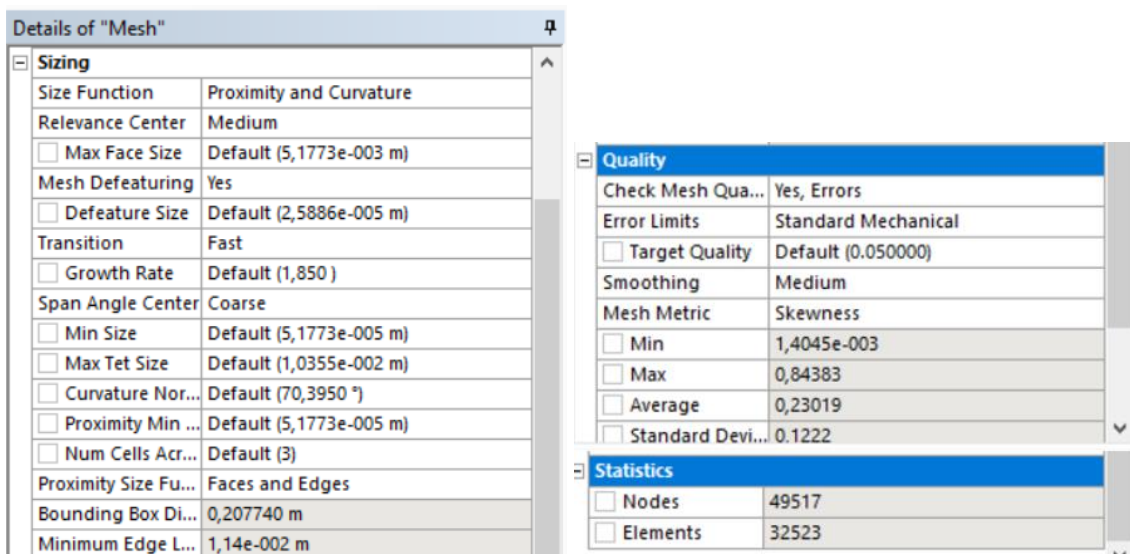


Figura 263-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.23019, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.20.2. Postproceso - Bastidor derecho de bobina

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio

Deformación

De acuerdo con la figura 264-3, se observa que la deformación máxima es de 0.013481 mm con la malla Jacobian Ratio.

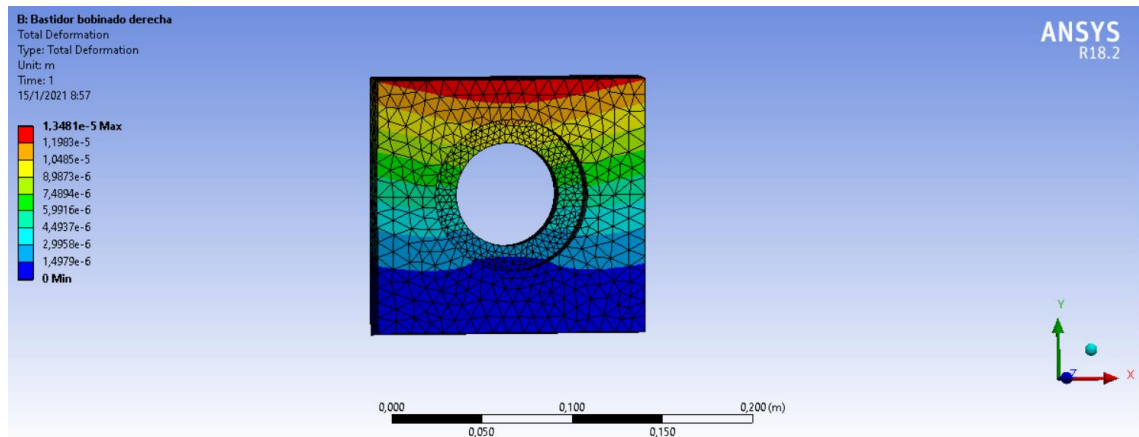


Figura 264-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor derecho bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida para la malla Jacobian Ratio fue de 0.00041577 mm, como se observa en la figura 265-3.

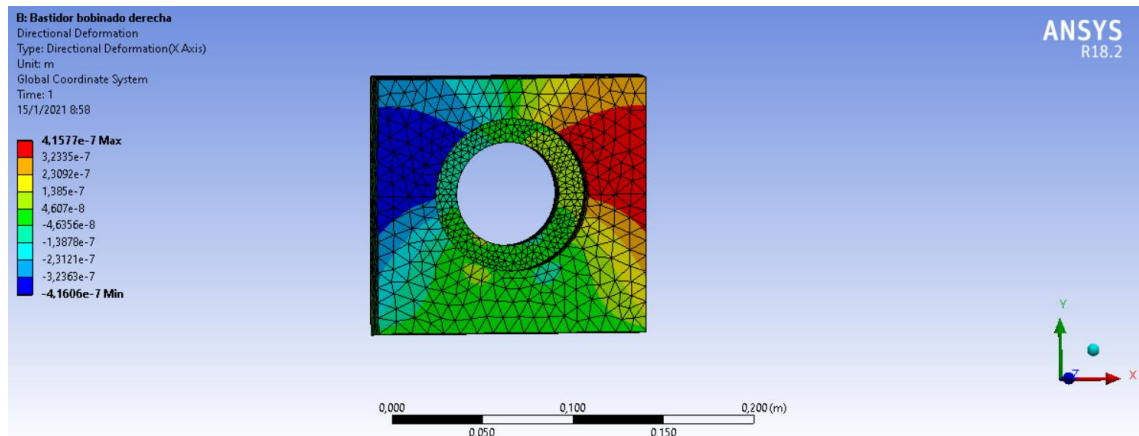


Figura 265-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian Ratio - bastidor derecho bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 266-3, con un valor de 5.0689 MPa para la malla Jacobian Ratio.

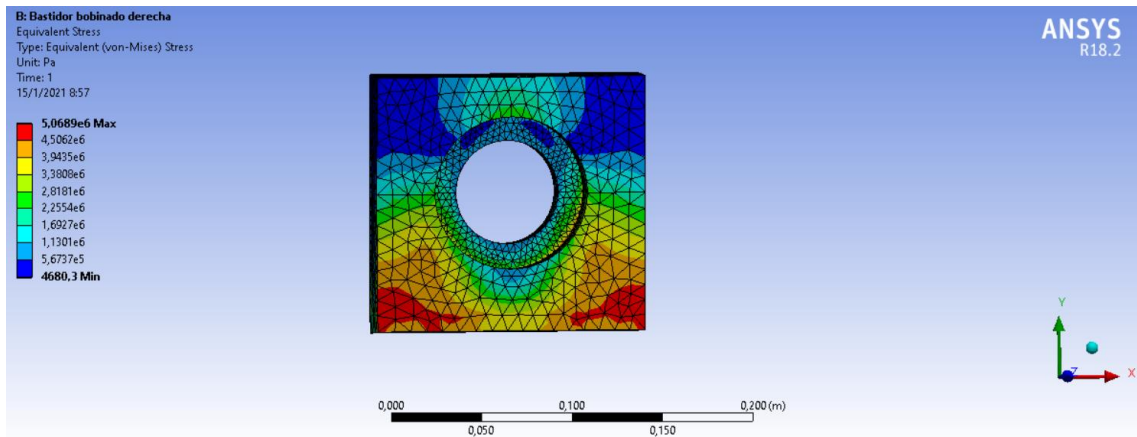


Figura 266-3: Resultado de esfuerzo - malla Jacobian Ratio - bastidor derecho bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 15.

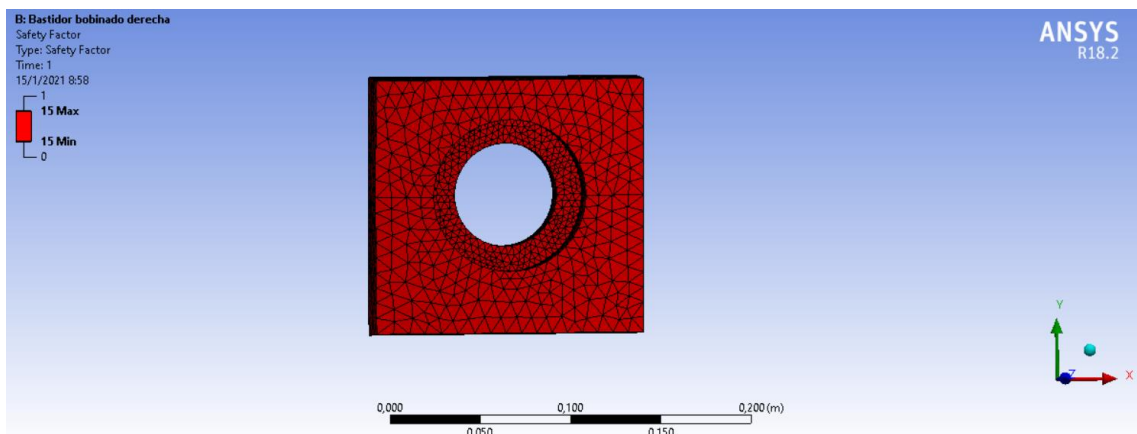


Figura 267-3: Factor de seguridad obtenido - Jacobian Ratio - bastidor derecho bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 268-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.013498 mm.

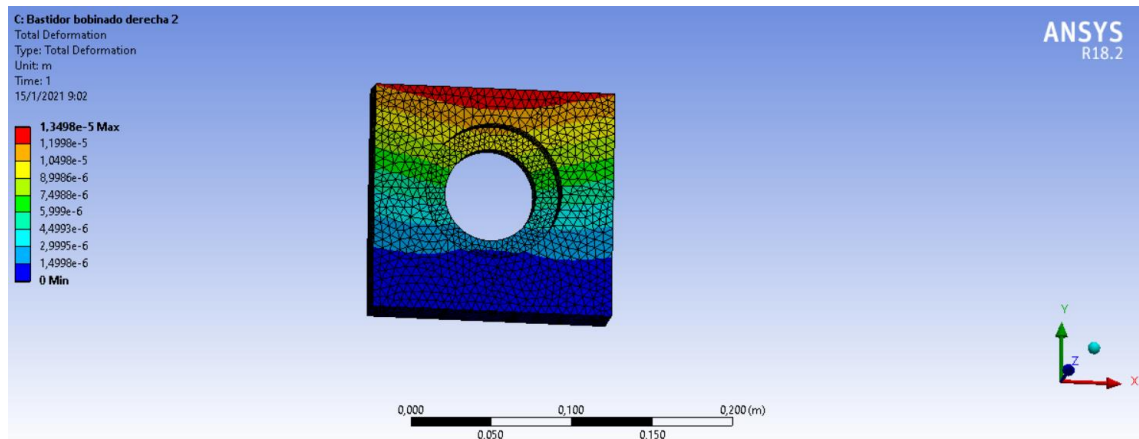


Figura 268-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0041708 mm para la malla Skewness, como se observa en la figura 269-3.

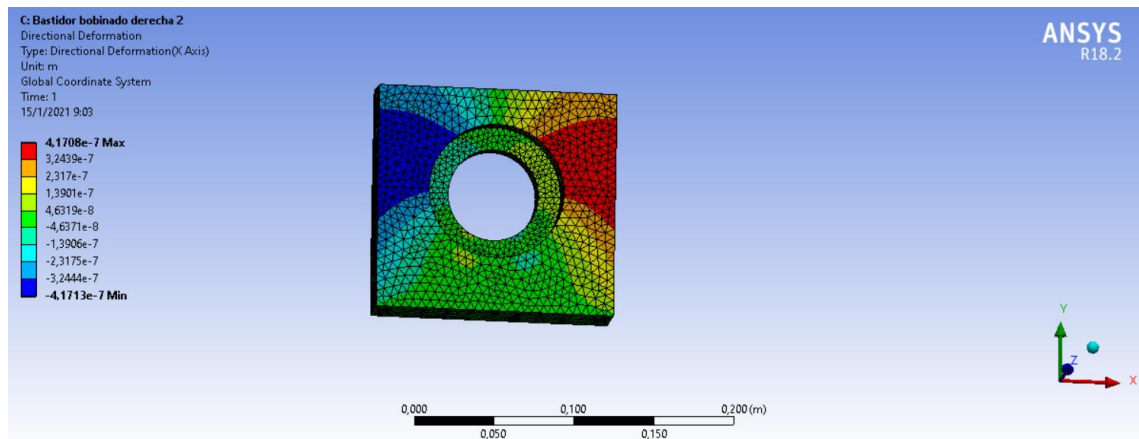


Figura 269-3: Resultado de deformación unitaria - Skewness - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el bastidor derecho del estampado se muestra en la figura 270-3, con un valor de 5.7038 MPa.

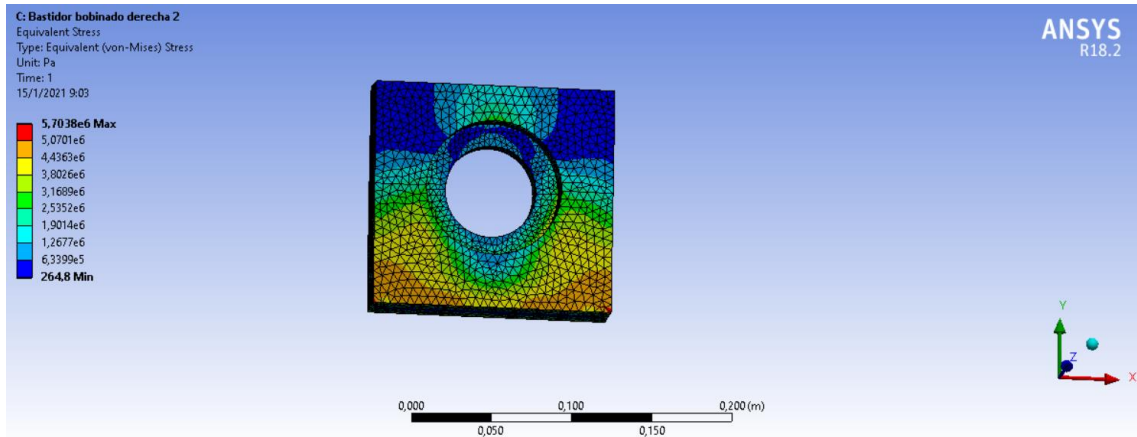


Figura 270-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor derecho del estampado

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 15.

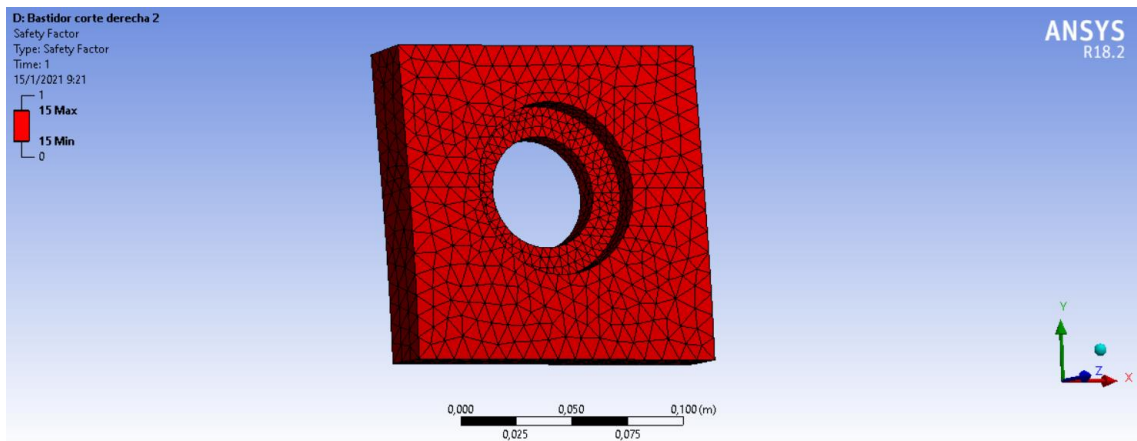


Figura 271-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor derecho de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.20.3. Análisis de resultados del bastidor derecho de bobina

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el bastidor derecho de bobina:

Tabla 25-4: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor derecho de bobina.

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	27047	0.013481	0.00041577	5.0689	15
2	Skewness	49517	0.013498	0.00041708	5.7038	15

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del bastidor varía entre 0.013481 y 0.013498 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.6.21. Validación mediante ANSYS – Bastidor izquierdo de bobina

3.6.21.1. Preproceso - Bastidor izquierdo de bobina

Material

Para el bastidor izquierdo de bobina, se consideró un acero AISI 1020 como material para el diseño. A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Figura 272-3: Propiedades del acero AISI 1020 - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Geometría

A continuación, en la figura 273-3, se muestra la geometría del bastidor izquierdo de bobina, la cual fue realizada en SolidWorks.

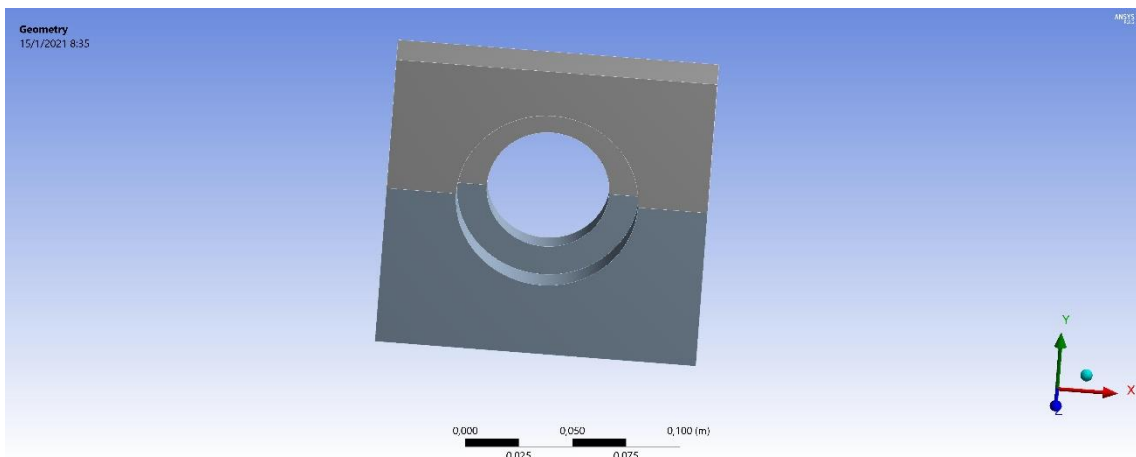


Figura 273-3: Definición de geometría - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Fuerzas aplicadas

Se cargan las fuerzas que intervienen en este elementos, como se puede ver a continuación:

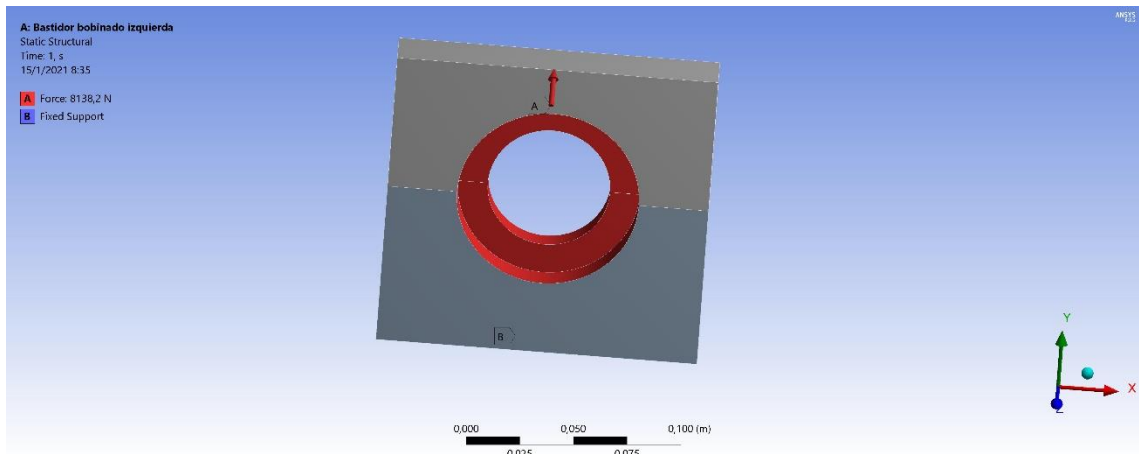


Figura 274-3: Cargas asignadas - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Soporte

Se considera soportes fijos en las secciones señaladas A y B.

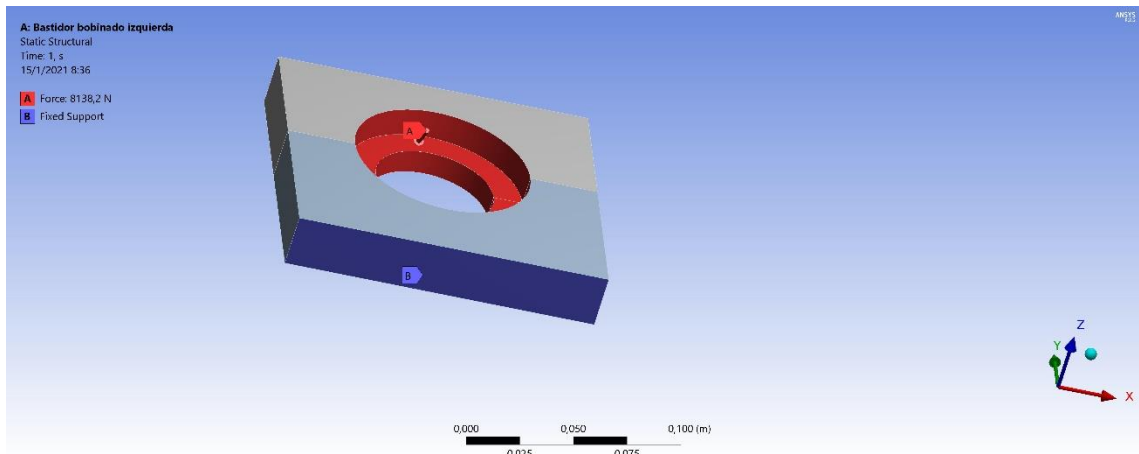


Figura 275-3: Soportes - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Mallado

Una vez asignadas las cargas, se define la malla a utilizar. Para este análisis se van a realizar dos pruebas, una con malla Jacobian Ratio MAPDL y una con malla Skewness, las cuales se aprecian en las figuras siguientes, respectivamente:

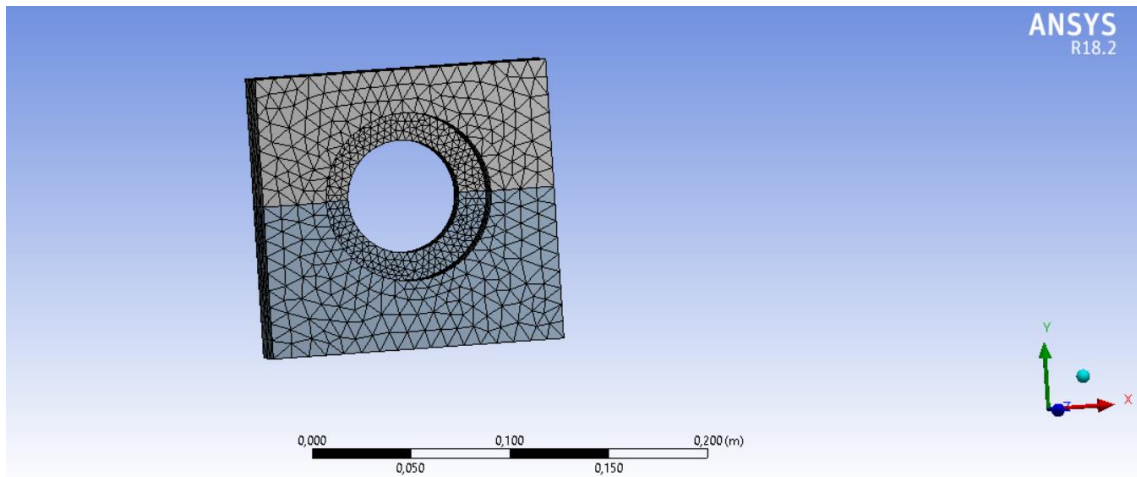


Figura 276-3: Malla Jacobiana Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

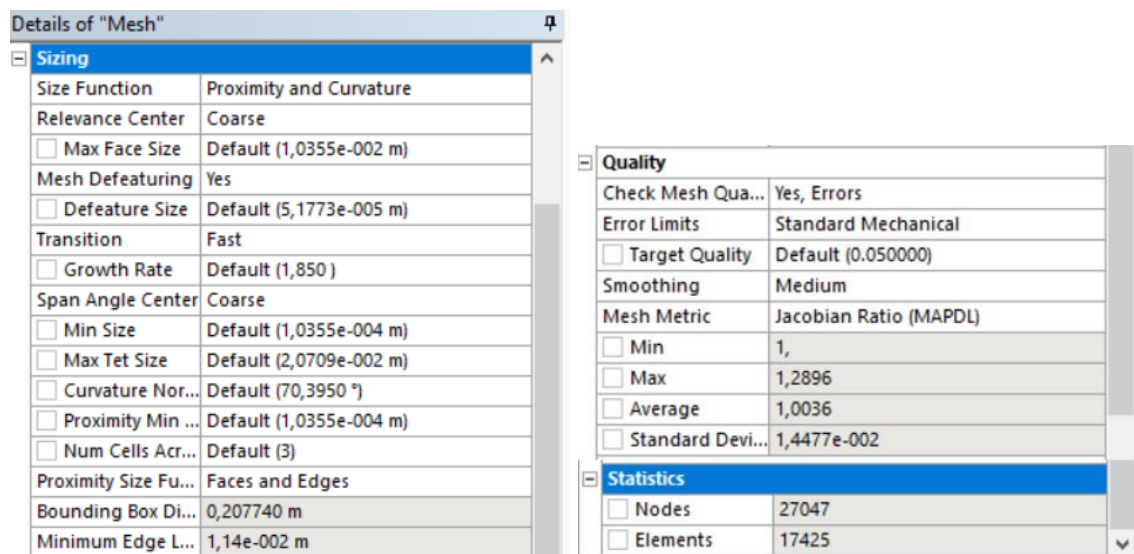


Figura 277-3: Detalles de la malla Jacobian Ratio MAPDL - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la figura 277-3, esta malla es adecuada, ya que su valor promedio es de 1.0036, acercándose mucho a un elemento de forma perfecta para este tipo de malla.

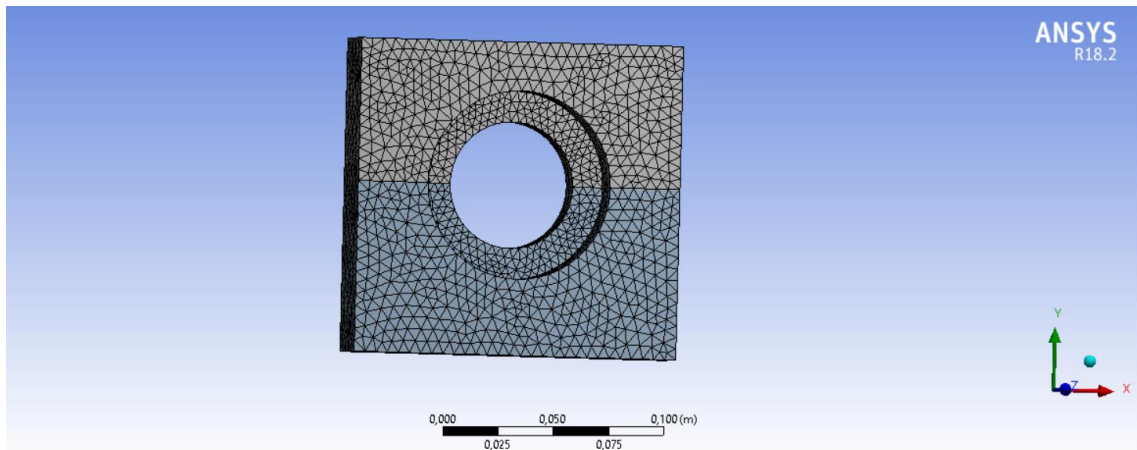


Figura 278-3: Malla Skewness - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Sizing	
Size Function	Proximity and Curvature
Relevance Center	Medium
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (5,1773e-003 m)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (2,5886e-005 m)
Transition	Fast
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,850)
Span Angle Center	Coarse
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (5,1773e-005 m)
<input type="checkbox"/> Max Tet Size	Default (1,0355e-002 m)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (70,3950 °)
<input type="checkbox"/> Proximity Min Size	Default (5,1773e-005 m)
<input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap	Default (3)
Proximity Size Function Sources	Faces and Edges
Bounding Box Diagonal	0,207740 m
Minimum Edge Length	1,14e-002 m

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1,4045e-003
<input type="checkbox"/> Max	0,84383
<input type="checkbox"/> Average	0,23019
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,1222

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	49517
<input type="checkbox"/> Elements	32523

Figura 279-3: Detalles de la malla Skewness - bastidor izquierdo de bobina.

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Para la malla Skewness, se verifica que su calidad de malla es adecuada debido a que el valor promedio es de 0.23019, dentro del rango aceptable de 0 a 0.5.

3.6.21.2. Postproceso - Bastidor izquierdo de bobina

Prueba 1 – Malla Jacobian Ratio

Deformación

De acuerdo con la figura 280-3, se observa que la deformación máxima es de 0.080387 mm con la malla Jacobian Ratio.

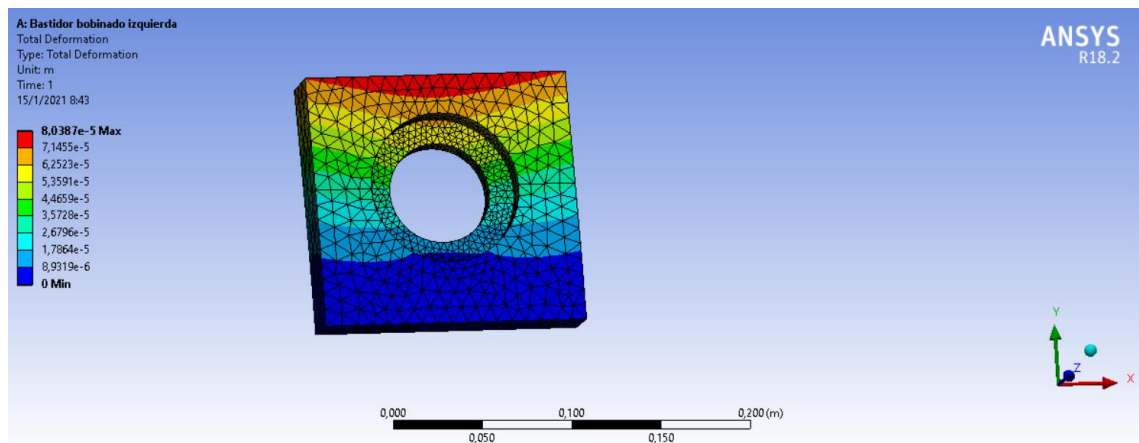


Figura 280-3: Resultado de deformación - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida para la malla Jacobian Ratio fue de 0.0025629 mm, como se observa en la figura 281-3.

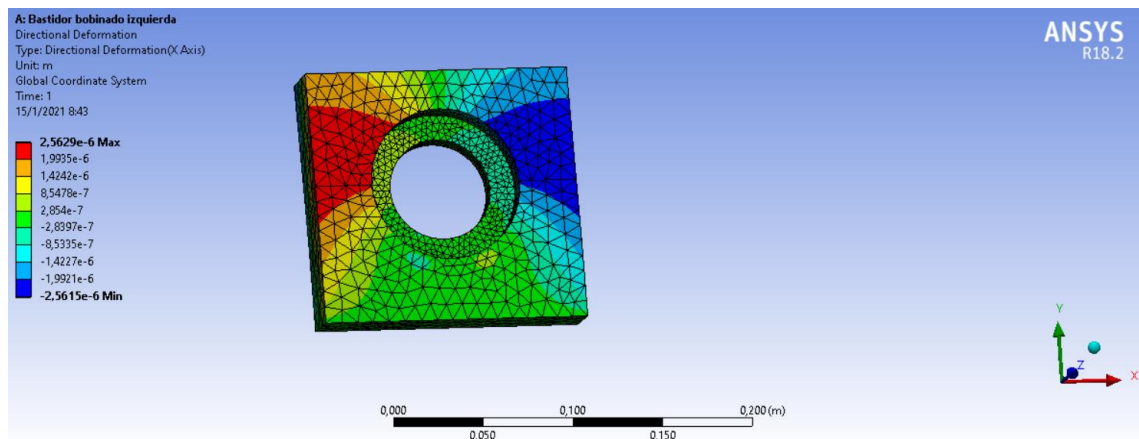


Figura 281-3: Resultado deformación unitaria - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo que presenta el eje se muestra en la figura 282-3, con un valor de 30.361 MPa para la malla Jacobian Ratio.

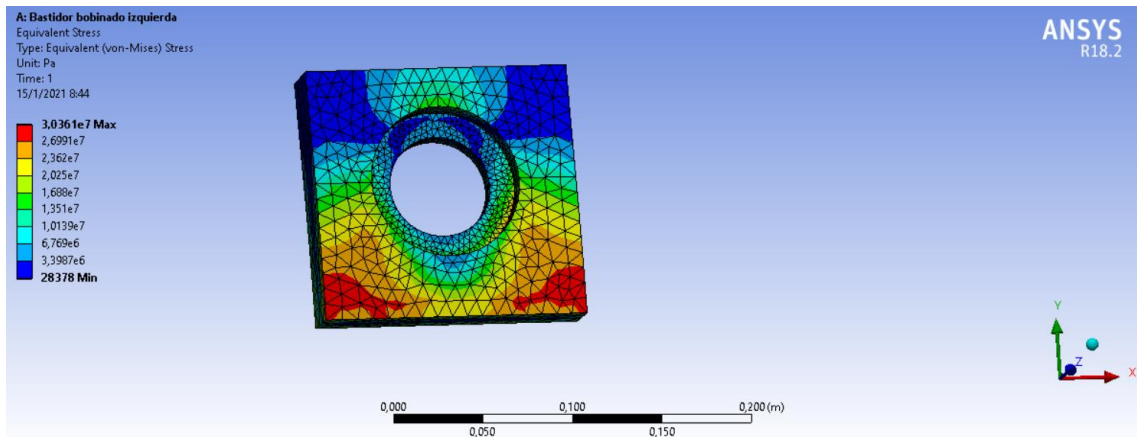


Figura 282-3: Resultado de esfuerzo - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 8.2343.

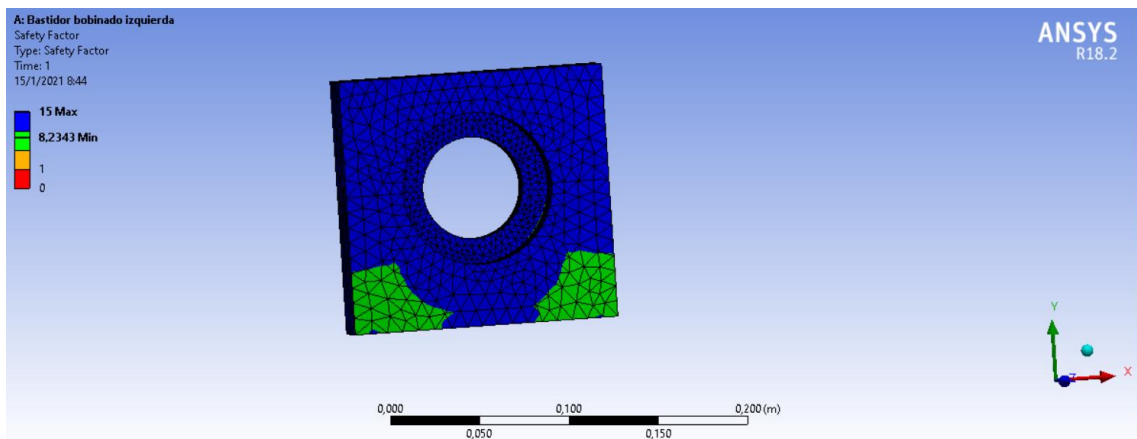


Figura 283-3: Factor de seguridad obtenido - Jacobian Ratio - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Prueba 2 - Malla Skewness

Deformación

De acuerdo con la figura 284-3, se observa que la deformación máxima para la prueba con la malla Skewness es de 0.080486 mm.

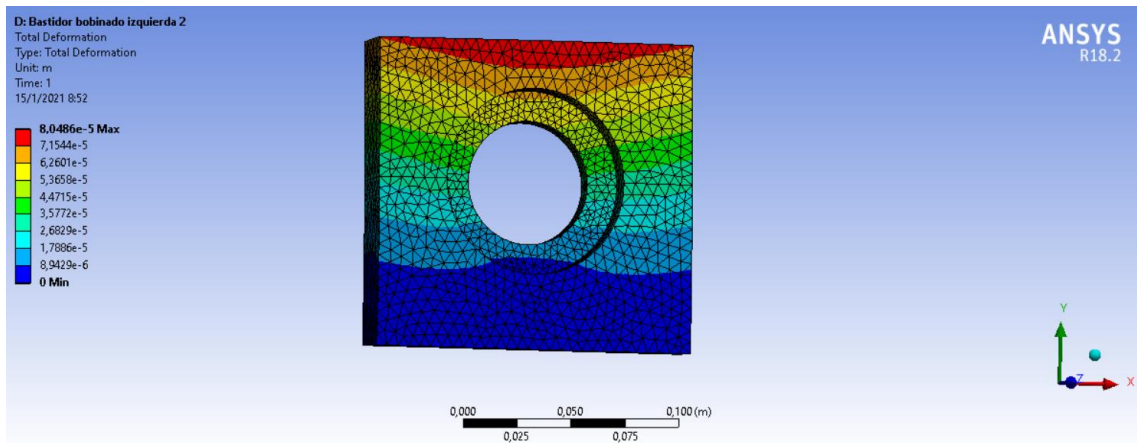


Figura 284-3: Resultado de deformación - Skewness - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Deformación unitaria

La deformación unitaria máxima obtenida fue de 0.0025669 mm para la malla Skewness, como se observa en la figura 285-3.

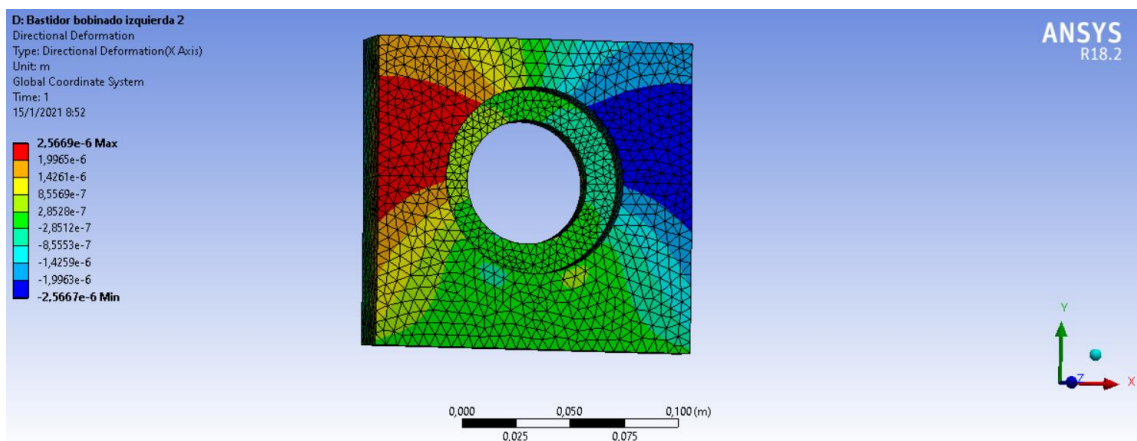


Figura 285-3: Resultado deformación unitaria - Skewness - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Esfuerzo

El esfuerzo máximo con la malla Skewness, que presenta el bastidor izquierdo de bobina se muestra en la figura 286-3, con un valor de 34.619 MPa.

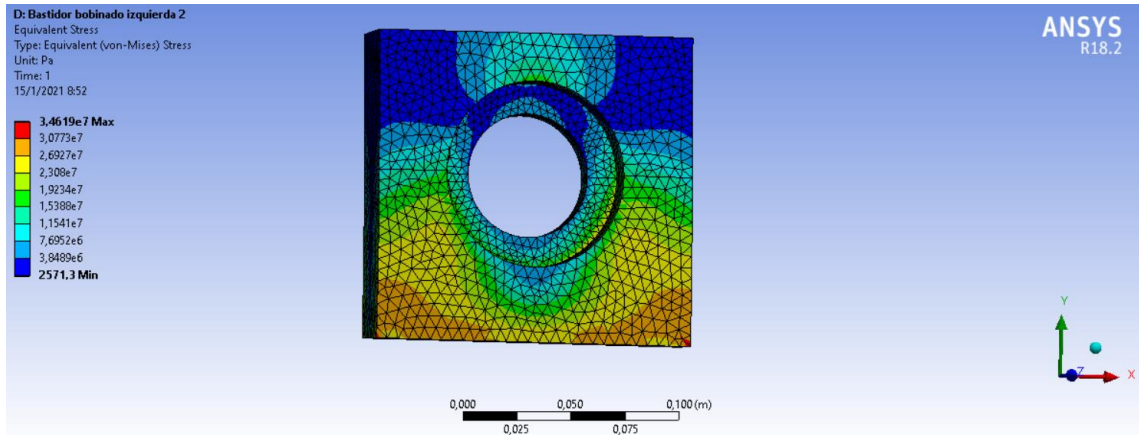


Figura 286-3: Resultado de esfuerzo - Skewness - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido para la malla Jacobian Ratio es de 7.2214.

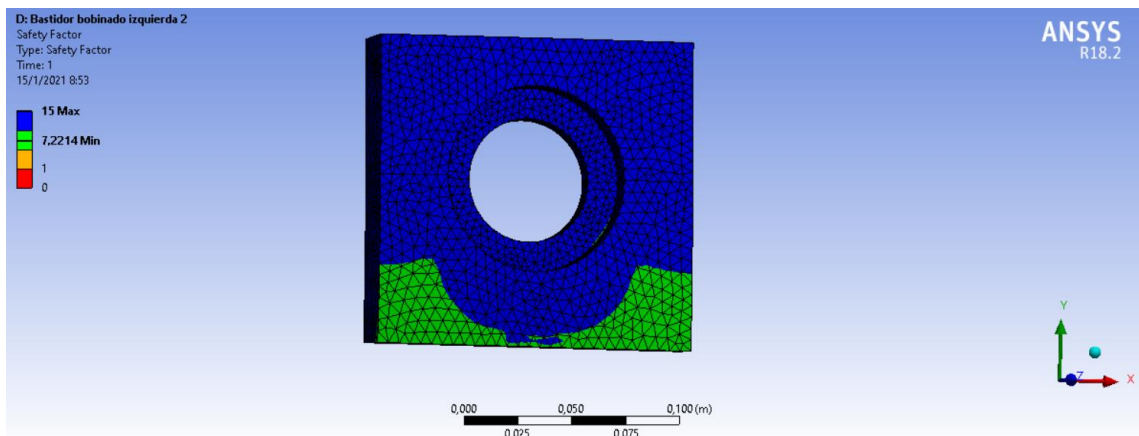


Figura 287-3: Factor de seguridad obtenido - Skewness - bastidor izquierdo de bobina

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.6.21.3. Análisis de resultados del bastidor izquierdo de bobina

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para el bastidor izquierdo de bobina:

Tabla 26-4: Resumen de resultados de las pruebas del bastidor izquierdo de bobina.

No.	Tipo de Malla	No. De nodos	Deformación [mm]	Deformación unitaria [mm/mm]	Esfuerzo [MPa]	Factor de Seguridad
1	Jacobian Ratio	27047	0.080387	0.0025629	30.361	8.2343
2	Skewness	49517	0.080486	0.0025669	34.619	7.2214

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Se aprecia que la deformación del bastidor izquierdo de bobina varía 0.080387 y 0.080486 mm. De esta forma queda validado que este elemento se encuentra dentro de los rangos permisibles de deformación para este elemento.

3.7. Análisis de costos de la máquina

A continuación, se presenta un análisis de costos de la máquina laminadora y estampadora de cera de abeja.

3.7.1. Costos directos

Son aquellos costos que intervienen directamente en la fabricación o construcción de la máquina, entre los cuales se puede mencionar el costo de los materiales, costo de herramientas y equipos, mano de obra de construcción, costo de transporte, etc.

3.7.1.1. Costos de materiales

Los materiales necesarios para la construcción de la máquina se detallan a continuación:

Tabla 27-4: Costo de los materiales.

Elemento	Material	Costo
Bancada	Tubo cuadrado 40x3 A36 #5 x 6 m	139.16
Mesa	Plancha Inoxidable Acero 304 1.8x0.56 m 0.5x0.9 m	46.98
Base motor – reductor	Plancha acero A36 0.4x0.2 m*2.9mm	2.36
Ejes	Acero AISI 1045	1043.33
Bastidores	Acero AISI 1045	324.32
Engranés	Acero AISI 7210	67.92
Total		1624.07

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.7.1.2. Costos de mano de obra

Los costos de mano de obra se detallan a continuación, en la tabla 28-3

Tabla 28-4: Costos de mano de obra.

Detalle del trabajo	Costo
Soldadura	80.00
Maquinado de elementos	809.58
Ensamblaje	133.44
Total	1023.02

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.7.1.3. Costos de equipos y herramientas

A continuación, se detallan las herramientas y equipos necesarios para la construcción de la máquina propuesta:

Tabla 29-4: Costos de equipos y herramientas.

Sistema de la máquina	Elemento	Costo
Sistema motriz	Motor	187.20
	Reductor	320.00
	Rodamientos	301.36
Sistema de transmisión de potencia	Catalinas	96.09
	Cadenas	60.20
Sistema de Lubricación	Bomba sumergible	25.00
	Tubería pvc	5.00
Otros	Pernos	10.00
Total		1004.85

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.7.1.4. Costos de transporte

El costo de transporte se consideró para movilizar los materiales necesarios para la fabricación y posteriormente para la máquina puesta in situ, con un valor de 100 dólares.

Finalmente, se obtienen el costo directo total considerando los costos anteriores. A continuación, se presenta el costo directo total, en la tabla 30-3:

Tabla 30-4: Costos directo total.

Costos directos	Valor
Costo de materiales	1624.07
Costo de equipos y herramientas	1004.85
Costo de mano de obra	1023.02
Costo de transporte	100.00
Total	3751.94

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.7.2. Costos indirectos

Los costos indirectos son los que no intervienen directamente con la construcción de la máquina, pero deben considerarse igualmente:

Tabla 31-4: Costo indirecto total.

Descripción	Costo
Diseño	200.00
Supervisión	80.00
Imprevistos	0.00
Utilidad	0.00
Total	280.00

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

3.7.3. *Costo total de la máquina laminadora y estampadora*

Finalmente se obtiene el costo total de la máquina sumando los costos directos y los costos indirectos como se muestra a continuación:

Tabla 32-4: Costo total de la máquina.

Descripción	Valor
Costos directos	3721.94
Costos indirectos	280.00
Total	4031.94

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de análisis de rigidez en SAP 2000

Para el análisis de rigidez, nos valimos de la utilización del software SAP 2000, en donde se realizó al análisis de deformación, para estudiar la rigidez de los ejes que conforman la máquina. A continuación, se presentan los resultados:

Tabla 1-4: Resultado de análisis de deformación en SAP 2000.

Elemento	Deformación Máxima	Deformación Permisible	Criterio o Norma	Cumplimiento
Eje 1	0.10729	$[y] = (0.1508 - 0.2262)$	$[y] = (0.0002 - 0.0003)L$	Ok
Eje 2	-0.03106	$[y] = (0.1293 - 0.1939)$	$[y] = (0.0002 - 0.0003)L$	Ok
Eje 3	-0.03106	$[y] = (0.1141 - 0.2109)$	$[y] = (0.0002 - 0.0003)L$	Ok
Eje 4	0.09317	$[y] = (0.1400 - 0.2100)$	$[y] = (0.0002 - 0.0003)L$	Ok
Eje 5	-0.09642	$[y] = (0.1305 - 0.1957)$	$[y] = (0.0002 - 0.0003)L$	Ok
Eje 6	0.05358	$[y] = (0.1406 - 0.2109)$	$[y] = (0.0002 - 0.0003)L$	Ok

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se puede observar en la tabla 1-4, la deformación máxima no excede la deformación permisible, por lo que se acepta el cumplimiento del criterio aplicado.

4.2. Resultados de análisis de esfuerzos en ANSYS

Adicionalmente se realizó pruebas en ANSYS, en donde se obtuvieron valores de deformación, esfuerzos, factor de seguridad, se muestra un resumen de los valores obtenido a continuación:

Tabla 2-4: Resultado de análisis de ejes para malla tipo Jacobian Ratio en ANSYS.

Elemento	Deformación Unitaria	Deformación Máxima [mm]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Factor de Seguridad
Eje 1	0.046257	0.047490	209.30	2.532
Eje 2	0.004218	0.004574	62.62	8.465
Eje 3	0.004305	0.005213	83.69	6.332
Eje 4	0.035998	0.038114	229.93	2.305
Eje 5	0.009812	0.012516	135.63	3.908
Eje 6	0.004707	0.021003	150.27	3.527

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se muestra en la tabla 2-4, el resultado para el análisis de ejes con la malla tipo Jacobian ratio, se visualiza que los ejes van a estar sometidos a distintos esfuerzos, siendo el eje 1

correspondiente a la laminadora y el eje 4 correspondiente a la estampadora los que soportan mayores esfuerzos dentro de los rangos permisibles, ya que tienen un valor de factor de seguridad mayor a 2. Adicionalmente se puede observar en la tabla 3-4, un análisis de los ejes con tipo de malla Skewness, que corroboran que los elementos soportan las cargas y se encuentran dentro de los rangos permisibles.

Tabla 3-4: Resultado de análisis de ejes para malla tipo Skewness en ANSYS.

Elemento	Deformación Unitaria	Deformación Máxima [mm]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Factor de Seguridad
Eje 1	0.046352	0.047589	234.50	2.259
Eje 2	0.004221	0.004578	64.78	8.186
Eje 3	0.004302	0.005209	87.28	6.072
Eje 4	0.035994	0.038110	233.58	2.691
Eje 5	0.009809	0.012518	138.44	3.829
Eje 6	0.004707	0.021003	150.27	3.527

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Los bastidores son elementos importantes también, ya que son los que soportan a los ejes, por lo que se realizó pruebas en ANSYS para verificar su cumplimiento. A continuación, se tiene un resumen de los resultados obtenidos para dichos elementos, en donde se obtuvo la deformación unitaria, deformación máxima, esfuerzo máximo y factor de seguridad.

Tabla 4-4: Resultado de análisis de batidores para malla tipo Jacobian Ratio en ANSYS.

Elemento	Deformación Unitaria	Deformación Máxima [mm]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Factor de Seguridad
Bastidor derecho de laminado	0.021776	1.6139	236.56	2.241
Bastidor izquierdo de laminado	0.003723	0.2511	33.81	7.395
Bastidor derecho de estampado	0.006918	0.4084	65.58	8.081
Bastidor izquierdo de estampado	0.028723	1.9456	249.61	2.123
Bastidor derecho de corte	0.0003959	0.0144	6.04	15
Bastidor izquierdo de corte	0.0042877	0.1556	65.43	3.821
Bastidor derecho de bobina	0.0004158	0.0135	5.07	15
Bastidor izquierdo de bobina	0.0025629	0.0804	30.36	8.234

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Como se observa en la tabla 4-4, los bastidores más críticos son el batidor derecho de laminado con un factor de seguridad de 2.241 y el bastidor izquierdo de estampado con 2.123. Ambos

elementos se encuentran dentro del rango permisible con un factor de seguridad mayor a 2, por lo que queda validado estos elementos.

Tabla 5-4: Resultado de análisis de bastidores para malla tipo Skewness en ANSYS.

Elemento	Deformación Unitaria	Deformación Máxima [mm]	Esfuerzo Máximo [MPa]	Factor de Seguridad
Bastidor derecho de laminado	0.021774	1.6139	236.56	2.240
Bastidor izquierdo de laminado	0.003722	0.2511	33.79	7.398
Bastidor derecho de estampado	0.006918	0.4083	65.83	8.051
Bastidor izquierdo de estampado	0.028723	1.9456	249.67	2.123
Bastidor derecho de corte	0.000396	0.0143	5.55	15
Bastidor izquierdo de corte	0.004280	0.1554	60.14	4.157
Bastidor derecho de bobina	0.000417	0.0135	5.70	15
Bastidor izquierdo de bobina	0.0025669	0.080486	34.619	7.2214

Realizado por: Pisco, V. & Fonseca, L., 2020

Adicionalmente se comprobó la veracidad de estos valores con una prueba para dichos elementos con el tipo de malla Skewness. Como se pudo ver en el capítulo anterior, se requiere verificar que la malla se encuentre en los rangos correctos para que los resultados obtenidos sean fidedignos y confiables.

CONCLUSIONES

Se diseñó una máquina laminadora y estampadora de cera de abejas para marcos de colmena Langstroth. Con este diseño se trató de cubrir la mayor cantidad de requerimientos y necesidades de los apicultores de la zona, siendo un proyecto que podría repotenciar la apicultura en la provincia de Chimborazo y en zonas aledañas.

La máquina cuenta con una capacidad de producción de 6 láminas por minuto. Se tiene que la capacidad de carga de la materia prima es de hasta 20 Kg de cera de abeja bobinada. La velocidad de rotación de los ejes es de 15 rpm aproximadamente, transmitida con un motor eléctrico monofásico de 1 Hp. Además, cuenta con un sistema de transmisión de potencia mediante cadenas.

La selección de los elementos se realizó bajo normas y mediante catálogos de diferentes marcas, las cuales se detallan a lo largo de la memoria de cálculo y se incluyeron tablas e imágenes necesarias en los anexos, lo cual sirve para un mejor entendimiento y comprensión del lector. Los planos de detalle se muestran en los anexos del presente trabajo, los cuales son una guía para la fabricación del equipo.

Para validar los elementos mecánicos se utilizaron diferentes softwares, como lo son SolidWorks, ANSYS, SAP 2000, en donde se dibujaron los elementos y realizaron diferentes análisis con las cargas establecidas para corroborar que dichos elementos soporten y se encuentren dentro de los factores de seguridad asignados en el diseño.

Gracias a las diferentes pruebas de rigidez en los softwares SAP 2000 Y ANSYS, se verificó que los elementos más críticos resistan las cargas a las cuales van a ser sometidos. Esto nos permite validar los elementos y el funcionamiento de la máquina en general para evitar errores en el diseño previo a la fabricación de la máquina, siendo un aliado para el inversor que desee construir el equipo propuesto.

RECOMENDACIONES

Para realizar el diseño de una máquina o equipo es vital definir los parámetros de diseño correctamente, ya que, en caso de no hacerlo, dicha máquina no va a cumplir todas las expectativas para el usuario, y su eficiencia se verá afectada. El diseño mecánico relaciona diferentes áreas, por lo que se debe prestar atención a los detalles, revisando y verificando los cálculos realizados para no incurrir en errores graves al momento de la fabricación de la máquina.

Es vital garantizar la seguridad del operario de la máquina por lo que se debe cumplir con los factores mínimos de seguridad recomendados para máquinas y herramientas. Además de asegurar la calidad del producto a obtener como lo son las láminas de cera laminada.

Para acelerar el proceso de fabricación de láminas de cera de abeja estampada, se recomienda poner en línea con una máquina de conformación de lámina, esto agilizará los procesos, además de reducir los tiempos de trabajo, los esfuerzos realizados por el apicultor, y maximiza la producción de láminas de cera estampada desde la concepción de la materia prima.

Para la utilización de la máquina, se recomienda leer el manual de usuario detenidamente, en donde se encuentra toda la información pertinente para que el usuario puede aprovechar al máximo la máquina sin tener accidentes o inconvenientes.

Se debe verificar que la fuente de alimentación sea la correcta, 110V, ya que el motor eléctrico que utiliza la máquina es monofásico. En caso de utilizar otra fuente de alimentación podría dañar el sistema motriz.

Se debe seguir las recomendaciones de mantenimiento para garantizar un correcto funcionamiento de la máquina, y extender la vida útil de sus elementos.

BIBLIOGRAFÍA

- ANSYS. Ansys [en línea]. 2021. [Consulta: 5 enero 2021]. Disponible en: <https://www.ansys.com/>.
- BATRES MARROQUIN DE IBARRA, L.M. *Caracterización del proceso de estampado de la cera de Abejas en cuatro departamentos de Guatemala* (Tesis) (Licenciada en Zootecnia). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de medicina y zootecnia, Escuela de zootecnia. Ciudad de Guatemala. 1998. pp. 1-12.
- BORJA, R. & MOROCHO, P. *Análisis estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo formula SAE eléctrico de la universidad politécnica salesiana* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica Salesiana, 2017. [Consulta: 15 enero 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15081/1/UPS-CT007439.pdf>.
- BUDYNAS, RICHARD G. Y NISBETT, J.K. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Octava. México: McGraw-Hill Interamericana, 2008. ISBN 978-0-07-312193-2.
- CABRERA, J. *La Apicultura en el Ecuador*. Quito: Laboratorios La Melífera, 2010.
- CSI. SAP 2000 [en línea]. 2021. [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: <https://www.csiespana.com/software/2/sap2000#>.
- EADIC. SAP 2000: Software aplicado al cálculo de estructuras [en línea]. 2015. [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: <https://www.eadic.com/sap-2000-software-aplicado-calculo-estructuras/>.
- ECOCOLMENA. Abejas y la Apicultura [en línea]. 2013. [Consulta: 25 octubre 2020]. Disponible en: <https://ecocolmena.com/las-abejas-y-la-apicultura/>.
- ECURED. Cera estampada [en línea]. 2019. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Cera_estampada.
- ELTELEGRAFO. La apicultura trae nuevos ingresos a los agricultores: 4 enero 2019 [en línea]. 2019. [Consulta: 28 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/apicultura-ingresos-agricultores>.
- FAO. La apicultura: un negocio rentable y sostenible [en línea]. 2020. [Consulta: 28 octubre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1226645/>.
- FIEBIG. Como fijar cera en los marcos [en línea]. 2020. [Consulta: 30 octubre 2020]. Disponible en: <http://alzasymarcos.cl/2020/05/03/como-fijar-cera-en-los-marcos/>.
- GUAMÍN, S. & LLUMIQUINGA, J. *Diseño y construcción de una laminadora estampadora continua para cera de abejas* (Tesis) (Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito, Ecuador. 2006. pp. 1-30.
- HIDALGO, A.. *Obtención de triacontanol mediante saponificación a partir de la extracción de cera de panales de abejas* (Trabajo de titulación) (Ingeniera Química). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química. Quito,

- Ecuador. 2017. pp. 1-7.
- INFOAGRO. Apicultura [en línea]. 2020. [Consulta: 25 octubre 2020]. Disponible en: https://www.infoagro.com/agricultura_ecologica/apicultura.htm.
- MAG. Ecuador tiene 1760 apicultores registrados [en línea]. 2018. [Consulta: 25 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-tiene-1760-apicultores-registrados/>.
- MAGAP. Ecuador tiene potencial para la apicultura [en línea]. 2018. [Consulta: 25 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-tiene-potencial-para-la-apicultura/>.
- MIRLISENNA, G. Método de los elementos finitos: ¿qué es? *iESSS* [en línea]. 2016. [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>.
- ÖZGÜN. ¿Tu malla es lo suficientemente buena? *Mechead* [en línea]. 2020. [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: [http://www.mechead.com/mesh-good-enough/#:~:text=Jacobian \(also called Jacobian Ratio,represents a perfectly shaped element.&text=Skewness is the Angular Measure,Angles of Ideal Element Types](http://www.mechead.com/mesh-good-enough/#:~:text=Jacobian (also called Jacobian Ratio,represents a perfectly shaped element.&text=Skewness is the Angular Measure,Angles of Ideal Element Types).
- REVISTA LÍDERES, (Diario EL Comercio). La apicultura se mueve con tres ejes estratégicos en Ecuador: 26 junio 2018 [en línea]. 2018 [Consulta: 28 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/apicultura-miel-abejas-ministerio-agricultura.html>.
- SECAP. SECAP único organismo certificador de apicultores en el Ecuador [en línea]. 2018. [Consulta: 28 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.secap.gob.ec/secap-unico-organismo-certificador-de-apicultores-en-el-ecuador/>.
- SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida [en línea]. 2017. [Consulta: 25 octubre 2020]. Disponible en: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf.
- SILLARD PÉREZ, S.A. *Residuos de fluvalinato en cera de abejas de colmenares de la Décima Región* (Tesis) (Licenciado en Ingeniería en Alimentos). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería en Alimentos. Valdivia, Chile. 2002. pp. 12-15.
- VÁSCONEZ ROBALINO, J.A. *Análisis de los Costos de Producción de la Miel de Abeja en Ecuador J.* (Trabajo de titulación) (Economista). Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Administración y Economía. Quito, Ecuador. 2017. pp. 9-27.
- YÉPEZ, H. & FLORES, J. *Diseño de un equipo fundidor y estampador de cera de abejas para una Fábrica de equipo de procesamiento de alimentos* (Trabajo Especial de Grado) (Ingeniero Mecánico). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Departamento de Diseño. Caracas, Venezuela. 2014. pp. 11-29.

ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIONES GENERALES DEL MOTOR BALDOR MONOFÁSICO

ESPECIFICACIONES	DIBUJOS	PLACA DE NOMBRE	ACTUACIÓN	PARTES	
Numero de catalogo	CEL11310			Código KVA	K
Recinto	ABIERTO			Tacos de elevación	Sin orejetas de elevación
Marco	56C			Indicador de cojinete bloqueado	Cojinete bloqueado
Material del marco	Acero			Salida del cable del motor	Ko Box
Frecuencia	60,00 Hz			Terminación del cable del motor	Cables voladores
Frecuencia de salida	1.000 HP a 60 HZ			Cantidad de cables del motor / tamaño del cable	6 a 18 AWG
Fase	1			Tipo de motor	3528LC
Velocidad sincrona a frecuencia	1800 RPM a 60 HZ			Disposición de montaje	F1
Voltaje a frecuencia	115,0 V a 60 HZ 230,0 V a 60 HZ			Número de polos	4
Clase y grupo XP	Ninguna			Longitud total	12.06 PULG
División XP	No aplica			Factor de potencia	93
Aprobaciones de agencias	UR CSA			Familia de productos	Propósito general
Temperatura ambiente	40 ° C			Tipo de cojinete de extremo de polea	Pelota
Caja auxiliar	Sin caja auxiliar			Código de cara de la polea	Cara C
Terminación del cable de la caja auxiliar	Ninguna			Indicador de eje de polea	Estándar
Indicador base	Rígido			Pantalla para roedores	Ninguna
Tipo de grasa para cojinetes	Polyrex EM (-20F + 300F)			Factor de servicio	1,15
Soplador	Ninguna			Diámetro del eje	0.625 PULG.
Voltaje de corriente	4.200 A a 230.0 V 8.400 A a 115.0 V			Ubicación de la extensión del eje	Extremo de la polea
Código de diseño	L			Indicador de tierra del eje	Sin puesta a tierra del eje
Cubierta de goteo	Sin cubierta de goteo			Rotación del eje	Reversible
Clasificación de servicio	CONT			Indicador de deflector del eje	Sin hondero
Eficiencia al 100% de carga	82,6%			Velocidad	1750 rpm
Cojinete eléctricamente aislado	No aislado eléctricamente			Código de velocidad	Velocidad única
Dispositivo de retroalimentación	SIN REALIMENTACIÓN			Estándares de motor	NEMA
Amperios de carga completa de alto voltaje	4.2 una			Método de inicio	Directo en línea
Código de cara frontal	Estándar			Dispositivo térmico - Cojinete	Ninguna
Indicador de eje delantero	Ninguna			Dispositivo térmico - Bobinado	Ninguna
Indicador de calefacción	Sin calentador			Indicador del sensor de vibración	Sin sensor de vibración
Clase de aislamiento	F			Bobinado Térmico 1	Ninguna
Código inversor	No inversor			Bobinado Térmico 2	Ninguna

ANEXO B: ESPECIFICACIONES DEL REDUCTOR DODGE H_483GH80G4

QUANTIS PART NUMBERS



QUANTIS Part Number Nomenclature

ILH Example: H3C56S00477

H	3	C	56	S	00477
Housing Configuration	Size	Input Type	Frame	Output Type	Ratio
H= ILH Foot Mounted B = RHB Foot Mounted BF = RHB Flange Mounted M = MSM Universal Mounting	3 = 38 4 = 48 6 = 68 8 = 88 10 = 108 12 = 128 14 = 148 16 = 168	C = Clamp Collar	56 = 56C 14 = 140TC 18 = 180TC 21 = 210TC 25 = 250TC 28 = 280TC	S = Solid Inch Shaft (RHB - A Side) T = Tapered Hollow	000.00

ILH Reducer Specifications:

- Sizes 38 - 168
- NEMA Clamp Collar Design
- Foot Mounted Housing Configuration
- Standard Inch Output Shafts
- Nitrile Input and Output Lip Seals
- A1 Mounting
- Mobilgear 600 X P 220



SELECTION



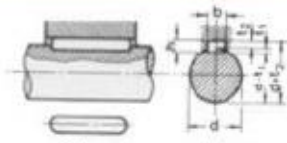
IN-LINE HELICAL INTEGRAL GEARMOTORS (ILH) - 1750 RPM

60 HZ

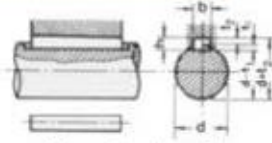
INPUT POWER (HP)	SPEED (RPM)	RATIO	OHL (LBF) (B)	OUTPUT TORQUE (LB-IN)	GEAR STAGE	SERVICE FACTOR (SF)	CATALOG NUMBER
1 (CONT.)	119	14.68	937	529	2	2.46	H_482GH80G4
	108	16.17	937	582	2	2.46	
	100	17.55	1142	632	2	2.46	
	91	19.13	1142	689	2	2.46	
	84	20.95	1142	754	2	2.46	
	76	23.07	1142	831	2	2.46	
	66	26.53	1142	956	2	2.46	
	61	28.74	1517	1035	2	2.46	
	55	31.77	1517	1144	2	2.40	
	47	37.06	1517	1335	2	2.17	
	42	41.26	1517	1486	2	2.02	
	39	45.38	1884	1634	2	1.91	
	34	51.28	1884	1847	2	1.87	
	49	35.59	1517	1282	3	2.46	
	42	41.38	1517	1490	3	2.46	
	38	45.91	1884	1654	3	2.41	
	35	50.00	1884	1801	3	2.21	
	31	55.92	1884	2014	3	1.98	
	29	61.14	1884	2202	3	1.81	
	26	67.10	1884	2417	3	1.65	
24	73.99	1986	2665	3	1.49		
21	82.02	1986	2954	3	1.35		
19	92.91	1986	3346	3	1.19		
17	102.52	1986	3692	3	1.08		

ANEXO C: DIMENSIONES DE CHAVETAS Y CHAVETEROS DIN 6885-1

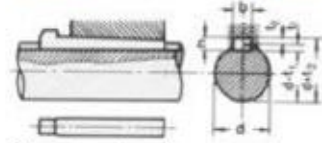
DIMENSIONES CHAVETEROS Y CHAVETAS S/DIN 6885/1 - 6886 y 6887
STANDARD KEYWAYS S/DIN 6885/1 - 6886 and 6887



Chaveta paralela S/DIN-6885/1



Chaveta de cuña S/DIN-6886



Chaveta de cuña con cabeza S/DIN-6887

Ø eje d mm des de-hasta	Medidas chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas del chavetero en el eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1	Chaveta de cuña S/DIN 6886 y 6887		t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura)m/m	Ø m/m des de-hasta	Tol. H-7 m/m	
		d + t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura)m/m	d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura)m/m				
17-22	6x6	d+2,6	+0,1	d+2,1	+0,1	3,5	+0,2	10-18	+0,018 0
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4		4,1			
30-38	10x8	d+3,4		d+2,8		4,7			
38-44	12x8	d+3,2	d+2,6	4,9					
44-50	14x9	d+3,6	d+2,9	5,5					
50-58	16x10	d+3,9	d+3,2	6,2					
58-65	18x11	d+4,3	d+3,5	6,8					
65-75	20x12	d+4,7	d+3,9	7,4					
75-85	22x14	d+5,6	d+4,8	8,5					
85-95	25x14	d+5,4	d+4,6	8,7					
95-110	28x16	d+6,2	d+5,4	9,9	+0,3	180-250	+0,046 0		
110-130	32x18	d+7,1	d+6,1	11,1					
130-150	36x20	d+7,9	d+6,9	12,3					
150-170	40x22	d+8,7	d+7,7	13,5					
170-200	45x25	d+9,9	d+8,9	15,3					
200-230	51x28	d+11,2	d+10,1	17					
230-260	56x32	d+12,9	d+11,8	19,3					
260-290	63x32	d+12,6	+0,3	d+11,5		+0,3	400-500	+0,063 0	

Zonas de tolerancia en el ancho de los chaveteros

Tipo de ajuste	chavetero eje	chaveteo rueda
A presión (forzado) forced	P9	P9
Ligero	N9	J9
Deslizante	H8	D10

La chaveta deberá dimensionarse de manera que pueda transmitir el mismo momento o par de torsión que el eje correspondiente. Por ello, la longitud de dicha chaveta deberá ser, como mínimo, igual a 1,5 veces el diámetro del eje.
 Los chaveteros de eje y rueda deberán tener bordes redondeados (en todos los sentidos) para evitar la formación de grietas y posteriores roturas.

ANEXO D: TUBO ESTRUCTURAL SELECCIONADO PARA SOPORTAR LA MÁQUINA

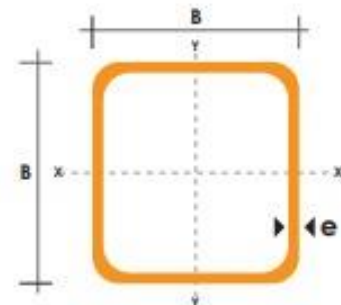
**TUBO ESTRUCTURAL
CUADRADO**

Especificaciones Generales

Norma	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6 mts.
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20mm a 100mm
Espesor	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



ANEXO E: BOMBA SUMERGIBLE PARA SISTEMA DE LUBRICACIÓN



Voltaje: 2.5-6V

Elevación máxima: 40-110cm

Caudal: 80-120l/h

Diámetro exterior de salida de agua: 7.5mm

Diámetro interior de salida de agua: 4.7mm

Diámetro: Aprox. 24mm

Longitud del cable : Aprox. 45mm

Altura: aprox. 33mm

Material: plástico

Vida útil continua de 500 horas