



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA  
DESPULPadora CAPAZ DE EXTRAER LAS SEMILLAS Y LA  
CORTEZA DE ALGUNAS FRUTAS TROPICALES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTORES:** Bone Pilataxi Cristina Daniela  
Morán Vera Samuel Efraín  
**TUTOR:** Franklin Illich Kuonquí Gaínza

Guayaquil - Ecuador  
2023

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	15
<b>II.</b>	<b>PROBLEMA</b>	16
<b>III.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	17
<b>IV.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	18
IV-A.	<b>Objetivo General</b> . . . . .	18
IV-B.	<b>Objetivos Específicos</b> . . . . .	18
<b>V.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	19
V-A.	<b>Conceptos Generales</b> . . . . .	19
V-A1.	Frutas . . . . .	19
V-A2.	Aspectos nutricionales de las frutas . . . . .	19
V-A3.	Recomendación de ración de frutas . . . . .	19
V-A4.	Tipos de frutas . . . . .	19
V-A5.	Pulpa . . . . .	19
V-A6.	Características principales de la pulpa . . . . .	19
V-A7.	Proceso de elaboración y extracción de pulpa . . . . .	19
V-A8.	Selección y separación . . . . .	21
V-A9.	Lavado . . . . .	21
V-A10.	Corte . . . . .	21
V-A11.	Despulpado . . . . .	21
V-A12.	Tratamiento de calor . . . . .	21
V-A13.	Conservación . . . . .	21
V-A14.	Aditivos aprobados y utilizados para la preparación de pulpa . . . . .	21
V-A15.	Conservantes o preservativos . . . . .	22
V-A16.	Calidad . . . . .	22
V-A17.	Proceso de control de productos . . . . .	22
V-A18.	Comercialización . . . . .	23
V-B.	<b>Equipos, Procesos y Métodos</b> . . . . .	23
V-B1.	Máquina Despulpadora . . . . .	23
V-B2.	Tipos de máquinas despulpadoras de frutas . . . . .	23
V-B3.	Despulpadoras tipo manual . . . . .	23
V-B4.	Despulpadoras tipo semi industriales . . . . .	24
V-B5.	Despulpadoras tipo industriales . . . . .	24
V-B6.	Tipos de procesos de extracción de pulpa . . . . .	26
V-B7.	Proceso de molienda . . . . .	27
V-C.	<b>Materiales y Soldaduras</b> . . . . .	28
V-C1.	Acero Inoxidable . . . . .	28
V-C2.	Acero inoxidable en la producción de maquinaria para la industria alimenticia. . . . .	28
V-C3.	Tipos de aceros inoxidables AISI . . . . .	28
V-C4.	Soldadura en aceros Inoxidables . . . . .	29
V-C5.	Procedimientos de soldadura más usados en aceros inoxidables . . . . .	30
V-C6.	Electrodos para soldadura de aceros inoxidables. . . . .	31
V-C7.	Factores que afectan la resistencia a la corrosión de las soldaduras en acero inoxidable. . . . .	31
V-C8.	Penetración completa de las soldaduras . . . . .	32

	V-C9.	Contaminación por hierro . . . . .	32
	V-C10.	Evitar óxidos superficiales de la soldadura . . . . .	33
	V-C11.	Otros defectos relacionados con la soldadura en acero inoxidable . . . . .	33
	V-C12.	Teoría de la distorsión . . . . .	33
	V-C13.	Factor de seguridad . . . . .	34
	V-C14.	Diseño por resistencia a la fatiga . . . . .	35
V-D.	<b>Estudio de Alternativas</b> . . . . .		35
	V-D1.	Máquina despulpadora horizontal . . . . .	35
	V-D2.	Máquina despulpadora vertical . . . . .	36
V-E.	<b>Selección de la Alternativa</b> . . . . .		37
	V-E1.	Determinación de parámetros a puntuar . . . . .	37
	V-E2.	Valores de criterios . . . . .	37
	V-E3.	Matriz de decisión . . . . .	37
	V-E4.	Decisión de alternativa . . . . .	38
V-F.	<b>Diseño y Software</b> . . . . .		38
	V-F1.	Máquina . . . . .	38
	V-F2.	Mecanismo . . . . .	38
	V-F3.	Prototipo . . . . .	38
	V-F4.	Diseño . . . . .	38
	V-F5.	Diseño Mecánico . . . . .	39
	V-F6.	Software . . . . .	39
<b>VI.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>		40
VI-A.	<b>Procedimiento</b> . . . . .		40
	VI-A1.	Elaboración de la máquina . . . . .	40
	VI-A2.	Piezas de la máquina . . . . .	40
	VI-A3.	Material seleccionado . . . . .	40
	VI-A4.	Esquema mecánico de la máquina . . . . .	40
	VI-A5.	Etapas del mecanismo del prototipo . . . . .	41
VI-B.	<b>Análisis y cálculos</b> . . . . .		41
	VI-B1.	Características del fruto a despulpar . . . . .	41
	VI-B2.	Cálculos de la tolva . . . . .	42
	VI-B3.	Presión interna en la tolva . . . . .	42
	VI-B4.	Presión en la pared de la tolva . . . . .	43
	VI-B5.	Cálculo del factor de seguridad . . . . .	46
	VI-B6.	Análisis de la tolva con SolidWorks . . . . .	47
	VI-B7.	Análisis de cinemático del despulpador . . . . .	49
	VI-B8.	Cálculo del cortador de fruta . . . . .	51
	VI-B9.	Cálculo del factor de seguridad de la cuchilla . . . . .	52
	VI-B10.	Cálculo por resistencia a la fatiga . . . . .	53
	VI-B11.	Análisis de la cuchilla con SolidWorks . . . . .	54
	VI-B12.	Cálculo del agitador . . . . .	55
	VI-B13.	Cálculo del factor de seguridad por carga estática de las paletas . . . . .	57
	VI-B14.	Cálculo por resistencia a la fatiga. . . . .	59
	VI-B15.	Análisis de la paleta con SolidWorks . . . . .	62
	VI-B16.	Análisis estructural de la base . . . . .	63
	VI-B17.	Cálculo de potencia de trabajo. . . . .	64
	VI-B18.	Selección de bandas . . . . .	65
	VI-B19.	Eje principal de la despulpadoras . . . . .	70
VI-C.	<b>Sistema Eléctrico</b> . . . . .		81
	VI-C1.	Circuito Eléctrico . . . . .	81
	VI-C2.	Circuito de Potencia . . . . .	82

<b>VII. RESULTADOS</b>	83
VII-A. Análisis estático de la tolva . . . . .	83
VII-B. Análisis estático de las Cuchillas . . . . .	83
VII-C. Análisis estático de las paletas . . . . .	84
VII-D. Análisis estático del eje . . . . .	84
VII-E. Validación de la capacidad kg/h . . . . .	85
<b>VIII. MANUAL DE USUARIO</b>	88
VIII-A. Manual de procedimiento de operación . . . . .	88
VIII-B. Especificaciones de la máquina . . . . .	88
VIII-C. Vista general de la máquina . . . . .	88
VIII-D. Proceso de instalación de máquina . . . . .	89
VIII-E. Seguridad industrial . . . . .	89
VIII-F. Funcionamiento de la máquina. . . . .	89
VIII-G. Limpieza de la máquina. . . . .	89
VIII-H. Manual de mantenimiento de una despulpadora: . . . . .	90
<b>IX. CRONOGRAMA</b>	92
<b>X. PRESUPUESTO</b>	102
<b>XI. CONCLUSIONES</b>	103
<b>XII. RECOMENDACIONES</b>	104
<b>XIII. ANEXOS</b>	105
XIII-A. Láminas de Piezas Despulpadora . . . . .	105
XIII-B. Anexo A . . . . .	124
XIII-C. Anexo B . . . . .	125
XIII-D. Anexo C . . . . .	126
XIII-E. Anexo D . . . . .	126
XIII-F. Anexo E . . . . .	127
XIII-G. Anexo F . . . . .	127
XIII-H. Anexo G . . . . .	128
XIII-I. Anexo H . . . . .	128
XIII-J. Anexo I . . . . .	129

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Proceso general de elaboración y extracción de frutas [2] . . . . .	20
2.	Despulpadora manual[11] . . . . .	23
3.	Despulpadora de tipo semi industrial horizontal[11] . . . . .	24
4.	Despulpadora de tipo industrial vertical[26] . . . . .	24
5.	Despulpadora de tipo industrial horizontal[11] . . . . .	25
6.	Tipos de proceso de extracción de pulpa [13] . . . . .	26
7.	Molino manual [13] . . . . .	27
8.	Molino de cuchillas [13] . . . . .	27
9.	Molino rallador [13] . . . . .	27
10.	Despulpadora con motor [13] . . . . .	28
11.	Matriz de decisión . . . . .	38
12.	Propiedades Físicas . . . . .	42
13.	Diseño Tolva . . . . .	43
14.	Diseño Tolva . . . . .	43
15.	Diagrama de carga distribuida . . . . .	44
16.	Diagrama fuerza cortante de la tolva . . . . .	45
17.	Diagrama Momento flector de la tolva . . . . .	45
18.	Mallado de Tolva . . . . .	48
19.	Análisis de tensión . . . . .	48
20.	Análisis de desplazamiento . . . . .	49
21.	Factor de Seguridad . . . . .	49
22.	Diagrama de cuerpo libre . . . . .	50
23.	Diagrama de cuerpo libre de las cuchillas . . . . .	51
24.	Diagrama de fuerza y momento de la cuchilla . . . . .	51
25.	Análisis de tensión cuchillas . . . . .	54
26.	Análisis de desplazamiento cuchillas . . . . .	55
27.	Factor de Seguridad . . . . .	55
28.	Diagrama de cuerpo libre agitador . . . . .	56
29.	Sección circular . . . . .	56
30.	Diagrama de cuerpo libre . . . . .	57
31.	Diagrama fuerza y momento de la paleta . . . . .	58
32.	Análisis de tensión . . . . .	62
33.	Análisis de desplazamiento . . . . .	62
34.	Factor de Seguridad . . . . .	63
35.	Análisis de desplazamiento . . . . .	63
36.	Factor de Seguridad de la base . . . . .	64
37.	Elección de tipo de banda . . . . .	66
38.	Relación de Trasmisión . . . . .	66
39.	Arco de contacto de la correa . . . . .	67
40.	Tensiones en la polea . . . . .	69
41.	Diagrama de cuerpo libre . . . . .	70
42.	Fuerzas en la cuchilla . . . . .	71
43.	Diagrama de cuerpo libre plano x-y . . . . .	72
45.	Diagrama de cuerpo libre plano x-z . . . . .	74
47.	Simulación de elementos finitos . . . . .	79
48.	Análisis de desplazamiento eje . . . . .	79
49.	Factor de Seguridad . . . . .	80
50.	Circuito Eléctrico . . . . .	81
51.	Circuito de Potencia . . . . .	82

52.	Resultados análisis estático . . . . .	83
53.	Resultados análisis estático . . . . .	83
54.	Resultados análisis estático . . . . .	84
55.	Resultados análisis estático . . . . .	84
56.	Máquina instalada . . . . .	85
57.	Peso Recipiente . . . . .	85
58.	Peso de balde con guayabas . . . . .	86
59.	Capacidad de producción . . . . .	86
60.	Tamiz de 3 mm . . . . .	87
61.	Tamiz de 1mm . . . . .	87
62.	Resultado pulpa . . . . .	87
63.	Resultado jugo . . . . .	87
64.	Componentes de la máquina . . . . .	88
65.	Detalle de componentes . . . . .	88
66.	Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023 . . . . .	92
67.	Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023 . . . . .	93
68.	Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023 . . . . .	94
69.	Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023 . . . . .	95
70.	Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023 . . . . .	96
71.	Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023 . . . . .	97
72.	Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023 . . . . .	98
73.	Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023 . . . . .	99
74.	Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023 . . . . .	100
75.	Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023 . . . . .	101
76.	Presupuesto elaborado por Bone-Morán, 2022 . . . . .	102
77.	Lámina Tolva (Bone-Morán) . . . . .	105
78.	Lámina Soporte de cuchilla (Bone-Morán) . . . . .	106
79.	Lámina Cuerpo (Bone-Morán) . . . . .	107
80.	Lámina Despulpador (Bone-Morán) . . . . .	108
81.	Soporte Cuchillas (Bone-Morán) . . . . .	109
82.	Lámina Salida (Bone-Morán) . . . . .	110
83.	Lámina Eje Principal (Bone-Morán) . . . . .	111
84.	Lámina Eje Agujero (Bone-Morán) . . . . .	112
85.	Lámina Eje Eje(Bone-Morán) . . . . .	113
86.	Lámina Platina(Bone-Morán) . . . . .	114
87.	Lámina Caucho (Bone-Morán) . . . . .	115
88.	Lámina Polea Eje (Bone-Morán) . . . . .	116
89.	Lámina Polea Motor (Bone-Morán) . . . . .	117
90.	Lámina Correa (Bone-Morán) . . . . .	118
91.	Lámina Base Motor (Bone-Morán) . . . . .	119
92.	Lámina Tapa Cuerpo (Bone-Morán) . . . . .	120
93.	Lámina Tapa Estructura (Bone-Morán) . . . . .	121
94.	Lámina Tapa Polea (Bone-Morán) . . . . .	122
95.	Lámina Estructura (Bone-Morán) . . . . .	123
96.	Acero AISI 304 . . . . .	124
97.	Características de motores WEG . . . . .	125
98.	Factor de carga . . . . .	126
99.	Factor de seguridad según norma ANSI-ASME . . . . .	126
100.	Factor de Confiabilidad . . . . .	127
101.	Tabla para la obtención de las constantes de Marín . . . . .	127

102. Factor de Temperatura . . . . . 128  
103. Factor de Confiabilidad . . . . . 128  
104. Concentración de Esfuerzos . . . . . 129

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Cristina Daniela Bone Pilataxi** con documento de identificación N° **0803590827** y **Samuel Efraín Morán Vera** con documento de identificación N° **0950201202**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a, que sin fines de lucro, la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2023

Atentamente,



---

Cristina Daniela Bone Pilataxi  
0803590827



---

Samuel Efraín Morán Vera  
0950201202

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Cristina Daniela Bone Pilataxi** con documento de identificación N° **0803590827** y **Samuel Efraín Morán Vera** con documento de identificación N° **0950201202**, expresamos nuestra voluntad, y, por medio del presente documento, cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DESPULPADORA CAPAZ DE EXTRAER LAS SEMILLAS Y LA CORTEZA DE ALGUNAS FRUTAS TROPICALES**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 25 de febrero del año 2023

Atentamente,

---

Cristina Daniela Bone Pilataxi  
0803590827

---

Samuel Efraín Morán Vera  
0950201202

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Franklin Illich Kuonquí Gaínza**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA DESPULPADO-RA CAPAZ DE EXTRAER LAS SEMILLAS Y LA CORTEZA DE ALGUNAS FRUTAS TROPICALES** realizado por **Cristina Daniela Bone Pilataxi** con documento de identificación N° **0803590827** y por **Samuel Efraín Morán Vera** con documento de identificación N° **0950201202**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2023

Atentamente,



---

Ing. Franklin Illich Kuonquí Gaínza, Mg.  
0909627432

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mi madre Carola Yojhansa Pilataxi Chiliquinga, por las enseñanzas sobre disciplina, responsabilidad, amor y ética, gracias por cada momento que compartimos y la lucha tan grande que dio como resultado llegar a alcanzar este logro, porque mis logros son suyos. A mi padre Joffre Bone, por su inmenso cariño, su cuidado y apoyo sin igual hasta sus últimos momentos de vida para asegurar mi bienestar en el transcurso estos años de estudios universitarios.

A mi único hermano Cristhian Bone Pilataxi quien me acompañó en todo el período académico universitario como base firme frente a todos los obstáculos y llegar a obtener un título de tercer nivel juntos.

Finalmente a mi pareja Andres Ronquillo por su confianza y apoyo absoluto que me ha impulsado a seguir adelante para llevar a cabo mi carrera.

Gracias por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba.

**Cristina Daniela Bone Pilataxi**

Este trabajo de titulación está dedicado a mis padres tanto a mi mami Francisca Vera Castro, quien es el pilar fundamental de mi trayectoria, y, a mi papi Felipe Morán Salazar, quien es mi fuente de inspiración para jamás desmayar. Ambos me han guiado con su amor, y ejemplo de dedicación y perseverancia a lo largo de mi vida. A su vez, a mis hermanos, Christian, Shirley, y, Jorge, quienes han sido mi apoyo durante cada faceta, quienes, pese a todo, me han demostrado su afecto, cariño, y constancia.

No obstante, es menester agradecer a mi abuelita Juana por sus oraciones, y perseverantes palabras de aliento. Además, a cada familiar y persona amiga quienes me han impulsado, y, me ha demostrado que la educación es un puente que nos permite aprender e innovar a nuevos mundos en donde los sueños son posibles. Especialmente a mis amigos Fátima, Viviana, Karla, Joshua, Wilson, Eduardo, y Kevin, quienes entre risas y llantos me han acompañado en todo momento sin cuestión alguna. .

**Samuel Efraín Morán Vera**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco mucho por la ayuda de Dios que me ha sabido dar la sabiduría, a mi madre por su gran esfuerzo, por su amor incondicional y por inculcarme el valor de la perseverancia para afrontar los retos y dificultades de la vida. De igual manera a mi abuela de parte de madre, por su infinito apoyo en este transcurso de estudios universitarios.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, a los docentes y a mis compañeros por formar importante del desarrollo y cumplimiento del presente trabajo de investigación. Agradezco a todas las personas que directa o indirectamente me apoyaron para alcanzar este logro.

Agradezco además de manera especial al Ing. Franklín Kuonquí por su guía ante la realización de este proyecto con sugerencias y por la confianza brindada para culminar el mismo.

**Cristina Daniela Bone Pilataxi**

Agradezco a mi familia, amigos, y, a cada docente partícipe de la instrucción recibida durante la carrera de ingeniería mecatrónica, quienes con su conocimiento y su apoyo brindaron las herramientas necesarias para cumplir con las expectativas que conlleva ser un ingeniero. De forma muy especial, al Ingeniero Franklin Kuonquí quien fue el docente tutor de este proyecto.

Agradezco a todas esas amistades que me dio directamente como indirectamente la universidad porque me han demostrado ser grandes seres humanos, y me han brindado su apoyo, aun cuando avanzar parecía difícil. Así como también, a todos mis amigos ausentes, y presentes quienes han sido de apoyo y motivación durante cada jornada a lo largo de este camino.

**Samuel Efraín Morán Vera**

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un prototipo de máquina despulpadora de ciertas frutas tropicales y subtropicales para el crecimiento económico y financiero de los agricultores del cantón Simón Bolívar. La elaboración de este modelo se basa en una investigación exhaustiva sobre las necesidades y demandas que tienen lugar en las zonas rurales de la provincia de Guayas, y de tal forma se propone el análisis estructural estático y de elementos finitos de una máquina despulpadora de guayabas, que se encarga de transformar la materia prima, fruta de guayaba, en pulpa de guayaba. Para esto, se simuló el comportamiento de los elementos principales o críticos en el software SolidWorks de acuerdo con las distintas cargas que interactúan en los elementos que conforman la máquina.

Con respecto al procedimiento, primero se caracterizó la materia prima y se calculó la capacidad máxima de nuestra máquina, para a partir de aquí analizar el caso crítico en cada uno de los elementos relevantes. Por tanto, se evidenció que la máquina diseñada cumple con los requerimientos de funcionamiento, dado que los esfuerzos de tensión obtenidos se encuentran por debajo del límite elástico del material elegido, un acero AISI 304, a su vez, el desplazamiento máximo de los elementos siempre se mantuvo por debajo de un 1 mm y los factores de seguridad obtenidos siempre fueron mayores a uno, y se adaptan a la normativa de ANSI ASME, por estas razones se concluyó que la máquina no fallará por resistencia mecánica ni por fatiga.

Por último, se diseñó el diagrama eléctrico y, posteriormente, se instaló el tablero de control. Por tanto, mediante la lectura de dicho esquema se procedió al montaje bajo adecuados parámetros estandarizados del circuito eléctrico diseñado. Una vez realizada la conexión eléctrica, se prosiguió a concretar pruebas para asegurarse del correcto funcionamiento del prototipo mediante la verificación de la continuidad eléctrica, la configuración de los ajustes de control y la calibración de los instrumentos de medición. De tal forma, una vez que todo fue probado y verificado se puso en marcha el tablero de control y el equipo controlado.

**Palabras claves:** *análisis estático, análisis estructural, despulpadora de guayaba, diagrama eléctrico, factor de seguridad, simulación de elementos finitos.*

## ABSTRACT

The objective of this project is to develop a prototype pulping machine for certain tropical and subtropical fruits for the economic and financial growth of farmers in the Simón Bolívar town. The elaboration of this model is based on an exhaustive investigation on the needs and demands that take place in the rural areas of the province of Guayas, and in this way the static structural analysis and finite elements of a guava pulping machine is proposed, which is in charge of transforming the raw material, guava fruit, into guava pulp. For this, the behavior of the main or critical elements in the SolidWorks software was simulated according to the different loads that interact in the elements that make up the machine.

With respect to the procedure, first the raw material was characterized and the maximum capacity of our machine was calculated, to then analyze the critical case in each of the relevant elements. Therefore, it was evidenced that the designed machine meets the operating requirements, given that the tensile stresses obtained are below the elastic limit of the chosen material, an AISI 304 steel, in turn, the maximum displacement of the elements always it remained below 1 mm and the safety factors obtained were always greater than one, and they are adapted to the ANSI ASME regulations, for these reasons it was concluded that the machine will not fail due to mechanical resistance or fatigue.

Finally, the electrical diagram was designed and, the control board was installed. Therefore, by reading said scheme, we proceeded to assemble it under adequate standardized parameters of the designed electrical circuit. Once the electrical connection was made, tests were carried out to ensure the proper functioning of the prototype by verifying electrical continuity, configuring the control settings and calibrating the measuring instruments. In this way, once everything was tested and verified, the control panel and the controlled equipment were put into operation.

**Key words:** *static analysis, structural analysis, guava pulper, electrical diagram, safety factor, finite element simulation.*

## I. INTRODUCCIÓN

La localidad tanto geográfica como topográfica colinada y montañosa hacen de Ecuador un país excepcional para el cultivo de algunas frutas tanto tropicales como subtropicales. Ciertamente, el país presenta cuatro zonas relativamente homogéneas como son la región Costa, Sierra, Amazónica y las Islas Galápagos. Por lo que, sus condiciones climáticas como temperatura, precipitación y humedad ambiental son fundamentales para la constante y adecuada formación de árboles frutales que permiten una extensa gama de posibilidades de exportación tanto del fruto natural como la conservación de su pulpa.

Es necesario remarcar que la zona tropical, en donde el Ecuador se encuentra ubicado, ofrece determinadas franjas para la producción de esta variedad de frutas que le permiten una vasta ventaja comparativa para lograr un continuo abastecimiento de acuerdo con las necesidades nutricionales requeridas por la población tanto nacional como internacional. Así es como, gracias a la amplia variabilidad climática que existe en todo el territorio ecuatoriano, el país es un lugar especial para el sombrero de diferentes tipos de frutas. Por tanto, todo este sistema representa una gran oportunidad de negocio, ya que los países importadores crean una demanda masiva y así se requiere de la fruta en sus diferentes presentaciones como lo es su pulpa y jugo.

Este proyecto está direccionado a la construcción de una máquina despulpadora de frutas para los pequeños agricultores del cantón Simón Bolívar de la ciudad de Guayaquil, con esto se contribuye al medio rural, se pretende implementar el dispositivo y encaminar su beneficio para los productores de los diferentes frutos que se cultivan y cosechan dentro del país. De hecho, Ecuador es uno de los países que actualmente es ampliamente reconocido como productor de frutas tropicales, y alrededor de 20 tipos de frutas son las más vendidas a nivel internacional destacándose así la maracuyá, el banano, la granadilla, el tomate de árbol, la guanábana, la pitahaya, la piña, el orito, entre otros. [5]

En la actualidad, se busca el avance de la tecnología en cualquier área, es así como nace la necesidad de pasar de mano de obra al uso de máquinas para mejorar la calidad de un bien material y un bien consumible; por tanto, es aquí donde se aplica el control para la verificación y progreso del cultivo de frutas, puesto que con esto se medirá el rendimiento, las tolerancias y se garantizará al consumidor las cantidades y presentaciones eficientes del producto final.

## II. PROBLEMA

Desde el año 1869, en Estados Unidos, se desarrolla el embotellado del zumo de uva en la empresa Welch de New Jersey. En consecuencia, en el Estado de Florida empezó a desarrollarse la mayor producción de zumos cuando se aplicó la pasteurización para su conservación. Luego, a inicios del año 1891, en la ciudad de Matagalpa en Nicaragua, el alemán Otto Nicklaus Kuhl Von Derfectch desarrolló la primera máquina despulpadora de café. Posteriormente, en el año de 1986 se construyó la primera máquina despulpadora de fruta diseñada por el ingeniero Ricardo Quirós del centro de investigación de alimentos en Costa Rica. Años después, la producción industrial de zumos y pulpas nace progresivamente en Estados Unidos. [8]

Tanto en Ecuador como en los países agrónomos, se ha notado una migración sostenible y creciente de la presentación natural de las frutas a su extracto, según la demanda del consumidor. Es así como, desde el año 2004 empezó a incrementar la cantidad de proveedores de pulpa de fruta, lo cual fue una limitante para los compradores masivos de fruta fresca, tales como: restaurantes, empresas de catering, hoteles, entre otros. Sobre todo, a nivel parroquial, las distintas zonas rurales del Ecuador se dedican al sembrío de frutos para comercializar su cosecha al sector industrial para la extracción y venta de zumos y pulpas, siendo este último proceso aquel que está ganando mercado dentro y fuera del país. De hecho, aparecen en diversos empaques congelados tipo bolsas plásticas totalmente recubiertas o en tipo malla, o, a su vez, como en los tipos sachet.

En promedio el precio de venta por saco de 40 libras de fruta natural, maracuyá, se aproxima a los 14 dólares de los Estados Unidos de América; mientras que, la pulpa extraída sobre ese mismo fruto oscila en 2 dólares con 20 centavos por cada 500 gramos; es decir, de cada saco obtendríamos 6047.9 gramos de pulpa lo cual estaría siendo vendido a 26 dólares con 61 centavos. Por tanto, el pequeño agricultor al vender en 14 dólares cada saco, estaría absteniéndose a ganar 12 dólares con 61 centavos adicionales por su producto debido a que no cuenta con una máquina que le brinde el servicio de despulpado y un mayor beneficio monetario por su ardua labor.

Uno de los obstáculos más relevantes en la actualidad es la carencia de procesos para mejorar las condiciones de extracción de pulpa de la fruta, mejorar la calidad del producto más su competitividad a nivel de los pequeños productores como son los campesinos rurales. Por ende, una gran decena de marcas de pulpa es expendida en supermercados, ferias, plazas, entre otros lugares del Ecuador; por lo tanto, se debe priorizar múltiples cualidades cumpliendo con las normas de calidad establecidas para su comercialización nacional e internacional ya que se busca ser parte de los insumos consumidos por países de todos los continentes.

### III. JUSTIFICACIÓN

Existen empresas dedicadas a la extracción y producción de pulpa las cuales están en constante búsqueda de maquinarias con nuevas características para realizar su proceso de una manera más ágil para así optimizar dinero y tiempo. Uno de los principales propósitos de la recolección de pulpa de frutas, además de abastecer al círculo familiar, es llevarla al mercado internacional, por eso se debe asegurar que el producto mantenga su calidad para garantizarlo sin perder sus propiedades nutricionales u orgánicas.

Dentro del Ecuador, hay una alta demanda de pulpa de fruta debido a que es uno de los países con mayor variedad de producción de frutas tropicales, exóticas, y curiosas. Por tanto, cuenta con un progresivo crecimiento de mercado de exportación de pulpa fresca. Por este motivo, surge la idea del desarrollo de una máquina despulpadora de frutas, permitiendo al pequeño productor agrícola un ágil proceso de despulpe y la disminución de maniobras de operación e incremento de la producción, otorgando así un mayor beneficio a este sector que podrá hacer uso de esta herramienta.

En la actualidad, se debería impulsar que los productores campesinos rurales tecnifiquen sus procesos para encaminarlos al compromiso de una constante innovación de modelos y estrategias industriales que les permitan ser más competitivos ante la resolución de los diversos problemas relacionados a la adquisición y trayectoria de la marca, medios del posicionamiento del producto final, aprobación de normas y estándares de calidad, elevación de costos y gastos en el proceso, realidad en el stock para alcanzar la demanda del producto, entre otros.

Sin duda alguna el constante avance de la tecnología es la fuente de poder hacia el mañana, por esto se busca la innovación tecnológica para el acrecentamiento de la productividad agrícola mediante la cual se evaluarán los costos, mantenimiento, y distribución de la extracción de la pulpa de las diversas frutas. Mediante la implementación de la máquina se promueve la mejora del proceso de producción de cualquier empresa o incluso dentro del círculo familiar ofreciendo así calidad y satisfacción al consumidor ya que la provincia del Guayas posee un vasto sector frutícola que busca innovar en las técnicas de la conservación de la fruta mediante el proceso de extracción de su pulpa.

## IV. OBJETIVOS

### *IV-A. Objetivo General*

Desarrollar el prototipo de una máquina despulpadora para la extracción o separación de las semillas y la corteza de algunas frutas tropicales con una producción estimada de al menos 100 kilogramos por hora, utilizando software CAD e implementando una estructura metálica.

### *IV-B. Objetivos Específicos*

- Investigar los diferentes métodos de despulpado de frutas y los equipos actualmente existentes mediante la revisión de artículos y manuales de este tipo de dispositivos.
- Determinar los parámetros de diseño para la construcción de la estructura de soporte de la máquina despulpadora de frutas como maracuyá, guayaba, y tomate de árbol de forma ininterrumpida, automática, rápida y eficiente.
- Diseñar de la etapa mecánica y eléctrica del prototipo utilizando softwares especializados.
- Implementar el equipo diseñado para la validación de su funcionamiento.
- Validar el proceso de producción mediante el rendimiento kilogramo por hora.
- Elaborar tanto un manual de procedimiento de operación como un manual de mantenimiento para que el usuario final opere correctamente el equipo.

## V. MARCO TEÓRICO

### V-A. *Conceptos Generales*

#### V-A1. *Frutas*

La definición de frutas, descrita por el Código Alimentario Español [9], es el fruto, grupo de frutas, semilla y parte carnosa de un órgano floral que ha madurado y se encuentra apto para el consumo humano.

#### V-A2. *Aspectos nutricionales de las frutas*

Por lo general, las frutas aportan importantes minerales nutricionales que el ser humano necesita para su constante crecimiento y desarrollo. En consecuencia, proporcionan materias primas que se utilizan para distintos fines, principalmente celulosa, pectina, entre otros. Además, contienen compuestos químicos como antioxidantes y fotoquímicos los cuales facilitan el estilo de vida de la población mejorando su condición física, y mental. A todo esto, gran variedad de frutos conserva un elevado contenido de agua de 75 a 93 por ciento como estimado [10].

#### V-A3. *Recomendación de ración de frutas*

Según el [9] cada ración de frutas debería contener 120 a 200 gramos y se sugiere más de tres raciones por día, siendo su equivalente por ración:

- 1 plato mediano.
- 1 jarrón pequeño de cerezas o fresas.
- 2 pequeños pedazos de melón dulce.

#### V-A4. *Tipos de frutas*

Las frutas se pueden clasificar de muchas formas; por ejemplo, por su tipo comercial, por el clima en el que crecen ya sea tropical o boscoso, por la estación del año en que crecen, por el color, el tamaño de su forma adulta, entre otras [19].

Por tanto, su clasificación según su naturaleza se distingue en cárnicos cuya parte comestible es mayor al 50 por ciento de agua, secos cuya parte comestible es menor al 50 por ciento de agua y oleosos cuya parte comestible es grasosa. Por otro lado, si se clasifica según su estado, el fruto puede ser fresco, seco puesto a la reducción de agua por la acción natural del aire y la luz solar, deshidratado de forma natural o por diferentes técnicas. [12]

#### V-A5. *Pulpa*

La pulpa es la parte comestible de la fruta fresca, sana, madura y pura que ha sido partida, tamizada y convertida en un producto de pasta, no diluida, no concentrada, no fermentada. Por cierto, esta es lo carnoso y se extrae del fruto mediante un proceso técnico suficiente. Por otro lado, difiere del jugo solo en la consistencia ya que son glutinosos, y esto marca la diferencia. En adición, la pulpa fría tiene más beneficios sobre los frutos completos, es decir, sobre aquellos frutos naturales que aún incluyen su cáscara, y semillas [25].

#### V-A6. *Características principales de la pulpa*

- El proceso de enlatado significa que la fruta se puede almacenar hasta por un año. De esta forma, permanece únicamente la parte comestible del fruto y se evita la acumulación de los residuos.
- La pulpa congelada conserva su aroma, color y sabor original.
- Menos variación en las propiedades nutricionales durante la congelación.
- La pulpa actúa como un almacén para la fruta cuando la disponibilidad es baja.

#### V-A7. *Proceso de elaboración y extracción de pulpa*

La fruta debe estar en su punto óptimo de madurez, sin piel rota, ya que esta puede ser rutas de contaminación microbiana, y, por lo tanto, afectar la calidad de cualquier pulpa. Un buen ejemplo de esta situación es cuando se exprime una naranja para hacer jugo. Por lo que, si una fruta resulta en mal estado, estropea el sabor de todo el jugo que se hace.

Lo mismo sucede con la fruta en mal estado, esto funciona como inyectar frutas en buenas condiciones, con una variedad de microbios dañinos; por tanto, arruinan el resultado final del producto deseado. Para la maracuyá, quizás la fruta más abundante después del banano y la que tiene mayor probabilidad de ser procesada en las regiones de la Costa y Oriente, es importante saber cuándo es el mejor momento para ser cosechada justo en la temporada que

contiene mayor cantidad de azúcar y menos almidón ya que se utiliza no solo para la elaboración y transformación de este, sino también para la conservación del producto para su venta u expendio, además que, para todos los usos posteriores, es una situación favorable dentro el proceso.

Según [2], por generalidad, el proceso de elaboración y extracción de pulpa congelada es:



Figura 1: Proceso general de elaboración y extracción de frutas [2]

Por bloque detallado de procesos, se indica que las operaciones de producción de pulpa de frutas congeladas, a lo largo de su proceso, se puede dividir en tres fases:[2]

- Fase de adecuación:  
La fase de adecuación indica el proceso de adecuación desde la recepción del fruto, y su debida selección y clasificación. Cabe destacar que en alguno de los casos se procede moler las frutas para suavizar su pulpa y posterior a esto de las lleva la desinfección.
- Fase de operación:  
Mientras que el proceso de operación se procede a pelar, cortar, extraer, moler o cribar la cáscara de la pulpa, y consecutivamente, a refinar el producto final extraído.

- Fase de conservación:

Dentro de esta etapa, se recurre al proceso térmico, es decir a la pasteurización del producto y por consiguiente a su envasado y congelado para su posterior comercialización.

*V-A8. Selección y separación*

La fruta estropeada, podrida, descompuesta, deteriorada debe separarse y desecharse por completo. Por lo cual, todo el proceso se puede realizar en una mesa o en una cinta transportadora con contenedores donde el operador puede depositar la fruta desechada. Así es como, la pérdida en esta etapa se estima en un 15 %. Dicho esto, este tipo de tarea debe ser ejecutada por personal capacitado ya que juega un papel importante al momento de escoger y hacer un control de calidad sobre la fruta, el color, el olor o la dureza del fruto debe ser el apropiado y conveniente para la línea de producción [7].

*V-A9. Lavado*

La fruta seleccionada debe lavarse antes del proceso de despulpado, que elimina las partes claras de la suciedad, como tierra, suciedad, hojas, etc. Para ello, antes del lavado, es necesario utilizar una mezcla de agua con desinfección basado con yodo u otro producto homologado para la asepsia de frutas o alimentos. Debido a esto, el proceso de lavado, las frutas deben estar en constante movimiento para así al ejercer fricción se facilite su asepsia [7].

*V-A10. Corte*

Se debe recordar que, después de lavar la fruta, la cortan, cuanto más se corta la piel, más impurezas se acumulan en la comida, es decir, en la parte interna de la fruta, debido a esto se realiza un proceso en buen entorno higiénico con respectivo cuidado.

*V-A11. Despulpado*

Este proceso consiste en la separación de la cáscara y las semillas de los distintos frutos según el tipo de proceso aplicado, es decir se puede separar esto en un solo paso dejando así la pulpa lista para el proceso que continua ya sea el proceso de pasteurización o su consumo directo.

*V-A12. Tratamiento de calor*

Luego de someterse a los procesos anteriores desde el lavado hasta el despulpado, la pulpa de fruta obtenida se somete al tratamiento térmico hasta 80 grados centígrados y presión atmosférica, toda esta fase se lleva a cabo en una olla propuesta para dicha función. Dicho sea de paso, a este proceso de lo conoce como pasteurización, y reduce o destruye microorganismos que hace que se deteriore la producción.

El producto que se puede almacenar como pulpa depende del tiempo que se le quiera dar. Para ello, se pueden utilizar tres métodos:

- Congelando la pulpa de fruta posterior a la pasteurización.
- Posterior al pasteurizado, se añaden aditivos químicos, se envasa y se almacena con o sin refrigeración.
- Mediante el tratamiento térmico se pasteuriza- evacua y se procede a su conservación a temperatura ambiente.

*V-A13. Conservación*

La forma ideal de almacenamiento es la congelación mediante una efectiva cadena de frío. Otro método podría ser la conservación química y así mantener el rendimiento del producto en condiciones óptimas hasta su consumo. Una alternativa a la celulosa natural congelada, para no utilizar conservantes químicos, es utilizar azúcar en la mezcla, para obtener celulosa de azúcar para la posterior obtención de néctares o jugos preparados. Por otro lado, si existe duda sobre la calidad de la cadena de frío o si el producto se vende sin congelar, se deben utilizar conservantes químicos o una combinación de conservantes y azúcar [7].

*V-A14. Aditivos aprobados y utilizados para la preparación de pulpa*

- Antioxidante:

- Ácido ascórbico: Es un antioxidante que permite la regeneración de las células, aportando un mejor desarrollo de los elementos dentro del sistema inmune.

- BHA y BHT: Forma parte de los óleos designado para los alimentos, tiene desventajas por atacar a la salud

de las personas y con el tiempo desarrollan enfermedades a causa de su consumo masivo.

- **Acidulantes:**
  - **Ácido cítrico:** Se lo conoce por ser parte de los aditivos dentro de la industria de los alimentos el cual ayuda a la preservación de estos.
  - **Ácido Tartárico:** Es un acidificante de forma innata mayormente empleado en bebidas, refrescos y golosinas.
- **Estabilizantes o Emulsionantes:**
  - **Polifosfato de sodio de potasio:** Es utilizado para la producción de queso, es conocido por causar desorden digestivo más descalcificación de los huesos en menores de edad.
  - **Estearoil lactilato de sodio y calcio:** Empleado en lugares de productos dulces como heladerías, chocolaterías, panadería y pastelería, pero en algunos países está suspendido su uso.
- **Saborizante, Aromatizantes y colorantes:**
  - **Aromas:** Producto extirpado de plantas y vegetales, los cuales permiten utilizar su esencia como disolución dentro del producto final.
  - **Glutamato de Sodio:** Es usado en la típica sal de cocina, y que suele aumentar el gusto por comer.
  - **Ácido guanílico e inositol:** Este químico proviene del fósforo, afecta al metabolismo de las personas.
  - **Tartrazina:** Colorante de color amarillo.
  - **Quinoleína:** Colorante que permite dar color a cualquier producto comestible.
  - **Negro brillante:** Producto químico de color negro.
  - **Azorrubina:** Colorante Químico de color rojo.
  - **Amaranto:** Colorante rojizo, prohibido en algunos países como Rusia entre otros.
  - **Caramelo amonio:** Producto proveniente de la azúcar elevada a temperaturas altas junto a sales con amonio.
  - **Verde brillante:** Colorante de tono verdoso, artículo expuesto a enfermedades catastróficas.

#### V-A15. *Conservantes o preservativos*

- **Ácido benzoico:**

Producto de alto riesgo causantes de alergias y con alta probabilidad para producir cáncer.
- **Sulfito de Sodio de calcio:**

Es utilizado comúnmente en zumos de frutas, gelatinas y derivados.
- **Nitrito de sodio:**

Se encuentra dentro de los productos con alto rango de riesgo, químico peligroso que acaba con los glóbulos rojos.
- **Anhídrido carbónico:**

Es uno de los pocos conservantes que no presenta daños tóxicos, pero si atrasa el proceso digestivo del ser humano.

#### V-A16. *Calidad*

Cuando se aplican los procedimientos adecuados la pulpa resultante tendrá un nivel contaminado permisible, el cual abre camino para su consumo y producción. Con esto, se evalúa la calidad del producto final, mediante las diferentes operaciones como lo son: [\[29\]](#)

- **Análisis del porcentaje de contaminación permisible.**
- **Supervisión de proceso.**
- **Observación y evaluación del producto final.**
- **Seguimiento y control del producto durante su almacenaje y proceso de entrega.**

#### V-A17. *Proceso de control de productos*

- **Insumo primario:**

Examinar de manera detallada y minuciosa las frutas que no contengan organismos no correspondientes como seta u otros que provoquen la fermentación y putrefacción de este.
- **Durante su procesamiento:**

Todo el proceso debe guiarse a las normas de calidad existentes, desde su corte, lavado y extracción hasta el refinado y envasado.

- Dentro del producto terminado:  
Debe ser analizado y evaluado el sabor, si está dentro de los parámetros de azúcar y el nivel de acidez, para garantizar su tiempo de vida provechosa.
- Almacenado:  
El producto se almacena de manera apropiada ya sea por refrigeración u otro método de conservación para su debida distribución.

#### V-A18. *Comercialización*

Este aspecto es de gran importancia para que el pequeño agricultor se encargue de expenderlos, puesto que se sabe que la pulpa de las frutas es uno de los elementos más valorados por su alto nivel de contenido nutricional, de esta forma los usuarios finales le dan mérito a su procesamiento a la hora de adquirirla.

### V-B. *Equipos, Procesos y Métodos*

#### V-B1. *Máquina Despulpadora*

Es una máquina que elimina semillas, tallos, pieles y otros productos no deseados para obtener pulpa para jugo, néctar o conservas. La pulpa permite que las plantas esparzan sus semillas, y consecutivamente es obtenida mediante el siguiente proceso de separación: [13]

- En la tolva de alimentación se deposita la fruta.
- Luego, el producto ingresa al eje central giratorio, cabe señalar que la velocidad del eje puede ser fija o variar.
- Continuamente se rompe la cáscara de estos frutos mediante la ayuda de varios pines.
- El producto obtenido pasa a un recipiente y este es mediante aspas es presionado contra una malla para lograr así filtrar las partículas.
- Por tanto, al final las semillas, y los residuos son expulsados por la parte posterior mientras que la pulpa filtrada se descarga por otro lado de la despulpadora.

#### V-B2. *Tipos de máquinas despulpadoras de frutas*

Recordando que la despulpadora tiene cualidades como reducción de tiempo de producción y eficacia, entre los dispositivos de procesamiento de alimentos existen máquinas tipo industriales y semi industriales con gran variedad de capacidad según la demanda del pequeño agricultor. [31]

#### V-B3. *Despulpadoras tipo manual*

Su proceso consiste en colocar el fruto dentro de la tolva de entrada, y, posteriormente, mover de forma manual la manija de rotación en sentido horario. Mientras tanto, la fruta será llevada hasta un tamiz mediante un tornillo sin fin, y de esta forma se busca separar la pulpa de las semillas y la cáscara para que de esta forma salga deslizándose directamente al recipiente.



Figura 2: Despulpadora manual[11]

#### V-B4. Despulpadoras tipo semi industriales

Este tipo de despulpadoras son planteadas de forma horizontal, usualmente este despulpador de tornillo sin fin accionado por el mango se puede utilizar para diferentes frutas simplemente cambiando su filtro de uso. En vista de ello, este tipo de maquinarias también cuenta con una bandeja horizontal, un motor que gira en su interior y el filtro que se encarga de hacer fricción al fruto para llevar a cabo su finalidad de extracción. Un ejemplo de este tipo de máquinas se muestra a continuación:



Figura 3: Despulpadora de tipo semi industrial horizontal[11]

#### V-B5. Despulpadoras tipo industriales

Este tipo de despulpadoras se clasifica en:

- Máquina despulpadora vertical

A diferencia de las otras, este tipo de dispositivo lleva cuchillas o paleras que se encargan de realizar el trabajo, es decir, de forma vertical realizan la misma función de revolver todo y exprimir las frutas para obtener la separación de sus alimentos [26].



Figura 4: Despulpadora de tipo industrial vertical[26]

- Máquina despulpadora horizontal  
Su proceso se realiza de tal forma que, al ingresar la cantidad de frutos, permita el movimiento adecuado para sacar la pulpa y las semillas en diferentes envases.



Figura 5: Despulpadora de tipo industrial horizontal[11]

V-B6. Tipos de procesos de extracción de pulpa

Además del tipo de máquinas despulpadoras de frutas, existen varios procesos por los cuales también se extrae la pulpa. Los cuales se detalla a continuación:

PROCESO	TIPO DE MATERIAL	ENERGÍA	CAPACIDAD
MOLIENDA	Maja Mortero	Manual	50 kilogramos por hora
	Machucador	Manual	
	Amoladora de cuchillas	Manual	60 kilogramos por hora
		Motor eléctrico Gasolina Diesel	De 5 a 50 kilogramos por minuto
Molino rallador	Motor eléctrico Gasolina Diesel	De 0,3 a 5 toneladas por horas	
DESPULPADO	Túnel cónico con paredes perforadas	Manual Motor eléctrico Gasolina Diesel	75 kilogramos por hora
	Compresión de túnel corto no cónico ejercida por las pulpas	Motor	De 10 a 75 kilogramos por minuto
			La capacidad depende del tipo de motor

Figura 6: Tipos de proceso de extracción de pulpa [13]

V-B7. *Proceso de molienda*

- Molino manual



Figura 7: Molino manual [13]

- Molino de cuchillas

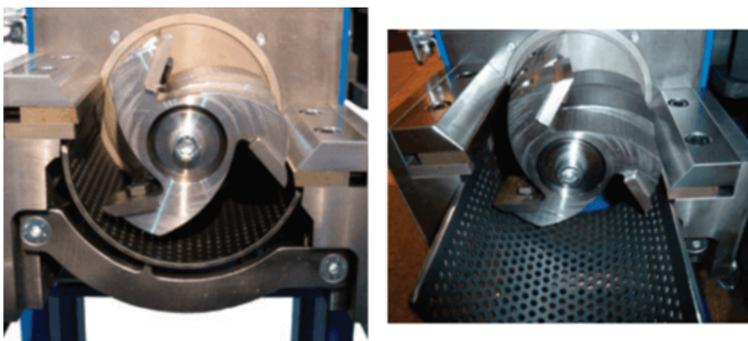


Figura 8: Molino de cuchillas [13]

- Molino rallador



Figura 9: Molino rallador [13]

- Despulpado con motor



Figura 10: Despulpadora con motor [13]

### V-C. *Materiales y Soldaduras*

#### V-C1. *Acero Inoxidable*

Familia de aceros que permite una resistencia a la corrosión, esto se debe a la aleación entre el cromo y níquel, por lo cual, permite estabilidad y resistencias a la oxidación.

Entre otras propiedades se tiene: [14]

- Resistentes a prominentes temperaturas.
- Al ser un material de simple fabricación, es un material liso y resulta fácil su higiene.
- Como es una aleación con una gran durabilidad, es reciclable por ende el costo es mínimo.

#### V-C2. *Acero inoxidable en la producción de maquinaria para la industria alimenticia.*

La seguridad alimentaria es importante y se deben cumplir sus normas requeridas, y entre ellas se destaca la conservación de alimentos, es decir la higiene de las materias primas. Gracias a las propias características y propiedades de los aceros inoxidables como su pureza, resistencia y durabilidad, además de su bajo costo; se han convertido en un metal vital en la industria alimenticia. Beneficios en la producción de maquinarias:

- Alta resistencia a golpes y cargas mecánicas.
- Su limpieza es simple y contribuye a la destrucción de bacterias.
- No contiene ninguna ranura que se degrada fácilmente.

#### V-C3. *Tipos de aceros inoxidables AISI*

Dentro de los aceros inoxidables según, American Iron & Steel Institute AISI, se clasifican en 4 tipos que corresponden a las estructuras formadas en aleaciones:

- **Aceros inoxidables martensíticos:**  
Son fabricados desde 11.5 % hasta 18 % de cromo y cantidades moderadas hasta de 1.2 % de carbono para resaltar sus propiedades de resistencia mecánica y dureza por tratamiento térmico. Los más utilizados son los tipos 410 y 416; sin embargo, pertenecen también a la familia los de tipo: 403, 414, 420, 440A, 501. Entre otras características: [27]
  - Resistentes a la corrosión.
  - Son magnéticos con baja ductilidad.
- **Aceros inoxidables ferríticos:**  
Son fabricados desde 12 % hasta 27 % de cromo y cantidades de carbono con el más bajo porcentaje utilitario

de 0.08 % para no perjudicar su efecto en la resistencia a la corrosión. Incluye también, los de tipo 405, 430, 4461. Entre sus características :

- Son magnéticos con buena ductilidad.
- Bajo rendimiento en procesos con temperaturas frías.
- No son endurecidos por tratamiento térmico.

Debido a sus características, el uso de estos aceros inoxidable ferríticos es en el mercado automotriz, ya que pueden funcionar perfectamente en temperaturas altas y enfriarse mediante el aire sin la preocupación de que se agrieten.

■ **Aceros inoxidable austeníticos:**

Estos aceros, no son magnéticos y contienen un alto porcentaje de cromo que varían desde 16 % hasta 26 % y níquel con 6 % hasta 22 %, pero contienen un bajo porcentaje de carbono en un rango de 0.03 % hasta 0.08 %.

Entre sus características:

- Buena ductilidad.
- Resistentes a temperaturas altas.
- No se endurecen por tratamiento térmico.

Estos tipos de aceros inoxidable no son magnéticos, sin embargo, cuando trabajan en temperaturas bajas o frías, por rango de tiempo se convierten parcialmente magnéticos.

■ **Aceros inoxidable austenoferríticos o aceros inoxidable dúplex:**

Fabricados con un porcentaje entre 18 % y 26 % de cromo y 4.5 % a 6.5 % de níquel. Además de tener una estructura metalúrgica mixta de ferrita y austenita. Entre sus características:

- Excelente tenacidad y ductilidad.
- Resistencia a la corrosión bajo tensión.
- Son magnéticos y contienen una buena soldabilidad.

■ **Aisi 300:**

Este tipo de acero es más resistente a la corrosión que otros aceros martensíticos y sus rasgos dicen que:

- Su característica principal radica en no admitir un tratamiento térmico ya que en cualquier estado y a cualquier temperatura se encuentra constituido por austenita.
- La mayor proporción tanto de los elementos cromo y níquel le otorgan una alta resistencia a temperaturas muy elevadas, a diferencia de los otros aceros inoxidable que no soportan esa magnitud de grados.

■ **Aisi 302 :**

Es un tipo de acero inoxidable que se obtiene debido a la aleación de cromo y níquel, que contiene de 17 % a 19 % y 8 % a 10 % respectivamente. Entre sus características :

- Resistencia a la corrosión.
- No es magnético en recocido, pero sí en condiciones frías.
- No se puede endurecer por tratamiento térmico.

■ **Aisi 304 :**

Esta clase de acero inoxidable austenítico, también, es de tipo antimagnético, no aplica templabilidad, con supremas propiedades de ductilidad y su diferenciador está en una mejor resistencia a la corrosión y resistencia al golpe. En resumen, se caracteriza por:

- Ser uno de los más usados entre los aceros inoxidable de la serie 300.
- Propiedades únicas en cuanto al conformado y la soldadura.

#### *V-C4. Soldadura en aceros Inoxidables*

Las soldaduras en aceros inoxidable son la unión de dos o más piezas de acero inoxidable mediante el proceso de soldadura. Este proceso puede realizarse mediante diferentes técnicas, como la soldadura por arco eléctrico o la soldadura láser, y es comúnmente utilizado en la fabricación de productos y estructuras que requieren resistencia a la corrosión y alta durabilidad. Es importante tener en cuenta que la soldadura en aceros inoxidable requiere ciertas consideraciones y precauciones especiales para asegurar la calidad de la unión y evitar la contaminación o la deformación del material.

#### V-C5. Procedimientos de soldadura más usados en aceros inoxidable

Los procedimientos de soldadura más utilizados en aceros inoxidable son: [16]

- Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW o "stick"):

La soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, también conocida como SMAW (Shielded Metal Arc Welding), es un proceso de soldadura en el que se utiliza un electrodo recubierto de un material que produce un gas de protección al quemarse durante la soldadura. Así es como, durante este proceso, el electrodo se coloca en la pieza de trabajo y se produce un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza. De tal forma, el calor generado por el arco funde los bordes de la pieza de trabajo y el electrodo, lo que permite que se unan entre sí cuando se enfrían. A su vez, el recubrimiento del electrodo protege la soldadura del aire y otros contaminantes, lo que puede afectar la calidad de la unión. Además, el recubrimiento puede agregar materiales de aleación adicionales a la soldadura para mejorar la resistencia y otras propiedades. No obstante, se enmarca que este proceso por arco eléctrico con electrodo revestido se utiliza comúnmente en la construcción y reparación de estructuras metálicas, tuberías, maquinaria y otros productos de acero.

- Soldadura por arco eléctrico con gas de tungsteno (GTAW o "TIG"):

La soldadura por arco eléctrico con gas de tungsteno, también conocida como GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) o TIG (Tungsten Inert Gas), es un proceso de soldadura en el que se utiliza un electrodo de tungsteno no consumible y un gas inerte para proteger la soldadura de la contaminación. Así es como, durante la soldadura, el electrodo de tungsteno se sostiene en una antorcha y se produce un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza de trabajo. El gas inerte, como el argón o el helio, se utiliza para proteger la soldadura del aire y otros contaminantes. Por tanto, este proceso de soldadura ofrece una alta calidad y precisión en el proceso, así como la capacidad de soldar materiales delgados y sensibles al calor. Además, debido a que el electrodo de tungsteno no se consume durante la soldadura, no es necesario reemplazarlo con frecuencia. Cabe destacar que la junta por arco eléctrico con gas de tungsteno se utiliza comúnmente en la fabricación de productos de acero inoxidable, aluminio y otros materiales no ferrosos, así como en la industria aeroespacial y automotriz.

- Soldadura por arco eléctrico con alambre sólido y gas de protección (GMAW o "MIG"):

La soldadura por arco eléctrico con alambre sólido y gas de protección, también conocida como GMAW (Gas Metal Arc Welding) o MIG (Metal Inert Gas), es un proceso de soldadura en el que se utiliza un alambre sólido como electrodo y un gas inerte o activo como protección de la soldadura. A su vez, durante la soldadura, el alambre se alimenta continuamente en la pieza de trabajo y se produce un arco eléctrico entre el alambre y la pieza de trabajo. El gas de protección, que puede ser inerte como el argón o activo como el dióxido de carbono, se utiliza para proteger la soldadura del aire y otros contaminantes. Por tanto, este proceso de soldadura es rápido y eficiente, y permite soldar grandes áreas y piezas más gruesas que la soldadura por arco eléctrico con gas de tungsteno. Además, el uso del alambre sólido como electrodo elimina la necesidad de cambiar los electrodos durante la soldadura, y este tipo de unión por arco eléctrico con alambre sólido y gas de protección se utiliza comúnmente en la fabricación de automóviles, barcos, maquinaria pesada y otros productos de metal.

- Soldadura por arco sumergido (SAW):

La soldadura por arco sumergido, también conocida como SAW (Submerged Arc Welding), es un proceso de soldadura en el que se utiliza un electrodo continuo y un polvo fundente para crear una soldadura.

Durante la soldadura, se coloca un electrodo continuo debajo de un lecho de polvo fundente en la pieza de trabajo y se produce un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza de trabajo. El polvo fundente protege la soldadura de la contaminación y ayuda a regular la temperatura de la soldadura. Además, este proceso por arco sumergido es adecuado para soldar materiales gruesos y pesados, ya que puede producir soldaduras de alta calidad y alta penetración. Por tanto, el uso de un electrodo continuo significa que no es necesario cambiar los electrodos durante el proceso. Finalmente, la soldadura por arco sumergido se utiliza comúnmente en la construcción de grandes estructuras de acero, como puentes y torres de energía, así como en la fabricación

de equipos de minería y maquinaria pesada.

- Soldadura por haz de electrones (EBW):

La soldadura por haz de electrones es un proceso de soldadura que utiliza un haz de electrones de alta velocidad y alta energía para unir dos piezas de metal. Entonces, durante la unión por haz de electrones, un cañón de electrones utiliza una corriente eléctrica para acelerar los electrones a velocidades extremadamente altas. El haz de electrones se enfoca en un punto muy pequeño en la pieza de trabajo, generando un calor intenso que derrite y funde las piezas de metal juntas. Este tipo de proceso de junta por haz de electrones se utiliza comúnmente en la fabricación de piezas de precisión, como en la industria aeroespacial y la producción de dispositivos médicos. Como resultados, la soldadura por haz de electrones ofrece una alta calidad y precisión en la soldadura, así como una baja distorsión de las piezas de trabajo y una reducción en la necesidad de mecanizado posterior. Sin embargo, la soldadura por haz de electrones puede ser costosa y requiere equipos especializados y altamente controlados.

- Soldadura láser (LBW):

La soldadura láser es un proceso de soldadura en el que se utiliza un haz de luz láser para unir dos piezas de metal. Durante la soldadura láser, un haz de luz altamente enfocado y de alta energía se utiliza para calentar y fundir las piezas de trabajo. Entonces, el láser se enfoca en un punto muy pequeño en la pieza de trabajo, generando un calor intenso que derrite y funde las piezas de metal juntas. Así el proceso de soldadura láser es controlado con precisión por un sistema de seguimiento de alta velocidad que ajusta la posición y la intensidad del haz de láser para asegurar una soldadura uniforme. Como resultado, este proceso es ampliamente utilizada en la fabricación de productos de alta precisión, como en la industria aeroespacial, la electrónica y la producción de dispositivos médicos. La soldadura láser ofrece una alta calidad y precisión en la soldadura, así como una baja distorsión de las piezas de trabajo y una reducción en la necesidad de mecanizado posterior. Sin embargo, la soldadura láser puede ser costosa y requiere equipos especializados y altamente controlados. Consecuentemente, cada uno de estos procedimientos tiene sus ventajas y desventajas y es importante seleccionar el método adecuado según el tipo de acero inoxidable, las características de la unión que se desea realizar y las condiciones de la aplicación final. Además, es importante seguir las prácticas recomendadas de seguridad y calidad para lograr soldaduras eficientes y duraderas.

#### V-C6. *Electrodos para soldadura de aceros inoxidables.*

Existen diferentes tipos de electrodos para soldar aceros inoxidables, y la elección del electrodo dependerá de la composición del acero inoxidable y de las condiciones de soldadura. A continuación, se describen algunos de los tipos de electrodos más comunes: [18]

- Electrodos revestidos de acero inoxidable:

Son electrodos recubiertos de una capa de material que ayuda a proteger la soldadura del aire y la contaminación, y aporta elementos químicos adicionales para mejorar las propiedades de la soldadura.

- Electrodos de tungsteno:

Son electrodos no consumibles que se utilizan en procesos de soldadura TIG (tungsten inert gas) en los que se utiliza un gas inerte, como argón, para proteger la soldadura.

- Electrodos de aleación de níquel:

Son electrodos que contienen níquel y otros elementos que se utilizan para soldar aceros inoxidables de alta aleación, como el tipo 904L.

- Electrodos de aleación de cromo:

Son electrodos que contienen cromo y otros elementos que se utilizan para soldar aceros inoxidables resistentes a la corrosión, como el tipo 316.

Es importante seleccionar el tipo correcto de electrodo para la aplicación específica de soldadura y asegurarse de seguir las recomendaciones del fabricante y las especificaciones del procedimiento de soldadura.

#### V-C7. *Factores que afectan la resistencia a la corrosión de las soldaduras en acero inoxidable.*

La resistencia a la corrosión de las soldaduras en acero inoxidable puede verse afectada por varios factores, entre los que se incluyen: [15]

- **Composición química:**  
La composición química de los metales que se unen puede influir en la resistencia a la corrosión de la soldadura. La selección adecuada del tipo de acero inoxidable y del material de aporte es esencial para lograr una buena resistencia a la corrosión.
- **Diseño de la soldadura:**  
El diseño de la soldadura, incluyendo la forma de las uniones soldadas y la posición de la soldadura, puede influir en la resistencia a la corrosión. Es importante evitar la creación de zonas con concentraciones de esfuerzos y asegurarse de que la soldadura esté adecuadamente protegida contra la corrosión.
- **Procedimientos de soldadura:**  
Los procedimientos de soldadura, como la elección del tipo de proceso de soldadura y los parámetros de soldadura, pueden afectar la resistencia a la corrosión de la soldadura. Es importante seguir las recomendaciones del fabricante y las especificaciones del procedimiento de soldadura para asegurarse de que la soldadura tenga una buena calidad y resistencia a la corrosión.
- **Protección contra la corrosión:**  
Es importante proteger adecuadamente las soldaduras contra la corrosión, especialmente en ambientes corrosivos. Esto puede lograrse mediante la selección de materiales de aporte y gases de protección adecuados, así como la aplicación de tratamientos de superficie y revestimientos protectores.

En general, para asegurar una buena resistencia a la corrosión de las soldaduras en acero inoxidable, se deben tener en cuenta todos estos factores y seguir buenas prácticas de soldadura y protección contra la corrosión.

#### V-C8. *Penetración completa de las soldaduras*

La penetración completa en una soldadura se refiere al hecho de que la soldadura ha fundido todo el material base de la junta y ha penetrado completamente a través de ella. En otras palabras, la soldadura ha alcanzado una profundidad que es igual a la totalidad del espesor de la junta soldada, asegurando una unión completa entre las piezas.

Lograr la penetración completa en una soldadura es importante para garantizar una unión fuerte y resistente. Si la soldadura no penetra completamente, puede haber huecos o áreas débiles en la junta, lo que puede debilitar la estructura y aumentar el riesgo de fallas en la soldadura. Por lo tanto, se debe asegurar que las condiciones de soldadura sean adecuadas para lograr la penetración completa, y que se realice una inspección adecuada para confirmar que la soldadura cumple con los estándares de calidad requeridos.

Es importante tener en cuenta que lograr la penetración completa no siempre es necesario o factible en todas las aplicaciones de soldadura. En algunos casos, puede ser suficiente lograr una penetración parcial, especialmente en piezas de menor espesor. En cualquier caso, es importante seguir las especificaciones de diseño y los estándares de calidad aplicables para garantizar que la soldadura cumpla con los requisitos específicos de cada aplicación. [20]

#### V-C9. *Contaminación por hierro*

La contaminación por hierro es un problema común en la soldadura de aceros inoxidables y se refiere a la presencia de partículas de hierro en la soldadura, que pueden causar problemas de corrosión y debilitar la integridad de la soldadura.

La contaminación por hierro puede ocurrir de varias maneras, como a través del contacto de la soldadura con herramientas, equipos o superficies contaminadas con hierro, o por la oxidación de partículas de hierro presentes en el aire durante la soldadura. El hierro puede reaccionar con los elementos de aleación presentes en los aceros inoxidables, como el cromo y el níquel, formando compuestos que pueden debilitar la resistencia a la corrosión de la soldadura.

Para evitar la contaminación por hierro, es importante asegurarse de que las herramientas y equipos utilizados en la soldadura estén limpios y libres de partículas de hierro. También se pueden utilizar técnicas de limpieza y desengrase antes de la soldadura para eliminar la contaminación de la superficie de las piezas a soldar. Además, se pueden utilizar gases de protección adecuados para minimizar la oxidación de partículas de hierro durante la soldadura.

En general, es importante seguir los procedimientos y estándares de calidad adecuados para evitar la contaminación por hierro y garantizar una soldadura fuerte y resistente a la corrosión. [24]

#### V-C10. Evitar óxidos superficiales de la soldadura

Los óxidos superficiales en la soldadura pueden debilitar la integridad y la apariencia de la junta soldada, por lo que es importante tomar medidas para evitar su formación. Aquí hay algunos métodos comunes para prevenir los óxidos superficiales de la soldadura:

- Limpieza adecuada:  
Antes de soldar, asegúrese de que las superficies de las piezas estén limpias y libres de cualquier contaminante, como aceite, grasa, polvo o suciedad. Se pueden utilizar métodos de limpieza como la decapado químico, el chorro de arena o el cepillado para eliminar la oxidación y otros contaminantes superficiales.
- Protección contra la oxidación:  
Durante la soldadura, es importante proteger la soldadura del contacto con el aire. Se pueden utilizar gases de protección, como argón o helio, para evitar la oxidación de la superficie de la soldadura y mantener un ambiente libre de oxígeno alrededor de la junta soldada. También se puede utilizar un flux durante la soldadura para evitar la oxidación y mejorar la calidad de la soldadura.
- Control de la temperatura:  
La temperatura de la soldadura puede afectar la formación de óxidos en la superficie de la soldadura. Es importante controlar la temperatura de la soldadura y evitar el sobrecalentamiento, lo que puede aumentar la oxidación. En algunos casos, el precalentamiento de las piezas puede ser útil para reducir la oxidación durante la soldadura.
- Inspección adecuada:  
Después de la soldadura, es importante inspeccionar la superficie de la soldadura para detectar la presencia de óxidos o cualquier otro defecto. Si se detectan óxidos o contaminantes, se deben limpiar o eliminar adecuadamente para evitar problemas de corrosión en el futuro.

En general, la prevención de los óxidos superficiales en la soldadura requiere una buena planificación, limpieza y control de las condiciones de soldadura. Siguiendo estos métodos, se pueden evitar los óxidos superficiales y lograr una soldadura fuerte y resistente. [17]

#### V-C11. Otros defectos relacionados con la soldadura en acero inoxidable

Algunos otros defectos relacionados con la soldadura en acero inoxidable podrían incluir:

- Porosidad:  
Se produce cuando los gases quedan atrapados en el metal fundido, formando pequeñas cavidades en la soldadura.
- Inclusión de escoria:  
Sucede cuando la escoria se queda atrapada en la soldadura durante el proceso de soldadura.
- Fisuras en caliente o en frío:  
Pueden ocurrir durante la soldadura o después, debido a las tensiones residuales o a un enfriamiento inadecuado.
- Decoloración:  
Se produce debido a la oxidación del cromo en la capa de óxido protector en la superficie del acero inoxidable, lo que puede debilitar la resistencia a la corrosión.
- Dilución:  
Sucede cuando el metal de aporte utilizado en la soldadura se mezcla con el acero base, lo que puede cambiar la composición química de la soldadura y afectar su resistencia a la corrosión.
- Variaciones en la forma y el tamaño de la soldadura:  
Pueden producirse debido a variaciones en la corriente de soldadura, la velocidad de soldadura y otros parámetros del proceso de soldadura.

#### V-C12. Teoría de la distorsión

La teoría de la distorsión se refiere a la deformación que ocurre en las piezas de metal durante el proceso de soldadura debido a las tensiones térmicas generadas por el calor de la soldadura. De esta forma, estas tensiones térmicas pueden hacer que las piezas de metal se deformen y se desvíen de su forma original, lo que se conoce como distorsión.

La teoría de la distorsión sostiene que la cantidad de distorsión que se produce en una soldadura depende de varios factores, como la geometría de las piezas de metal, la posición de la soldadura, la cantidad de calor que se aplica durante la soldadura, la velocidad de enfriamiento y las propiedades del material utilizado.

Para minimizar la distorsión, se pueden utilizar técnicas como el precalentamiento de las piezas de metal, la utilización de sujetadores para mantener las piezas en su lugar durante la soldadura, el uso de procesos de soldadura de alta velocidad y el control cuidadoso de la cantidad de calor que se aplica durante la soldadura. También se pueden utilizar técnicas de soldadura automatizadas para asegurar una mayor precisión en la posición de la soldadura y reducir la distorsión.

La distorsión en las soldaduras puede ser causada por varios factores, entre ellos:

- La variación de la geometría de las piezas de trabajo:  
Las piezas de trabajo con diferentes espesores, anchuras y longitudes, pueden distorsionarse durante el proceso de soldadura debido a que se dilatan y se contraen de manera diferente.
- El tamaño de la soldadura:  
Las soldaduras grandes pueden requerir más calor para fundirse, lo que puede causar mayores tensiones térmicas y una mayor distorsión.
- El tipo de material:  
Los diferentes materiales tienen diferentes coeficientes de dilatación térmica, lo que puede afectar la cantidad de distorsión que se produce durante la soldadura.
- La secuencia de soldadura:  
El orden en que se realizan las soldaduras puede tener un impacto significativo en la distorsión, especialmente si se sueldan partes asimétricas.
- La cantidad de calor utilizado:  
La cantidad de calor que se aplica durante la soldadura puede contribuir a la distorsión, especialmente si se utiliza demasiado calor o si se enfriamiento de manera desigual.
- La fijación de las piezas de trabajo:  
Si las piezas de trabajo no están bien sujetas, pueden moverse durante la soldadura, lo que puede contribuir a la distorsión.

Es importante tener en cuenta estos factores al planificar y realizar una soldadura, y tomar medidas para minimizar la distorsión, como precalentar las piezas de trabajo, sujetarlas adecuadamente y utilizar técnicas de soldadura adecuadas.

#### *V-C13. Factor de seguridad*

Los factores de seguridad son valores que se utilizan para garantizar que una estructura, un diseño o un proceso sean lo suficientemente seguros para su uso previsto. Estos valores se utilizan para prevenir fallas catastróficas o para minimizar el riesgo de daños a personas, bienes y al medio ambiente. Así u vez, estos factores en la soldadura con acero inoxidable se refieren a los valores que se utilizan para garantizar que la estructura soldada de acero inoxidable sea lo suficientemente segura para su uso previsto. Estos factores se basan en la capacidad de carga y la resistencia de la estructura soldada.

La resistencia de la estructura soldada depende de varios factores, como el tipo de acero inoxidable utilizado, la calidad de la soldadura, la geometría de la estructura y otros factores. La capacidad de carga de la estructura soldada se determina a través de cálculos y pruebas, y se compara con la resistencia de la estructura para determinar el factor de seguridad adecuado.

Los factores de seguridad en la soldadura con acero inoxidable pueden variar según la aplicación. Por ejemplo, en la industria aeroespacial y de defensa, los factores de seguridad son típicamente más altos que en aplicaciones menos críticas. Es importante tener en cuenta que la calidad de la soldadura es un factor clave en la determinación de los factores de seguridad. Una soldadura de alta calidad que cumpla con las especificaciones y estándares aplicables puede permitir un factor de seguridad más bajo. Por otro lado, una soldadura de baja calidad puede requerir un factor de seguridad más alto para garantizar la seguridad de la estructura soldada. Por lo tanto, es importante asegurarse de que se sigan las mejores prácticas de soldadura y se utilicen los procedimientos adecuados para lograr una soldadura de alta calidad.

#### V-C14. *Diseño por resistencia a la fatiga*

El diseño por resistencia a la fatiga es un método de diseño utilizado para garantizar que un componente o estructura sea resistente a la falla por fatiga. La fatiga es un tipo de falla que se produce cuando un material se somete a ciclos repetitivos de cargas, lo que provoca la propagación de grietas y eventualmente la fractura.

Para el diseño por resistencia a la fatiga, se debe tener en cuenta la carga de trabajo prevista, el número de ciclos de carga que se espera que experimente el componente o estructura durante su vida útil, y la resistencia a la fatiga del material. Estos datos se utilizan para calcular el factor de seguridad contra la falla por fatiga.

De este modo el objetivo del diseño por resistencia a la fatiga es garantizar que el componente o estructura tenga una vida útil segura y confiable sin fallas prematuras debido a la fatiga. Para ello, se utilizan técnicas como la selección de materiales adecuados, la optimización de la geometría de los componentes, la minimización de los puntos de concentración de tensiones, el control de la calidad de la superficie y la aplicación de cargas de manera uniforme.

Por tanto, el diseño por resistencia a la fatiga se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, como en la fabricación de piezas de maquinaria, componentes de motores de aeronaves, estructuras de puentes y torres de energía eólica. Este método de diseño es importante para garantizar la seguridad y la fiabilidad de las estructuras y componentes que se utilizan en la vida cotidiana y en aplicaciones críticas. [30]

#### V-D. *Estudio de Alternativas*

##### V-D1. *Máquina despulpadora horizontal*

Las máquinas despulpadora verticales son similares a las máquinas despulpadora horizontales en términos de función, pero se diferencian en su diseño y funcionamiento. En lugar de funcionar de manera horizontal, estas máquinas funcionan de manera vertical y utilizan tamices y cuchillas para separar la pulpa de los frutos y semillas.

Algunos de los beneficios son más eficientes en el proceso, ya que su diseño permite un flujo más constante y una mayor capacidad de separación. Se utilizan ampliamente en la producción de jugos, pastas y purés de frutas y verduras. [22]

Las ventajas de una despulpadora horizontal incluyen:

- Mayor capacidad de producción:  
El diseño horizontal permite una mayor capacidad de producción en comparación con los modelos verticales.
- Menor riesgo de obstrucciones:  
El diseño horizontal puede resultar en un menor riesgo de obstrucciones y atascos durante el despulpe gracias a su mecanismo durante el proceso de producción.
- Mejor accesibilidad a las partes internas:  
La disposición horizontal facilita el acceso a las partes internas para el mantenimiento y la limpieza.
- Mejor calidad de despulpe:  
El diseño horizontal permite un despulpe más uniforme y eficiente de los frutos.
- Reducción de la fatiga laboral:  
La posición horizontal permite a los trabajadores una postura más cómoda durante la operación, lo que reduce la fatiga laboral.
- Fácil integración en líneas de producción:  
La despulpadora horizontal se puede integrar fácilmente en líneas de producción existentes, lo que mejora la eficiencia general del proceso.
- Estabilidad de la máquina:  
Por su estructura, este modelo es fácil de transportar y no existe riesgo de que la máquina pueda sufrir de caídas por las vibraciones o golpes recibidos en el procesamiento de la fruta.

Entre algunas desventajas de una despulpadora horizontal se encuentran:

- Costo:  
Las despulpadoras horizontales suelen ser más costosas que las verticales.

- **Requerimiento de más mano de obra:**  
El diseño horizontal puede requerir más trabajadores para la operación y el mantenimiento.
- **Menor eficiencia durante el proceso de despulpado de frutos pequeños:**  
Los frutos más pequeños pueden caer a través de las aberturas y no ser despulados adecuadamente, lo que resulta en una menor eficiencia en comparación con las despulpadoras verticales.
- **Mayor espacio requerido para su almacenamiento:**  
La despulpadora horizontal ocupa más espacio para su almacenamiento que las verticales.
- **Mayor riesgo de daños a los frutos:**  
La disposición horizontal puede resultar en una mayor cantidad de daños a los frutos debido a las vibraciones y las fuerzas de impacto durante el despulpado.

#### *V-D2. Máquina despulpadora vertical*

Una máquina despulpadora horizontal es un equipo utilizado en la industria agrícola para separar los frutos del racimo y eliminar la pulpa. Estas máquinas suelen tener un diseño horizontal y utilizan un mecanismo de giro y corte para desprender los frutos y dejar la pulpa intacta. Algunos de los frutos que pueden ser procesados con una despulpadora horizontal incluyen café, cacao y frutas tropicales. 

Algunas ventajas de una despulpadora vertical incluyen:

- **Costo:**  
Las despulpadoras verticales suelen ser más económicas que las horizontales.
- **Menor espacio requerido:**  
La despulpadora vertical ocupa menos espacio que las horizontales, lo que la hace adecuada para instalaciones de producción de tamaño pequeño.
- **Menor requerimiento de mano de obra:**  
El diseño vertical requiere menos trabajadores para la operación y el mantenimiento.
- **Mayor eficiencia durante el proceso de despulpado de frutos pequeños:**  
Los frutos más pequeños pueden ser despulados de manera más eficiente en comparación con las despulpadoras horizontales.
- **Menor riesgo de daños a los frutos:**  
La disposición vertical resulta en una menor cantidad de daños a los frutos debido a las vibraciones y las fuerzas de impacto durante el despulpado.

Algunas desventajas de una despulpadora vertical incluyen:

- **Eficiencia reducida en el proceso despulpador de frutos grandes:**  
La despulpadora vertical puede tener dificultades para despulpar frutos más grandes, lo que resulta en una eficiencia reducida en comparación con las despulpadoras horizontales.
- **Mayor tiempo de despulados:**  
La despulpadora vertical puede requerir más tiempo para despulpar una cantidad similar de frutos en comparación con las horizontales.
- **Mayor riesgo de obstrucciones:**  
El diseño vertical puede resultar en un mayor riesgo de obstrucciones y atascos durante el despulpado.
- **Mayor dificultad en la integración en líneas de producción existentes:**  
La despulpadora vertical puede ser más difícil de integrar en líneas de producción existentes debido a su diseño y configuración.
- **Menor capacidad de procesamiento:**  
La despulpadora vertical suele tener una menor capacidad de procesamiento en comparación con las horizontales.
- **Poca estabilidad de la máquina:**  
Debido a la verticalidad del modelo es probable que la máquina se desestabilice y sufra alguna caída por la vibración y golpes recibidos en el procesamiento de la fruta. Además, este modelo no beneficia a aquellos que necesitan transportar continuamente.

- Mayor complejidad en la limpieza:  
La disposición vertical puede hacer que sea más difícil limpiar la despulpadora debido a la disposición de sus componentes y mantenerla en buen estado.

#### *V-E. Selección de la Alternativa*

Para seleccionar el modelo más adecuado a fabricar, se establecen un conjunto de parámetros de diseño y seguridad que debe de tener la máquina, luego se utilizan cada uno de estos criterios para comparar ambos modelos de despulpadoras tanto horizontal como vertical y así seleccionar la alternativa más conveniente.

##### *V-E1. Determinación de parámetros a puntuar*

- Capacidad de producción:  
Cantidad de fruta despulpada por cada modelo.
- Costos:  
Modelo más barato
- Calidad de procesamiento:  
Uniformidad de la pulpa obtenida.
- Facilidad de integración:  
Facilidad para integrar a la máquina a la línea de procesamiento ya existente.
- Menor espacio:  
Se espera que el espacio físico ocupado por la máquina en la producción o en su almacenamiento sea el mínimo posible.
- Menor riesgo de obstrucciones:  
Se busca que la máquina tenga la menor probabilidad de obstrucciones posibles.
- Menor cantidad de daños a los frutos:  
Se espera que el modelo no afecte ni estropee la fruta ingresada ni la pulpa obtenida.
- Operatividad:  
Cantidad de mano de obra y facilidad para operar la máquina.
- Mantenimiento y limpieza:  
Facilidad para realizar mantenimiento, alcanzar partes internas y limpieza de la máquina.
- Estabilidad:  
Se busca que el modelo sea estable en el momento de realizar el proceso de despulpado para evitar posibles accidentes laborales.

##### *V-E2. Valores de criterios*

Para realizar la selección de la mejor opción se analiza cada uno de los parámetros descritos en ambos modelos y se los puntúa de la siguiente manera:

- 1= Es la puntuación que se otorga al mejor de los dos modelos
- 0= Es la puntuación que se otorga al peor de los dos modelos

##### *V-E3. Matriz de decisión*

A continuación, se procede a puntuar cada modelo debido a la comparación por cada parámetro.

CRITERIO	Modelo Horizontal	Modelo Vertical
Capacidad de producción	1	0
Costo	0	1
Calidad de procesamiento	1	0
Facilidad de integración	1	0
Menor espacio	0	1
Menor cantidad de daños	0	1
Menor riesgo de obstrucciones	1	0
Operatividad	0	1
Mantenimiento y limpieza	1	0
Estabilidad	1	0
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>4</b>

Figura 11: Matriz de decisión

#### V-E4. Decisión de alternativa

Para puntuar cada parámetro en la tabla de comparación se tomaron las siguientes consideraciones:

El modelo vertical es superior en aspectos como el precio y facilidad de manejo, otro punto a favor de este modelo es el poco espacio que ocupa, esto ayuda a que pueda ser ubicado en casi cualquier lugar sin importar lo pequeño que sea. Además, gracias a su diseño, hace que la fruta y la pulpa tengan menos probabilidades de estropearse. Sin embargo, el modelo horizontal, también tiene ventajas por sobre el vertical. En primer lugar, es superior en la producción de pulpa, así mismo, este también es superior en la calidad de procesamiento gracias a que su estructura permite que la fruta se procesada de forma mucho más homogénea que las máquinas verticales.

Otros factores que favorecen a las despulpadoras horizontales muestran que son mucho más fáciles de integrar a una línea de producción ya existente, esto es gracias a su estructura la cual facilita el manejo tanto de la fruta que se deposita como de la pulpa que se extrae, esto también ayuda a que su mantenimiento y limpieza de máquina. Por último, al distribuir toda la estructura de la máquina de forma horizontal es más fácil y seguro transportarlo y distribuir su peso en sus 4 apoyos; en contraste, el otro modelo distribuye sus componentes de forma vertical, lo que hace más difícil que sus apoyos sean capaces de soportar de forma segura su peso.

La alternativa con más puntos a favor es el modelo de despulpadora horizontal; por lo tanto, se lo considera como la mejor opción de diseño y desarrollo de prototipo.

#### V-F. Diseño y Software

##### V-F1. Máquina

Este término tiene su historia del latín *māchina*, cuyo significa señala que es un dispositivo creado, para facilitar el tratamiento y reducir el esfuerzo, por el ser humano. A su vez, para su genuino funcionamiento necesita de energía, y además es capaz de dar origen a muchos efectos como movimiento, sonido, luz, calor, entre otros [23].

##### V-F2. Mecanismo

A la vasta gama de elementos de una máquina se le denomina mecanismo. Estos, desde una parte motriz o conductor hasta una sección conducida son capaces de transmitir, y transformar movimientos y fuerza [23].

##### V-F3. Prototipo

Se le llama prototipo a determinada herramienta que es utilizada para desarrollar el primer ejemplar de una determinada idea; sin embargo, para lograr este objetivo es preciso disponer de las características para alcanzar las requeridas pruebas que verifiquen el funcionamiento del producto o servicio final [28].

##### V-F4. Diseño

Por la palabra diseño se entiende que su objeto es diseñar o embellecer algún determinando lugar u objeto. Por otra parte, se puede señalar que otro aspecto es adornar, ya sea de manera natural o artificial, y cobrar utilidad práctica sobre su creación [6].

*V-F5. Diseño Mecánico*

Esencialmente implica la descripción completa de los productos técnicos solicitados para su construcción. Este proceso incluye bocetos donde se realizan los diseños y cálculos, además de las consideraciones según el factor demandado, y también en lista la cantidad de piezas y el tipo de materia a utilizar, más el tratamiento, las dimensiones y tolerancias solicitadas [21].

*V-F6. Software*

Para el desarrollo del proyecto se requerirá de un software tipo CAD, el cual permitirá modelar piezas y ensamblarlas en 3D con sus respectivos planos en 2D. Este tipo de software no permite esquematizar el diseño, la creación, simulación, fabricación, publicación, y gestionamiento de datos del proceso del diseño [3].

## VI. MARCO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo el desarrollo de la despulpadora de frutas es de gran importancia evaluar los diseños de máquinas construidas anteriormente hasta la actualidad, para así innovar y al juntar conocimientos ser capaces de corregir errores y brindar un dispositivo más preciso para nuevas generaciones.

Al analizar o explorar alternativas sobre las características y la calidad del diseño se considera la durabilidad del equipo, de tal forma este propósito cumple con un proceso de selección adecuado y aceptable, el cual cubrirá los parámetros requeridos para la producción. Por tanto, desde el material para construir las piezas hasta su sistema eléctrico y tablero de control, serán diseñados correctamente gracias al conocimiento dentro de la ingeniería en curso.

### VI-A. *Procedimiento*

#### VI-A1. *Elaboración de la máquina*

Se necesita de distintos procesos para lograr la creación de la máquina despulpadora de frutas. Primero, se unen procesos como lo son el torneado, fresado, taladrado, doblado y soldadura. Estos procesos no son tan complicados, esto influye, luego, en el costo de elaboración de la máquina a fin, por tanto, disminuye así su valor para el usuario que vaya a adquirirlo.

#### VI-A2. *Piezas de la máquina*

La máquina despulpadora de frutas tendrá alrededor de 7 piezas principales visibles que serán las encargadas de conformar el equipo para su debido proceso.

- Tolva de ingreso de frutos
- Cámara de despulpado o cilindro
- Tamiz
- Soporte de tamiz
- Salida de pulpa
- Salida de residuos y semillas
- Protector de poleas
- Estructura metálica de la base

#### VI-A3. *Material seleccionado*

Para la selección de los materiales se tomaron en cuenta, tanto las características físicas, como lo son el esfuerzo máximo que resisten los materiales y el desgaste por fatiga, así como mecánicas, como lo son la potencia requerida, transmisión del movimiento, entre otras. Además, el problema al estar relacionado de forma directa con alimentos y materia orgánica es indispensable seleccionar materiales que no atenten contra la salud de las personas que consuman el producto final. Por tanto, previo la investigación descrita en el marco teórico, el material que cumple con los lineamientos requeridos es el acero inoxidable de tipo AISI 304.

#### VI-A4. *Esquema mecánico de la máquina*

Se continuará el diseño de la máquina ejerciendo cálculos, seleccionando de manera coherente los elementos, dimensiones, características y funcionalidad tomando en cuenta la capacidad que soportará.

- Tolva:  
Constará con una placa de acero inoxidable ubicada en la parte de arriba del cilindro mezclador, la cual gracias a la gravedad permitirá que la fruta caiga sin problema evitando así la acumulación de la fruta.
- Soporte de evacuación semilla-cascara:  
Estos soportes estarán fijados al cilindro mezclador en el lado superior, lo que quiere decir que la cascara y la semilla saldrán por el mismo lugar.
- Soporte de evacuación de la pulpa:  
Este soporte estará fijado al cilindro mezclador en el lado inferior, y por el mismo se obtendrá la pulpa procesada.

#### VI-A5. Etapas del mecanismo del prototipo

Para resolver el problema de elaborar una máquina extractora de jugos donde el humano no tenga ninguna intervención, previamente se realizó una revisión de bibliografía, donde se analizaron los mecanismos que se utilizan en la actualidad para este tipo de aplicaciones, considerando sus ventajas y desventajas, este proceso ayuda a plantear varias ideas. Luego se procedió a ejecutar una síntesis de mecanismos, el cual es un proceso inverso de análisis que consiste en conocer las dimensiones y disposición de los elementos del mecanismo con los cuales se logrará el movimiento predeterminado de un punto o de un conjunto de puntos. Finalmente, se divide la solución en cuatro etapas; transporte, corte, extracción y filtrado.

##### ■ Transporte:

En esta etapa de la despulpadora, se encarga de almacenar y encaminar a la guayaba hacia la siguiente etapa de la máquina. Todas las frutas son ingresadas por un usuario y las mismas caen por acción de la gravedad. Cabe mencionar que toda la máquina se diseñó con una ligera inclinación para que la fruta se traslade entre etapas con mayor facilidad, optimizando los costos, al no tener que usar tornillos sin fin para realizar esta tarea.

##### ■ Corte:

Una vez que las guayabas han caído por efectos de la gravedad, en el eje principal de la máquina, el cual es movido por un motor conectado a un sistema de poleas, se encuentran con cuatro aspas o cuchillas montadas encima del eje, con la finalidad de alivianar la tarea de extracción de la pulpa.

##### ■ Extracción:

En esta faceta, se contará con un contenedor que en su interior tendrá dos paletas con el objetivo de agitar la fruta mediante un movimiento rotatorio, haciendo presión contra las paredes o el cuerpo del tamiz.

##### ■ Filtrado:

El tamiz mencionado en la etapa anterior, es quien se encargará de separar el producto final; la pulpa, de los residuos; la cáscara y las semillas. Dado que el mismo funciona como un colador, por una salida lateral se impulsa la pulpa y los residuos se quedan hasta el final del eje principal hasta llegar a un segundo punto de salida.

#### VI-B. Análisis y cálculos

En esta sección, se exponen los análisis matemáticos de los elementos más importantes y críticos en una máquina extractora de la pulpa de la guayaba. En la actualidad, existe una gran cantidad de centros de acopio dedicados al sector agrícola; de tal forma, los agricultores obtienen márgenes de rédito muy pequeños al vender su materia prima a grandes industrias. Por esta razón, se requieren soluciones para mejorar la producción de los agricultores, donde ellos sean capaces de vender su producto en un eslabón más arriba de la cadena, en este caso como pulpa de la guayaba. El siguiente modelo corresponde a un sistema completo y eficiente el cual se encuentra conformado por mecanismos que funcionan en modo síncrono para obtener una extracción de la pulpa de forma rápida y efectiva.

##### VI-B1. Características del fruto a despulpar

Para aproximar el volumen total de guayabas en la entrada de la máquina; la tolva, es necesario primero definir las características promedio de una guayaba. Esta fruta generalmente tiene una forma elíptica o similar a un elipsoide, su tamaño promedio es de 9cm de largo y entre 4cm a 8cm de diámetro aproximadamente, con una masa promedio de 106.5 gramos y en una media de densidad de  $1,88g/cm^3$ .

Para calcular el volumen que ocupa cada fruta, se hará uso de la ecuación  $\square$ .

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (1)$$

$$V = \frac{0,1065kg}{0,00188 \frac{kg}{cm^3}} \quad (2)$$

$$V = 56,65cm^3 \quad (3)$$

Donde:

V= volumen

m = masa de cada fruta

p = densidad de la fruta

### VI-B2. Cálculos de la tolva

El material utilizado para la tolva es un acero inoxidable AISI 304, dado que este es ideal para trabajar con materia orgánica. Utilizando el software de dibujo y simulación de SolidWorks se obtuvo un volumen preciso de la tolva.

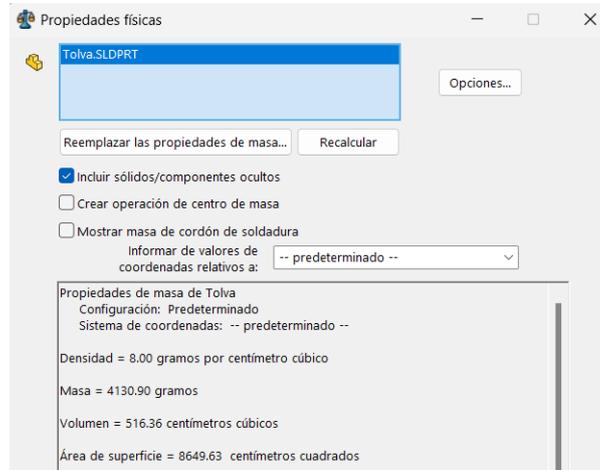


Figura 12: Propiedades Físicas

Como se puede evidenciar el volumen total es de 516.36 centímetros cúbicos, de esta manera se aproxima el caso crítico de la tolva, que será cuando se encuentre llena o atascada de fruta en un mismo instante de tiempo, lo cual permite obtener un análisis conservador y descubrir que pasa con el elemento cuando es llevado al caso extremo. Para calcular la capacidad de frutas de la tolva simplemente, se relacionará el volumen máximo del contenedor y el volumen de cada fruta, como se muestra en la ecuación 4.

$$\text{Capacidad de la tolva} = \frac{516,36 \text{ cm}^3}{56,65 \text{ cm}^3} \quad (4)$$

$$\text{Capacidad de la tolva} = 9,11 \quad (5)$$

$$\text{Capacidad máxima de la tolva} \approx 9 \text{ guayabas} \quad (6)$$

Una vez que se obtuvo el número máximo de guayabas en la tolva, se procede a calcular la carga, multiplicando la masa por la gravedad y posteriormente por el número de frutas máximas. Se plantea en la ecuación 11.

$$W_g = m_g \times g \quad (7)$$

$$W_g = 0,1065 \times 9,81 = 1,0447 \text{ N} \quad (8)$$

$$W_{max} = 9 \times 1,0447 = 9,4029 \text{ N} \quad (9)$$

### VI-B3. Presión interna en la tolva

Esta carga calculada se distribuirá por las paredes de la tolva en forma de presión, para este cálculo, se utiliza la expresión que relaciona la presión con la densidad, gravedad y altura, asumiendo que la guayaba tendría el comportamiento de un líquido como se muestra en la ecuación 10.

$$P = \rho \times g \times h \quad (10)$$

Donde:

P = Presión

p = densidad de la fruta

g = gravedad  
h = altura de la tolva

La altura de la tolva se determinará con el croquis del dibujo realizado en el simulador, como se muestra en la figura 14.

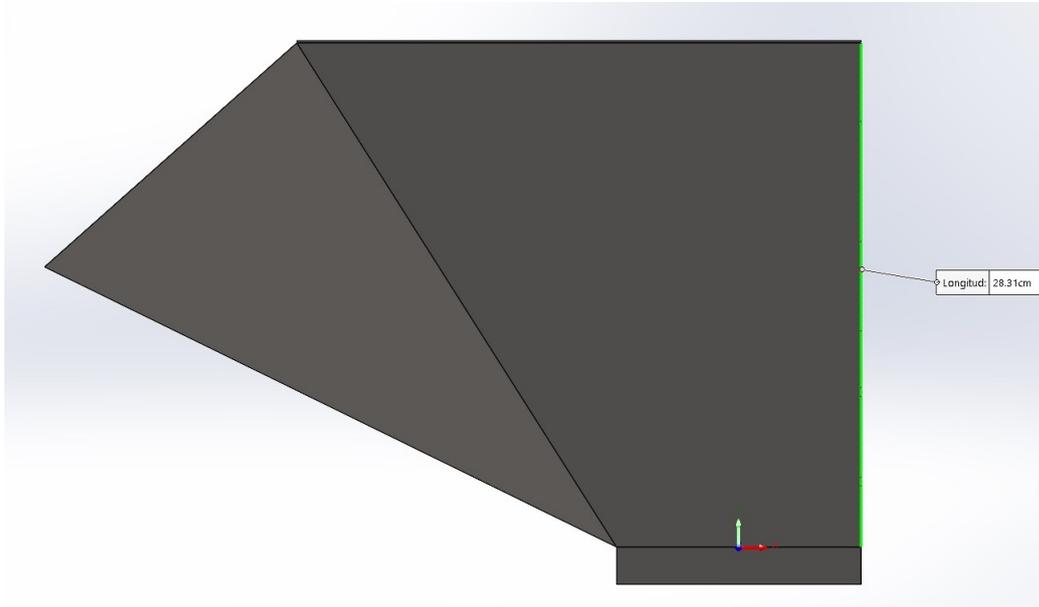


Figura 13: Diseño Tolva

Una vez que se tiene la altura se procede a realizar el cálculo mediante la ecuación 11:

$$P = \frac{1880kg}{m^3} \times \frac{9,81m}{s^2} \times 0,2831m \quad (11)$$

$$P = 5221,156Pa \quad (12)$$

$$P \approx 5,22KPa \quad (13)$$

VI-B4. Presión en la pared de la tolva

Esta presión permitirá analizar el comportamiento de la zona crítica de la tolva que es la parte inclinada, dado que es el área donde el peso de la fruta se asentará. Para obtener dicha área se utilizó el simulador solidworks como se ve en la figura 14 y se obtuvo un área de  $302.77 \text{ cm}^2$ .

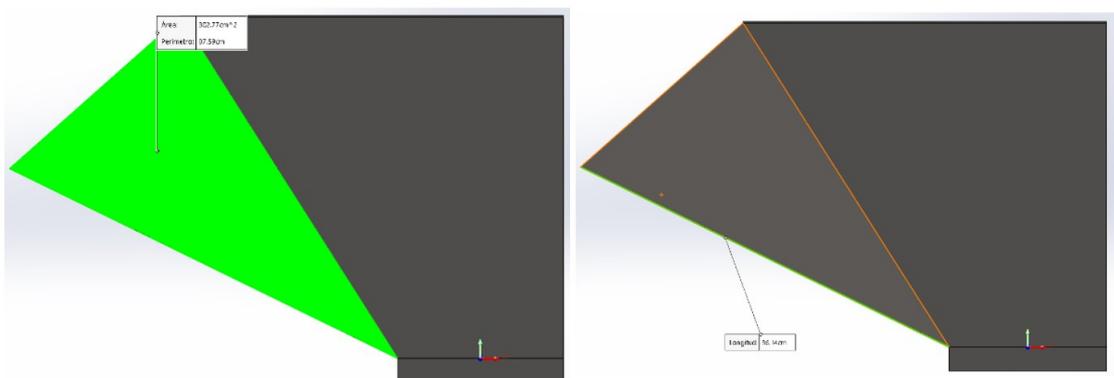


Figura 14: Diseño Tolva

Para el cálculo de la presión sobre las paredes de la tolva se despreció el efecto de la fricción, puesto que, se utilizó un acero AISI 304, que tiene un coeficiente de fricción muy bajo. Para determinar las fuerzas que intervienen en las distintas áreas de las paredes de la tolva se utilizó la ecuación [14](#).

$$P = \frac{F}{A} \quad (14)$$

$$F = P \times A \quad (15)$$

$$F = 5221,156 \text{Pa} \times 0,030277 \text{m}^2 \quad (16)$$

$$F = 158,081 \text{N} \quad (17)$$

Donde:

F = Fuerza aplicada en la cara inclinada de la tolva

P = Presión ejercida

A = Área de la sección triangular.

Para determinar la carga distribuida o fuerza por unidad de longitud ejercida por la guayaba, se empleó la formula [18](#).

$$W_g = \frac{F}{L} \quad (18)$$

$$W_g = \frac{0,15808 \text{kN}}{0,3614 \text{m}} \quad (19)$$

$$W_g = 0,4374 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (20)$$

Donde:

W = Peso de las guayabas

F = Fuerza aplicada en la cara inclinada de la tolva

L = Longitud sección triangular.

Resultados de la carga los cuales se observan en la figura [15](#)

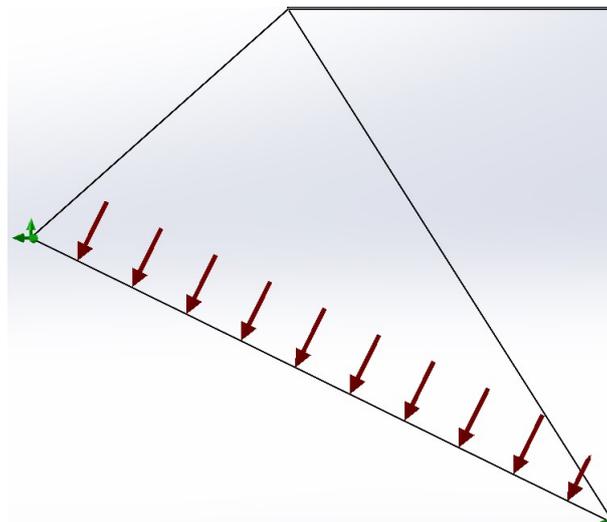


Figura 15: Diagrama de carga distribuida

A partir de este diagrama se procede a realizar los diagramas de fuerza cortante (figura [16](#)) y momento flector de la pared de la tolva (figura [17](#)), se giró el eje para simplificar para que la pared de la tolva de interés quede

recta, el referencial que se tomó fue que la parte izquierda de la sección inclinada por donde ingresa la fruta es la posición de origen y la parte más baja de la sección inclinada el punto final.

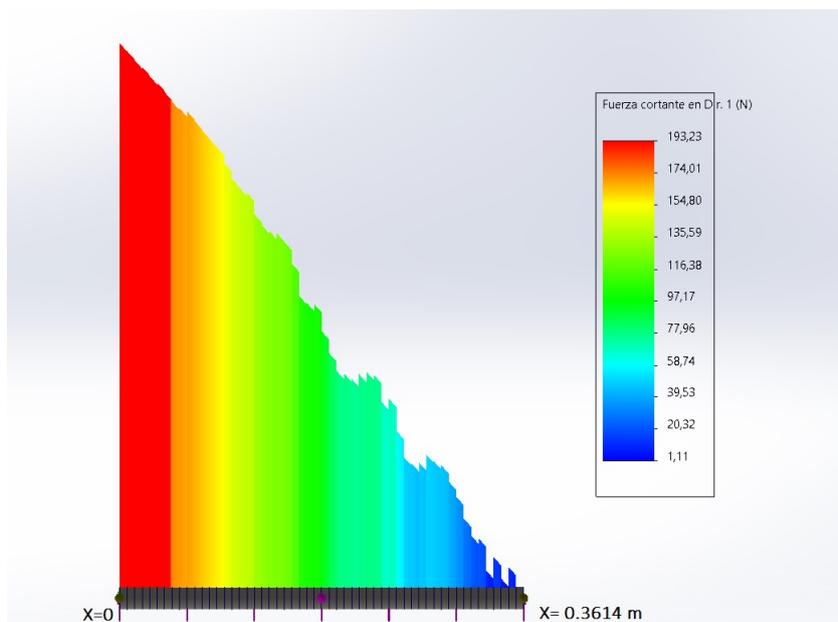


Figura 16: Diagrama fuerza cortante de la tolva

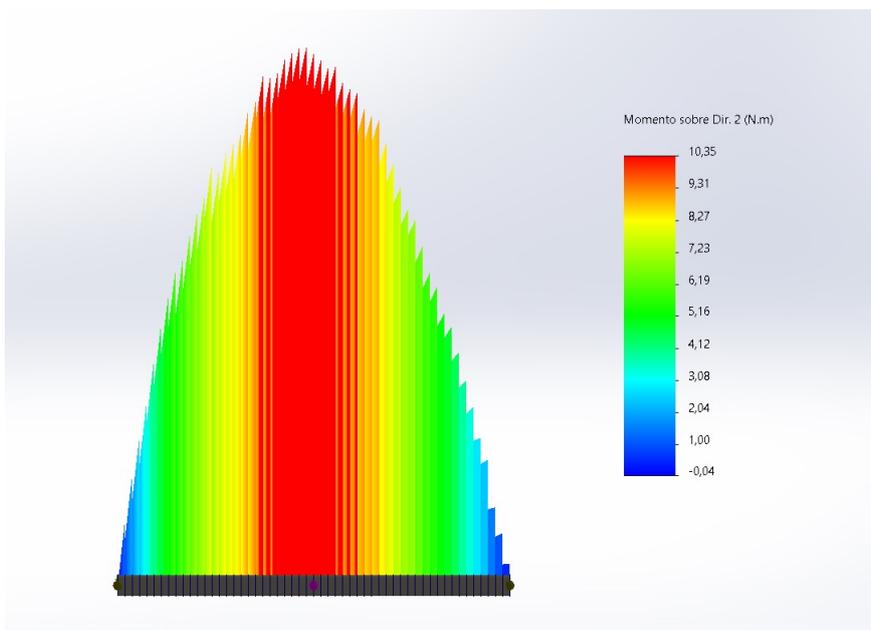


Figura 17: Diagrama Momento flector de la tolva

De esta forma se ve que los máximos para la fuerza de corte será 193.23N, en la posición inicial hasta una distancia de 4.68 centímetros, la cual fue aproximada mediante el diagrama cortante, mientras que, para el momento máximo será de 10.32 Nm justo en la mitad de la sección como se observa en la figura [17](#).

#### VI-B5. Cálculo del factor de seguridad

Al aplicar la teoría de Energía de Distorsión de Von Mises se obtendrá el factor de seguridad de la tolva. Para ello primero se debe calcular el módulo de la sección, determinado por la ecuación [21](#).

$$Z = \frac{I}{c} \quad (21)$$

Donde:

Z = Módulo de la sección.

I = Inercia de la sección transversal.

c = Distancia a la fibra más cercana medida desde el eje neutro.

La sección transversal de la pared inclinada es equivalente a estar analizando una barra, por lo tanto, se tomará esta expresión de inercia para aproximar el cálculo, mientras que, que el valor de c para este caso será del valor de b/2. Valores los cuales se toman del diseño realizado en el simulador. Reemplazando valores en la ecuación [22](#).

$$Z = \frac{\frac{1}{12} \times b^3 \times h}{\frac{b}{2}} \quad (22)$$

$$Z = \frac{\frac{1}{12} \times 0,0012^3 \times 0,3391}{\frac{0,0012}{2}} \quad (23)$$

$$Z = 8,1384 \times 10^{-8} \quad (24)$$

Una vez que obtenido este valor se puede calcular el esfuerzo normal, con la ecuación [25](#).

$$\sigma_x = \frac{M}{Z} \quad (25)$$

$$\sigma_x = \frac{10,35}{8,1384 \times 10^{-8}} \quad (26)$$

$$\sigma_x = 127,17 MPa \quad (27)$$

Donde:

$\sigma_x$  = Esfuerzo normal.

M = Momento máximo.

Z = Módulo de sección.

Para proceder a calcular el esfuerzo cortante ahora se necesita la sección de la pared inclinada, que se halla con la ecuación [28](#).

$$A = b \times h \quad (28)$$

$$A = 0,0012 \times 0,3614 \quad (29)$$

$$Z = 4,3368 \times 10^{-4} m \quad (30)$$

Donde:

A = Área de la sección inclinada

b = Base de la sección.

h = altura de la sección

Se calcula el esfuerzo cortante mediante la ecuación [31](#).

$$\tau_{xy} = \frac{3V}{2A} \quad (31)$$

$$\tau_{xy} = \frac{3 \times 193,23}{2 \times 4,3368 \times 10^{-4} m} \quad (32)$$

$$\tau_{xy} = 0,6683 MPa \quad (33)$$

Donde:

$\tau_{xy}$  = Esfuerzo cortante.

V = Fuerza cortante.

A = Área de la sección.

Una vez calculados los esfuerzos máximos, ahora si se procede a utilizar Von Mises, con la ecuación [34](#).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (34)$$

$$\sigma' = \sqrt{127,17^2 + 3(0,6683)^2} \quad (35)$$

$$\sigma' = 127,17 MPa \quad (36)$$

Donde:

$\sigma'$  = Esfuerzo total.

$\sigma_x$  = Esfuerzo normal.

$\tau_{xy}$  = Esfuerzo cortante.

Para calcular el factor de seguridad se aplica la siguiente expresión. Se utiliza un esfuerzo de fluencia de 276 MPa el cual corresponde al AISI 304, con la ecuación [37](#).

$$\sigma' = \frac{Sy}{n} \quad (37)$$

$$n = \frac{276 MPa}{127,17 MPa} \quad (38)$$

$$n = 2,17 \quad (39)$$

Este cálculo teórico demuestra que el material elegido y el espesor de la tolva es adecuado para soportar la carga máxima posible que puedan producir las guayabas, además un factor de seguridad por encima de dos, es un buen margen considerando que la máquina no puede soportar ninguna carga mayor a la calculada por una limitación geométrica del espacio de la tolva y la materia prima.

#### VI-B6. Análisis de la tolva con SolidWorks

Luego de realizar los cálculos teóricos del diseño se simuló el modelo en elementos finitos para corroborar los resultados obtenidos previamente, en la Figura [18](#) se observa la tolva sometida a las cargas externas y también sus puntos de apoyo en la parte baja.

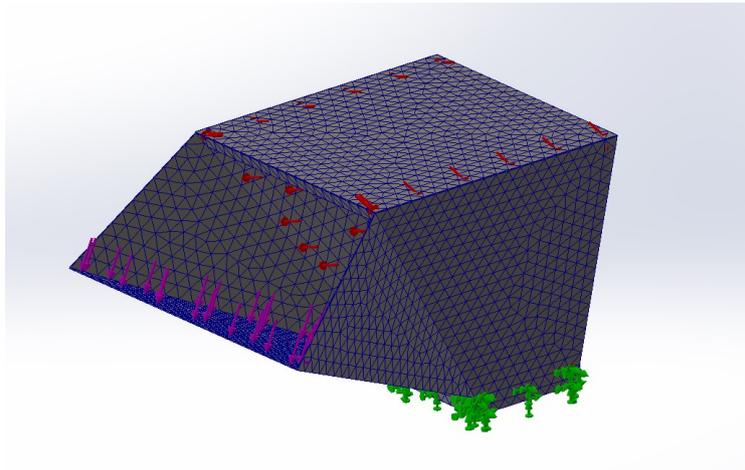


Figura 18: Mallado de Tolva

Una vez que se tiene configurado el elemento de la máquina, se procede a realizar un análisis de tensiones utilizando Von Mises en el simulador.

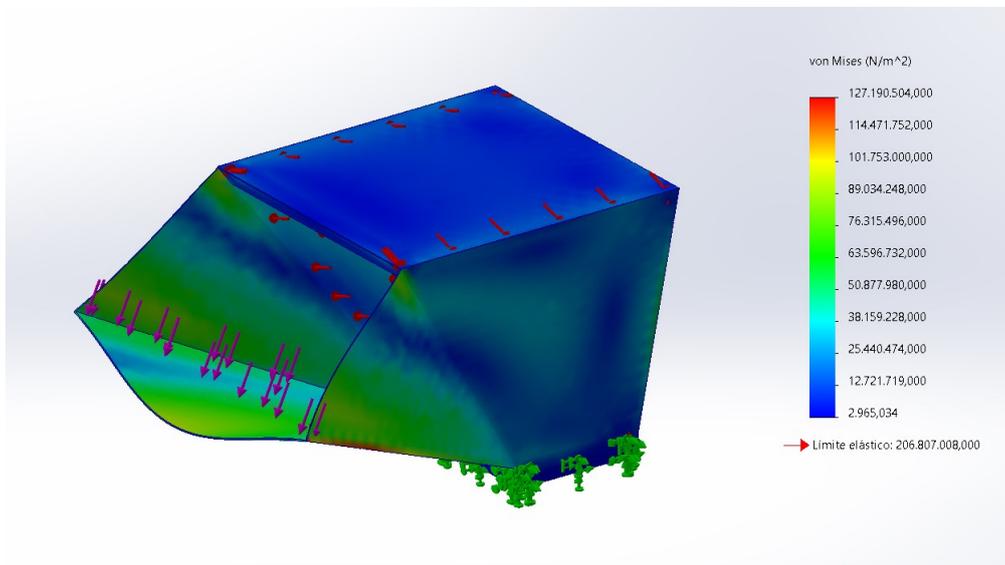


Figura 19: Análisis de tensión

De la figura [19](#), se evidencia que el esfuerzo de Von Mises para una fuerza de entrada de 437.4 N y una presión de 5221.156 Pa y un límite elástico de 206.8MPa que el diseño de la tolva es adecuado para soportar la máxima capacidad de almacenaje de guayabas .

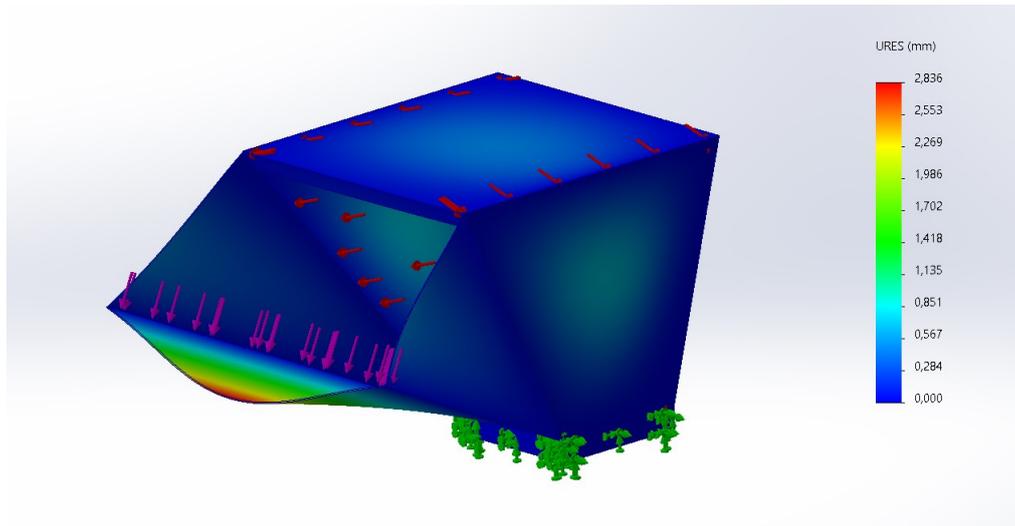


Figura 20: Análisis de desplazamiento

Con respecto a la deformación se ve que la tolva tiene un punto crítico en la pared que va a soportar la carga ejercida por las guayabas, lo cual, es congruente con el cálculo teórico realizado previamente, la deformación máxima es de 2.83 mm, sin embargo, al ser una porción muy pequeña de la tolva y considerando que casi todo el elemento no presenta deformaciones, se infiere que el diseño realizado y el espesor no tendrá ningún problema para soportar la carga máxima como se evidencia en la figura 20.

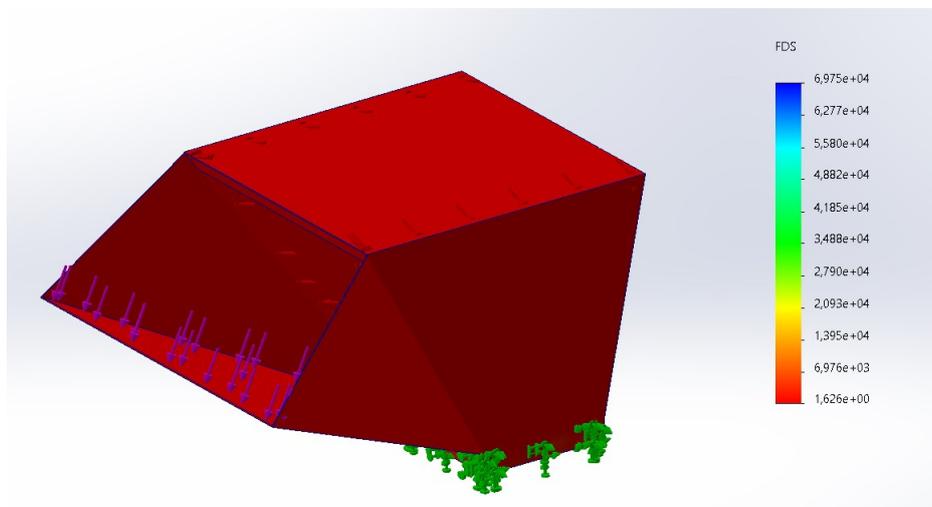


Figura 21: Factor de Seguridad

Con respecto al factor de seguridad, se obtuvo un mínimo de 1.62, con este valor se garantiza que las dimensiones seleccionadas para el diseño son adecuadas. La diferencia que existe entre los cálculos teóricos con el simulador, es que, para facilitar los cálculos se obviaron algunas características geométricas que si las toma en cuenta el simulador, como resultado se ve la figura 21.

#### VI-B7. Análisis de cinemático del despulpador

Las fuerzas que afectaran al despulpador dependen de la velocidad de rotación de la fruta, dado que este movimiento producirá una fuerza centrífuga que impulsara la fruta permitiendo separar la pulpa de las semillas y

cascara.

La fuerza centrífuga depende del radio, y está debe ser mayor a la fuerza del peso del fruto para que el mismo, siempre se mantenga en contacto con las paredes, además para que el fruto atraviese toda la sección del despulpador se necesita una fuerza externa, que se denominará fuerza de empuje. Teniendo en cuenta todas estas consideraciones se obtuvo el siguiente diagrama de cuerpo libre (figura 30).

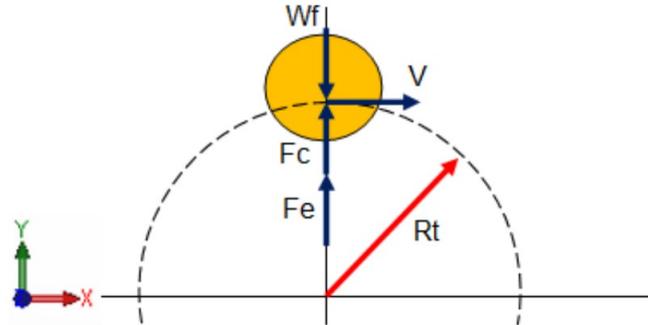


Figura 22: Diagrama de cuerpo libre

Para hallar las fuerzas resultantes hay que hallar la ecuación 40 de equilibrio.

$$\sum Fy = 0 \quad (40)$$

$$Fc + Fe - Wg = 0 \quad (41)$$

$$Fc + Fe = Wg \quad (42)$$

Para calcular la fuerza centrífuga se utilizará la ecuación 43 y 44.

$$Fc = m \times a_c \quad (43)$$

$$a_c = \frac{d^2r}{dt^2} = rw^2 \quad (44)$$

Donde:

$F_c$  = Fuerza Centrifuga.

$m$  = masa.

$a_c$  = aceleración centrifuga.

Donde:

$a_c$  = aceleración centrifuga.

$r$  = radio de giro.

$w$  = velocidad angular.

De esta manera la fuerza centrífuga se hala con la ecuación 45 y será igual a:

$$F_c = -mrw^2 \quad (45)$$

Despejando la velocidad angular se obtiene la ecuación 46:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(Mguayaba \times g) - F_c}{m \times r}} \quad (46)$$

### VI-B8. Cálculo del cortador de fruta

Este elemento es el encargado de aliviar el proceso de despulpado de fruta, haciendo cortes parciales en la materia prima y empujándola hasta el tambor. Este se encuentra conformado por 4 cuchillas de acero inoxidable AISI 304 en direcciones a planos distintos para que el proceso de corte sea más óptimo, en la figura 30 se observa el diagrama de cuerpo libre de las cuchillas.

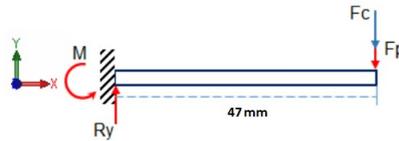


Figura 23: Diagrama de cuerpo libre de las cuchillas

La fuerza de corte se define como  $F_c$  y la fuerza que ejerce la fruta se define como  $F_p$ . Aplicando ecuaciones de equilibrio en Y, se halla con la ecuación 47:

$$\sum F_y = 0 \quad (47)$$

$$R_y - F_c - F_p = 0 \quad (48)$$

La fuerza de corte para una guayaba promedio se encuentra en un valor aproximado de 73.55 N. De esta manera la ecuación 49 queda con un valor igual a:

$$R_y = F_c + F_p \quad (49)$$

$$R_y = 9(73,55N) + (0,960kg \times 9,81m/s^2) \quad (50)$$

$$R_y = 668,72N \quad (51)$$

Ahora se aplica sumatoria de momentos con la ecuación 52 para elaborar el diagrama de fuerza y momento flector.

$$\sum M = 0 \quad (52)$$

$$M = 668,72N \times 0,047m \quad (53)$$

$$M = 31,43Nm \quad (54)$$



Figura 24: Diagrama de fuerza y momento de la cuchilla

#### VI-B9. Cálculo del factor de seguridad de la cuchilla

Por carga estática se calcula el factor de seguridad, como se muestra a continuación:

$$\sigma_x = \frac{M}{Z} \quad (55)$$

$$\sigma_x = \frac{31,43}{4,80 \times 10^{-7}} \quad (56)$$

$$\sigma_x = 65,479 MPa \quad (57)$$

Se utilizarán las ecuaciones [21](#), [25](#), [28](#), [31](#), [34](#), [37](#), planteadas para el cálculo de la tolva, donde se detallan los nombres de cada elemento que contienen las formulas.

$$Z = \frac{I}{c} \quad (58)$$

$$Z = \frac{\frac{1}{12} \times b^3 \times h}{\frac{b}{2}} \quad (59)$$

$$Z = \frac{\frac{1}{12} \times 0,006^3 \times 0,08}{\frac{0,006}{2}} \quad (60)$$

$$Z = 4,80 \times 10^{-7} \quad (61)$$

Para el esfuerzo cortante se tiene la ecuación [62](#):

$$\tau_{xy} = \frac{3V}{2A} \quad (62)$$

$$\tau_{xy} = \frac{3 \times 668,72}{2 \times 1,06 \times 10^{-3} m} \quad (63)$$

$$\tau_{xy} = 0,946 MPa \quad (64)$$

Para calcular la sección del esfuerzo cortante se tiene la ecuación [65](#):

$$A = b \times h \quad (65)$$

$$A = 0,02 \times 0,053 \quad (66)$$

$$A = 1,06 \times 10^{-3} m \quad (67)$$

Con los esfuerzos máximos calculados, se aplica la ecuación [68](#) de Von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (68)$$

$$\sigma' = \sqrt{65,479^2 + 3(0,946)^2} \quad (69)$$

$$\sigma' = 65,50 MPa \quad (70)$$

Despejando el factor de seguridad, en la ecuación [71](#):

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad (71)$$

$$n = \frac{276 MPa}{65,50 MPa} \quad (72)$$

$$n = 4,21 \quad (73)$$

Este valor de coeficiente de seguridad permite inferir que las aspas o cuchillas no fallarán dado que se encuentran con coeficiente más de cuatro veces mayor que uno.

### VI-B10. Cálculo por resistencia a la fatiga

Las cuchillas se encuentran sometidas a cargas cíclicas, por esta razón, es indispensable realizar un análisis de resistencia a la fatiga para asegurar de que el elemento no fallará o bien, cuantos ciclos de vida tiene. Para este cálculo se hará uso de la ecuación de Marín que se define con la ecuación 74

$$S_e = S'_e \times k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \quad (74)$$

Donde:

$S'_e$  = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

$k_a$  = factor de condición superficial

$k_b$  = factor de tamaño

$k_c$  = factor de modificación de carga

$k_d$  = factor de temperatura

$k_e$  = factor de confiabilidad

$k_f$  = factor de efectos diversos

Para el cálculo del límite de resistencia a la fatiga se calcula con la ecuación 87:

$$S'_e = 0,5 \times S_{ut} \quad (75)$$

El acero AISI 304 tiene un esfuerzo último de  $S_{ut} = 568$  MPa, por tanto:

$$S'_e = 0,5 \times 568 \quad (76)$$

$$S'_e = 284 \text{ MPa} \quad (77)$$

Para el coeficiente de condición superficial se calcula con la ecuación 91:

$$K_a = a(S_{ut})^b \quad (78)$$

Como la superficie es laminado en frío los coeficientes de a y b, serán de 4.51 Mpa y -0.265 respectivamente.

$$K_a = 4,51(568)^{-0,265} \quad (79)$$

$$K_a = 0,83 \quad (80)$$

El factor de tamaño no se toma en cuenta, dado que no existe una fuerza axial en el aspa.

$$K_b = 1 \quad (81)$$

Para el factor de carga, al no tener cargas axiales ni de torsión se toma el valor correspondiente a cargas de flexión.

$$K_c = 1 \quad (82)$$

Para el factor de temperatura, la máquina funcionara a temperatura ambiente, por tanto, el valor que se toma es de:

$$K_d = 1 \quad (83)$$

Para el factor de confiabilidad se trabajará con un 99.9 % de confiabilidad, por tanto, el valor a tomar es el siguiente:

$$K_e = 0,753 \quad (84)$$

Y, por último, para el factor de efectos diversos, también se considera como unitario, puesto, que no se presentan defectos visuales, recubrimientos, corrosiones o desgastes.

$$K_f = 1 \quad (85)$$

Una vez que se tiene todas las constantes se procede a reemplazar en la ecuación [74](#) de Marin.

$$S_e = 284 \times 0,83 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,753 \times 1 = 177,50 MPa \quad (86)$$

Para calcular el coeficiente de seguridad se hará uso de la ecuación [87](#) de factor de seguridad modificado.

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad (87)$$

$$n = \frac{S_e}{\sigma'} \quad (88)$$

$$n = \frac{177,50}{65,50} \quad (89)$$

$$n = 2,71 \quad (90)$$

Una vez más se puede apreciar que el factor de seguridad es alto, entonces, se corrobora el argumento mencionado después de realizar el análisis estático.

#### VI-B11. Análisis de la cuchilla con SolidWorks

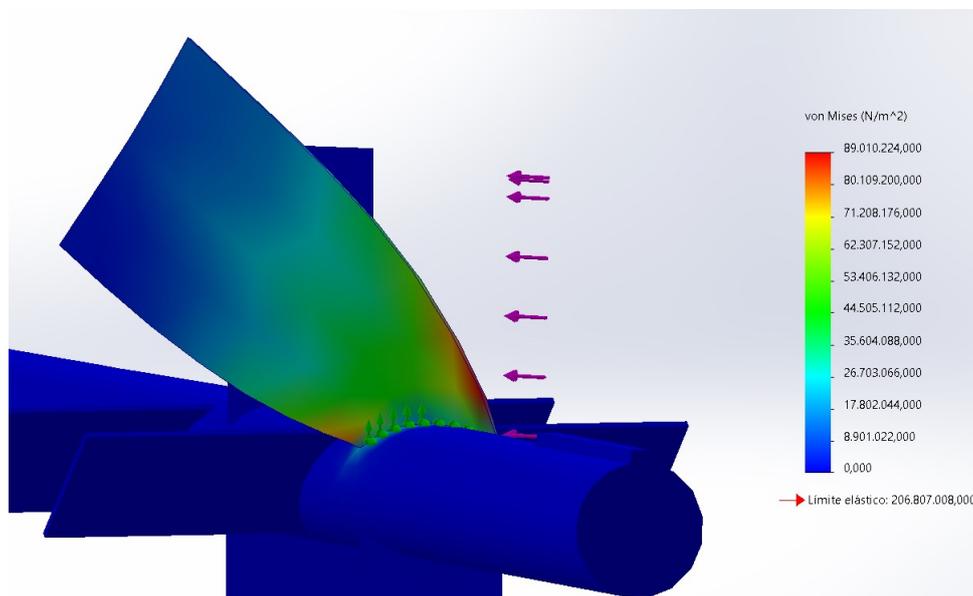


Figura 25: Análisis de tensión cuchillas

De la figura [25](#) se concluye que el esfuerzo de Von Mises oscila entre 8 MPa y 89MPa, para un límite elástico de 206.8 Mpa, valores los cuales van de acorde con el análisis teórico previo, evidenciando que las aspas no muestran ningún inconveniente con respecto a las cargas a las que son sometidas.

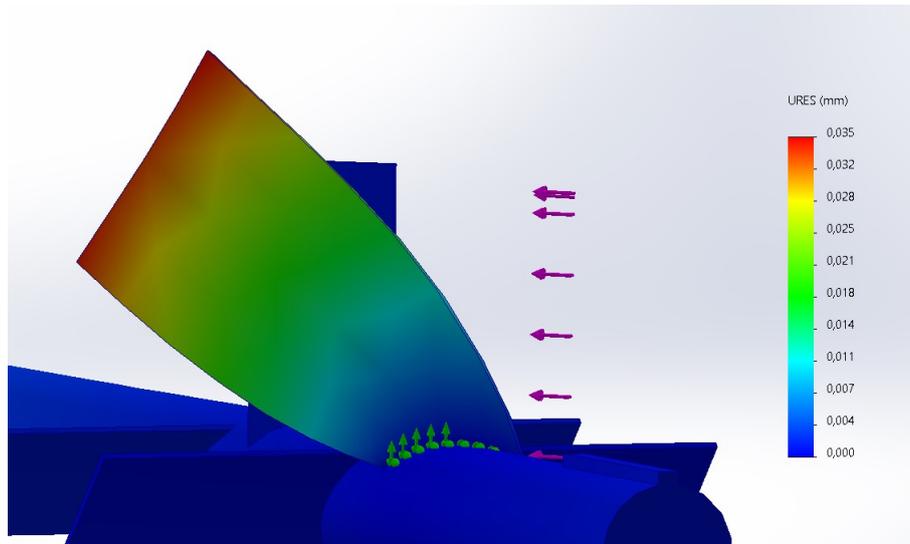


Figura 26: Análisis de desplazamiento cuchillas

En la figura 26 se observa que el punto más crítico de deformación de la cuchilla es en el extremo superior, sin embargo, el valor máximo es de 0.035 mm, una deformación extremadamente pequeña que se considera despreciable, por lo que, en términos de deformación, este elemento no tiene ningún inconveniente.

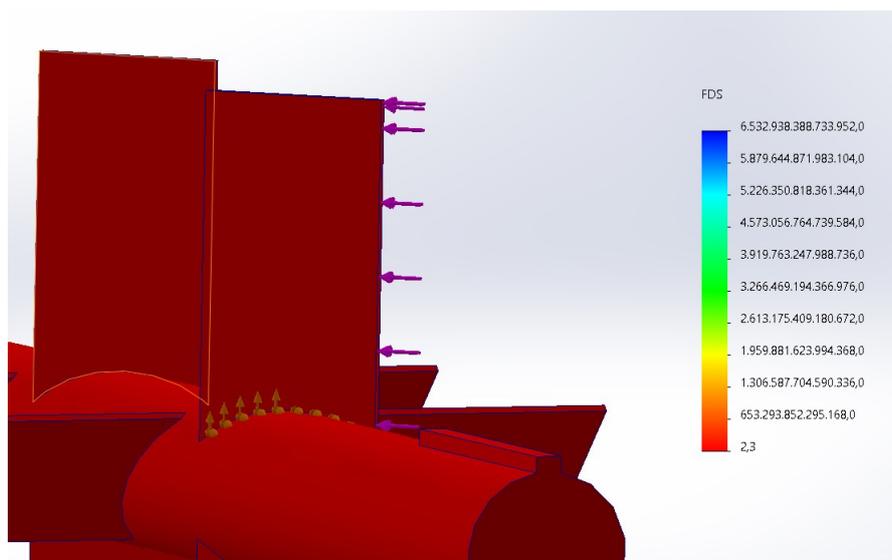


Figura 27: Factor de Seguridad

Con respecto al factor de seguridad, se observa que el simulador da un valor de mínimo de 2.3, con este valor se garantiza que las dimensiones y material escogido son apropiados para esta aplicación. Además, estos resultados son muy cercanos a los cálculos obtenidos teóricamente de manera previa, corroborando así la veracidad de dichos valores.

#### VI-B12. Cálculo del agitador

La finalidad principal de este elemento es transmitir el movimiento rotatorio a la materia prima que es generada por un motor eléctrico, permitiendo que la guayaba se encuentre la mayor cantidad de tiempo en contacto directo con el tamiz para que la pulpa y los residuos puedan ser separados.

Dado que la fruta estará en contacto con el tamiz se necesita de una fuerza que será la necesaria para dar movimiento a la fruta que se encuentra en el fondo del tamiz. Tal como se muestra en la figura 28.

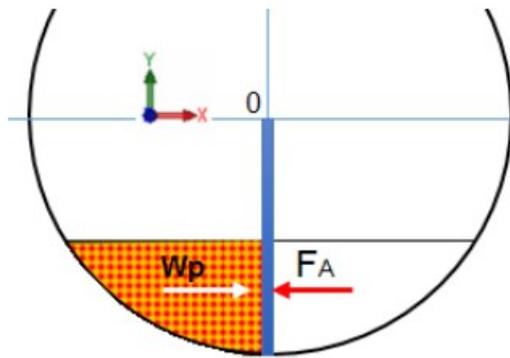


Figura 28: Diagrama de cuerpo libre agitador

Aplicando la primera Ley de Newton se tiene la ecuación 91:

$$\sum F_x = 0 \quad (91)$$

$$F_a - W_p = 0 \quad (92)$$

Donde  $F_a$  es la fuerza del agitador, justamente la variable que se quiere encontrar y  $W_p$  el peso del fruto a mover.

$$F_a = W_p \quad (93)$$

Se debe considerar que este peso de la fruta, solo será la que se encuentre a lo ancho de la paleta, se analizará el caso más crítico que será cuando este volumen se encuentre totalmente lleno. Para calcular la masa que se moverá se necesita conocer el volumen de fruta que se va a ocupar y la densidad de la misma, para obtener una aproximación de la fruta a trasladar se calcula con la ecuación 94.

$$m = V \times \rho \quad (94)$$

Para calcular el volumen, se necesita el área de la sección y el largo. En la figura 29 se determinan las dimensiones tomadas.

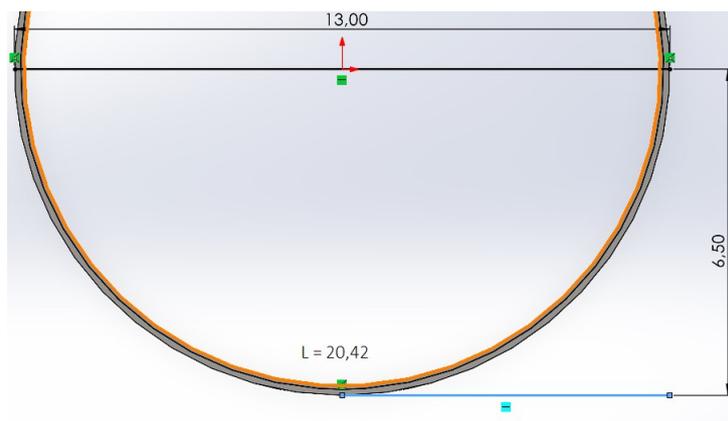


Figura 29: Sección circular

Para calcular el área, se usará la siguiente ecuación [95](#):

$$A_{sc} = \frac{1}{2} \times (l_a R - l_c (R - h)) \quad (95)$$

$$A_{sc} = \frac{1}{2} \times (0,204 \times 0,13 - 0,109(0,13 - 0,065)) \quad (96)$$

$$A_{sc} = 9,72 \times 10^{-3} m^2 \quad (97)$$

$A_{sc}$  = Área del sector circular

Se conoce que la altura de todo el tamiz es de 230mm, por tanto, el volumen será calculado por la ecuación [98](#) igual a:

$$V = 9,72 \times 10^{-3} m^2 \times 0,23 \quad (98)$$

$$V = 2,23 \times 10^{-3} m^3 \quad (99)$$

Calculado el volumen total, ahora se encuentra la masa con la ecuación [100](#).

$$m = 2,23 \times 10^{-3} m^3 \times 1880 kg/m^3 \quad (100)$$

$$m = 4,20 kg \quad (101)$$

Una vez conocida la masa se encuentra la fuerza con la ecuación [102](#).

$$F_a = m \times g \quad (102)$$

$$F_a = 4,20 kg \times 9,81 m/s^2 \quad (103)$$

$$F_a = 41,22 N \quad (104)$$

Esta es la fuerza que debe soportar las placas del agitador.

#### VI-B13. Cálculo del factor de seguridad por carga estática de las paletas

Dado que la guayaba se encuentra en contacto por toda la longitud de la paleta se considera la fuerza como una carga distribuida. A continuación, se muestra en la figura [30](#) el diagrama de cuerpo libre.

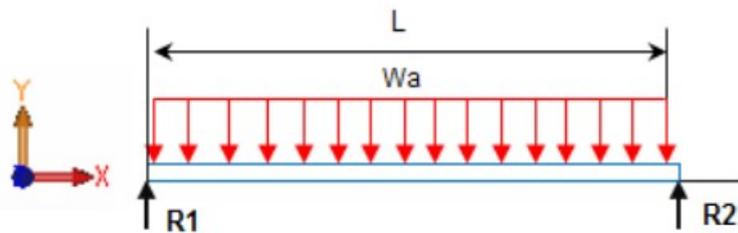


Figura 30: Diagrama de cuerpo libre

La longitud de la placa es de 0.195 m. Y la carga distribuida será calculada de la misma manera que fue calculada anteriormente en la pieza tolva.

Se reemplaza en la ecuación [105](#).

$$W_a = \frac{F_a}{L} \quad (105)$$

$$W_a = \frac{41,22 N}{0,195 m} \quad (106)$$

$$W_a = 211,4 N/m \quad (107)$$

Conociendo la carga distribuida se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector, como lo muestra la figura 31.

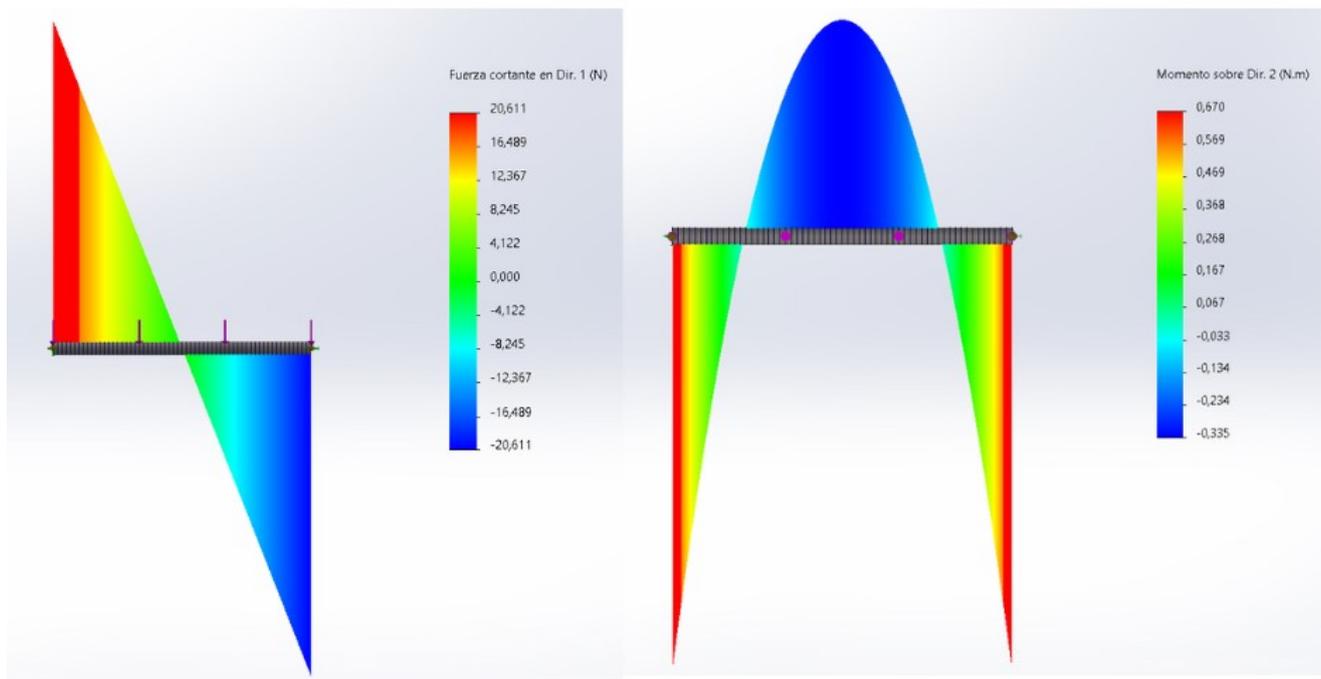


Figura 31: Diagrama fuerza y momento de la paleta

Las paletas también son sometidas a cargas cíclicas, por tanto, se realizará un análisis estático y de fatiga como se evidencia a continuación.

Se utilizarán las ecuaciones 21, 25, 28, 31, 34, 37, planteadas para el cálculo de la tolva, donde se detallan los nombres de cada elemento que contienen las formulas.

$$\sigma_x = \frac{M}{Z} \tag{108}$$

$$\sigma_x = \frac{0,670 N.m}{2,667 \times 10^{-6}} \tag{109}$$

$$\sigma_x = 0,2512 MPa \tag{110}$$

$$Z = \frac{\frac{1}{12} \times b^3 \times h}{\frac{b}{2}} \quad (111)$$

$$Z = \frac{\frac{1}{12} \times 0,02^3 \times 0,04}{\frac{0,02}{2}} \quad (112)$$

$$Z = 2,667 \times 10^{-6} \quad (113)$$

Para el esfuerzo cortante se tiene:

$$\tau_{xy} = \frac{3V}{2A} \quad (114)$$

$$\tau_{xy} = \frac{3 \times 20,611N}{2 \times 8,0 \times 10^{-4}m} \quad (115)$$

$$\tau_{xy} = 0,0386MPa \quad (116)$$

Para calcular la sección del esfuerzo cortante:

$$A = b \times h \quad (117)$$

$$A = 0,02 \times 0,04 \quad (118)$$

$$A = 8,0 \times 10^{-4}m \quad (119)$$

Con los esfuerzos máximos calculados, se aplica la ecuación de Von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (120)$$

$$\sigma' = \sqrt{0,2512^2 + 3(0,0386)^2} \quad (121)$$

$$\sigma' = 0,260MPa \quad (122)$$

Despejando el factor de seguridad:

$$\sigma' = \frac{Sy}{n} \quad (123)$$

$$n = \frac{276Mpa}{0,260Mpa} \quad (124)$$

$$n = 1062,6 \quad (125)$$

La interpretación de este alto valor de factor de seguridad, se debe a que la fuerza que se necesita ejercer en la paleta del despulpador es bastante pequeña, dado que el volumen de fruta que cabe dentro de esta sección es bastante pequeño.

*VI-B14. Cálculo por resistencia a la fatiga.*

El límite de resistencia a la fatiga está dado por la ecuación 126:

$$S_e = S'_e \times k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \quad (126)$$

Donde:

$S'_e$  = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

$k_a$  = factor de condición superficial

$k_b$  = factor de tamaño

$k_c$  = factor de modificación de carga

$k_d$  = factor de temperatura

$k_e$  = factor de confiabilidad

$k_f$  = factor de efectos diversos

Para el cálculo del límite de resistencia a la fatiga se tiene:

$$S'_e = 0,5 \times S_{ut} \quad (127)$$

El acero AISI 304 tiene un esfuerzo último de  $S_{ut} = 568$  MPa, por tanto:

$$S'_e = 0,5 \times 568 \quad (128)$$

$$S'_e = 284 \text{ MPa} \quad (129)$$

Para el coeficiente de condición superficial se tiene:

$$K_a = a(S_{ut})^b \quad (130)$$

Como la superficie es laminado en frío los coeficientes de  $a$  y  $b$ , serán de 4.51 Mpa y -0.265 respectivamente.

$$K_a = 4,51(568)^{-0,265} \quad (131)$$

$$K_a = 0,83 \quad (132)$$

El factor de tamaño utilizado en la expresión equivalente para una barra circular, la cual es la siguiente:

$$d_e = 0,808(hb)^{\frac{1}{2}} \quad (133)$$

$$d_e = 0,808(2 \times 60)^{\frac{1}{2}} \quad (134)$$

$$d_e = 8,85 \text{ mm} \quad (135)$$

$$k_b = 1,24 \times d_e^{-1,107} \quad (136)$$

$$k_b = 0,981 \quad (137)$$

Para el factor de carga, al no tener cargas axiales ni de torsión se toma el valor correspondiente a cargas de flexión.

$$K_c = 1 \quad (138)$$

Para el factor de temperatura, la máquina funcionara a temperatura ambiente, por tanto, el valor que se toma es de:

$$K_d = 1 \quad (139)$$

Para encontrar el factor de concentración de esfuerzos se utiliza la ecuación [140](#).

$$K_e = \frac{1}{k_f} \quad (140)$$

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (141)$$

Donde  $q$  es igual a uno dado que la paleta no tiene cambios de sección. Aproximando el valor de  $k_t$  con la gráfica de factores teóricas se obtiene:

$$K_e = \frac{1}{1 + (1,7 - 1)} \quad (142)$$

$$K_e = 0,588 \quad (143)$$

$$(144)$$

Y, por último, para el factor de efectos diversos, también se considera como unitario, puesto, que no se presentan defectos visuales, recubrimientos, corrosiones o desgastes.

$$K_f = 1 \quad (145)$$

Una vez halladas todas las constantes se procede a reemplazar en la ecuación de Marin.

$$S_e = 284 \times 0,83 \times 0,981 \times 1 \times 1 \times 0,588 \times 1 = 135,97 MPa \quad (146)$$

Para calcular el coeficiente de seguridad se hará uso de la ecuación de factor de seguridad modificado

$$n = \frac{S_e}{\sigma'} \quad (147)$$

$$n = \frac{135,97}{0,260} \quad (148)$$

$$n = 523 \quad (149)$$

Una vez más se puede apreciar que el factor de seguridad es bastante alto, entonces, se concluye que el elemento no va a fallar y que su excesivo valor se debe a la naturaleza de la carga.

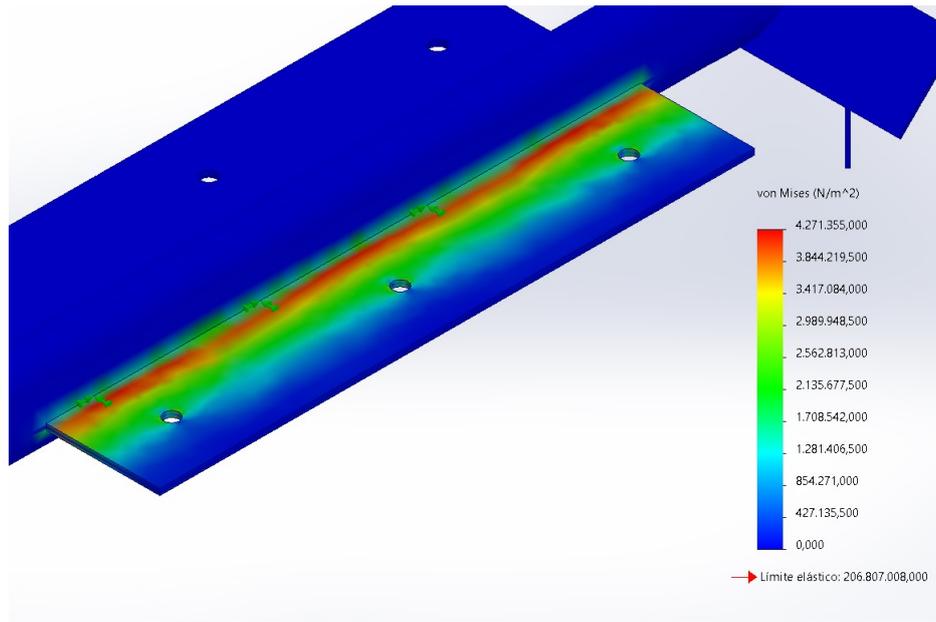


Figura 32: Análisis de tensión

El esfuerzo de Von Mises en la paleta se encuentra entre un valor de 427 kPa y 4Mpa, valores los cuales son bastante bajos, si se relaciona con el límite elástico del material. Además, se observa claramente como los agujeros son grandes concentradores de esfuerzos, sin embargo, no es suficiente para que el elemento muestre un punto crítico.

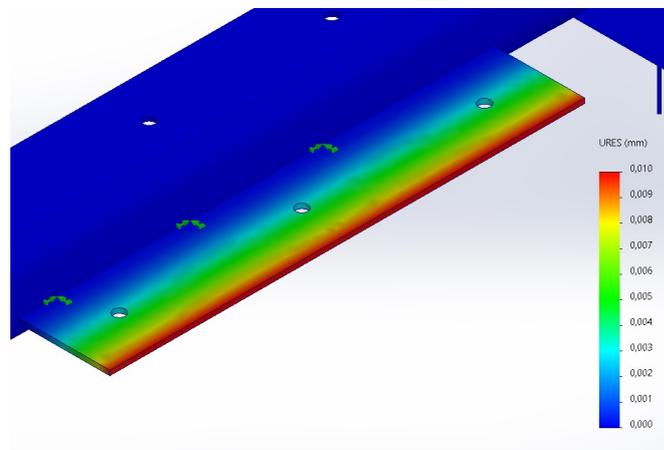


Figura 33: Análisis de desplazamiento

Se evidencia que el elemento presenta una deformación bastante baja, de 0.01 mm esto debido, a la naturaleza de la carga, la fuerza que se ejerce en las paredes es extremadamente pequeña con respecto a la resistencia mecánica de un acero como este.

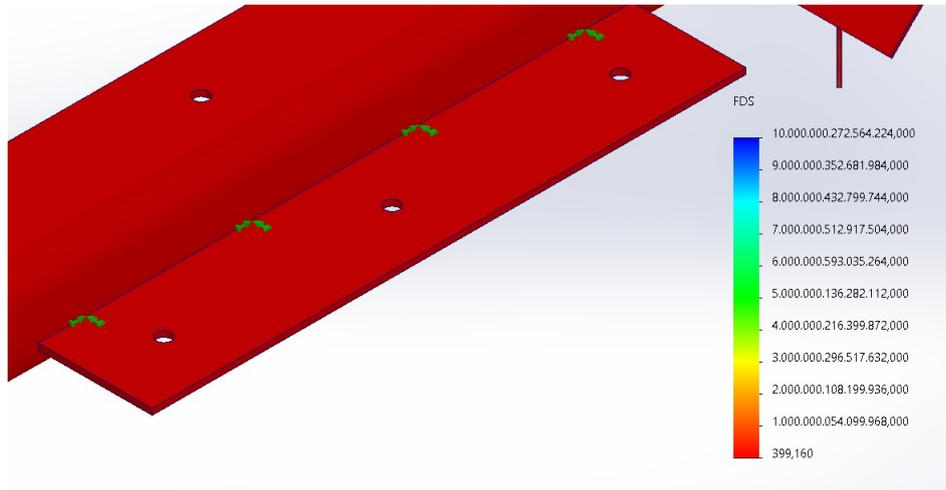


Figura 34: Factor de Seguridad

Se puede visualizar que los valores obtenidos de factores de seguridad son muy altos corroborando los argumentos y el sustento teórico previo, donde se obtuvo un valor cercano a 400 aplicando teoría de fallas y en el análisis estático del simulador se obtuvo un valor entorno a 500.

*VI-B16. Análisis estructural de la base*

A través de un análisis de elementos finitos se realizó el cálculo del factor de seguridad de la estructura de la base de la máquina despulpadora. El peso estimado de toda la máquina, considerando el motor, poleas y todos sus elementos, es de aproximadamente 70kg, dicho peso permitió calcular la fuerza que recibirán los nodos que se encuentran en la parte superior de la base, los cuales se distribuirán hacia los nodos que se encuentran en la parte inferior. El valor de la fuerza es de 687N y para modelar la base se utilizó un perfil estructurado cuadrado de 30x30x2 mm.

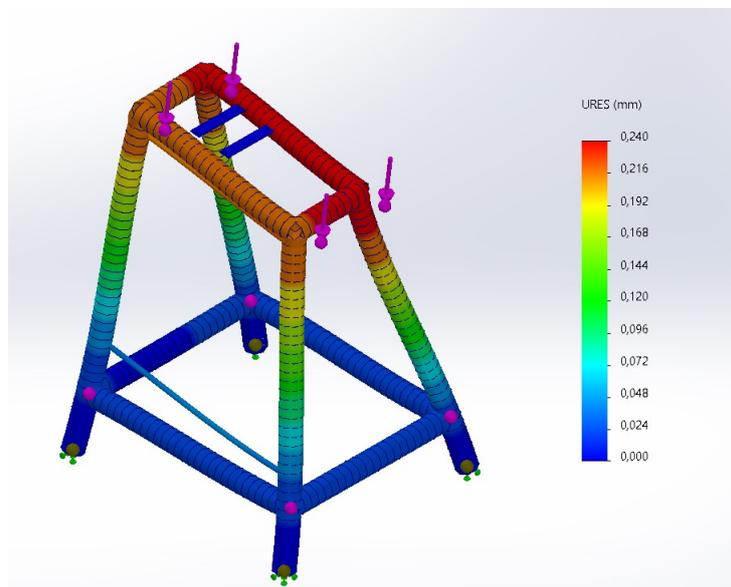


Figura 35: Análisis de desplazamiento

El desplazamiento máximo que se generó para el peso soportado es de 0.240 mm, del lado de en frente, puesto que en esta zona se concentra la mayor cantidad de peso, del motor y tolva. Si bien se obtuvo una deformación

muy ligera, para garantizar que esta estructura sea apropiada para la máquina se debe realizar un análisis del factor de seguridad, tal como se muestra en la figura 36.

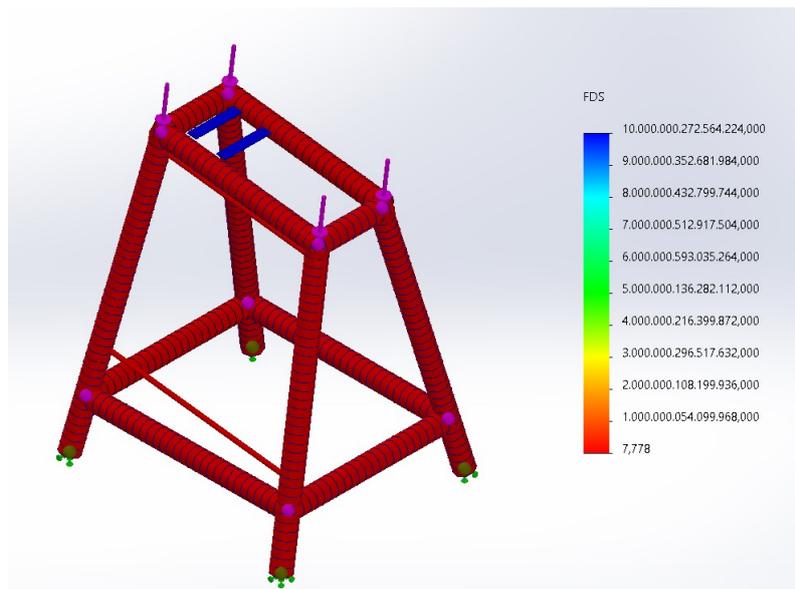


Figura 36: Factor de Seguridad de la base

La figura anterior, se muestra que la estructura diseñada tiene un desempeño óptimo, dado que ninguna zona se encuentra coloreado de otro color que no sea de color rojo, donde se obtuvo un factor de seguridad de 7.778, lo cual es un margen bastante holgado que permite asegurar que la base no fallará por resistencia mecánica. Sin embargo, un margen alto también da lugar a optimizar recursos o espacio en dicho elemento de la máquina.

#### VI-B17. Cálculo de potencia de trabajo.

Una vez que se halló todas las fuerzas y elementos que intervienen en el proceso de extracción, se calculará la potencia de trabajo. En esta máquina se tomarán en cuenta dos potencias, la primera para cortar la guayaba y al mismo tiempo transportarla al tamiz y la segunda la potencia necesaria para despulpar la fruta.

$$P_t = P_c + P_a \quad (150)$$

Donde:

$P_t$  = Potencia total

$P_c$  = Potencia de corte

$P_a$  = Potencia de agitación

La potencia de corte se encargará de seccionar la fruta en pedazos más pequeños y llevarlos hacia el cilindro ubicado en el tamiz, la ecuación para calcular esta potencia se muestra a continuación

$$P_c = F_c \times R_c \times \omega \quad (151)$$

Donde:

$F_c$  = Fuerza de corte

$R_c$  = Radio de la cuchilla

$\omega$  = Velocidad angular

La velocidad de trabajo de trabajo será de 2500 rpm que llevado a radianes entre segundos es igual a 261.8, de tal forma el cálculo queda de la siguiente forma:

$$P_c = 73,55N \times 0,05m \times 261,8rads/s \quad (152)$$

$$P_c = 577,7W \quad (153)$$

Y para el cálculo de la potencia de agitación se utilizará la fuerza en el extremo de las paletas.

$$P_a = F_2 \times R_a \times \omega \quad (154)$$

Donde:

$F_c$  = Fuerza del agitador

$R_c$  = Radio del agitador

$\omega$  = Velocidad angular

Reemplazando los valores se obtiene:

$$P_c = 37,48N \times 0,05m \times 26,18rads/s \quad (155)$$

$$P_c = 490,6W \quad (156)$$

Reemplazando los valores en la potencia total de trabajo

$$P_t = 577,7 + 490,6 \quad (157)$$

$$P_t = 1068W = 1,43hp \quad (158)$$

Para seleccionar la potencia del motor se recomienda multiplicar este valor obtenido por un factor de servicio de 1.15 para motores WEG

$$P_t = 1,43hp \times 1,15 \quad (159)$$

$$P_t = 1,65hp \quad (160)$$

Por tanto, se corrobora que el motor de 2 hp seleccionado es adecuado para la operación.

#### VI-B18. Selección de bandas

Existen varios tipos de banda, se selecciona una banda trapecial; la misma que puede ser de tipo A, B, C D, E, F, G y Z cada una de estas con diferentes dimensiones: Para determinar el tipo de banda es necesario conocer la potencia corregida, para este cálculo se utiliza una constante de servicio de 1.1, al ser un motor de accionamiento eléctrico:

$$P_c = P_m \times 1,11 \quad (161)$$

$$P_c = 1,82 \quad (162)$$

Con los datos de potencia y revoluciones se procede a elegir un tipo de banda, para ello se hace uso de la gráfica **37**

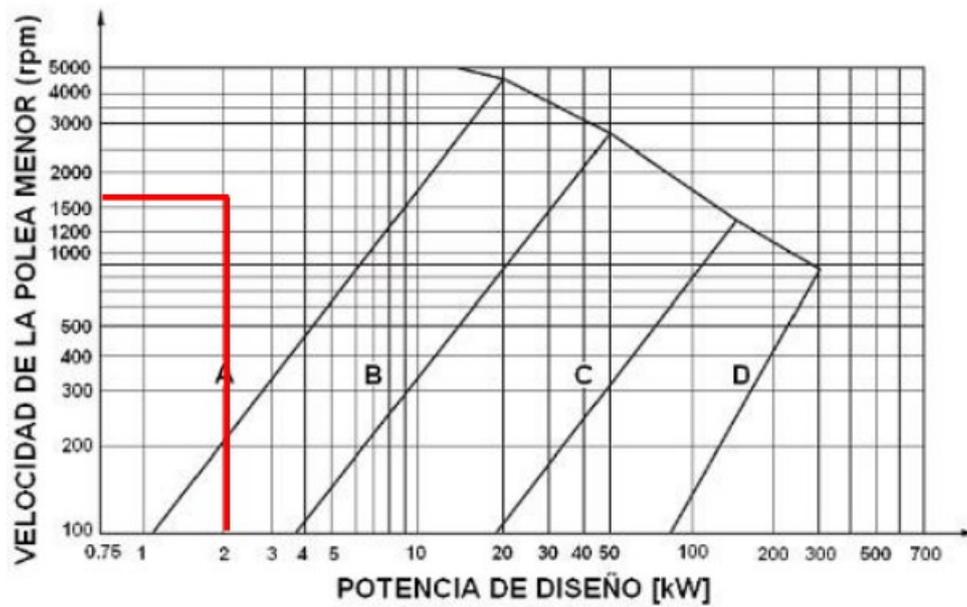


Figura 37: Elección de tipo de banda

Con la potencia y las revoluciones del motor, el tipo de correa más adecuada es la de tipo “A”. Para el cálculo de la relación de transmisión en un tren de poleas se tiene la siguiente ecuación donde se utilizará las medidas de la figura **38**

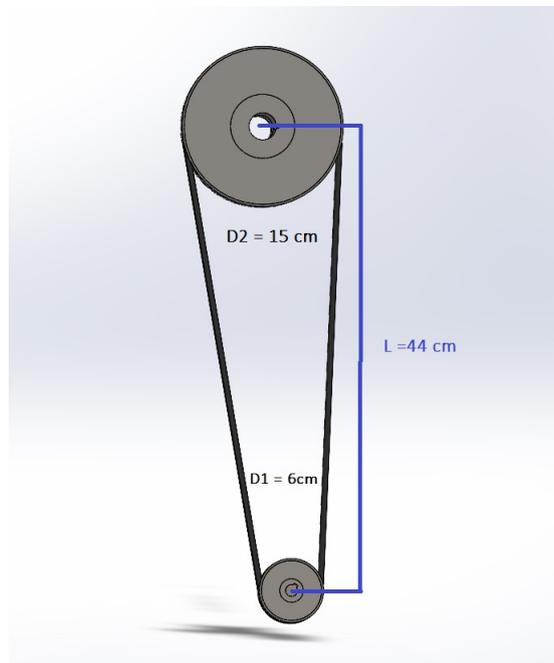


Figura 38: Relación de Trasmisión

Para calcular la relación entre poleas se usará la ecuación [163](#)

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (163)$$

Donde:

$i$  = Relación de transmisión.

$n_1$  = Velocidad angular de la polea conductora.

$n_2$  = Velocidad angular de la polea conducida.

$d_1$  = diámetro de la polea conductora.

$d_2$  = diámetro de la polea conducida.

$$i = \frac{15cm}{6cm} \quad (164)$$

$$i = 2,5 \quad (165)$$

Una vez que se haló la relación de transmisión, se puede calcular el arco de contacto de la correa, a continuación se muestra el diagrama de ángulos de abrazamiento en la figura [39](#).

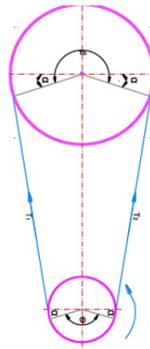


Figura 39: Arco de contacto de la correa

El arco de contacto está dado mediante la siguiente expresión.

$$\theta = \pi - 2 \arcsin\left(\frac{D - d}{C_c}\right) \quad (166)$$

$\theta$  = ángulo o arco de contacto de la faja con la polea

Para ángulos pequeños en radianes se puede aproximar el seno del ángulo al ángulo, por esto se aproximo a la ecuación [166](#) a la ecuación [167](#).

$$ARC = 180^\circ - 60 \times \frac{D - d}{C_c} \quad (167)$$

Donde:

ARC = arco de contacto.

$C_c$  = distancia entre centros

$d$  = diámetro de la polea conductora.

$D$  = diámetro de la polea conducida.

La distancia entre centros se puede visualizar en la ilustración 26, reemplazando valores se obtiene

$$ARC = 180 - 60 \times \frac{(150 - 60)}{440} \quad (168)$$

$$ARC = 167,72 \quad (169)$$

Para el cálculo de alfa se tiene:

$$\alpha = \frac{180 - ARC}{2} \quad (170)$$

$$\alpha = 6,14 \quad (171)$$

Y para el cálculo del ángulo beta se muestra a continuación:

$$\beta = 180 + 2\alpha \quad (172)$$

$$\beta = 192,3 \quad (173)$$

Con respecto a la velocidad de la correa, se hará uso de la siguiente expresión de velocidad crítica:

$$V_c = \frac{N_1 \times \pi \times d_p}{6000} \quad (174)$$

Donde:

$V_c$  = Velocidad crítica.

$N_1$  = Velocidad de giro del motor en radianes

$d_p$  = diámetro de la polea conductora.

La velocidad de giro del motor es de 261.8 radianes por segundo como se calculó con anterioridad, entonces reemplazando valores se tiene:

$$V_c = \frac{261,8 \times \pi \times 60}{6000} \quad (175)$$

$$V_c = 8,22m/s \quad (176)$$

Antes de analizar el eje principal de la despulpadora, es indispensable, calcular las tensiones que se generan en la polea. Para realizar dicho cálculo, primero se dibujo el diagrama de cuerpo libre, que se muestra a continuación:

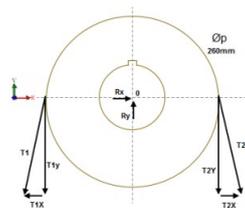


Figura 40: Tensiones en la polea

Las tensiones ejercidas en la correa están dadas por la siguiente relación:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\text{Sen}\left(\frac{f \times \theta}{y/2}\right)} \quad (177)$$

Donde:

T1 y T2 = tensiones.

f = coeficiente de fricción entre faja y polea.

$\theta$  = ángulo de contacto.

y = ángulo de garganta de la correa en grados.

El ángulo de garganta para una banda tipo "A" es de 38 grados, el coeficiente de fricción entre este tipo de bandas y la polea es de 0.28 y el ángulo de contacto es igual al ángulo beta calculada anteriormente, sin embargo, es necesario transformar este valor a radianes, tal como se muestra.

$$\theta = \beta = 192,3 \times \frac{2\pi}{360} \quad (178)$$

$$\beta = 3,36rad \quad (179)$$

Reemplazando valores

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{Sen\left(\frac{0,28 \times 3,36}{38/2}\right)} \quad (180)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = 1 \quad (181)$$

$$T_1 = T_2 \quad (182)$$

De esta forma, se determina que las tensiones son iguales para cada lado. Y para hallar el valor de estas, se hará uso de la potencia del motor calculada con anterioridad.

$$P = \frac{T \times V}{33000} \quad (183)$$

Donde:

P= Potencia del motor.

T = tensión.

V = velocidad de la correa.

Se sabe que la potencia del motor es de 2.0 hp y la velocidad es de 8.22 m/s o lo mismo que 1618.11 ft/min, entonces se tiene.

$$2,0 = \frac{T \times 1618,11}{33000} \quad (184)$$

$$T = 40,80N = T_1 = T_2 \quad (185)$$

#### VI-B19. Eje principal de la despulpadoras

Este elemento es el encargado de transmitir todo el movimiento en todas las etapas de la máquina, es por esto, que se considera uno de los elementos más críticos y que se requiere un análisis más minucioso.

Para empezar, se elaboró el diagrama de cuerpo libre de todo el eje.

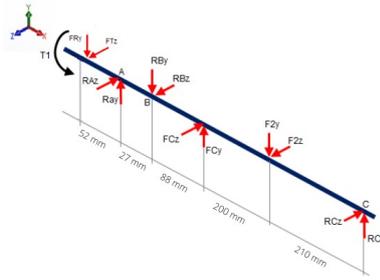


Figura 41: Diagrama de cuerpo libre

Para determinar las reacciones y encontrar el factor de seguridad adecuado, se analizará el diagrama de cuerpo libre en dos planos distintos. Para encontrar la fuerza radial en la polea se usará la siguiente expresión.

$$FR_y = T_y = (T_1 + T_2) \cos(\alpha) \quad (186)$$

Donde:

$FR_y$  = Fuerza radial de la polea.

$T_1$  y  $T_2$  = tensiones.

$\alpha$  = ángulo alfa.

$$FR_y = 81,6 \cos(6,14) \quad (187)$$

$$FR_y = 81,13N \quad (188)$$

Y para la fuerza tangencial, en la polea se usará la misma expresión, pero para la componente opuesta.

$$FT_z = 81,6 \sin(6,14) \quad (189)$$

$$FT_z = 8,73N \quad (190)$$

Para las fuerzas presentes en la cuchilla se tiene.

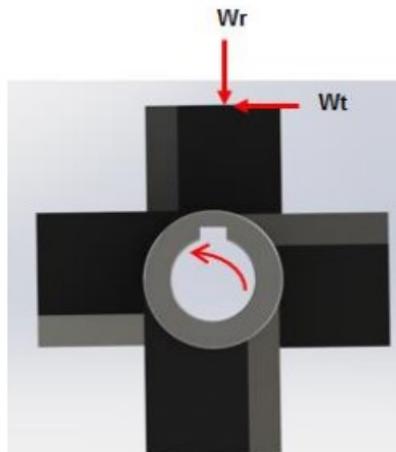


Figura 42: Fuerzas en la cuchilla

$$FC_y = W_r = m \times g \quad (191)$$

Donde:

$FC_y$  = Fuerza radial en la cuchilla.

m = masa máxima que soporta la cuchilla.

g = gravedad

Esta masa que llegan a las cuchillas ya fue calculada con anterioridad en la sección C, el valor es de 0.745kg, entonces:

$$FC_y = W_r = 0,745 \times 9,81 \quad (192)$$

$$FC_y = 7,31N \quad (193)$$

Para la fuerza tangencial en la cuchilla, se debe tomar en cuenta la fuerza de empuje, tal como se muestra en la siguiente expresión.

$$FC_z = Wt = \frac{60 \times 10^3 \times P}{\pi \times d \times N} \quad (194)$$

Donde:

P = potencia.

d = distancia del eje al extremo de la cuchilla en metros.

N = velocidad de operación en RPM.

Reemplazando valores se tiene.

$$FC_z = Wt = \frac{60 \times 10^3 \times 2,0}{\pi \times 0,06 \times 2500} \quad (195)$$

$$FC_z = Wt = 254,65N \quad (196)$$

Para el cálculo de fuerzas que se tienen en el agitador, se deben considerar el peso del eje y el peso del propio agitador. Aproximadamente 12kg es la suma de ambos elementos.

$$F2_y = w_{eje} + w_{agitador} = 118N \quad (197)$$

Para la fuerza tangencial, nuevamente se toma en cuenta la fuerza de empuje y se calcula con la misma expresión ya mencionada previamente.

$$F2_z = \frac{60 \times 10^3 \times 2,0}{\pi \times 0,013 \times 2500} = 1175,3N \quad (198)$$

Ahora, se procede a realizar el análisis en cada plano.

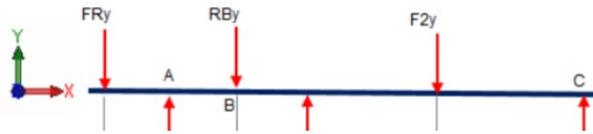


Figura 43: Diagrama de cuerpo libre plano x-y

Aplicando sumatoria de fuerzas.

$$\sum F_y = 0 \quad (199)$$

$$-FR_y + RA_y - RB_y + FC_y - F2_y + RC_y = 0 \quad (200)$$

$$-81,13 + RA_y - RB_y + 7,31 - 118 + RC_y = 0 \quad (201)$$

$$RA_y - RB_y + RC_y = 191,82 \quad (202)$$

Aplicando sumatoria de momentos.

$$\sum M_A = 0 \quad (203)$$

$$FR_y(0,052) - RB_y(0,027) + FC_y(0,115) - F2_y(0,315) + RC_y(0,525) = 0 \quad (204)$$

$$-81,13(0,052) - RB_y(0,027) + 7,31(0,115) - 118(0,315) + RC_y(0,525) = 0 \quad (205)$$

$$RB_y - RC_y = 32,11 \quad (206)$$

Al tener 3 incógnitas es necesario plantear una nueva ecuación, esta vez haciendo sumatoria de momentos en B

$$\sum M_B = 0 \quad (207)$$

$$FR_y(0,079) - RA_y(0,027) + FC_y(0,088) - F2_y(0,288) + RC_y(0,498) = 0 \quad (208)$$

$$-81,13(0,052) - RA_y(0,027) + 7,31(0,088) - 118(0,288) + RC_y(0,498) = 0 \quad (209)$$

$$RA_y(0,027) - RC_y(0,498) = 26,9 \quad (210)$$

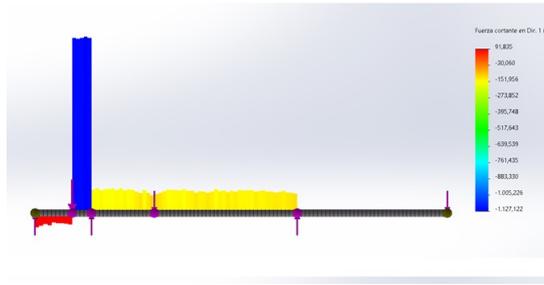
Resolviendo el sistema de ecuaciones, se tiene:

$$RA_y = 1178,8N \quad (211)$$

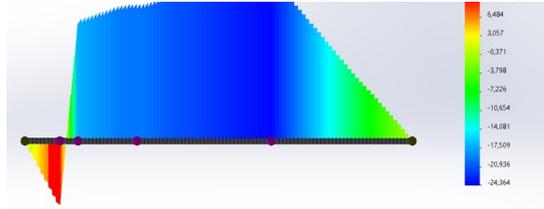
$$RB_y = 966,9N \quad (212)$$

$$RC_y = 9,89N \quad (213)$$

Una vez hallado las reacciones se obtienen los diagramas de fuerza y cortante en el eje x-y.



(a) Diagrama de fuerza cortante plano x-z del eje principal



(b) Diagrama momento plano x-z del eje principal

Ahora analizando el plano x-z se tiene el siguiente diagrama de cuerpo libre del eje.

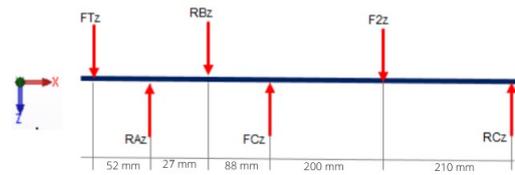


Figura 45: Diagrama de cuerpo libre plano x-z

Aplicando sumatoria de fuerzas ahora.

$$\sum F_z = 0 \quad (214)$$

$$-FT_z + RA_z - RB_z + FC_z + RC_z = 0 \quad (215)$$

$$-8,73 + RA_z - RB_z + 254,65 - 1175,3 + RC_z = 0 \quad (216)$$

$$RA_z - RB_z + RC_z = 929,4 \quad (217)$$

Ahora aplicando momentos en A y B respectivamente.

$$\sum M_A = 0 \quad (218)$$

$$FT_z(0,052) - RB_z(0,027) + FC_z(0,115) - F2_z(0,315) + RC_z(0,525) = 0 \quad (219)$$

$$-8,73(0,052) - RB_y(0,027) + 254,65(0,115) - 1175,3(0,315) + RC_z(0,525) = 0 \quad (220)$$

$$RA_z(0,027) - RC_z(0,525) = 340,50 \quad (221)$$

$$\sum M_B = 0 \quad (222)$$

$$FT_z(0,079) - RA_z(0,027) + FC_z(0,088) - F2_z(0,288) + RC_z(0,498) = 0 \quad (223)$$

$$8,73(0,079) - RA_z(0,027) + 254,65(0,088) - 1175,3(0,288) + RC_z(0,498) = 0 \quad (224)$$

$$RA_z(0,027) - RC_z(0,498) = 315,30 \quad (225)$$

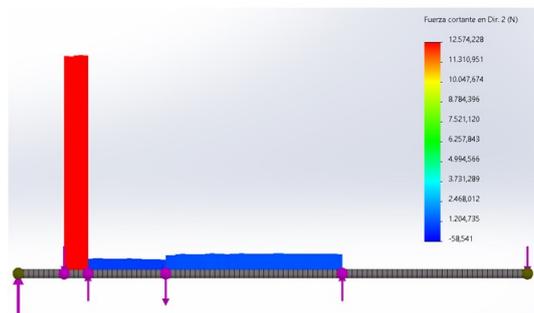
Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene.

$$RA_z = 12565,1N \quad (226)$$

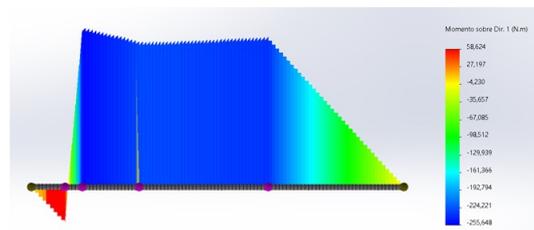
$$RB_z = 11683,4N \quad (227)$$

$$RC_z = 47,71N \quad (228)$$

A continuación, se muestran los diagramas obtenidos



(a) Diagrama de fuerza cortante plano x-z del eje principal



(b) Diagrama momento plano x-z del eje principal

De los diagramas previamente obtenidos se puede calcular los momentos máximos generados, el cálculo se realiza hallando el módulo de los momentos máximos en sentido positivo y máximos en sentido negativo para ambos gráficos.

Para analizar el eje, se hará uso el criterio de falla por fatiga de Soderberg, dado que este criterio es muy conservador para la fluencia, cosa que interesa en el eje, dado que es el elemento más crítico de la máquina.

$$MRA = \sqrt{58,62^2 + 9,912^2} \quad (229)$$

$$MRA = 59,45Nm \quad (230)$$

$$MRB = \sqrt{255,65^2 + 24,36^2} \quad (231)$$

$$MRB = 256,81Nm \quad (232)$$

Para analizar el eje, se hará uso el criterio de falla por fatiga de Soderberg, dado que este criterio es muy conservador para la fluencia, cosa que interesa en el eje, dado que es el elemento más crítico de la máquina.

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (233)$$

Donde:

$\sigma'_a$  = tensión equivalente alterna

$\sigma'_m$  = tensión equivalente media

$S_e$  = Resistencia a la fatiga para vida infinita

$S_y$  = Tensión a la fluencia del material

Ahora calculando el esfuerzo por fatiga se tiene:

$$S_e = S'_e \times k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \quad (234)$$

Donde:

$S'_e$  = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

$k_a$  = factor de condición superficial

$k_b$  = factor de tamaño

$k_c$  = factor de modificación de carga

$k_d$  = factor de temperatura

$k_e$  = factor de confiabilidad

$k_f$  = factor de efectos diversos

Para el cálculo del límite de resistencia a la fatiga se tiene:

$$S'_e = 0,5 \times S_{ut} \quad (235)$$

El acero AISI 304 tiene un esfuerzo último de  $S_{ut} = 568$  MPa, por tanto:

$$S'_e = 0,5 \times 568 \quad (236)$$

$$S'_e = 284 \text{ MPa} \quad (237)$$

Para el coeficiente de condición superficial se tiene:

$$K_a = a(S_{ut})^b \quad (238)$$

Como la superficie es laminado en frío los coeficientes de a y b, serán de 4.51 Mpa y -0.265 respectivamente.

$$K_a = 4,51(568)^{-0,265} K_a = 0,83 \quad (239)$$

Para el factor de tamaño se utiliza la expresión la cual es la siguiente, donde el radio es de 24mm:

$$K_b = 1,24d^{-0,107}; \text{ si } 2,79 \text{ mm} \leq d \leq 51 \text{ mm} \quad (240)$$

$$K_b = 1,24(24)^{-0,107} \quad (241)$$

$$K_b = 0,88 \quad (242)$$

Para el factor de carga, al no tener cargas axiales ni de torsión se toma el valor correspondiente a cargas de flexión.

$$K_c = 1 \quad (243)$$

No se presenta ninguna condición de temperatura, por tanto, la constante de temperatura se asume como 1. En el eje no existen concentradores de esfuerzos, por tanto, la constante  $K_e$  se toma como 1. Y, por último, para el factor de efectos diversos, también se considera como unitario, puesto, que no se presentan defectos visuales, recubrimientos, corrosiones o desgastes.

$$K_f = 1 \quad (244)$$

Para encontrar el esfuerzo equivalente y de Von Mises debidas al esfuerzo alternante, se tienen las siguientes expresiones,

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} \quad ; \quad \sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} \quad (245)$$

Donde:

$$\sigma'_a = \frac{M_a}{\frac{I}{c}} \quad ; \quad \sigma'_m = \frac{M_m}{\frac{I}{c}} \quad (246)$$

$$\tau'_a = \frac{T_a}{\frac{I_o}{c}} \quad ; \quad \tau'_m = \frac{T_m}{\frac{I_o}{c}} \quad (247)$$

Donde:

$\sigma'_a$  ;  $\sigma'_m$  = tensiones normales alterna y media

$\tau'_a$  ;  $\tau'_m$  = tensiones tangenciales alterna y media

$k_f$  ;  $k_{fs}$  = factores de concentración de esfuerzo

$k_t$  ;  $k_{ts}$  = factores de concentración de esfuerzo normal

$q$  ;  $q_s$  = factores de sensibilidad de la muesca

$M_a$  ;  $T_a$  = valores alternos del momento flector y torsor

$M_m$  ;  $T_m$  = valores alternos medios del momento flector y torsor

Para proceder a realizar este cálculo se deben hacer dos consideraciones, primero que los ciclos de un momento flector alternante, tienen una amplitud  $2M$ , donde el pico positivo es  $M$  y el negativo  $-M$ , por tanto el momento medio es igual a 0, característica típica de una funcional sinusoidal clásica, mientras que, cuando se habla de un momento torsor alternante el valor mínimo se encuentra en 0, la amplitud en un valor  $T$  de torsión, por lo tanto, la torsión media será la mitad de la amplitud de la señal.

Por otra parte, para este calculo se asume que la torsión que genera el motor en el eje, es de 32Nm. El valor denotado como  $M_a$  es equivalente al momento máximo calculado anteriormente denominada MRA. Tomando todas estas consideraciones se tiene:

$$M_a = MRA = 59,45Nm \quad (248)$$

$$T_m = 16Nm \quad (249)$$

Ahora reemplazando valores.

$$\sigma'_a = \frac{59,45}{\pi \frac{0,024^3}{32}} ; \sigma'_m = \frac{0}{\pi \frac{0,024^3}{32}} \quad (250)$$

$$\tau'_a = \frac{16}{\pi \frac{0,024^3}{16}} ; \tau'_m = \frac{16}{\pi \frac{0,024^3}{16}} \quad (251)$$

$$\tau'_a = \tau'_m = 5,90 \text{ Mpa} \quad (252)$$

Y aplicando Von Mises.

$$\sigma'_a = \sqrt{43,8^2 + 35,90^2} = 45 \text{ Mpa} \quad (253)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{0^2 + 35,90^2} = 10,22 \text{ Mpa} \quad (254)$$

Ahora calculando el esfuerzo en cargas cíclicas Ahora calculando el esfuerzo en cargas cíclicas.

$$S_e = 284 \times 0,83 \times 0,88 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \quad (255)$$

$$S_e = 207,4 \quad (256)$$

Y, por último, aplicando criterio de fatiga.

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (257)$$

$$\frac{45}{207,4} + \frac{10,22}{276} = \frac{1}{n} \quad (258)$$

$$n = 3,94 \quad (259)$$

Para validar estos datos, se procede a realizar la simulación de elementos finitos en SolidWorks de todo el eje.

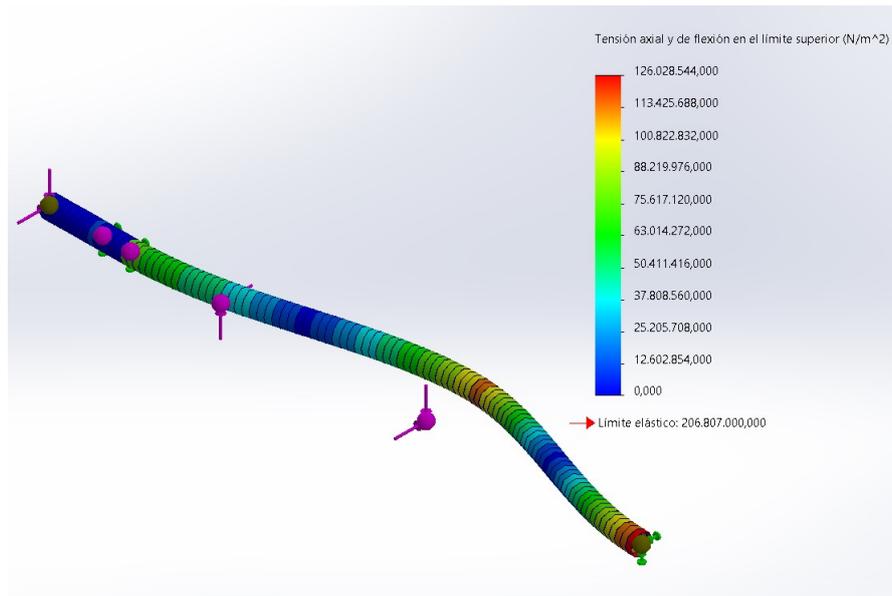


Figura 47: Simulación de elementos finitos

En la figura 47 se evidencia que el esfuerzo de Von Mises llega a valores máximos en los puntos que fueron definidos como C y donde se aplica la fuerza del agitador, con un valor de 126 MPa, sin embargo, este valor aún se encuentra por debajo del límite elástico del material. Con respecto al desplazamiento que sufrirá el eje, se ve que también existe coincidencia de los puntos con mayor esfuerzo a los de mayor deformación, sin embargo, el valor máximo de esta, es cercano a los 0.50mm lo cual es un valor despreciable, como se muestra en la figura 48.

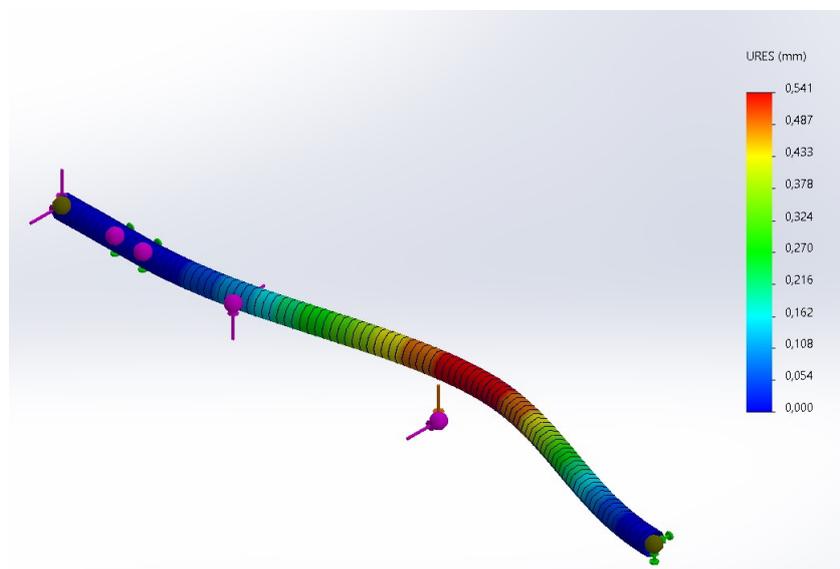


Figura 48: Análisis de desplazamiento eje

Por último, y no menos importante, el factor de seguridad simulado que se obtuvo, se encuentra un poco por debajo, del resultado teórico, sin embargo, este valor se encuentra por encima de 1, por tanto, el eje no fallará.

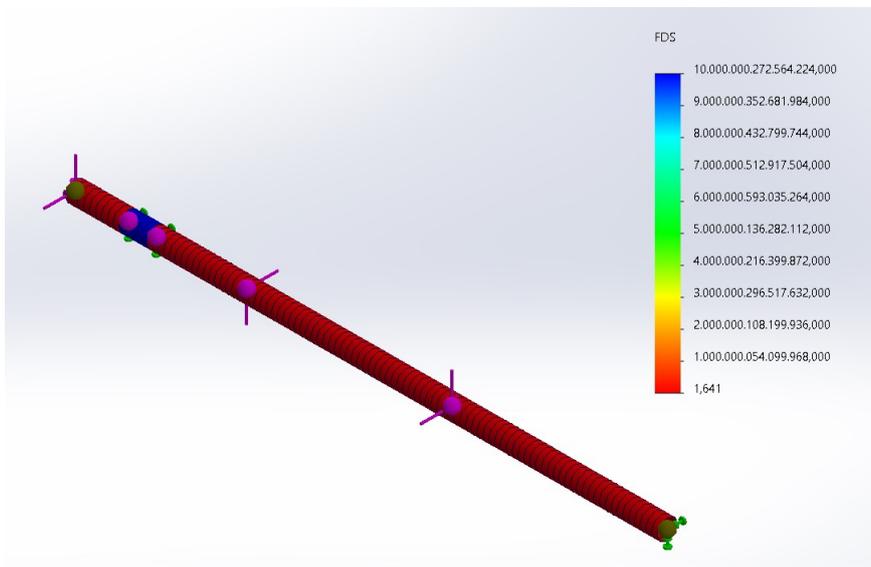


Figura 49: Factor de Seguridad

### VI-C. Sistema eléctrico

La máquina despulperadora cuenta con dos circuitos, uno de ellas el circuito de potencia o de mando, y el circuito de control.

#### VI-C1. Circuito eléctrico de control

El circuito de control es el encargado de accionar el motor por medio de pulsadores de estado, el diagrama de este circuito se muestra en la figura 50.

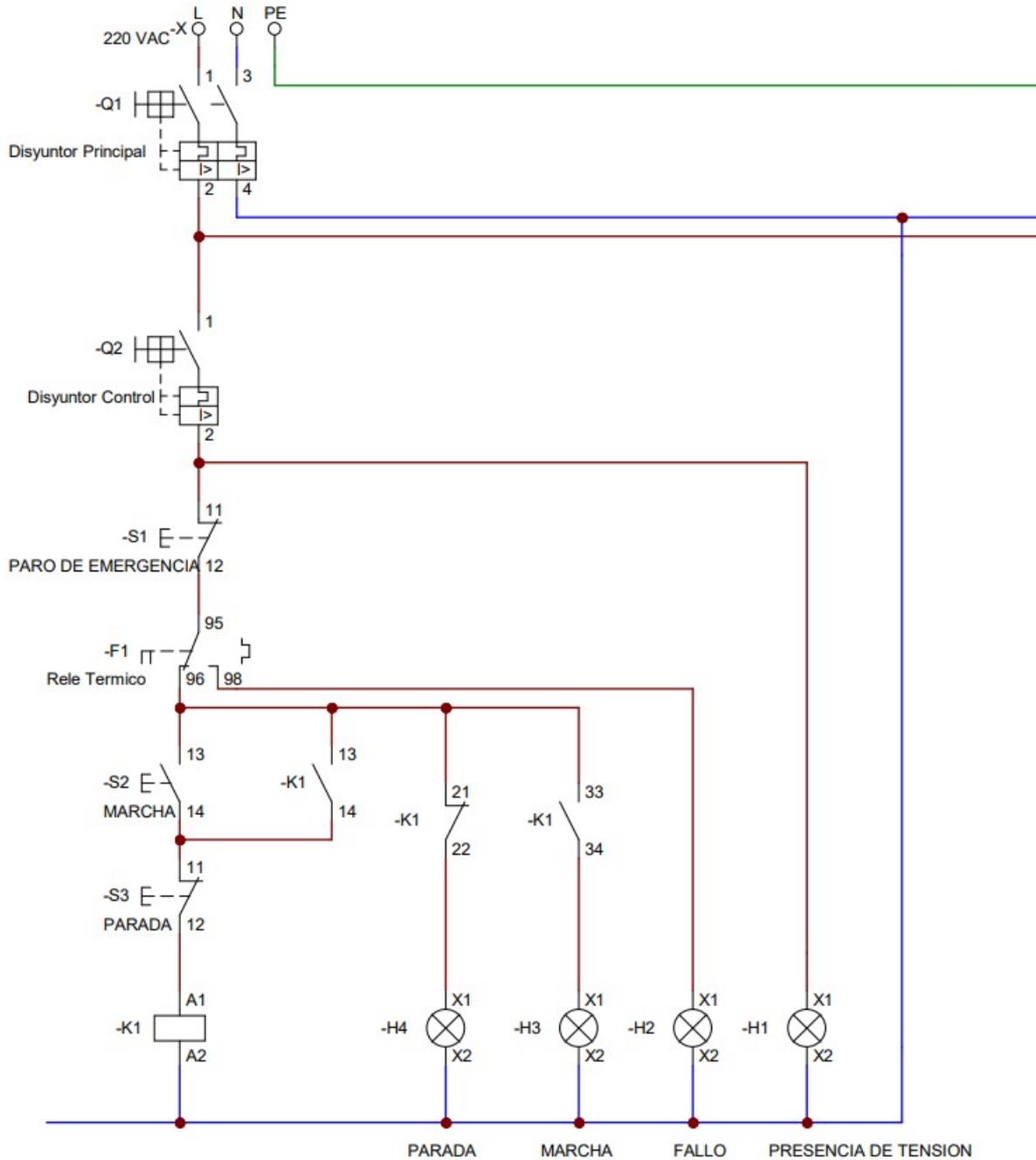


Figura 50: Circuito Eléctrico

VI-C2. Circuito de Potencia

El circuito de potencia es el que permite el flujo de corriente para que el motor se encienda como se muestra en la figura 51.

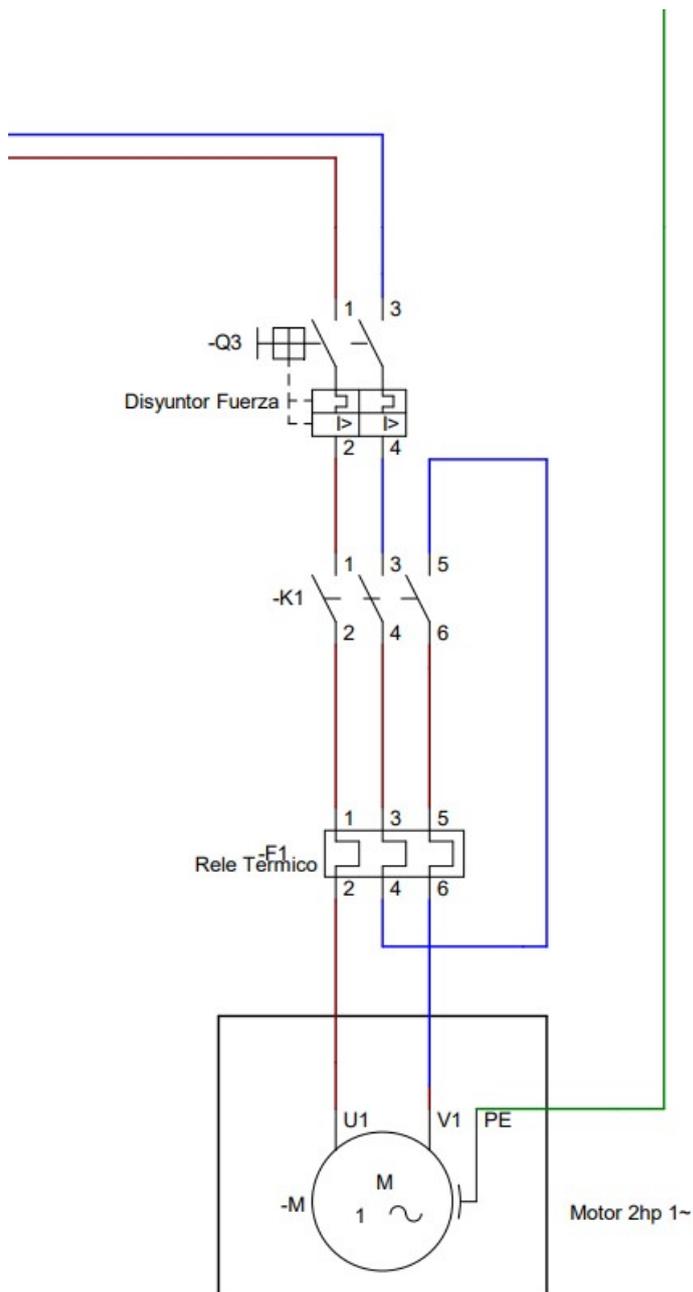


Figura 51: Circuito de Potencia

## VII. RESULTADOS

### VII-A. Análisis estático de la tolva

Todos los resultados de la Tolva obtenidos en el simulador de cargas de SolidWorks se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla I: Resultados análisis estático de la tolva

<b>Resultados del Análisis Estático de la tolva</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx</b>
Tensiones	Von Mises	0.02 Mpa	127 Mpa
Desplazamientos	URES	0.0 mm	2.86 mm
Factor de seguridad	Automático	1.62	-----

### VII-B. Análisis estático de las Cuchillas

Tabla II: Resultados análisis estático de las cuchillas

<b>Resultados del Análisis Estático de la cuchilla</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx</b>
Tensiones	Von Mises	0.0 Mpa	89 Mpa
Desplazamientos	URES	0.0 mm	0.035 mm
Factor de seguridad	Automático	2.3	-----

VII-C. Análisis estático de las paletas

Tabla III: Resultados análisis estático de las paletas

<b>Resultados del Análisis Estático de la paleta</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>
Tensiones	Von Mises	0.0 Mpa	4.27 Mpa
Desplazamientos	URES	0.0 mm	0.01 mm
Factor de seguridad	Automático	400	-----

VII-D. Análisis estático del eje

A continuación, se tabulan los resultados encontrados

Tabla IV: Resultados análisis estático del eje

<b>Resultados del Análisis Estático del eje</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx</b>
Tensiones	Von Mises	0.0 Mpa	126 Mpa
Desplazamientos	URES	0.0 mm	0.541 mm
Factor de seguridad	Automático	1.641	-----

VII-E. Validación de la capacidad kg/h

Una vez verificado la instalación del el tablero de control junto al equipo, donde se ha comprobado que no existe interferencia entre los componentes y se ha verificado que el mecanismo de despulpe funciona con eficacia, se procede a realizar las pruebas correspondientes a la capacidad propuesta.



Figura 52: Máquina instalada

En la siguiente figura **53** se observa que cada balde, donde se colocarán las guayabas, pesa 1 Kg.



Figura 53: Peso Recipiente

Una vez, el recipiente ha sido llenado, este pesa 17 kg; no obstante, se suprime el peso del balde y resulta una masa neta de 16 kg.



(a) Balanza



(b) Peso Guayabas cortadas

A continuación, se detalla una tabla en donde constan las cargas con las que se verificó el dispositivo en cuanto a la capacidad de producción kg/h.

Tabla V: Capacidad de producción

CARGA (KG)	RESULTADO	COMENTARIOS
16	Positivo	Se observó como era separada la cáscara y la semilla de la pulpa uniformemente sin ningún problema.
32	Positivo	El rendimiento continúa siendo eficaz mediante el uso del tamíz con agujero de 3 mm.
48	Positivo	Se observó que la pulpa continuaba siendo extraída; sin embargo, usando el tamíz , de 3 mm, ligeramente salía un poco de corteza junto a la pulpa.
96	Positivo	Se procedió a cambiar el tamiz, para procesar el fruto con usando el tamiz de refinado, de 1 mm, y se logra con éxito la extracción de la pulpa sin corteza ni semillas.
144	Positivo	Al cabo de una hora se logró procesar 144 kg/h sin recalentamiento del motor y sin ninguna otra novedad.

Según la tabla [V](#), el equipo se encuentra operativo superando el rendimiento kg/h de extracción de la pulpa de guayaba. Por tanto, se concluye que al término de 2 horas con 30 minutos se obtendrá una capacidad de 360 kg. Dentro de las figuras [55](#) y [56](#) se observa el residuo que se obtuvo usando los diferentes tamices.



Figura 55: Tamiz de 3 mm



Figura 56: Tamiz de 1mm

Como dato adicional, dentro de las parcelas de tierra, de la familia beneficiada, se cosechan al día un aproximado de 2500 kg de guayaba. De tal forma con un continuo despulpado, donde por ciclo de 2 horas y 30 minutos la máquina se detenga por una hora, estos agricultores serán capaces de extraer alrededor de 2016 kg/día.



Figura 57: Resultado pulpa



Figura 58: Resultado jugo

Cabe destacar que, por cada 5 baldes de la fruta sin procesar, se obtuvieron 3 recipientes llenos de pulpa líquida. Dentro de cada recipiente se almacenan 23 litros de pulpa de guayaba, es decir que si se procesan 2016 kg/día y cada recipiente almacena 16 kg al final del día se obtendrán 126 recipientes de pulpa fresca los cuales representan 2898 litros por día.

El siguiente enlace detalla el proceso de despulpado y las medidas de seguridad que deben ser tomadas en cuenta por el operador que se encuentre a cargo del dispositivo:







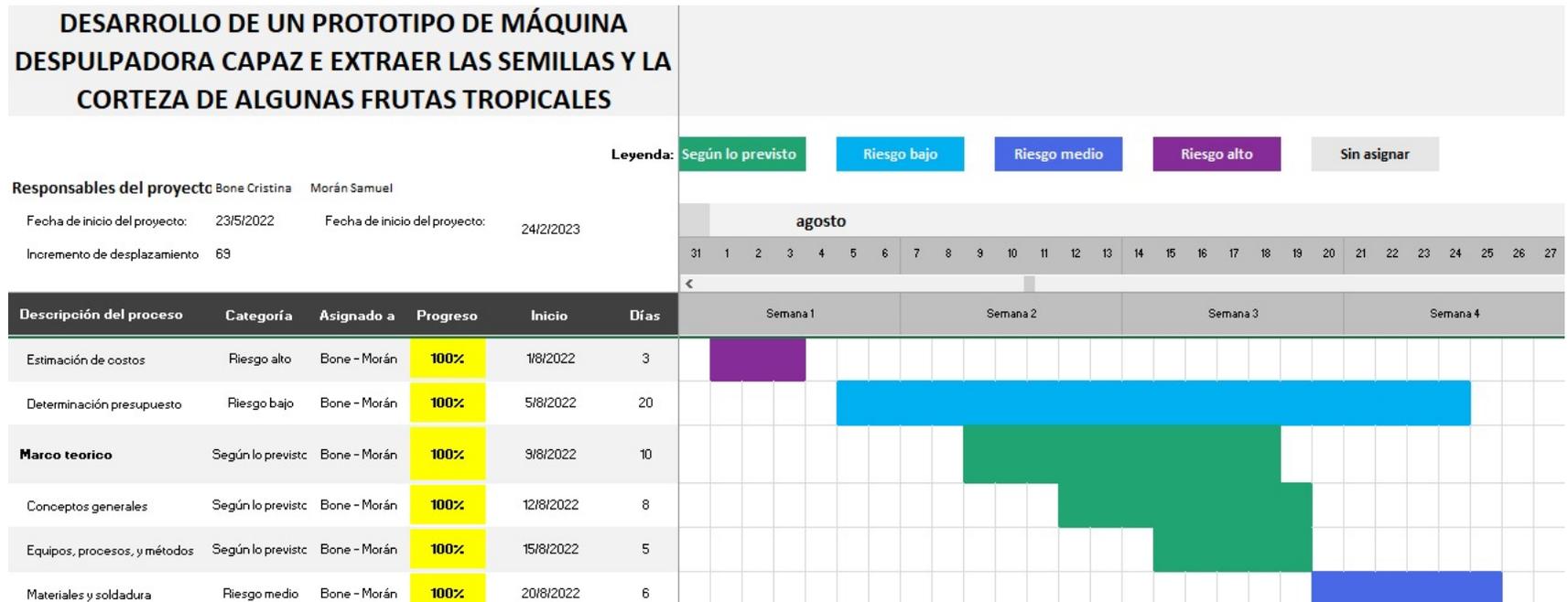


Figura 62: Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023





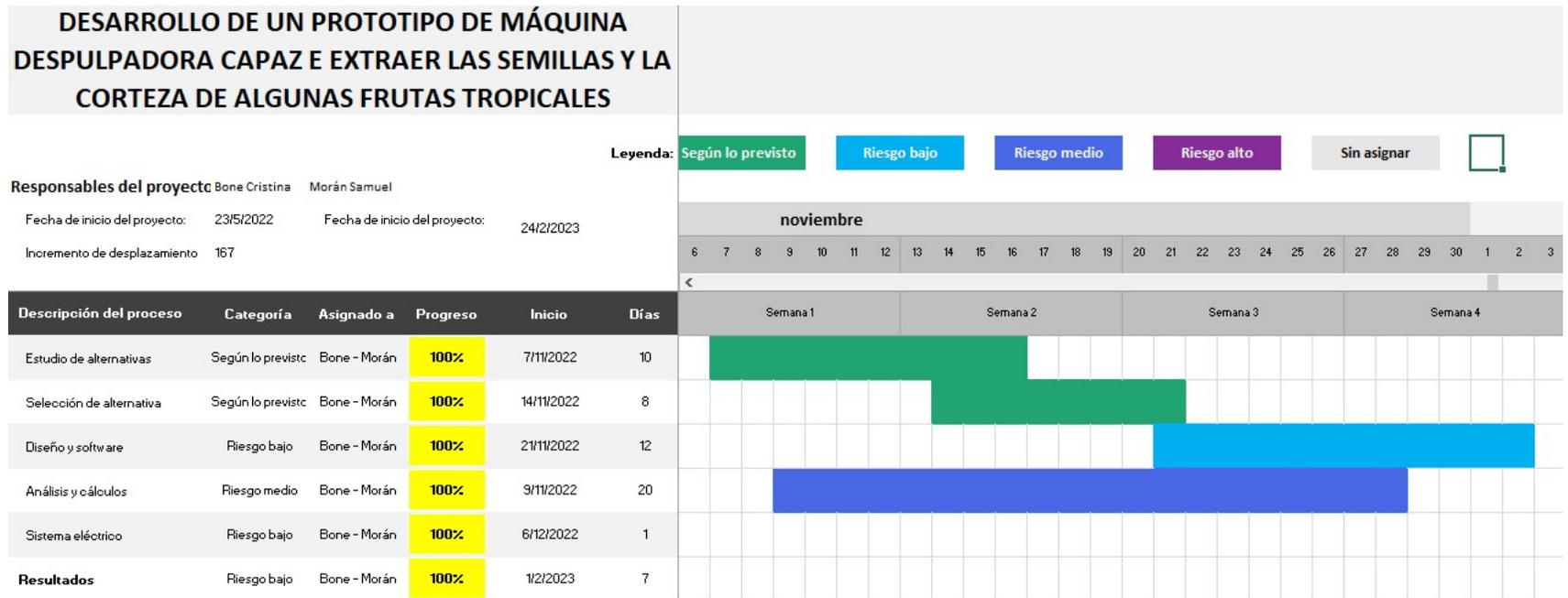


Figura 65: Cronograma elaborado por Bone-Morán, 2023







## IX. PRESUPUESTO

PROCESO MENSUAL	TOTAL
COSTO DE LA TESIS	\$ 1.780,00
<b>DESARROLLO DE MÁQUINA DESPULPADORA</b>	<b>TOTAL</b>
Motor monofásico	\$ 200,00
Componentes eléctricos	\$ 250,00
Chumaceras	\$ 50,00
Pernos y arandelas	\$ 25,00
Correa para polea	\$ 10,00
Polea conducida	\$ 35,00
Polea conductora	\$ 55,00
Fabricación de eje-cuchillas	\$ 120,00
Fabricación de paletas	\$ 45,00
Fabricación de tamices	\$ 135,00
Fabricación de tambor	\$ 175,00
Fabricación de tolva	\$ 125,00
Fabricación del mecanismo de salida de las semillas y corteza	\$ 45,00
Fabricación del mecanismo de salida de la pulpa	\$ 35,00
Fabricación de recubrimiento de poleas	\$ 30,00
Fabricación de protector de motor	\$ 50,00
Fabricación de estructura	\$ 125,00
Grasa alimenticia	\$ 30,00
Movilización	\$ 140,00
Imprevistos	\$ 100,00
<b>TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 1.780,00</b>

Figura 69: Presupuesto elaborado por Bone-Morán, 2022

## X. CONCLUSIONES

- Mediante el uso de la literatura revisada existen diferentes equipos y métodos para el despulpado de frutas, cada uno con sus propias ventajas y desventajas. La elección del método adecuado dependió del tipo de fruta a procesar (guayaba), la cantidad de fruta a procesar y la calidad de la pulpa deseada. A su vez, el buen uso de los parámetros de diseño aseguró que la máquina funcione correctamente y sin interrupciones innecesarias, lo que resulta en una mayor eficiencia y productividad en el procesamiento de frutas.
- Luego de haber realizado el análisis estático de los elementos críticos de la máquina despulpadora de guayaba, se concluye que el diseño realizado es apto para la carga y la finalidad con la que fue construida, dado que todos los elementos analizados presentaron deformaciones por debajo del milímetro, y ninguna prueba de tensión sobrepasó, o más bien ni se acercaron al límite elástico del material.
- Al simular el diseño realizado, se observó que los factores de seguridad obtenidos se encuentran dentro de los rangos determinados según la norma ANSI-ASME ya sea para cargas estables, moderado o de impacto fuerte, de esta forma se asegura que el prototipo no fallará por resistencia mecánica ni tampoco por cargas cíclicas.
- La construcción de la despulpadora no requiere mucho tiempo, ya que cada componente puede ser fabricado en talleres mecánicos con las máquinas adecuadas. De tal forma, se ha desarrollado un prototipo de despulpadora innovador, que destaca por su sencillo mantenimiento, fácil operación, fácil transporte y un precio exequible tal como se observa en el manual de usuario que se encuentra en los anexos.
- Para validar el proceso de producción se llevaron a cabo pruebas con diversas frutas, y así determinar la capacidad de producción de la máquina, y se comprobó que ninguno de sus componentes eléctricos presentó sobrecalentamiento, lo que indica que están correctamente acoplados.
- La máquina despulpadora de frutas cumple con las normas sanitarias establecidas para la manipulación de alimentos, y su construcción se llevó a cabo en su totalidad utilizando acero inoxidable de tipo AISI 304.
- La máquina diseñada tiene la capacidad de despulpar guayaba de manera segura y con costos que resultaron asequibles para el pequeño productor, y además, a través de pruebas realizadas, se logró establecer que la capacidad de producción para la guayaba es de 144 Kg/h.
- Se puede simplificar el montaje de la máquina despulpadora, lo que facilita su desmontaje para su continuo mantenimiento según los requerimientos generales de las Buenas Prácticas de Manufactura.
- El proyecto de la máquina despulpadora de frutas es una aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en la carrera de mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, tales como estática, resistencia de materiales, dibujo mecánico, diseño mecatrónico, selección de materiales, entre otros.

## XI. RECOMENDACIONES

- Antes de poner en marcha la máquina, es esencial examinar la tolva cuidadosamente para detectar la presencia de cualquier objeto extraño que pueda ingresar accidentalmente en el interior.
- Es importante realizar el mantenimiento de los componentes de la máquina siguiendo el plan recomendado para garantizar su correcto funcionamiento.
- Para reducir la vibración y garantizar una fijación más segura del equipo, se sugiere la utilización de pernos expansivos para anclar las placas de la estructura al piso
- Es fundamental seleccionar el tamiz correspondiente a cada tipo de fruta para asegurar un correcto desempeño de la máquina y obtener una pulpa de alta calidad.
- Es esencial bajar el contactor, que se encuentra ubicado dentro del tablero de control, antes de proceder a limpiar la máquina, y tener precaución de no mojar los componentes eléctricos durante el proceso de limpieza.
- Se sugiere agregar agua hervida en el tambor interno de la máquina después de cada proceso de despulpado, para ayudar a liberar cualquier pulpa que pueda haber quedado en las paredes del mismo.
- Debido a que la máquina se utiliza en ambientes húmedos y con líquidos, se sugiere tomar medidas de protección para salvaguardar el motor, las poleas y las correas.
- Es aconsejable que el personal encargado de construir los componentes de la máquina despulpadora de frutas cuente con la capacitación adecuada, y con los equipos de protección personal establecidos dentro del manual de usuario.
- Se sugiere realizar evaluaciones del material utilizado para las paletas, dado que se obtuvo un factor de seguridad muy alto, lo cual indica que hay un sobre dimensionamiento en ese elemento, lo cual significa mayor costo de producción; por tanto, se podría reemplazar por otro material menos costoso.
- Se recomienda, también, automatizar el proceso de despulpado mediante el uso de sensores que permitan el arranque automático mediante presencia de la fruta, y, posterior, el cierre del ciclo cuando ya no haya presencia del producto dentro del cuerpo de la máquina.
- Para evitar transientes de voltaje se aconseja cambiar el motor monofásico por uno trifásico, el cual, a su vez, permitirá el acople de un variador de frecuencia para así regular la velocidad del motor según la capacidad de fruta a procesar.

## APÉNDICE

### A. Manual de usuario

Dentro del presente manual de procedimiento de operación se proporcionará información detallada y específica sobre el proceso de instalación de la máquina despulpadora de frutos tropicales, al igual que el proceso de operación de la misma.

#### A1. Especificaciones de la máquina

ESPECIFICACIONES	
Altura	155 cm
Ancho	61 cm
Largo	101 cm
Peso	70 kg
Material	AISI 304
Conexión eléctrica	220 V
Potencia del motor	Motor monofásico de 2 HP
Velocidad de arranque	3530
Capacidad	144

#### A2. Vista general de la máquina

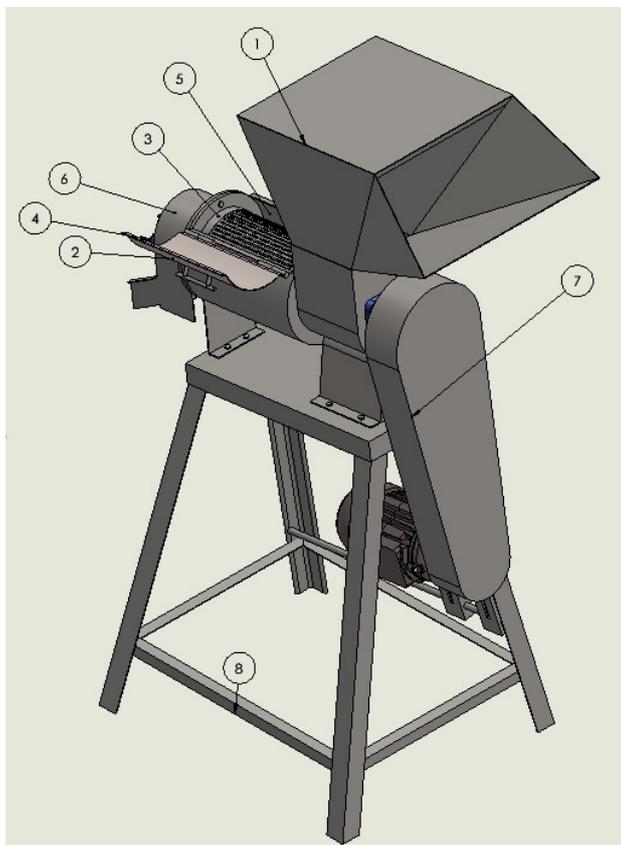


Figura 70: Componentes de la máquina

PRINCIPALES COMPONENTES	
1	Tolva de ingreso de frutos
2	Cámara de despulpado
3	Tamiz
4	Soporte de tamiz
5	Salida de pulpa
6	Salida de residuos y semillas
7	Protector de poleas
8	Estructura metálica

Figura 71: Detalle de componentes

#### A3. Proceso de instalación de máquina

Para dar paso a la instalación de la máquina despulpadora de frutas se debe considerar:

- La máquina debe permanecer ubicada en una superficie plana, lisa y nivelada.
- Estar cerca de una fuente de energía para su conexión de 220V.
- El lugar de instalación debe tener una ventilación adecuada para evitar algún sobrecalentamiento de la misma.

#### A4. Seguridad industrial

- Asegurarse de que la máquina esté instalada y fijada adecuadamente.
- Conocer y entender el manual de instrucciones y los procedimientos de seguridad para la máquina en cuestión. Es decir, no sobreescribir las capacidades de la máquina que no se detallan en las especificaciones del prototipo.
- El operador deberá usar equipo de protección personal, tales como redcilla, gafas de seguridad, guantes, calzado de seguridad para evitar alguna contaminación en el proceso.
- El operador no debe usar collares, aretes, cadenas, anillos, pulseras, y ningún de accesorios que pueda contaminar el producto o alterar el proceso de producción.
- Verificar regularmente el estado de la máquina y las condiciones de trabajo antes de su uso. Además, si su estado no está apto para trabajar, no usarla, y solicitar una revisión técnica.
- Mantener la zona de trabajo limpia y libre de obstáculos para que el operario de la misma, pueda mantener una distancia de seguridad con respecto al dispositivo.
- No permitir que personas no autorizadas o no capacitadas manejen la máquina.

#### A5. Funcionamiento de la máquina.

Dentro del funcionamiento de la máquina despulpadora de frutas:

- Preparación:  
Verificar que la despulpadora esté limpia y que todas las conexiones eléctricas y mecánicas estén bien conectadas antes de la operación.
- Alimentación:  
Introducir los frutos a ser despulados en la tolva de alimentación y asegurarse de que las frutas estén correctamente colocadas a un ritmo constante y evitar la obstrucción de la máquina.
- Despulpe:  
Las cuchillas de despulpe eliminan la pulpa de los frutos y la separan de los residuos y pepas.
- Clasificación: La pulpa y las semillas son separadas y clasificadas según su tamaño y calidad en los envases adecuados.
- Limpieza:  
La despulpadora debe ser limpiada y llevada al tipo de mantenimiento correspondiente después de su uso para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

**Nota.** Es importante seguir los procedimientos de seguridad y mantenimiento adecuados para garantizar una operación eficiente y segura de la despulpadora. Y, además, en caso de emergencia o riesgo ya sea por problema mecánico o eléctrico, se debe aplastar el botón de paro de emergencia de la máquina.

#### A6. Limpieza de la máquina.

Dentro de la limpieza de la máquina despulpadora de frutas se basa en varios procesos, como:

- Desmontaje:  
Se deben desmontar todas las piezas móviles y extraer todas las frutas restantes.
- Limpieza de las piezas:  
las piezas móviles deben lavarse con agua, o agua caliente y jabón líquido, y posterior se deben secar las piezas desmoldadas antes de volver a montarlas.
- Limpieza de la máquina:  
Se debe limpiar la máquina con agua, o agua caliente y jabón líquido asegurándose de que se alcance todas las áreas y se eliminen todos los restos de frutas y residuos.
- Enjuague:  
Después de la limpieza con jabón líquido, se debe enjuagar la máquina con agua limpia para eliminar cualquier residuo viscoso.
- Secado:  
Se debe dejar que la máquina se seque completamente antes de volver a usarla.

**Nota.** Es importante seguir los procedimientos de limpieza adecuados para mantener la eficiencia y la higiene de la despulpadora, y prevenir la contaminación de las frutas, y a su vez, prolongar la vida útil del equipo.

*A7. Manual de mantenimiento de una despulpadora:*

Las máquinas despuladoras son esenciales en la industria, y al igual que otro tipo de maquinaria, requieren de mantenimiento para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

Aquí hay algunas razones por las que una máquina desulpadora necesita mantenimiento:

- **Desgaste mecánico:**  
Las piezas móviles, como sujeciones, tolva, y tamices están sujetas a rápidos desgaste y desgaste con el tiempo, lo que puede afectar su capacidad de despulpado.
- **Acumulación de materiales:**  
La acumulación de pulpa, cascara y otros materiales en la máquina puede obstruir las partes móviles y afectar su rendimiento.
- **Ajustes necesarios:**  
Con el tiempo, los ajustes y las regulaciones pueden desviarse, lo que puede afectar la eficiencia de la máquina y la calidad del despulpado.
- **Problemas eléctricos:**  
Las máquinas desulpadoras también pueden tener problemas eléctricos, como cortocircuitos, que requieren reparación o reemplazo.
- **Limpieza:**  
La limpieza regular de la máquina también es importante para prevenir la acumulación de materiales y garantizar una higiene adecuada. Continuamente, las características esenciales del mantenimiento aplicado al equipo se describen como:
  - **Limpieza regular:**  
Limpie regularmente las partes de la máquina que estén en contacto con el fruto para prevenir la acumulación de restos.
  - **Lubricación:**  
Lubricar periódicamente las piezas móviles para reducir la fricción y mantener su funcionamiento suave.
  - **Inspecciones regulares:**  
Inspeccione regularmente la máquina para detectar cualquier desgaste o daño de las piezas antes de que se convierta en un problema mayor.
  - **Reparación o reemplazo oportuno:**  
Repáre o reemplace las piezas dañadas o desgastadas para garantizar un funcionamiento adecuado.
  - **Mantenimiento preventivo programado:**  
Siga un programa de mantenimiento preventivo para mantener la máquina en buen estado y prevenir problemas futuros.

Por parámetros de la Organización Internacional de Estandarización, también conocida por sus siglas ISO que en el idioma inglés significa Organization for Standardization, se esquematizan los cronogramas de mantenimiento de la máquina en:

<b>CRONOGRAMA DE LIMPIEZA</b>				
<b>Actividad</b>	<b>Diario</b>	<b>Semanal</b>	<b>Mensual</b>	<b>Trimestral</b>
Limpieza de tamices	X			
Limpieza de cámara de despulpado	X			
Limpieza de tolva	X			
Limpieza completa de la máquina		X		
Limpieza de motor				X
Limpieza de poleas			X	

<b>CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO MECÁNICO</b>				
<b>Actividad</b>	<b>Mensual</b>	<b>Trimestral</b>	<b>Semestral</b>	<b>Anual</b>
Inspección de banda	X			
Inspección de poleas	X			
Inspección de paletas		X		
Inspección de cuchillas			X	
Inspección de motor	X			
Inspección de pernos				
Cambio de banda				X

<b>CRONOGRAMA DE LUBRICACIÓN</b>				
<b>Actividad</b>	<b>Diario</b>	<b>Semanal</b>	<b>Mensual</b>	<b>Trimestral</b>
Lubricación de chumaceras			X	

<b>CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO</b>				
<b>Actividad</b>	<b>SEMANAL</b>	<b>MENSUAL</b>	<b>TRIMESTRAL</b>	<b>Anual</b>
Inspección de tomacorriente	X			
Revisión de enchufe	X			
Revisión de cables		X		
Revisión de conexiones del motor			X	
Revisión de tablero de control			X	
Medición de voltaje y amperaje del sistema eléctrico		X		

En resumen, el mantenimiento regular de la máquina despulpadora de frutos es esencial para garantizar su correcto funcionamiento, prolongar su vida útil y mejorar su rendimiento y la calidad del desulpado.

B. Láminas de Piezas Despulpadora

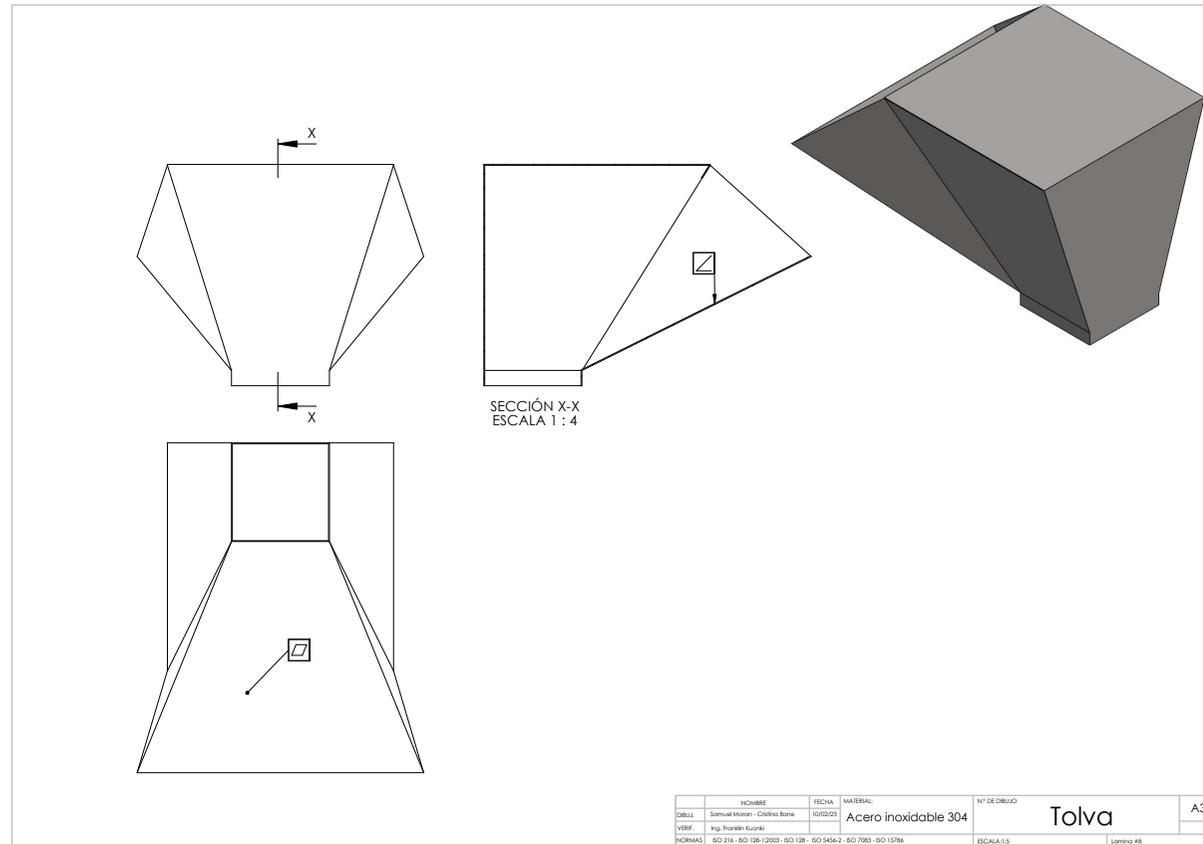


Figura 72: Lámina Tolva (Bone-Morán)

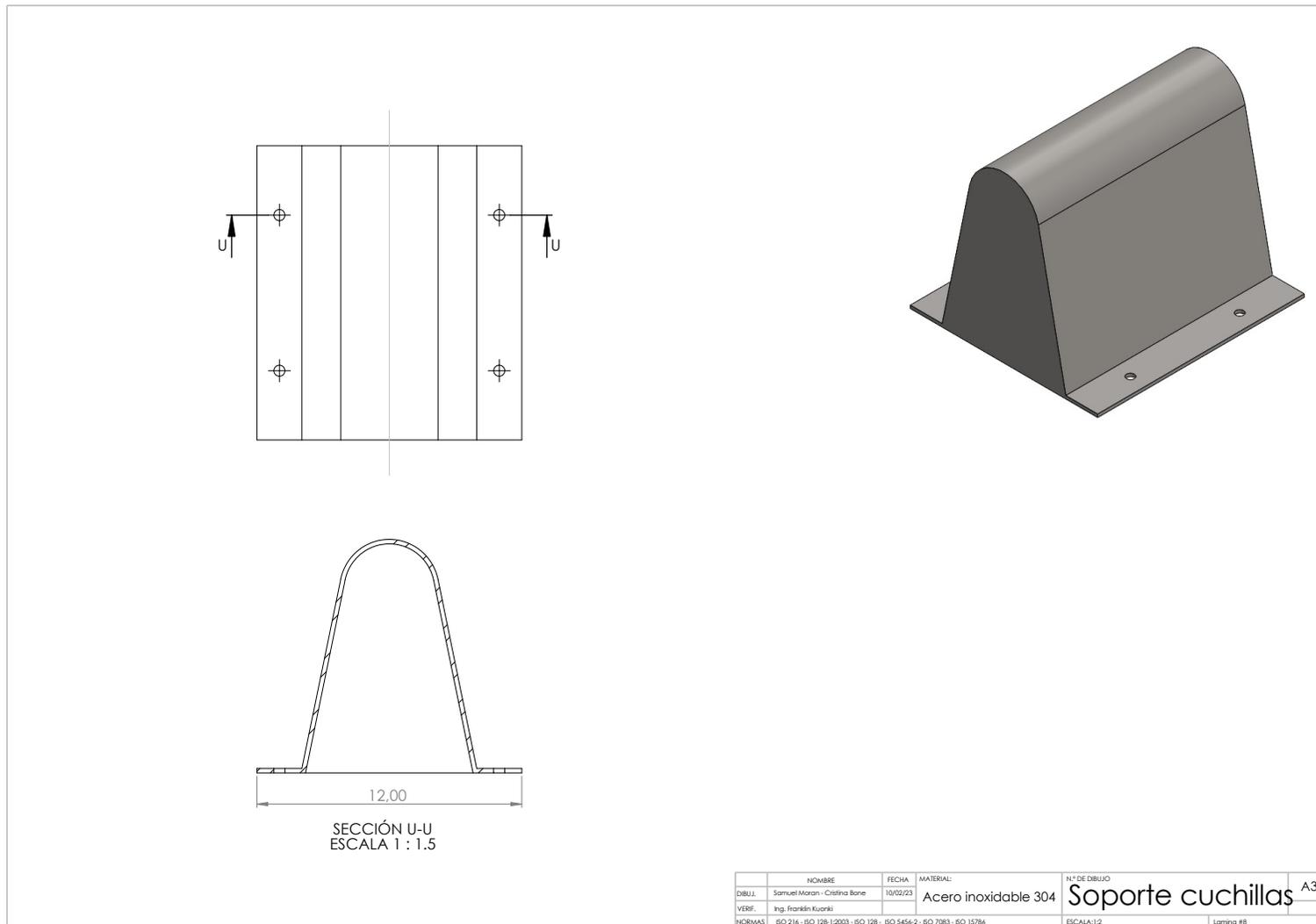


Figura 73: Lámina Soporte de cuchilla (Bone-Morán)

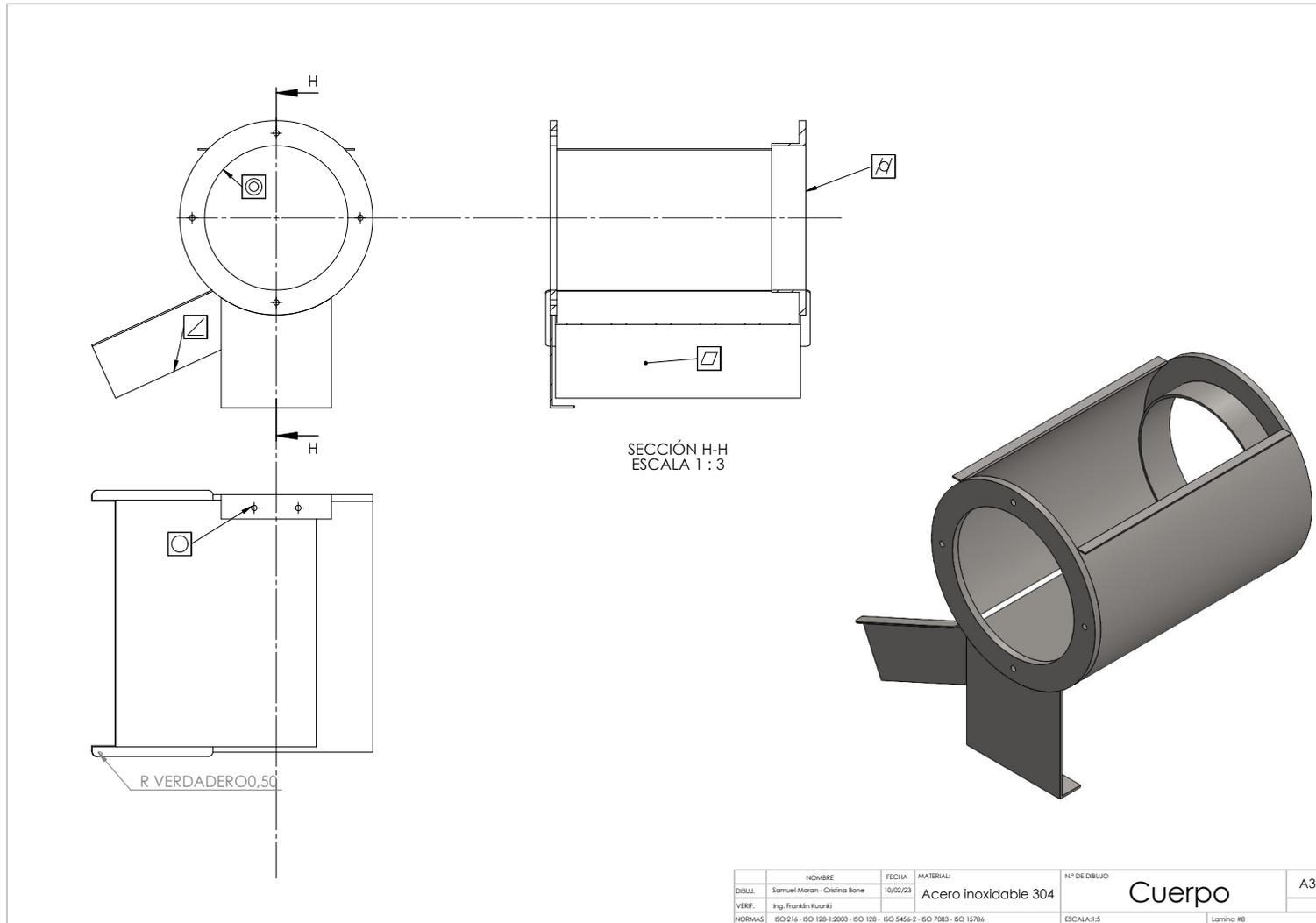


Figura 74: Lámina Cuerpo (Bone-Morán)

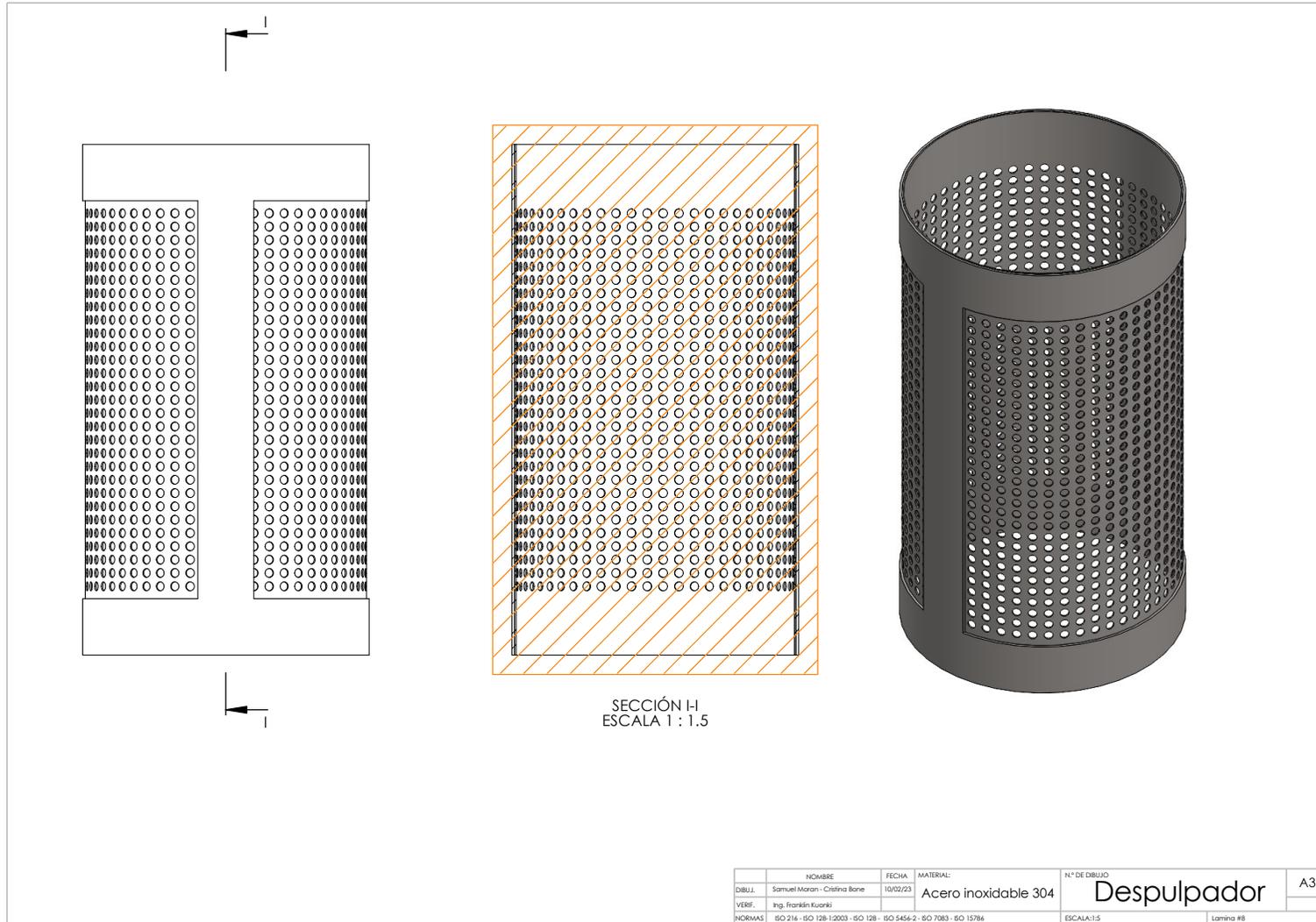


Figura 75: Lámina Despulpador (Bone-Morán)

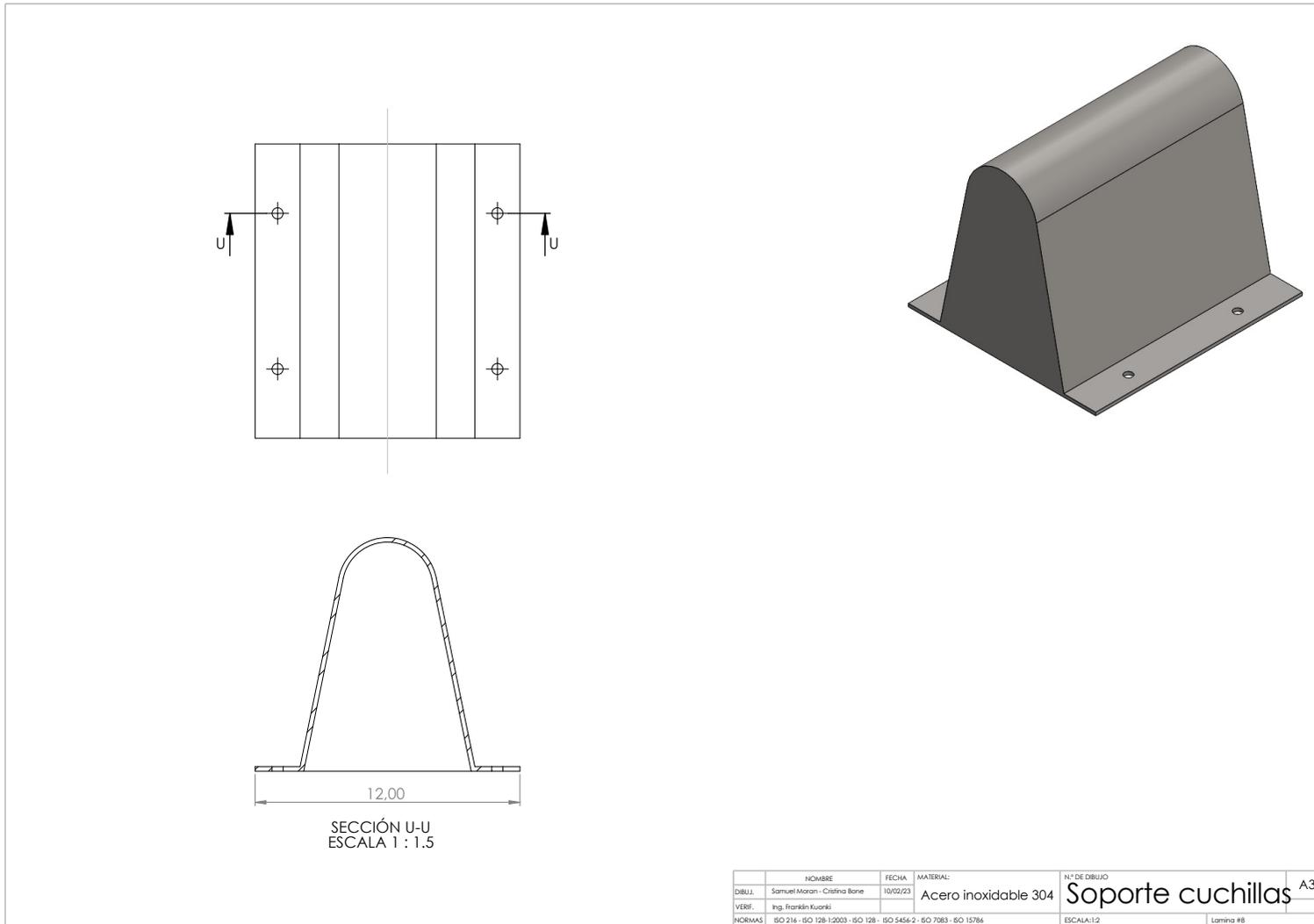


Figura 76: Soporte Cuchillas (Bone-Morán)

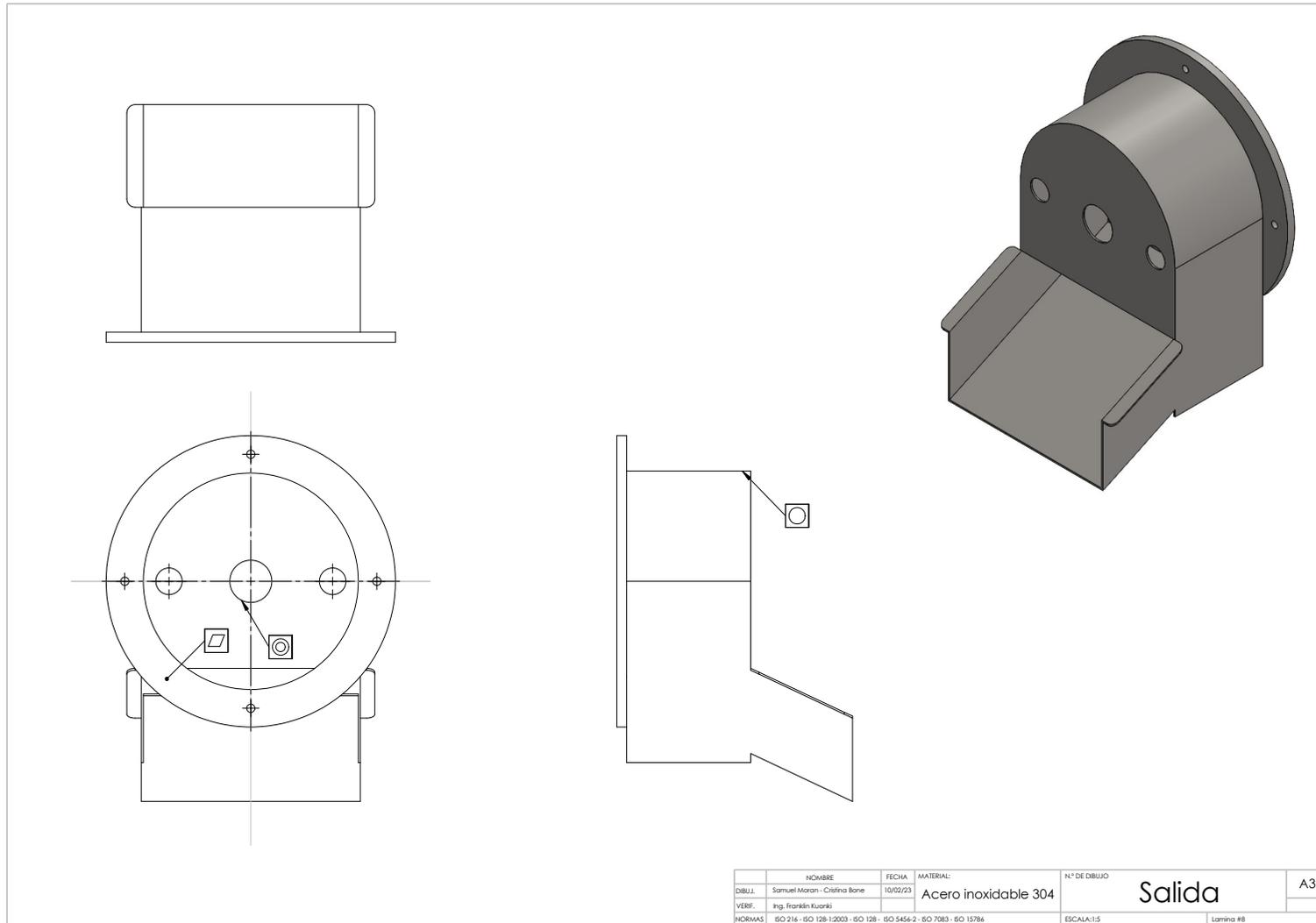


Figura 77: Lámina Salida (Bone-Morán)

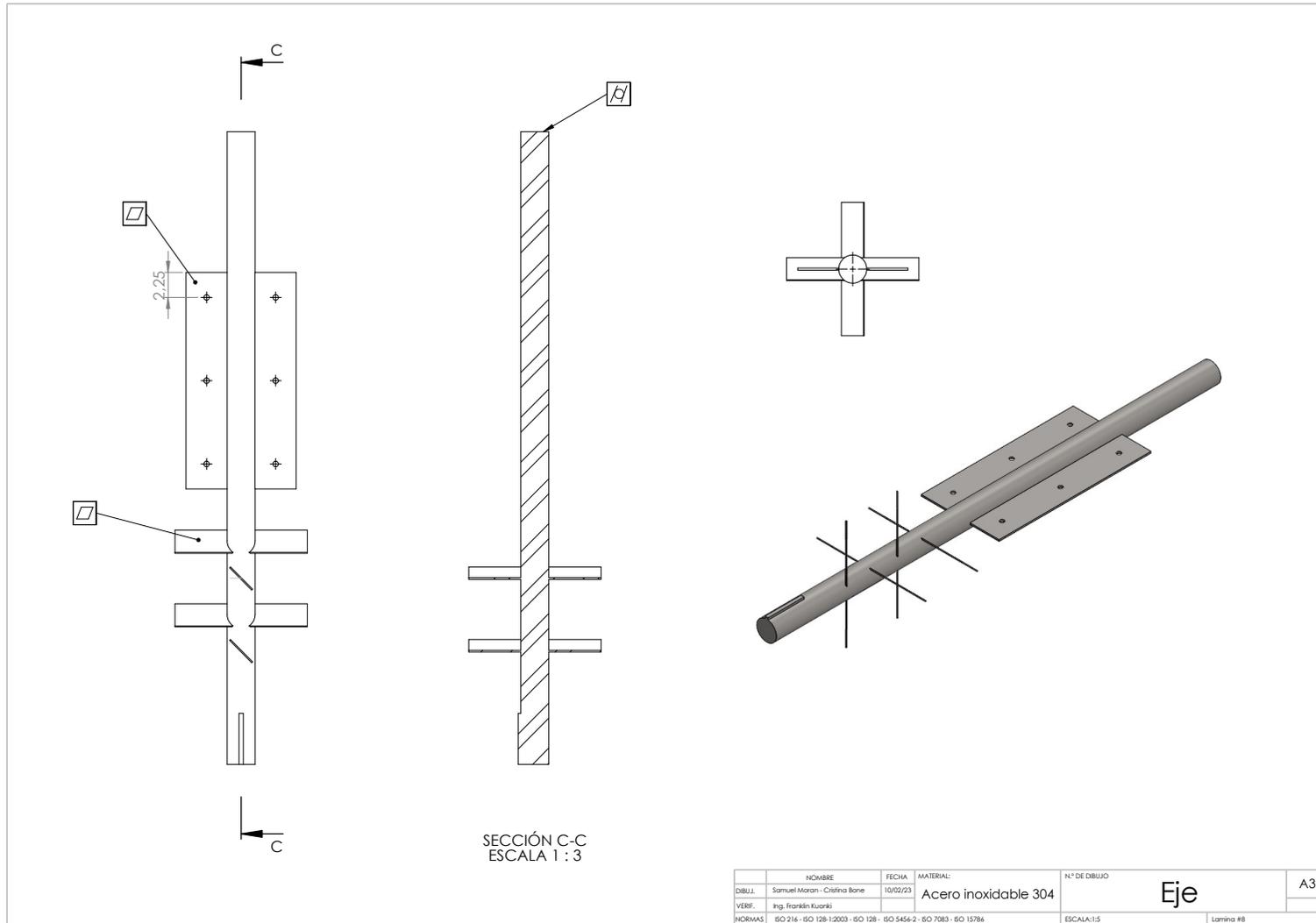


Figura 78: Lámina Eje Principal (Bone-Morán)

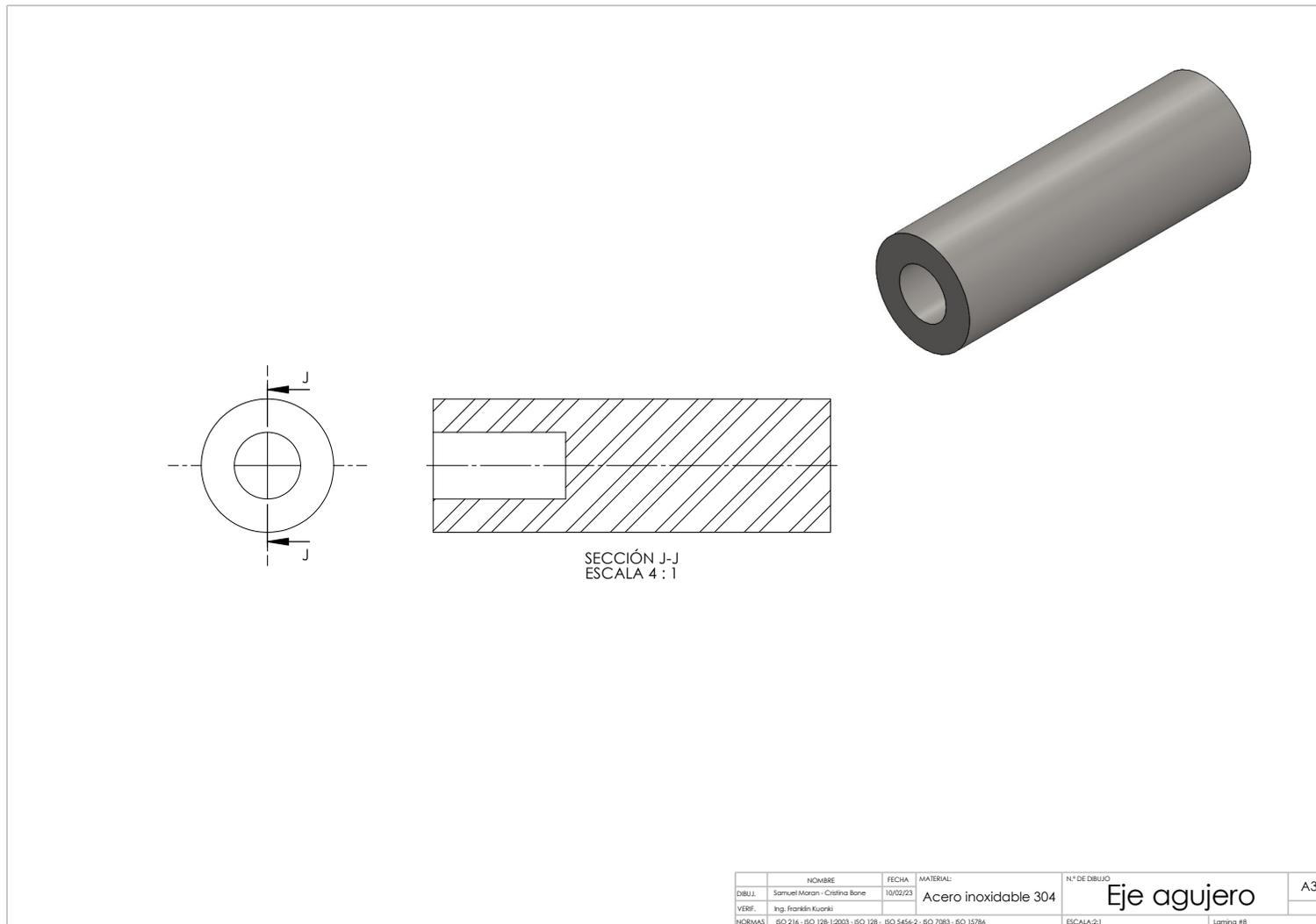


Figura 79: Lámina Eje Agujero (Bone-Morán)

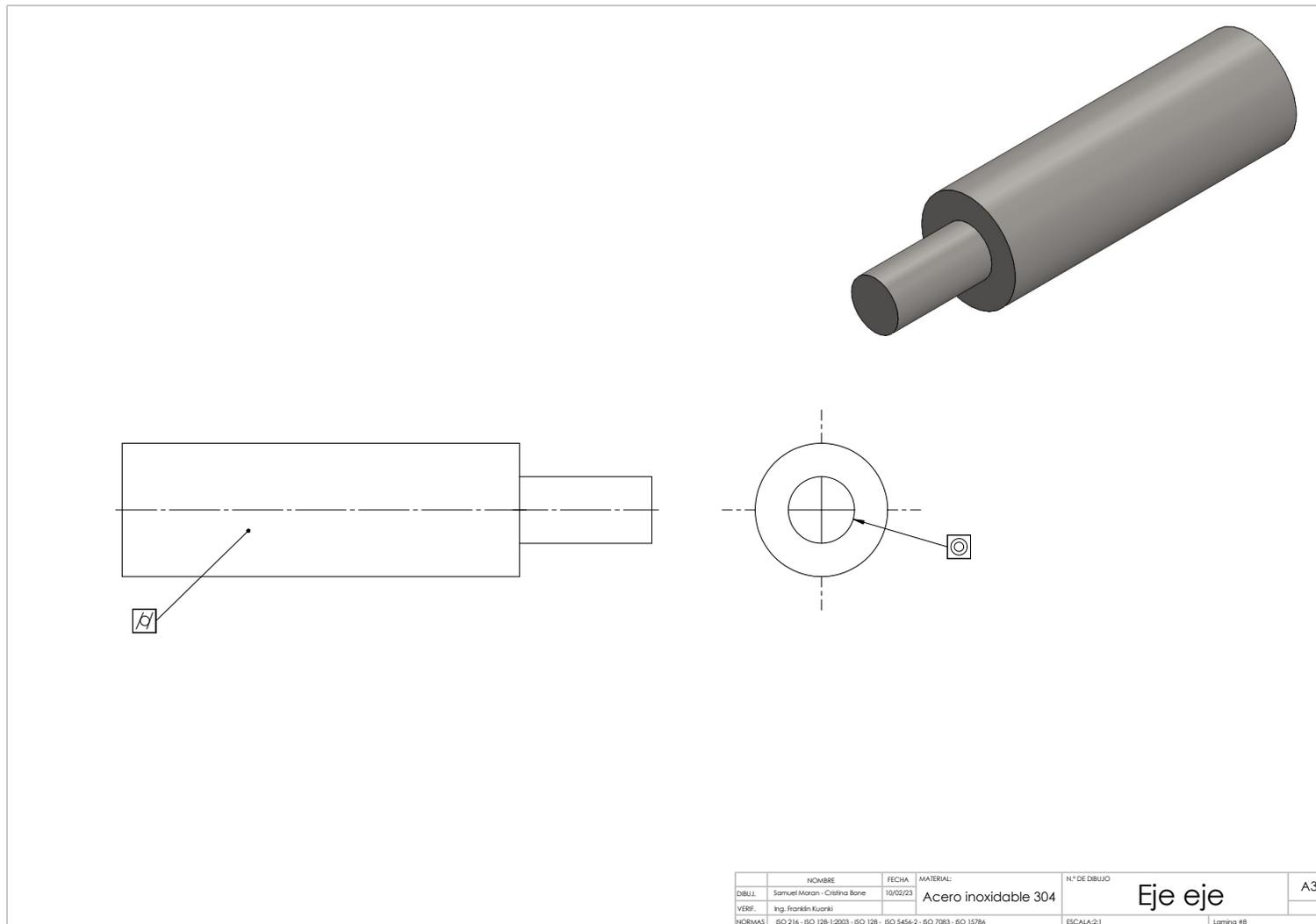


Figura 80: Lámina Eje Eje(Bone-Morán)

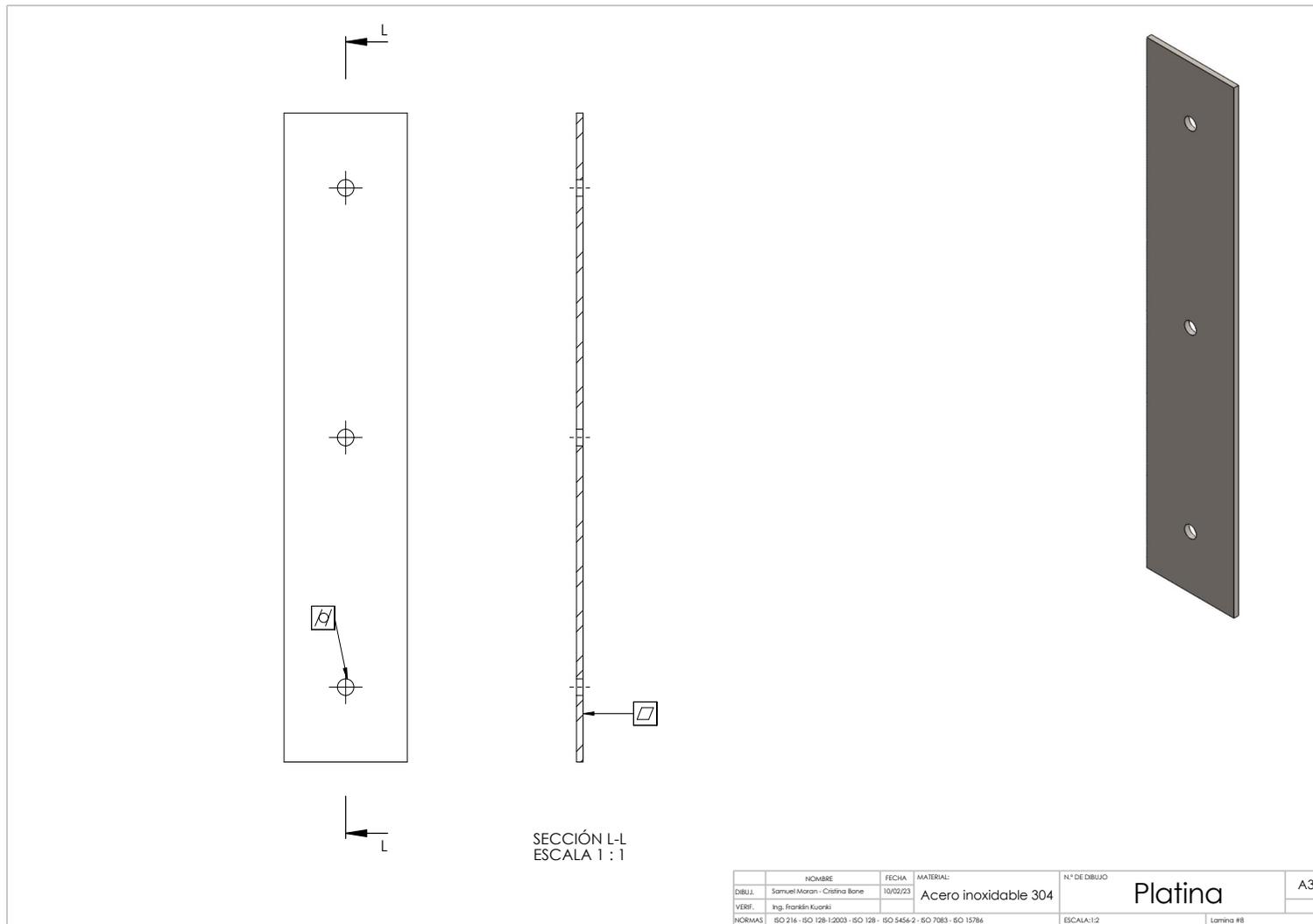


Figura 81: Lámina Platina(Bone-Morán)

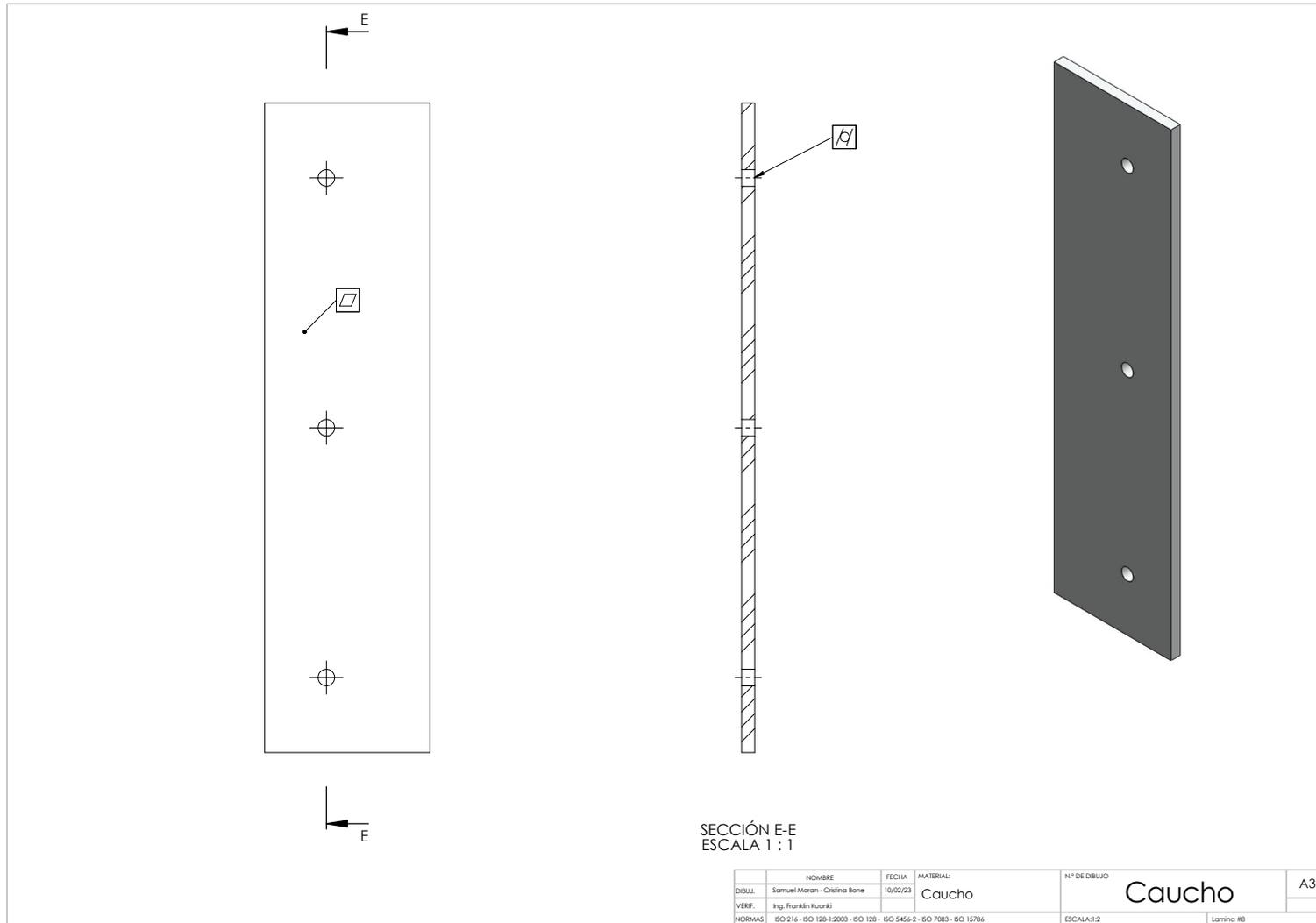


Figura 82: Lámina Caucho (Bone-Morán)

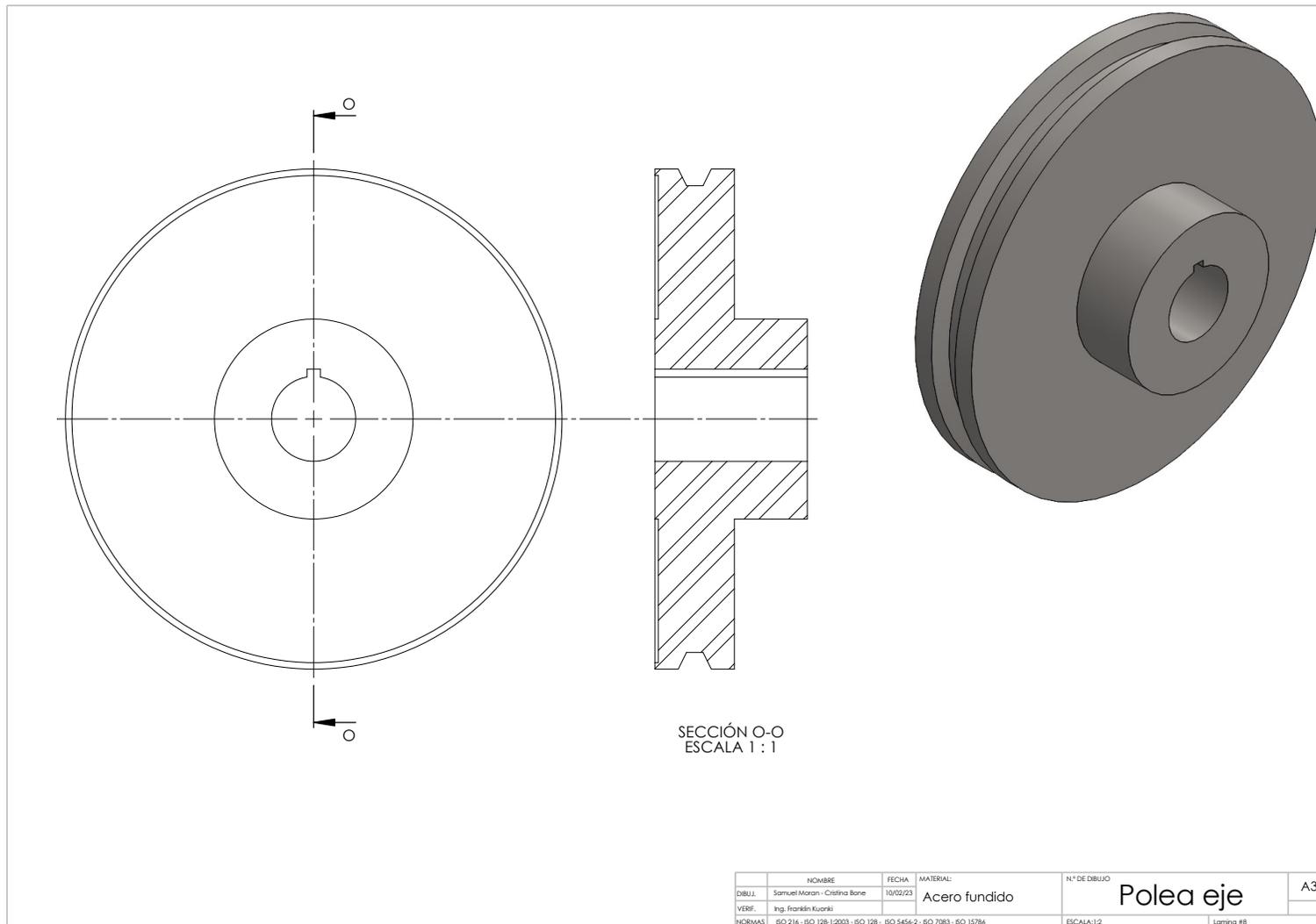


Figura 83: Lámina Polea Eje (Bone-Morán)

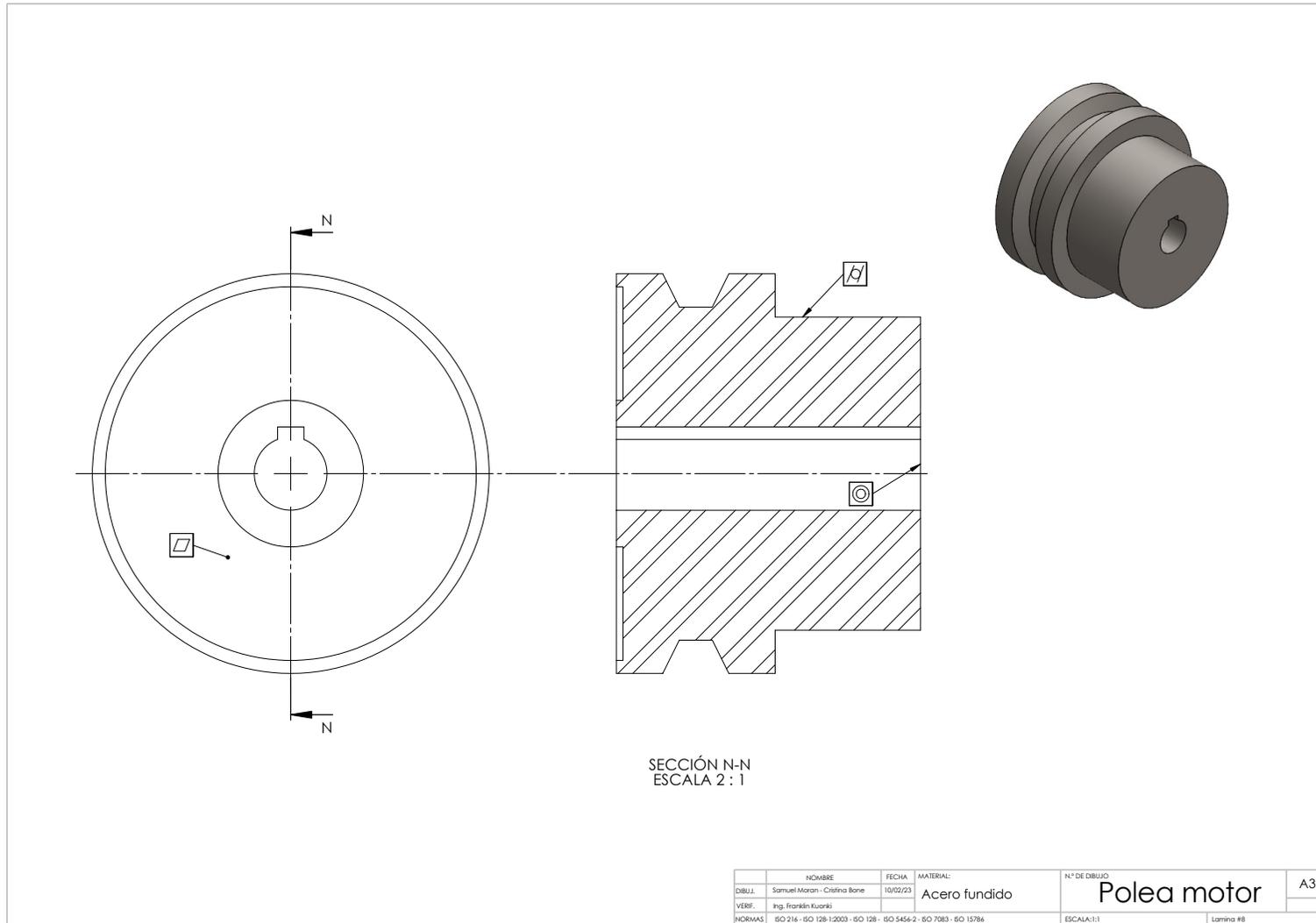


Figura 84: Lámina Polea Motor (Bone-Morán)

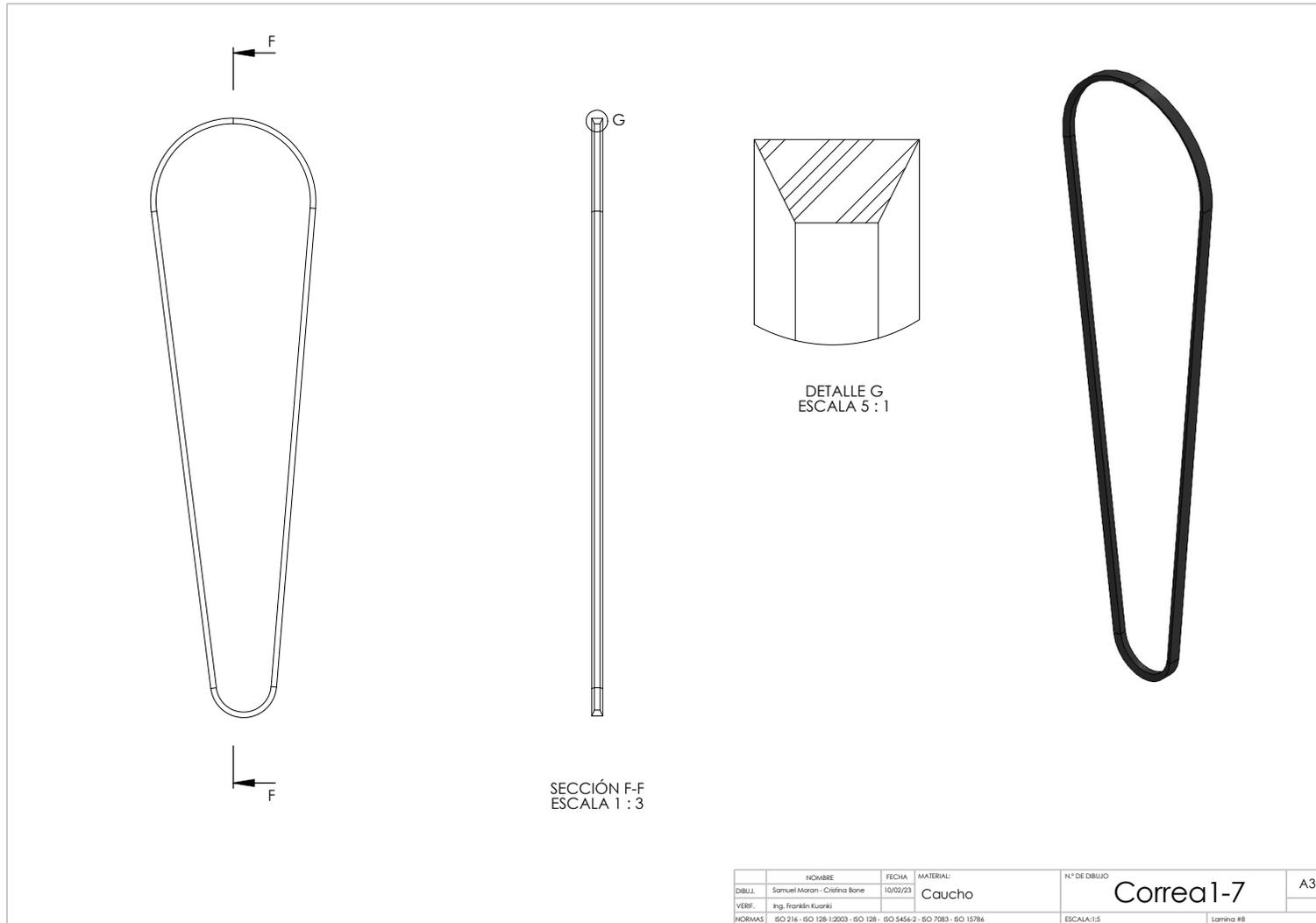


Figura 85: Lámina Correa (Bone-Morán)

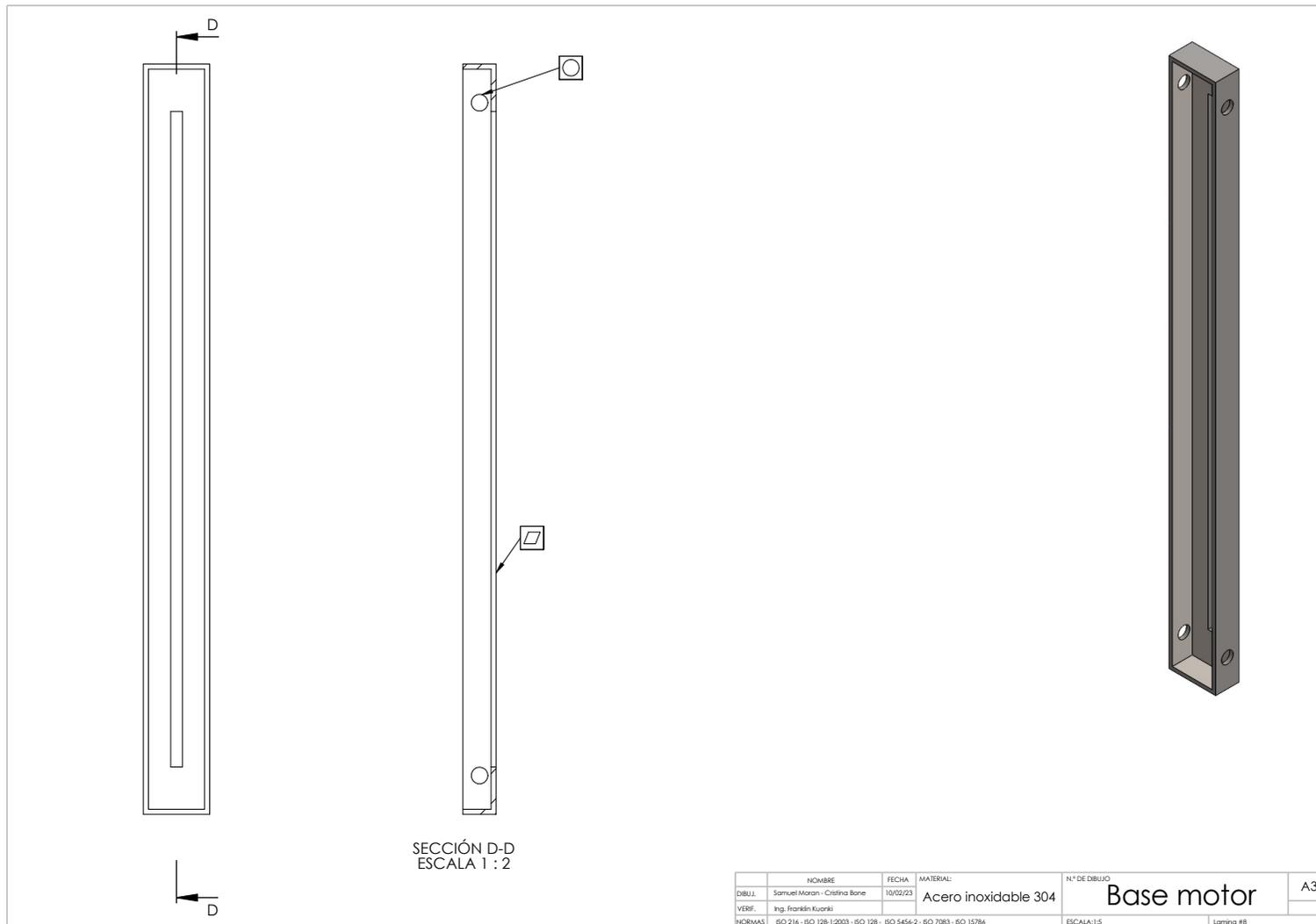


Figura 86: Lámina Base Motor (Bone-Morán)

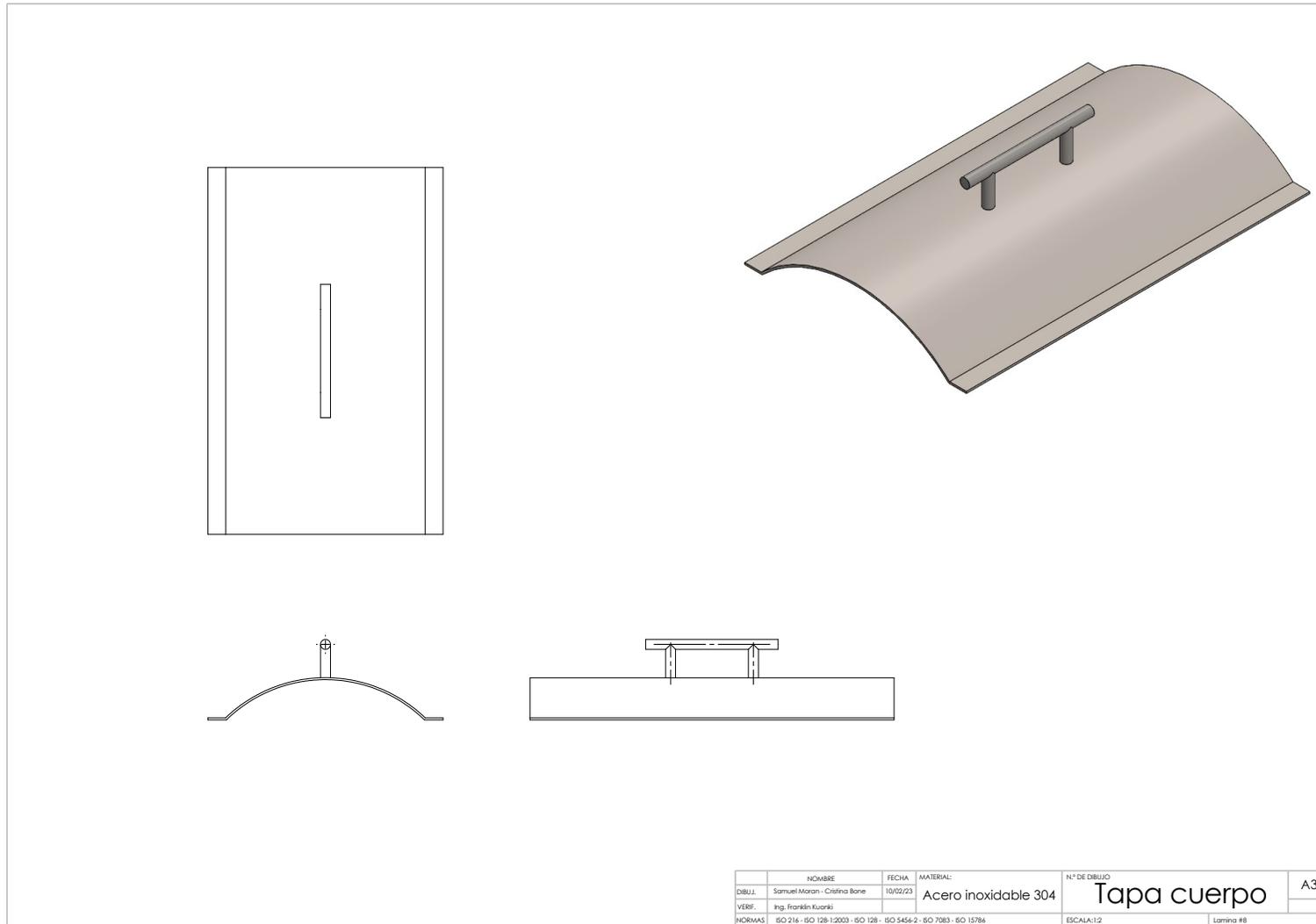


Figura 87: Lámina Tapa Cuerpo (Bone-Morán)

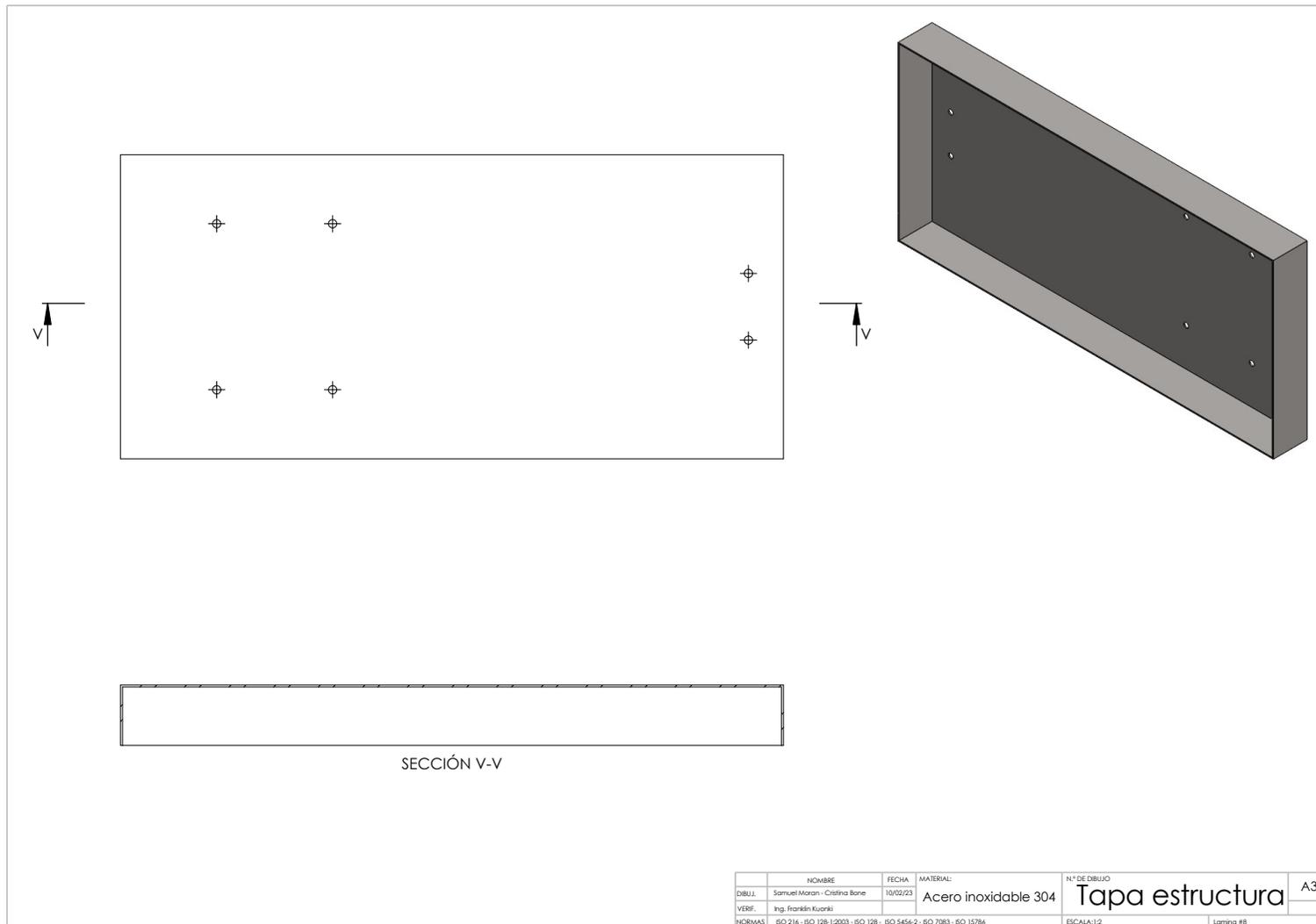


Figura 88: Lámina Tapa Estructura (Bone-Morán)

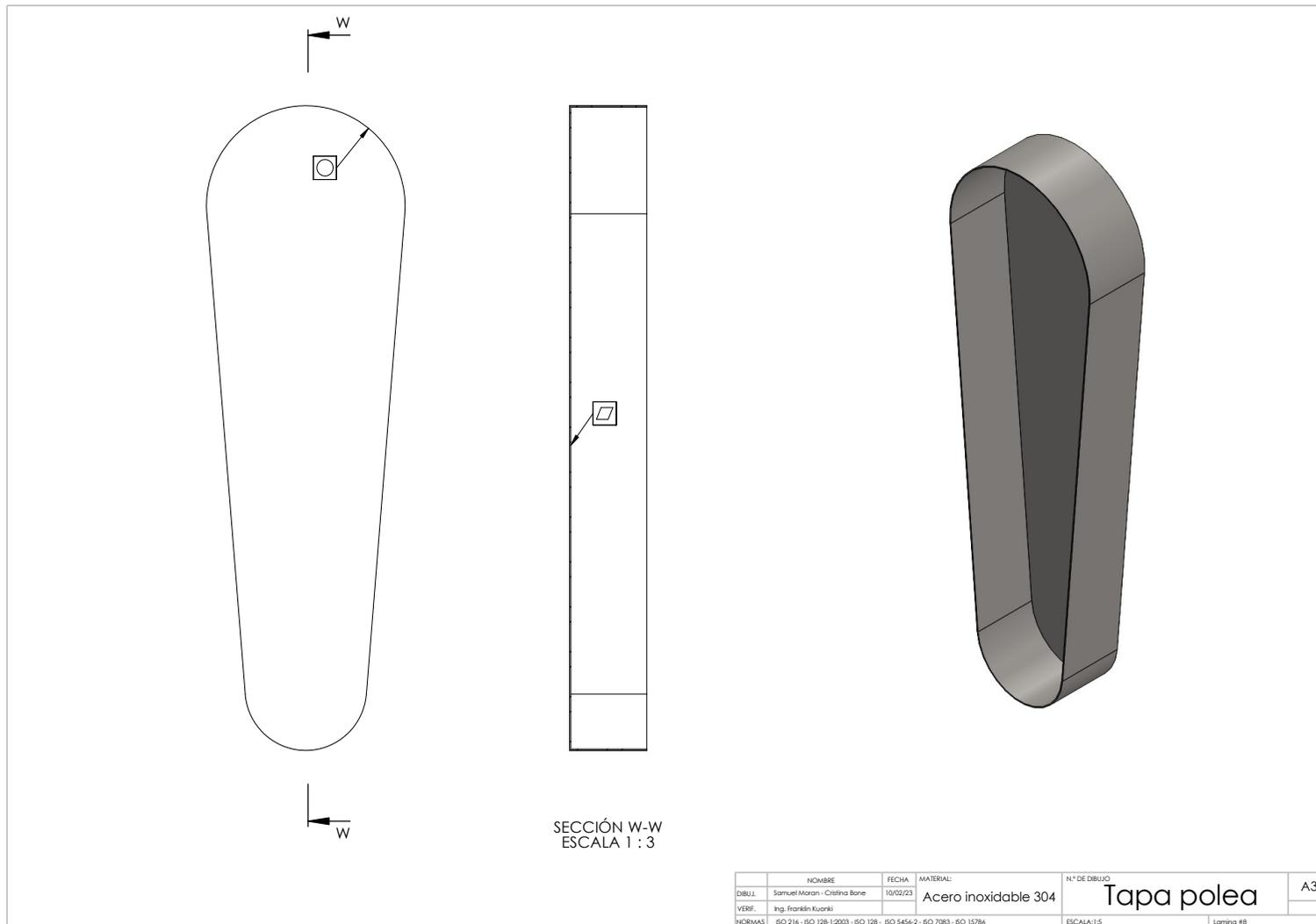


Figura 89: Lámina Tapa Polea (Bone-Morán)

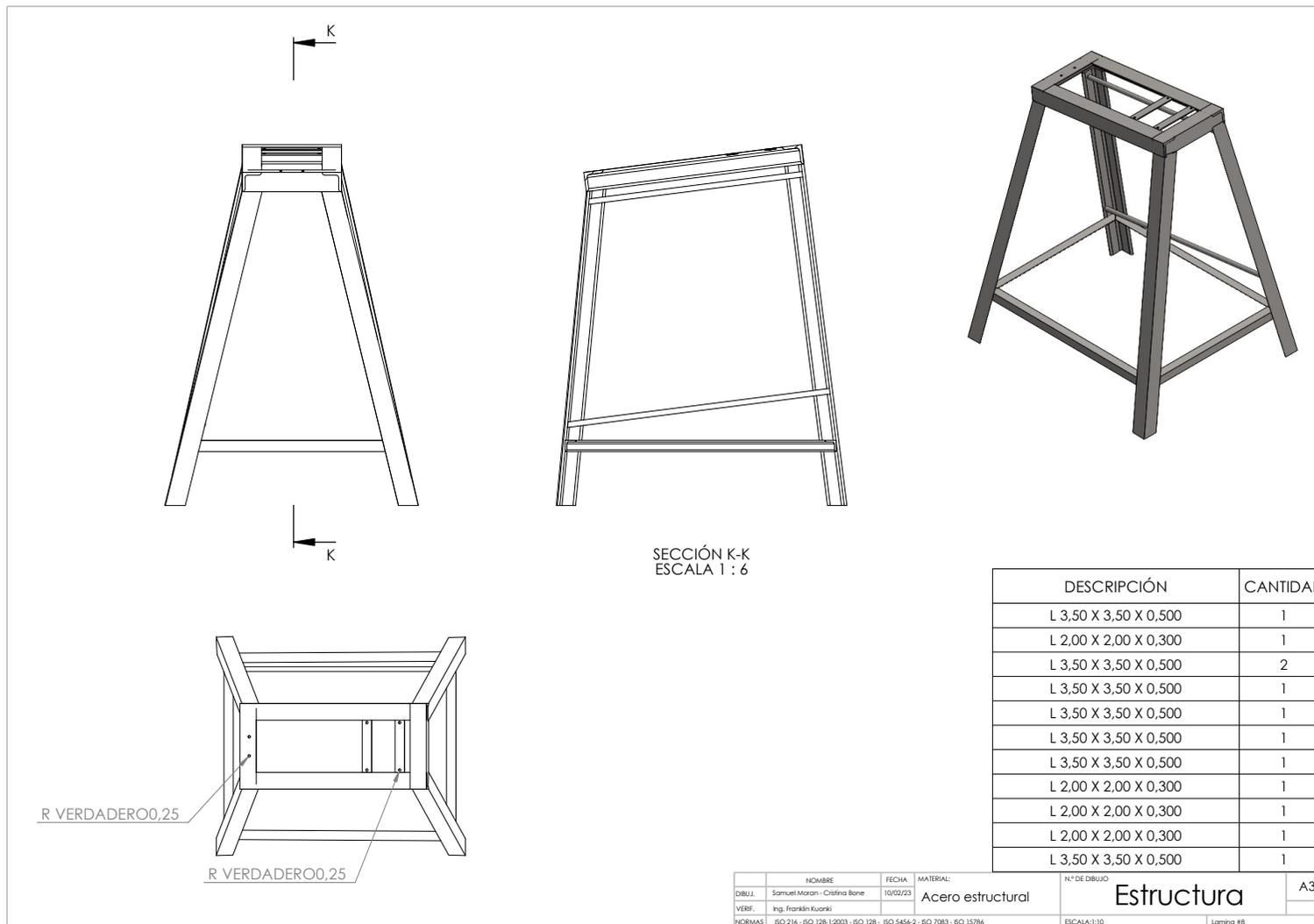


Figura 90: Lámina Estructura (Bone-Morán)

C. Características de diferentes tipos de acero

Tabla VI: Aceros

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)				Resistencia a la deformación, exponente $m$	Resistencia a la fractura $e_f$
			Fluencia $S_y$ MPa (kpsi)	Última $S_u$ MPa (kpsi)	A la fractura, $\sigma_u$ MPa (kpsi)	Coficiente $\sigma_0$ MPa (kpsi)		
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) <sup>†</sup>	620 (90.0)	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) <sup>†</sup>	992 (144)	0.14	0.49
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) <sup>†</sup>	758 (110)	0.24	0.85
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) <sup>†</sup>	0.041	0.81
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)	1 930 (210)	2 340 (340)	1 760 (255) <sup>†</sup>	0.048	0.43
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) <sup>†</sup>	1 410 (205)	0.51	1.16
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) <sup>†</sup>	1 270 (185)	0.45	1.67
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) <sup>†</sup>	620 (90)	0.28	0.10
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) <sup>†</sup>	689 (100)	0.15	0.18
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) <sup>†</sup>	882 (128)	0.13	0.18

<sup>\*</sup>Los valores se tomaron de uno o dos coladas y se considera que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.

<sup>†</sup>Valor derivado.

D. Características de motores WEG

Tabla VII: Características de motores WEG

Carcasa de aluminio- Alta Eficiencia - IE2- 4 polos

0,12	63	0,38	3,9	180%	200%	0,00039	44	5,2	55	58	59	0,54	0,67	0,77
0,18	63	0,55	4,3	220%	220%	0,00055	44	6,5	59	61	61	0,55	0,68	0,77
0,25	71	0,72	4	210%	220%	0,00055	43	8,9	63	66	66	0,54	0,67	0,76
0,37	71	1,08	4,2	250%	250%	0,00066	43	9,5	65	68	68	0,5	0,64	0,73
0,55	80	1,27	5,8	240%	280%	0,00221	44	12,5	75	76,5	76,5	0,61	0,74	0,82
0,75	80	1,63	6	260%	290%	0,00289	44	15	79	79,6	79,6	0,63	0,76	0,83
1,1	90S/L	2,40	6,5	210%	260%	0,00494	49	19,5	81	81,8	81,8	0,62	0,75	0,81
1,5	90S/L	3,26	6,3	200%	280%	0,00546	49	21,5	81,5	83	83	0,57	0,72	0,8
2,2	100L	4,64	6,6	310%	320%	0,00822	53	28,5	84	84,5	84,5	0,63	0,75	0,81
3	100L	6,17	6,5	320%	330%	0,00972	53	33,5	85	85,6	85,6	0,64	0,76	0,82
4	112M	8,12	6,6	200%	260%	0,01588	56	42	86	86,7	86,7	0,64	0,76	0,82
5,5	132S	10,50	7,3	190%	300%	0,04163	56	48,5	88	88,1	88,1	0,69	0,81	0,86
7,5	132M	14,10	7,2	200%	300%	0,05284	56	55,5	88,7	89	89	0,71	0,81	0,86
9,2	132M	17,30	7,7	200%	320%	0,06039	56	63,5	89,2	89,5	89,5	0,7	0,81	0,86

E. Clasificación de factores de carga

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Figura 91: Factor de carga

F. Factores de seguridad

Tabla VIII: Factor de seguridad según norma ANSI-ASME

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_u$	Factor de confiabilidad $k_u$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

G. Factor de confiabilidad

Tabla IX: Factor de Confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_u$	Factor de confiabilidad $k_u$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

H. Constantes de Marín

Tabla X: Tabla para la obtención de las constantes de Marín

Acabado superficial	Factor $a$		Exponente $b$
	$S_{utr}$ kpsi	$S_{utr}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

I. Factor temperatura funcionamiento

Tabla XI: Factor de Temperatura

Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperatura, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

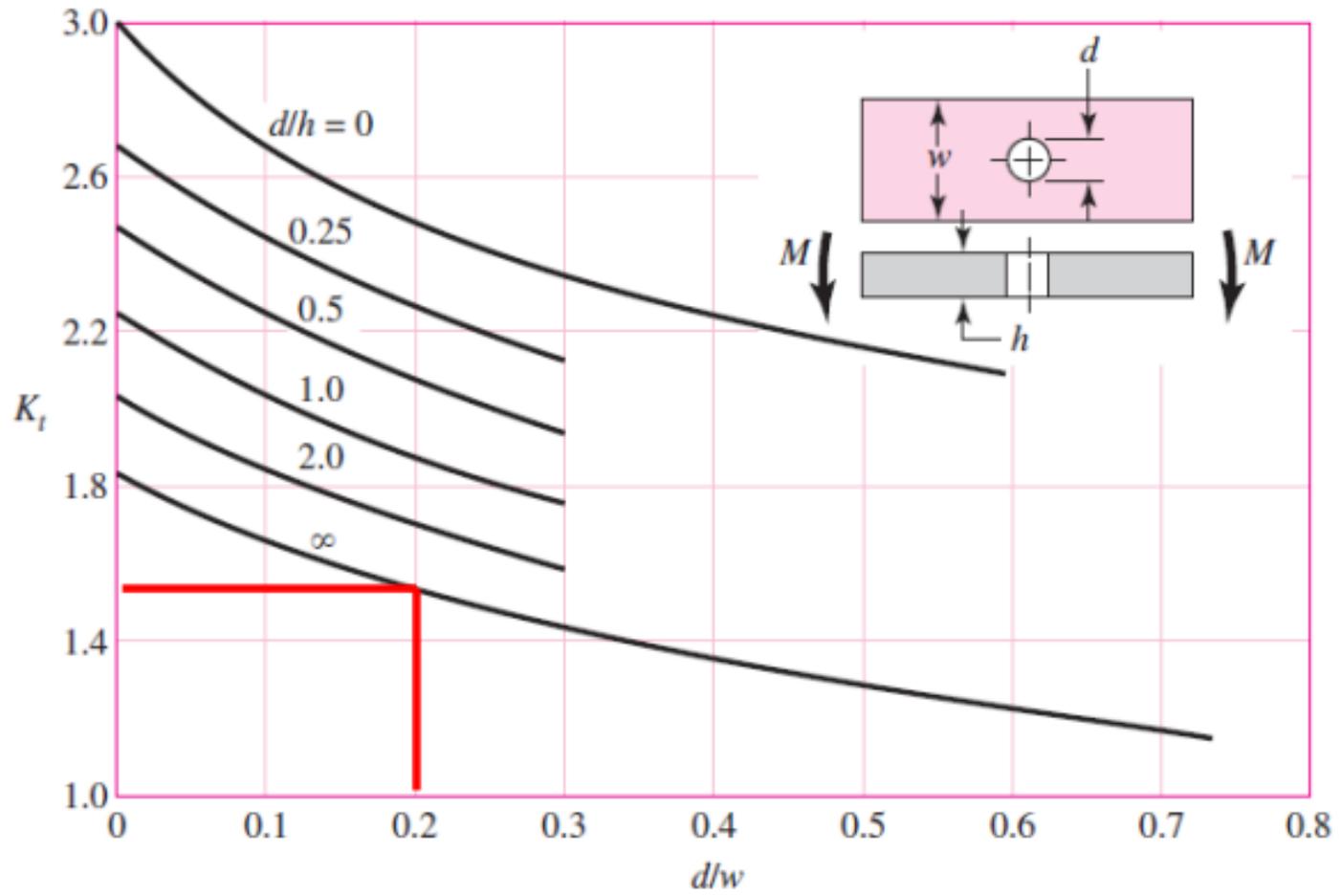


Figura 92: Concentración de Esfuerzos

## REFERENCIAS

- [1] V. Alarcon y J. Alexander, *Estudio técnico y financiero para la implementación de una máquina despulpadora de fruta*, 2.<sup>a</sup> ed. Bogotá: Politécnica Nacional, 2020.
- [2] A. Aldana y J. Ospina, «TERRANOVA ENCICLOPEDIA AGROPECUARIA, INGENIERÍA Y AGROINDUSTRIA,» en 3.<sup>a</sup> ed. Bogotá: Terranova Editores, 1995, cap. 7.
- [3] S. BI, *DEFINICIONES SOLIDWORKS*, Accedido: 11-09-2022, 1993. dirección: <https://solid-bi.es/solidworks/>.
- [4] Bone-Morán, *Presupuesto*, 1.<sup>a</sup> ed. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2022.
- [5] C.O.R.P.E.I., *FRUTAS EXÓTICAS ECUATORIANAS EN MERCADOS INTERNACIONALES*, Accedido: 12-09-2022, 2022. dirección: <https://corpei.org/2019/01/02/frutas-exoticas-ecuatorianas-en-mercados-internacionales/>.
- [6] H. Cole, *JOURNAL OF DESIGN*, 2.<sup>a</sup> ed. Oxford: Oxford University Press, 1849.
- [7] V. Díaz, «Frutas Tropicales: Elaboración de Pulpas, Jugos y Deshidratados,» en 1.<sup>a</sup> ed. Buenos Aires: Departamento de Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local, 2015.
- [8] S. N. ECOLOGE, *LA HISTORIA DE OTTO KÜHL*, Accedido: 10-09-2022, 2012. dirección: <https://www.selvanegra.com/de/Resort-OttoKuhl.html>.
- [9] D. de Estado de España, *CÓDIGO ALIMENTARIO ESPAÑOL*, 1.<sup>a</sup> ed. Madrid: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 1967.
- [10] F.R.U.T.A.S., *FRUTAS EXÓTICAS ECUATORIANAS EN MERCADOS INTERNACIONALES*, Accedido: 12-09-2022. dirección: <https://fundaciondelcorazon.com/nutricion/alimentos/794-frutas.html#:~:text=Proporcionan%5C%20un%5C%20importante%5C%20aporte%5C%20vitam%5C%20C3%5C%ADnico,80%5C%20y%5C%2095%5C%20por%5C%20ciento.>
- [11] F. Figueroa, *Food and Agriculture Organization of the United Nations: Procesamiento de frutas y hortalizas mediante metodos artesanales y de pequeña escala*, Accedido: 08-09-2022, 1993. dirección: <https://www.fao.org/3/x5062S/x5062S00.htm#Contents>.
- [12] Á. Gil-Hernández, M. Reyes-Artacho y M. Ruíz-López, «TRATADO DE NUTRICIÓN,» en 2.<sup>a</sup> ed. Bogotá: Editorial Médica Panamericana, 2017, cap. 5.
- [13] GRET, «Equipos para el procesamiento de productos agrícolas a pequeña escala y nuevas formas de cooperación industrial,» en 1.<sup>a</sup> ed. Buenos Aires: Ministerio de Cooperación, 1987.
- [14] S. de Información Científica Redalyc, ed., *A Review on Austenitic Stainless Steel*.
- [15] N. International, ed., *Stress Corrosion Cracking of Duplex Stainless Steels*.
- [16] T. W. Jefferson, *Introduction to Welding*, Florida, 2012.
- [17] C. Learning, ed., *Shielded Metal Arc Welding*.
- [18] J. C. Lippold y D. J. Kotecki, *Welding Metallurgy and Weldability*, New Jersey, 2015.
- [19] U. N. A. de México, *LAS FRUTAS*, Accedido: 12-09-2022, México, 2010.
- [20] W. H. Minnick, *Gas Tungsten Arc Welding Handbook*, 1.<sup>a</sup> ed. Appleton, 2007.
- [21] R. L. Mott, *MECÁNICA Y DISEÑO MECÁNICO*, 1.<sup>a</sup> ed. Hamburgo: RTL Deutschland, 2019.
- [22] B. Page, ed., *Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of Martensitic Stainless Steel*.
- [23] T. Publishers, ed., *Máquinas y Mecanismos*, Texas.
- [24] W. Publishing, ed., *Fundamentals of Welding Metallurgy*.
- [25] R.A.E., *Definición de Pulpa*, Accedido: 12-09-2022, España, 2010. dirección: <https://dle.rae.es/pulpa>.
- [26] I. Redacciones, ed., *DESPULPADO DE FRUTAS TROPICALES: Elaboración de Pulpas, Jugos y Deshidratados*.
- [27] C. Science, ed., *Corrosion Behavior of Stainless Steel in Seawater*.
- [28] U. S. Sebastian, *Vinculación con el Medio*, Accedido: 10-09-2022, Concepción, 2015.
- [29] U. N. d. C. Secretaría de Ciencia y Tecnología, ed., *CONTROL DE CALIDAD; Cartas de Control por Variables*.
- [30] J. Shigley y M. C. M. Hill, *Fatigue Design: Life Expectancy of Machine Parts*, 2.<sup>a</sup> ed. ISBN 978-0-07-100406-1, 1989.

[31] C. Talsa, *S.M. DIGITAL*, Accedido: 08-09-2022, 2022. dirección: <https://www.citala.com/blogs/noticias/que-es-una-despulpadora-y-que-provecho-podemos-sacarle#:~:text=Se%5C%20trata%5C%20de%5C%20una%5C%20m%5C%20C3%5C%A1quina,%5C%20n%5C%20C3%5C%A9ctares%5C%20C3%5C%A9s>.