



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Diseño de un sistema semiautomático moldeador
de ladrillos de arcilla para reducir el tiempo de
elaboración en la ladrillera Inka Forte, Mocce -
Lambayeque”**

Presentado Por:

Bach. Danner Kelvin Zorrilla Pereyra

Asesor:

Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes

LAMBAYEQUE – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Diseño de un sistema semiautomático moldeador
de ladrillos de arcilla para reducir el tiempo de
elaboración en la ladrillera Inka Forte, Mocce -
Lambayeque”**

Presentado Por:

Bach. Danner Kelvin Zorrilla Pereyra

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Msc. Lic. Egberto Serafin Gutiérrez Atoche

SECRETARIO: Ing. Percy Niño Vasquez

VOCAL: Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez

ASESOR: Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes

Lambayeque – Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA



TESIS

TÍTULO

“Diseño de un sistema automático moldeador de ladrillos de arcilla para reducir el tiempo de elaboración en la ladrillera Inka Forte, Mocce - Lambayeque”

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

AUTOR: Bach. Danner Kelvin Zorrilla Pereyra

Msc. Lic. Egberto Gutiérrez Atoche
Presidente

Ing. Percy Niño Vasquez
Secretario

Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez
Vocal

Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes
Asesor

Lambayeque – Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACION N°0137-2025-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 12:30 p.m. del día Lunes 22 de diciembre 2025. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°414-2025-D-FIME, de fecha 17 de diciembre 2025, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

- | | |
|---|------------|
| • M.Sc. Lic. EGBERTO SERAFIN GUTIERREZ ATOCHE | PRESIDENTE |
| • M.Sc. Ing. PERCY EDWAR NIÑO VÁSQUEZ | SECRETARIO |
| • ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NÚÑEZ | MIEMBRO |
| • Dr. Ing. RICARDO RODRIGUEZ PAREDES | ASESOR |

Se recibió la Tesis titulada:

"DISEÑO DE UN SISTEMA SEMIAUTOMATICO MOLDEADOR DE LADRILLOS DE ARCILLA PARA REDUCIR EL TIEMPO DE ELABORACION EN LA LADRILLERA INKA FORTE, MOCCE - LAMBAYEQUE."

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **ZORRILLA PEREYRA DANNER KELVIN.**

Finalizada la sustentación de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (16) en la escala vigesimal, mención BUENO.

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 13:20 del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando presente acta el jurado respectivo:

M.Sc. Lic. EGBERTO SERAFIN GUTIERREZ ATOCHE
PRESIDENTE

M.Sc. Ing. PERCY EDWAR NIÑO VÁSQUEZ
SECRETARIO

ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NÚÑEZ
MIEMBRO

Dr. Ing. RICARDO RODRIGUEZ PAREDES
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Dr. Ing. RICARDO AGUIRRE PAZ
Decano

ANEXO 01

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes**, usuario revisor del documento titulado:
"DISEÑO DE UN SISTEMA SEMIAUTOMATICO MOLDEADOR DE LADRILLOS DE ARCILLA PARA REDUCIR EL TIEMPO DE ELABORACION EN LA LADRILLERA INKA FORTE, MOCCE- LAMBAYEQUE".

Cuyo autor es, **Zorrilla Pereyra Danner Kelvin**, identificado con documento de identidad **N° 48304479** declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **16%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 22 de mayo del 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica


.....
Dr. Ing. **RICARDO RODRIGUEZ PAREDES**
Director de la Unidad de Investigación

.....
DR. ING. RICARDO RODRIGUEZ PAREDES

DNI: **16640178**

ASESOR

Se adjunta:

*Resumen del Reporte automático de similitudes

*Recibo Digital

Diseño de un sistema semiautomático moldeador de ladrillos de arcilla para reducir el tiempo de elaboración en la ladrillera Inka Forte, Mocce - Lambayeque

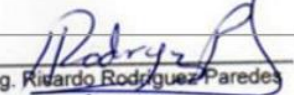
INFORME DE ORIGINALIDAD

16 %	16 %	2 %	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

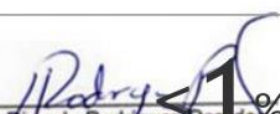
FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5 %
2	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	3 %
3	docplayer.es Fuente de Internet	2 %
4	idoc.pub Fuente de Internet	1 %
5	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
6	ciencialatina.org Fuente de Internet	<1 %
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
8	dialnet.unirioja.es Fuente de Internet	<1 %

1library.co


Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes
DNI: 16640178
Asesor

9	Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	manglar.uninorte.edu.co Fuente de Internet	<1 %
12	vdoc.pub Fuente de Internet	<1 %
13	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
17	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
18	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	issuu.com Fuente de Internet	<1 %

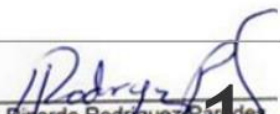

 Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Parides
 DNI: 16640178
 Asesor

qdoc.tips

21	Fuente de Internet	<1 %
22	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
23	www.theibfr.com Fuente de Internet	<1 %
24	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	www.eaeprogramas.es Fuente de Internet	<1 %
28	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unife.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	Falcon, Marcela Noemi Araujo. "Estudio Sobre Las características Necesarias Para El Buen desempeño De Los Espacios De Trabajo Colaborativo Que Fomentan La Creatividad e innovacion En Lima", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2022 Publicación	<1 %


 Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes
 DNI: 16640178
 Asesor

31	JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACION DEL PROCESO DE SECADO DE TOMILLO (Thymus Vulgaris L.): APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS DE POTENCIA Y SECADO INTERMITENTE", Universitat Politecnica de Valencia, 2013 Publicación	<1 %
32	documentos.uru.edu Fuente de Internet	<1 %
33	play.google.com Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.unicomfauca.edu.co Fuente de Internet	<1 %
36	revistamvz.unicordoba.edu.co Fuente de Internet	<1 %
37	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %


 Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes
 DNI: 16640178
 Asesor



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Danner Zorrilla Pereyra
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Diseño de un sistema semiautomático moldeador de ladrillos ...
Nombre del archivo: TESIS_DANNER_ZORRILLA_PEREYRA_V3.docx
Tamaño del archivo: 20.43M
Total páginas: 166
Total de palabras: 15,354
Total de caracteres: 83,746
Fecha de entrega: 01-dic-2025 03:28a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2831796700



UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

"Diseño de un sistema semiautomático moldeador
de ladrillos de arcilla para reducir el tiempo de
elaboración en la ladrillera Inka Forte, Mocce -
Lambayeque"

Presentado Por:

Bach. Danner Kelvin Zorrilla Pereyra

ASESOR:

Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes

LAMBAYEQUE - PERÚ
2025


Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes
DNI: 16640178
Asesor

DEDICATORIA

A MIS PADRES, OSCAR Y CLEIDY.

Quienes, con sus innumerables esfuerzos, sacrificios y confianza hacia mi persona fueron participantes para lograr el final de mi carrera profesional y así ser una persona de provecho para la sociedad.

A MIS HERMANOS, MICHAEL, EILIN Y THALIA.

Por los apoyos que me han brindado, aunque estemos lejos siempre estaremos unidos.

A MIS DOCENTES.

Que gracias a sus conocimientos me inculcaron los conceptos básicos y necesarios para así seguir el sueño de ser un buen profesional y los valores involucrados en dicho periodo académico.

AGRADECIMIENTO

A DIOS.

Por ser la guía en nuestras vidas y quien, en mi camino puso a personas apropiadas para lograr una vida tanto personal y profesional de bien.

A LA UNIVERSIDAD PEDRO RUIZ GALLO.

Lo cual me acogió en pregrado dándome así la oportunidad de superarme y desarrollarme tanto en lo personal como profesional.

A MI ASESOR.

Dr. Ing. Ricardo Rodríguez Paredes, por su guía en la culminación de esta tesis.

RESUMEN

La investigación buscó formular un sistema semiautomatizado para el moldeo de ladrillos de arcilla, para lograr disminuir el tiempo productivo en la ladrillera Inka Forte de Mocce – Lambayeque. El estudio fue aplicado, con diseño no experimental operativo. La capacidad del sistema semiautomatizado es de 600 ladrillos por hora. Entre los parámetros de diseño, el eje extrusor debe tener un diámetro de 74 mm, con 8 filetes del tornillo sin fin y un largo de 1.29 m, un motor de 5 HP para poder mover todo el sistema de mezclado y extruir la mezcla para su posterior moldeo. Del ensamblaje final de la máquina semiautomática moldeadora se obtuvieron como medidas estándar 3424.32mm x 541 mm x 1748 mm (largo x ancho x alto), además de que estructuralmente cumple con lo requerido al obtener un factor de seguridad mayor a 2 en todos los elementos. A partir del análisis de rentabilidad, considerando un horizonte de evaluación de 15 años, se determinó un VAN de S/.729495.99, TIR de 137.90% y de forma final, un periodo de recuperación de la inversión aproximado de 9.36 meses, lo cual demuestra lo realmente rentable y factible del diseño de la máquina semiautomática moldeadora.

Palabras clave: máquina semiautomática moldeadora, ladrillo portante, rentabilidad, diseño mecánico.

ABSTRACT

The research aimed to develop a semi-automated system for molding clay bricks to reduce production time at the Inka Forte brickyard in Mocce, Lambayeque. The study was applied, with a non-experimental operational design. The semi-automated system has a capacity of 600 bricks per hour. Design parameters included a 74 mm diameter extruder shaft with 8 screw threads and a length of 1.29 m, and a 5 HP motor to power the entire mixing system and extrude the mixture for subsequent molding. The final assembly of the semi-automatic molding machine had standard dimensions of 3424.32 mm x 541 mm x 1748 mm (length x width x height), and structurally met the requirements, achieving a safety factor greater than 2 for all components. Based on the profitability analysis, considering an evaluation horizon of 15 years, an NPV of S/.729495.99, an IRR of 137.90%, and finally, an approximate investment recovery period of 9.36 months were determined, which demonstrates how profitable and feasible the design of the semi-automatic molding machine really is.

Keywords: semi-automatic molding machine, load-bearing brick, profitability, mechanical design.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
ÍNDICE	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
INTRODUCCIÓN	24
Capítulo I : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	25
1.1. Realidad problemática.....	25
1.2. Formulación del problema.....	27
1.3. Delimitación de la investigación	28
1.3.1. Delimitación espacial.....	28
1.3.2. Delimitación temporal	28
1.4. Justificación e importancia	28
1.4.1. Justificación económica.....	28
1.4.2. Justificación Científica	28
1.4.3. Justificación Ambiental	29
1.4.4. Justificación Social	29
1.5. Limitaciones	29
1.6. Objetivos	29
1.6.1. Objetivo General.....	29
1.6.2. Objetivos Específicos	29
Capítulo II : MARCO TEÓRICO	31

2.1. Antecedentes de estudio.....	31
2.2. Base Teórica.....	34
2.2.1. Arcilla.....	34
2.2.2. Ladrillo.....	35
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.....	44
Capítulo III : MARCO METODOLÓGICO	47
3.1. Tipo y diseño de investigación	47
3.2. Población y muestra.....	47
3.3. Hipótesis	47
3.4. Variables – Operacionalización.....	47
3.5. Métodos y técnicas de investigación.....	49
3.5.1. Métodos de investigación	49
3.5.2. Técnicas de investigación.....	49
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados.....	49
3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos.....	50
Capítulo IV : PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	51
Capítulo V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	52
5.1. Resultados	52
5.1.1. Desarrollo del primer objetivo específico.....	52
5.1.2. Desarrollo del segundo objetivo específico	57
5.1.3. Desarrollo del tercer objetivo específico	59
5.1.4. Desarrollo del cuarto objetivo específico.....	88
5.1.5. Desarrollo del quinto objetivo específico	143
5.2. Discusión de resultados	150
Capítulo VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	152
6.1. Conclusiones.....	152

6.2. Recomendaciones.....	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154
ANEXOS	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	48
Tabla 2 Relación de técnicas e instrumentos.....	50
Tabla 3 Información sobre la producción por mes para 2024	54
Tabla 4 Información sobre la capacidad de producción por día y por hora.....	55
Tabla 5 Indicadores referente a la calidad en la producción anual de ladrillo	56
Tabla 6 Proceso de distribución con método de Cross.....	71
Tabla 7 Número de dientes en el piñón y engranaje.....	80
Tabla 8 Costo de equipamiento y componentes de máquina para el sistema semiautomático moldeador de ladrillo de arcilla.....	144
Tabla 9 Gasto debido al ensamble y pruebas del sistema.....	145
Tabla 10 Resumen del precio total por concepto de fabricación.....	145
Tabla 11 Resumen del precio por mano de obra	146
Tabla 12 Análisis de indicadores de rentabilidad	148
Tabla 13 Resumen de indicadores rentables.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arcilla y sus coloraciones	35
Figura 2 Forma geométrica de un ladrillo	35
Figura 3 Etapas respecto al proceso para elaborar ladrillos desde la extracción hasta para su puesta en venta	37
Figura 4 Proceso de extrusión del ladrillo.....	40
Figura 5 Extrusor de tipo helicoidal (tornillo sin fin)	41
Figura 6 Sistema de extrusor con camisa cilíndrica	41
Figura 7 Sistema de extrusor con camisa cónica	42
Figura 8 Sistema de Extrusor con camisa combinada.....	42
Figura 9 Sistema con Camisa Alargada	42
Figura 10 Sistema con Camisa Expandida.....	43
Figura 11 Sistema con Camisa de pasos	43
Figura 12 Proceso que se realiza de manera artesanal en la fabricación de ladrillo	52
Figura 13 Calculo de la masa de arcilla sobre el eje	60
Figura 14 Radio interior	67
Figura 15 Análisis estático por flexión y torsión.....	70
Figura 16 Tramo 12	72
Figura 17 Tramo 23	73
Figura 18 Esquema de carga cortante	74

Figura 19 Esquema de momento flexionante	74
Figura 20 Diseño de tolva.....	86
Figura 21 Soporte base de cilindro para eje extrusor	89
Figura 22 Soporte base de cilindro para eje de mezclado.....	90
Figura 23 Caja reductora de velocidad portaengranajes	91
Figura 24 Catarina de 121.5 mm de diámetro para eje mezclador.....	92
Figura 25 Catarina para eje extrusor	93
Figura 26 Cilindro para eje extrusor	94
Figura 27 Conector entre extrusor y molde de ladrillo	95
Figura 28 Eje de 20.64 mm de diámetro para engranajes al extrusor	96
Figura 29 Eje de 20.64 mm de diámetro para engranajes al motor	97
Figura 30 Eje de 20.64 mm de diámetro para engranajes.....	98
Figura 31 Eje extrusor	99
Figura 32 Eje mezclador 1.....	100
Figura 33 Eje mezclador 2.....	101
Figura 34 Eje transmisor a eje mezclador	102
Figura 35 Engranaje de 53 dientes de 112.36 mm de diámetro	103
Figura 36 Engrane para eje de mezclado.....	104
Figura 37 Molde de ladrillo portante	105
Figura 38 Piñón de 17 dientes de 36.04 mm de diámetro	106
Figura 39 Tanque mezclador.....	107

Figura 40 Tapa para caja portaengranajes.....	108
Figura 41 Tapa cilindro mezclador	109
Figura 42 Tapa 1 para tanque mezclador.....	110
Figura 43 Tapa 2 para tanque mezclador.....	111
Figura 44 Tolva de alimentación.....	112
Figura 45 Vistas al ensamblar los componentes y elementos que conforman al sistema semiautomatizado moldeador de ladrillo.....	113
Figura 46 Vista isométrica obtenida de realizar el ensamblaje total para obtener el mecanismo moldeador de ladrillo.....	114
Figura 47 Esfuerzos de Von Mises producidos del análisis estático en el eje extrusor de arcilla.....	116
Figura 48 Deformaciones producidas del análisis estático en el eje extrusor de arcilla.....	117
Figura 49 Factores de seguridad producidos del análisis estático en el eje extrusor de arcilla.....	118
Figura 50 Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en el cilindro para el eje extrusor.....	120
Figura 51 Desplazamientos producidos del análisis estático en el cilindro para el eje extrusor.....	121
Figura 52 Factores de seguridad producidos del análisis estático en el cilindro para el eje extrusor.....	122
Figura 53 Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en el cilindro mezclador de arcilla y agua.....	124

Figura 54 Desplazamientos producidos del análisis estático en el cilindro mezclador de arcilla y agua	125
Figura 55 Factores de seguridad producidos del análisis estático en el cilindro mezclador de arcilla y agua.....	126
Figura 56 Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en el eje mezclador de arcilla y agua.....	128
Figura 57 Desplazamientos producidos del análisis estático en el eje mezclador de arcilla y agua	129
Figura 58 Factores de seguridad producidos del análisis estático en el eje mezclador de arcilla y agua.....	130
Figura 59 Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en la base para cilindro mezclador	132
Figura 60 Desplazamientos producidos del análisis estático en la base para cilindro mezclador.....	133
Figura 61 Factores de seguridad producidos del análisis estático en la base para cilindro mezclador	134
Figura 62 Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en la base para cilindro extrusor	136
Figura 63 Desplazamientos producidos del análisis estático en la base para cilindro extrusor	137
Figura 64 Factores de seguridad producidos del análisis estático en la base para cilindro extrusor	138

Figura 65 Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en la tolva de carga	140
Figura 66 Desplazamientos producidos del análisis estático en la tolva de carga	141
Figura 67 Factores de seguridad producidos del análisis estático en la tolva de carga	142

INTRODUCCIÓN

El sector ladrillero actualmente posee un enorme potencial de explotación, pero debido a la informalidad es que se tienen pérdidas considerables en el proceso de producción de ladrillo. Por tal razón, la presente investigación tuvo como objetivo diseñar una maquina extrusora de arcilla para la fabricación de ladrillos, buscando disminuir el tiempo de producción y bajar los costos tanto de mano de obra directa como indirecta, lo que finalmente conlleva a un incremento en la rentabilidad. En primer lugar, se determinó el tipo de ladrillo a fabricar, que fue el ladrillo autoportante con un volumen hueco menor al 30% del volumen total, seguidamente se determinó la capacidad de producción deseada para luego realizar el diseño de la máquina extrusora, empezando con sus elementos de máquina. Seguidamente, teniendo las medidas de dichos elementos poder modelarlos empleando un software CAD/CAE como SolidWorks y luego poder elaborar el ensamblaje de los mismos para poder tener un panorama claro de la máquina extrusora completa y así saber sus medidas para saber el área y altura necesaria del recinto donde pueda ser instalada. Posteriormente, se determinó el presupuesto que conlleva implementar la máquina extrusora y finalmente, considerando los costos de producción, operación y mantenimiento, mano de obra directa e indirecta, entre otros, poder analizar la rentabilidad al calcular los indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el tiempo de recuperación de la inversión.

CAPÍTULO I : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad problemática

El análisis del problema de la investigación en la producción de ladrillos de arcilla por métodos tradicionales es fundamental debido a su impacto en la eficiencia productiva y la sostenibilidad ambiental. Según Vanegas-Padilla et al. (2024), la fabricación artesanal de ladrillos tiene un alto impacto ecológico debido a la extracción intensiva de materias primas y la generación de residuos, lo que hace urgente explorar estrategias de optimización y reducción de tiempos de producción para minimizar estos efectos. Desde el punto de vista teórico, la eficiencia en la fabricación de ladrillos puede ser explicada a través de la teoría de los sistemas productivos, que enfatiza la relación entre insumos, procesos y productos. Rocha et al. (2020) afirman que la producción tradicional de ladrillos en Bolivia sigue analizando en técnicas ancestrales que, aunque culturalmente valiosas, pueden ser ineficientes en comparación con métodos mejorados que optimizan la resistencia del material y reducen el tiempo de elaboración.

En diversos países, la producción de ladrillos de arcilla sigue realizándose mediante procesos tradicionales que dependen de la cocción en hornos rudimentarios, lo que genera un impacto ambiental significativo y una baja eficiencia en la producción. En Colombia, por ejemplo, los métodos tradicionales utilizados en la fabricación de ladrillos han sido objeto de estudio para mejorar su eficiencia y reducir la contaminación. Se han evaluado mezclas de arcilla con agregados alternativos, como vidrio reciclado, con el fin de optimizar los tiempos de elaboración y las propiedades físicas del producto final, demostrando que ciertos porcentajes de aditivos pueden mejorar la eficiencia del proceso sin alterar la calidad del ladrillo (Vanegas-Padilla et al., 2024).

En el contexto peruano, la producción artesanal de ladrillos de arcilla es una actividad ampliamente practicada en diversas regiones. En Arequipa, el uso de materiales como el sillar ha reducido la demanda de ladrillos de arcilla, pero estos siguen fabricándose con técnicas rudimentarias, que implican largos

tiempos de secado y cocción. Estudios han comparado el desempeño térmico de materiales tradicionales como el ladrillo de arcilla con otros sistemas de construcción, encontrando que la eficiencia térmica de estos materiales es variable y depende de la técnica de fabricación y del tiempo de cocción, lo que sugiere la necesidad de optimizar estos procesos para mejorar su rendimiento energético y reducir el tiempo de producción (Herrera-Sosa et al., 2020).

En la región de Lambayeque, la fabricación artesanal de ladrillos de arcilla es una actividad económica relevante, pero enfrenta desafíos relacionados con la baja tecnificación del proceso y el uso de hornos artesanales. En muchas zonas, los productores dependen de la disponibilidad de suelo arcilloso y de métodos empíricos para la elaboración de los ladrillos, lo que genera variaciones en la calidad y en el tiempo de producción. Investigaciones sobre la fabricación de materiales de construcción en el Perú han señalado que la falta de estándares uniformes en la producción artesanal impacta directamente en los tiempos de elaboración y en la resistencia mecánica del producto final, destacando la necesidad de implementar mejoras en los procesos tradicionales para optimizar la producción y reducir los tiempos de secado y cocción (Torres & Vasquez, 2023).

La ladrillera Mocce, ubicada en la región de Lambayeque, es una industria dedicada a la fabricación de ladrillos artesanales y mecanizados, desempeñando un papel clave en el abastecimiento de materiales de construcción en la zona. Su infraestructura incluye hornos de cocción, áreas de secado y almacenamiento, así como espacios destinados a la extracción y tratamiento de arcilla, su principal materia prima. La producción en la ladrillera combina técnicas tradicionales con procesos modernizados para optimizar la calidad y resistencia de sus productos, mientras que su ubicación estratégica facilita la distribución a diversas localidades de la región.

La ladrillera cuenta con procesos tradicionales y modernos para la elaboración de ladrillos de arcilla, pero debido al incremento en la demanda de los mismos, se ve en la necesidad de prescindir del método tradicional y optimizar todo el proceso de producción, lo cual exige el diseño de un sistema semiautomatizado moldeador de ladrillos de arcilla, con una capacidad

aproximada de 600 unidades por hora, que permita cubrir la demanda tanto en el presente como en un futuro próximo. Si no se toman medidas para optimizar el proceso de producción en la ladrillera Mocce, en el futuro podrían presentarse diversas consecuencias negativas que afectarían tanto a la empresa como a la industria de la construcción en la región. La creciente demanda de ladrillos podría generar cuellos de botella en la producción, lo que resultaría en demoras en las entregas y una posible pérdida de clientes ante la búsqueda de proveedores más eficientes. Además, la saturación en los procesos manuales y la falta de modernización podrían incrementar los costos operativos y reducir la competitividad de la ladrillera en el mercado.

La variable independiente corresponde al diseño de un sistema semiautomatizado para el moldeo de ladrillos de arcilla, el cual busca optimizar el proceso de fabricación mediante la incorporación de maquinaria que reduzca la intervención manual. Este sistema permitiría agilizar la formación de los ladrillos, garantizando una mayor uniformidad en las piezas y disminuyendo el esfuerzo físico requerido en la producción, lo que contribuiría a mejorar la eficiencia operativa de la ladrillera.

Por otro lado, la variable dependiente es el tiempo de elaboración de los ladrillos, el cual se vería directamente influenciado por la implementación del sistema semiautomático. La reducción en las etapas manuales del proceso permitiría acelerar la producción, disminuyendo los periodos de moldeo y aumentando la capacidad de fabricación diaria. Esto facilitaría una respuesta más rápida a la demanda del mercado, optimizando los tiempos sin comprometer la calidad.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera se puede reducir el tiempo de elaboración de ladrillo de arcilla en la ladrillera Inka Forte ubicada en Mocce en el departamento de Lambayeque?

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Delimitación espacial

El proyecto de investigación presente se desarrolló en la ciudad de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

1.3.2. Delimitación temporal

La duración del proyecto de investigación se estima de 6 meses.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación económica

La fabricación de ladrillos de arcilla se encuentra fuertemente vinculada con el sector construcción, dado que su demanda depende de la dinámica de dicho rubro, ya que provee de forma directa la materia los ladrillos producidos, uno de los elementos fundamentales para lograr su desarrollo, por eso es importante y necesario mejorar los procesos de producción actuales en las pequeñas empresas, ya que se ha observado un proceso de producción poco eficiente para esta materia prima observando técnicas desfasadas y obsoletas con un grado bajo de desarrollo tecnológico para los productores de la localidad. Por ello, es que se buscó incrementar la producción al reducir el tiempo de producción y además de que sea asequible.

1.4.2. Justificación Científica

En el contexto científico tiene justificación porque se buscó optimizar el proceso artesanal de fabricación de ladrillos de arcilla mediante el diseño de tecnología semiautomática, lo que permitió incrementar la eficiencia de producción, disminuyendo el esfuerzo físico de los operadores y reduciendo de manera significativa los tiempos de fabricación, contribuyendo a la modernización de la industria local y fomentando prácticas más sostenibles además de competitivas en la región de estudio.

1.4.3. Justificación Ambiental

Su pertinencia queda sustentada en el ámbito ambiental debido a que se empleó al máximo los recursos disponibles para reducir los reducir de producción, con esto, se planea reducir al mínimo los desechos que conlleva el poder moldear y fabricar los ladrillos.

1.4.4. Justificación Social

Sirvió de gran apoyo y ayuda para la industria ladrillera, en especial, para aquellos pequeños productores de ladrillos o pequeñas ladrilleras, para poder obtener un beneficio extra al tener tiempos reducidos y mayor producción.

1.5. Limitaciones

Las limitaciones para este proyecto son de carácter tecnológico, pero que fácilmente pudo resolverse investigando todo lo referente sobre diseñar un sistema semiautomatizado moldeador de ladrillos de arcilla.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Diseñar un sistema semiautomático moldeador de ladrillos de arcilla para reducir el tiempo de elaboración en la ladrillera Inka Forte, Mocce - Lambayeque.

1.6.2. Objetivos Específicos

- a) Evaluar la situación actual en la ladrillera Inka Forte con relación al tiempo de elaboración de los ladrillos de arcilla.
- b) Determinar los parámetros de diseño necesarios para el diseño del sistema semiautomático moldeador de ladrillos de arcilla.
- c) Dimensionar los componentes que forman parte del sistema semiautomático moldeador de ladrillos de arcilla.
- d) Calcular los esfuerzos máximos, deformaciones máximas y factores de seguridad mínimos obtenidos en los componentes del sistema

semiautomático moldeador de ladrillos de arcilla mediante el uso de software CAD/CAE.

- e) Estimar el presupuesto y analizar la rentabilidad del diseño propuesto.

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Contexto Internacional

En Cúcuta, ubicado en Colombia, en el estudio desarrollado por Carvajal & Gelvez (2023), plantearon el objetivo de diseñar un modelo de extrusora para la industria ladrillera, proporcionando una alternativa viable para pequeños y medianos empresarios. Se utilizó un enfoque cuantitativo, bajo la modalidad de sistematización del conocimiento. La muestra de estudio incluyó información obtenida de bases de datos, artículos científicos y entrevistas con empresarios del sector. Para la recolección de datos, se emplearon técnicas como la revisión bibliográfica, simulaciones de elementos finitos y análisis de costos. Los resultados indicaron que el diseño propuesto permite una producción de hasta 3 toneladas por hora, con costos significativamente menores en comparación con equipos comerciales. Concluyeron que el modelo de extrusora diseñado es viable tanto técnica como económicamente, y que su implementación podría beneficiar a empresarios locales al reducir costos y mejorar la producción en el sector ladrillero.

En la ciudad de Pilar, ubicado en Paraguay, se efectuó un estudio desarrollado por Del Puerto & Riveros (2021), con el objetivo general de proponer una alternativa para la industrialización de ladrillos mediante el uso de una mezcladora mecánica, garantizando que el producto cumpla con las especificaciones técnicas del mercado de la construcción. Se trató de una investigación cualitativa, de tipo observacional descriptivo y de corte transversal prospectivo. La muestra estuvo conformada por 8 propietarios de olerías ubicadas en la zona. Para la recolección de datos, se emplearon entrevistas semiestructuradas a los dueños de las olerías y una lista de verificación del sistema de calidad, basada en los indicadores ISO 9000/2008. Los resultados evidenciaron que la mayoría de las olerías emplean un sistema de fabricación arcaico y precario, incumpliendo con normas de calidad como INTN e ISO 9001/2008. Además, la producción mensual varía entre 7.000 ladrillos en las olerías más grandes, con un proceso de producción

rudimentario que utiliza pisado con caballos y hornos de leña. En consecuencia, se propuso un modelo de industrialización con mezcladora mecánica, cuya capacidad de producción oscila entre 580 y 600 ladrillos por hora, permitiendo una producción más eficiente y uniforme. Concluyeron que la implementación de este modelo mejoraría la competitividad de las olerías, facilitaría su formalización legal y optimizaría la calidad del producto, respondiendo así a la demanda.

En la ciudad de Popayán, ubicada en Colombia, se realizó un estudio que estuvo a cargo de Martínez & Calambas (2020), donde propusieron mejoras para optimizar el proceso de producción de ladrillos. Se empleó un estudio de métodos y tiempos, utilizando técnicas de medición del trabajo para registrar y analizar los tiempos de producción. La muestra del estudio incluyó una evaluación preliminar de 12 observaciones para establecer la distribución del tiempo en la producción de 36 piezas de arcilla. Para la recolección de datos se emplearon observaciones directas, entrevistas informales y cronometraje de las actividades productivas. Como resultado, se identificó que el proceso de producción presentaba deficiencias en el control de tiempos y calidad, lo que generaba una pérdida semanal del 6.25% en ladrillos defectuosos y un reproceso del 8.31%. Finalmente, se concluyó que la implementación de un plan de mejora basado en la estandarización del proceso y la optimización del uso de herramientas y maquinaria contribuiría a reducir pérdidas, potenciar las propiedades finales del insumo fabricado y amplificar el desempeño funcional del sistema productivo.

Contexto Nacional

En la ciudad de Lima, se tuvo el estudio de Rodríguez & Cortez (2023), cuyo propósito central fue establecer la factibilidad para implementar una planta dedicada a la fabricación de ladrillos elaborados con arcilla, tierra y vidrio reusado, analizando su viabilidad desde los enfoques de mercado, técnico, económico, financiero y de impacto social. Se trató de un estudio de prefactibilidad, en el que se aplicó un muestreo probabilístico aleatorio simple, con una muestra de 374 encuestas dirigidas a 152 empresas constructoras (40,74%) y 222 contratistas (59,26%). Los datos se recolectaron mediante

cuestionarios físicos aplicados en puntos de venta de ladrillos. Los resultados mostraron que el proyecto es viable económicamente, con una inversión de S/.5,319,994.12, obteniendo un VAN de S/.7,295.87 y una TIR del 20.61%, con un período de recuperación de 5 años y 11 meses en un escenario de financiamiento propio. Además, se concluyó que el proyecto es socialmente viable, ya que genera un valor agregado de S/.36,316,927.24 a lo largo de su vida útil, lo que equivale a S/.6.83 por cada sol invertido. En términos generales, el estudio concluyó que la instalación de la planta es factible debido a la demanda existente, la disponibilidad tecnológica y la rentabilidad económica y financiera del proyecto.

En Cusco se efectuó un estudio desarrollado por Turpo (2021), formulando como meta el diseño de una extrusora hidráulica semiautomatizada destinada a la elaboración de ladrillos pasteleros, contemplando una capacidad aproximada de 700 piezas por hora y un costo no superior a 12.000 soles. La investigación fue de tipo tecnológico y experimental, aplicando conocimientos científicos para optimizar un proceso productivo. La muestra de estudio estuvo conformada por las condiciones operativas y tecnológicas de la empresa, además de los requisitos de producción. Para la recolección de datos se emplearon softwares de simulación como SolidWorks y FluidSim, los cuales permitieron analizar el comportamiento estructural, hidráulico y eléctrico de la máquina propuesta. Los resultados indicaron que la máquina diseñada cumplió con los objetivos planteados, logrando una producción eficiente con un costo final de S/.11,992.00. Concluyó que la implementación de esta tecnología reduce significativamente la dependencia de mano de obra manual, optimiza la producción y mejora la calidad del producto, disminuyendo además el porcentaje de defectos en los ladrillos.

En Huancayo, se desarrollo una investigación realizada por Gutierrez (2020), con el objetivo general de diseñar una máquina procesadora de arcilla que optimice este proceso, permitiendo una mejor trituración y homogeneización de la mezcla. Se empleó un enfoque de investigación básica con un nivel exploratorio, debido a la falta de estudios previos sobre este tipo de maquinaria en la región. La unidad de estudio fue la propia máquina

procesadora de arcilla, diseñada para mejorar la calidad del producto final. Para la recolección de datos, usaron técnicas empíricas y documentales, mediante la aplicación de listas de exigencias, catálogos y fichas técnicas. De los resultados, se calculó que la máquina puede procesar una mezcla de 76% arcilla, 2% roca, 3% aserrín y 19% agua, con una eficiencia del 91%, aunque su peso de 733.91 kg dificultaba su transporte. Se concluyó que el diseño propuesto cumple con las exigencias de los usuarios, mejorando la producción artesanal de ladrillos y reduciendo la dependencia del trabajo manual.

Contexto Local

En el contexto de la ciudad de Chiclayo se registró el aporte investigativo de Madrid & Mirez (2024), quienes plantearon como meta principal el diseño de una máquina extrusora semiautomatizada para perfeccionar la calidad del ladrillo producido en dicha zona. Se utilizó un enfoque cuantitativo dentro de una investigación aplicada y con un diseño no experimental, permitiendo evaluar las variables sin alterarlas de forma directa. La muestra estuvo integrada por distintos tipos de arcillas empleadas en la fabricación de ladrillos extruidos, seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Los datos se recopilaron a través de cuestionarios dirigidos a los encargados de la ladrillera, entrevistas a operarios y análisis documental. De los resultados, se identificó que la producción anual de ladrillos alcanzó las 593,500 unidades, con un 10.02% de defectos relacionados con fisuras y deformaciones. Además, se evidencia que solo el 80.08% de los ladrillos medidos cumplían con los estándares de resistencia y absorción. Concluyeron que la implementación del sistema mencionado se permite optimizar la calidad del producto, reduciendo defectos y mejorando la uniformidad dimensional, lo que se alinea con estándares de construcción y contribuye a la modernización del sector ladrillero en la región.

2.2. Base Teórica

2.2.1. Arcilla

Material sedimentario alterado, constituido por conjuntos de silicatos de aluminio hidratados, originados a partir de la degradación de rocas con

presencia de feldespato, tales como el granito. Al existir diferentes niveles de impurezas en su interior, se pueden encontrar con distintas coloraciones, que puede ser desde blanco (pura) hasta un color rojo anaranjado. Cuando se cuece al fuego, se convierte en cerámica y por eso es uno de los medios más económicos para producir objetos de uso diario en el hogar, además de ser un material bastante utilizado en la actualidad. Desde diferentes tipos de ladrillos, platos, vasijas, platos, elementos artísticos e inclusive sarcófagos e instrumentos para la música, por ejemplo, la ocarina, que se modela con arcilla (ECURED, 2020).

Figura 1

Arcilla y sus coloraciones



Fuente: (Ladrillera Mecanizada, 2024)

2.2.2. Ladrillo

Compuesto de cerámica artificial para la construcción, formado principalmente por arcilla cocida. Es empleado para diferentes usos en la construcción, es decir, en muros, tabiquería, hornos, etcétera. Las medidas del ladrillo por lo general poseen un standard, es decir, que cada una sea el doble de la anterior, por ejemplo, 5x10x20 cm, adicional de 1 cm para el mortero de unión (Ladrillera Mecanizada, 2020).

Figura 2

Forma geométrica de un ladrillo



Fuente: (Ladrillera Mecanizada, 2020).

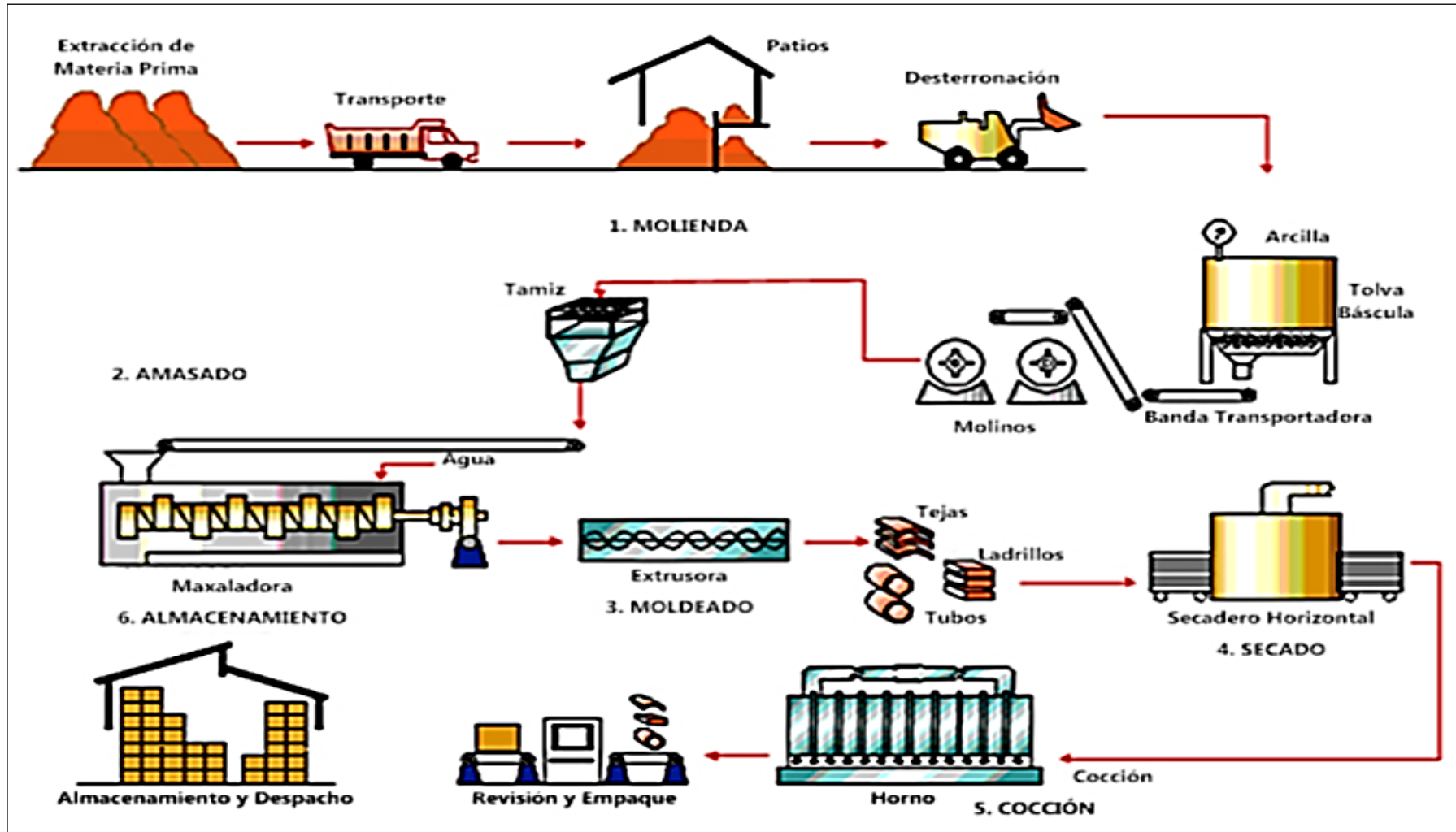
2.2.2.1. Proceso de fabricación del ladrillo

Los ladrillos generalmente se elaboran con forma de prisma rectangular, con el fin de usarlos en el sector construcción. En primer lugar, se debe asegurar que el resultado al final del proceso se obtenga un ladrillo macizo y duro, con propiedades resistentes, debido a esto, es que se usa el siguiente proceso (Urrego et al., 2014):

- **Maduración:** En este proceso se tritura y homogeneiza la arcilla para obtener como resultado una consistencia correcta y adecuada con el fin de elaborar todo tipo de ladrillo.
- **Previo tratamiento mecánico:** Aquí se purifica y refina la materia prima.
- **Depósito de material procesado:** En esta parte, se realiza la homogenización de la materia prima (arcilla), principalmente su apariencia además de las propiedades físico-químicas.
- **Humidificación:** En este punto, se añade agua para poder obtener la humedad correcta y requerida para el siguiente proceso, el moldeado.
- **Moldeado:** En esta parte, se realiza la compactación de la mezcla, de acuerdo a la forma y medidas solicitadas.
- **Secado:** Se elimina el agua que se le añadió en la etapa de humidificación.
- **Cocción:** En este proceso, se ordenan los ladrillos totalmente secados en hornos con forma de túnel, donde en el interior la temperatura varía entre los 900 y 1000 °C.
- **Almacenaje:** Finalmente, se forman pallets con el fin de almacenar y posteriormente distribuir el ladrillo.

Figura 3

Etapas respecto al proceso para elaborar ladrillos desde la extracción hasta para su puesta en venta



Fuente: (Urrego et al., 2014).

2.2.2.2. Propiedades del ladrillo

Las características dependen de forma directa en cómo está conformada la materia prima utilizada. De acuerdo con Turpo (2021), las propiedades más relevantes son:

a) Durabilidad

Tiene dependencia de la fusión incipiente lograda y de verificar parcialmente en el momento de la etapa de cocción. Hoy en día, debe considerarse el esfuerzo a ser comprimido, índices de absorción, temperatura en la etapa de cocción y el parámetro de saturación los que pueden predecir la durabilidad del ladrillo.

b) Color

Viene relacionado con la temperatura, composición química y en la etapa de control en la cocción. La arcilla al poseer hierro, hace que origine un color rojizo cuando se exponga al fuego durante el proceso de cocción. Si toma colores más profundos u oscuros, se debe a temperaturas de cocción muy altas, con menor valor de absorción y mayor valor de resistencia a la compresión.

c) Textura

Esta propiedad tiene relación con la estructura o forma de cómo se va a producir el ladrillo de arcilla donde se emplean moldes específicos para su producción, adicionalmente de la presión empleada en la matriz de acero en tanto que la arcilla va pasando por medio de la misma durante la etapa de extrusión o extrujado.

d) Variación de tamaño

Se reduce el tamaño durante el proceso de secado y de cocción, para ello se deben considerar ciertos requisitos en el proceso de

formación para poder lograr el tamaño deseado del ladrillo. Esto depende de la arcilla, lo que se encuentra en el rango siguiente:

- Contracción por secado: 2 a 4%.
- Disminución por cocción: 2,5 a 4%.

Debido a esta variación en su tamaño y para poder lograr tamaños uniformes, se lleva a cabo un control de los parámetros que se relacionan con el encogimiento, debido a que existen variaciones normales y de temperatura en el interior de los hornos en el proceso de cocción, obtener una distribución uniforme del calor es realmente difícil (Turpo, 2021).

e) Resistencia a la compresión y absorción

Dichas propiedades están condicionadas por las particularidades de la arcilla, el procedimiento de fabricación y el nivel de cocción aplicado, de dicho modo, valores superiores de resistencia y menores rangos de absorción suelen relacionarse con temperaturas de quema más elevadas. No obstante, estos atributos pueden regularse, ya que dependen en gran medida de las cualidades inherentes a la materia prima empleada (Rocha et al., 2020).

2.2.2.3. Extrusión

En esta parte se prensa, moldea y conforma la materia prima para poder producir elementos con cortes transversales previamente definidos además de fijados, empleando continuo flujo de presión (Rodriguez & Cortez, 2023).

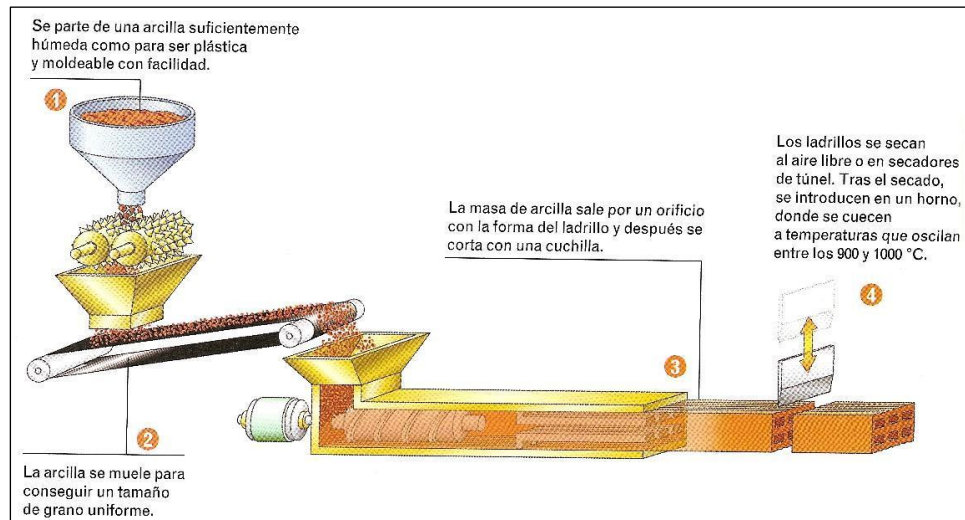
2.2.2.4. Extrusión de ladrillos

Proceso de conformado que se utiliza en la fabricación de cerámicos con forma constante, en la Figura 4 se puede apreciar el proceso de extrusión. Se puede apreciar que se emplea un usillo o tornillo sin

fin, permitiendo que el material mezclado se comprima a una presión específica, y empleando un molde para darle la forma al ladrillo, se obtiene la forma deseada por el operario (ProIndoCerámica, 2024).

Figura 4

Proceso de extrusión del ladrillo



Fuente: (ProIndoCerámica, 2024).

Tipos

En el mercado existen diversos tipos de extrusores, estos son:

a) Extrusoras carentes de cilindros de alimentación y equipos extruidores provistos de cilindros impulsores

Debido a que no poseen la capacidad de entregar un flujo continuo y además de requerir una mezcla de calidad buena, no son fabricados ya que se han vuelto obsoletos debido a sus características (Beltrán & Marcilla, 2012).

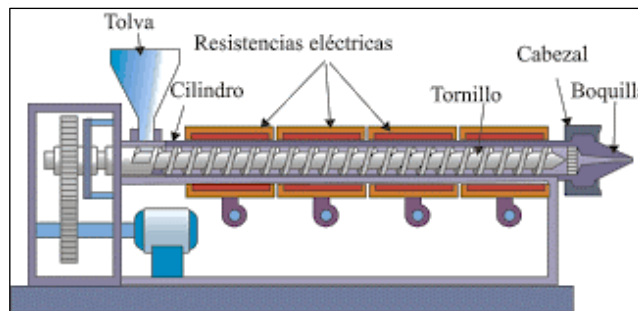
b) Extrusor de Hélices

Posee múltiples ventajas y por ello, es el más empleado, debido a que puede adaptarse al diseño con un nivel de producción elevado, donde su alimentación se hace de forma simple y sencilla empleando una tolva, con un mantenimiento mínimo y sencillo, además de resolver el problema al momento de amasar. Su

desventaja es relativa, por su complejidad de diseño y un aumento en el costo, pero al poseer mejores prestaciones, resulta la alternativa más adecuada para operar con compuestos de naturaleza arcillosa (Beltrán & Marcilla, 2012).

Figura 5

Extrusor de tipo helicoidal (tornillo sin fin)



Fuente: (Beltrán & Marcilla, 2012, pág. 80).

De acuerdo a la camisa del extrusor

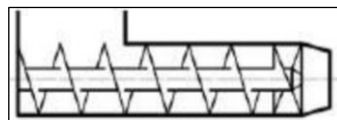
De acuerdo con Velilla (2008), se tiene:

a) Sistema de Camisa Cilíndrica

Se usa en la actualidad debido a que incorpora un tornillo extrusor que produce un incremento de presión, el cual disminuye conforme el material avanza a través de las hélices en la dirección donde es alimentado.

Figura 6

Sistema de extrusor con camisa cilíndrica



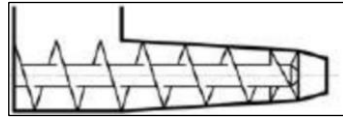
Fuente: (Velilla, 2008).

b) Sistema de Camisa Cónica

Para lograr implementar este tipo de extrusor, el tornillo se reduce considerando la dirección de alimentación de la mezcla. Debido a su forma cónica, se genera un aumento de presión. Es poco empleado actualmente.

Figura 7

Sistema de extrusor con camisa cónica



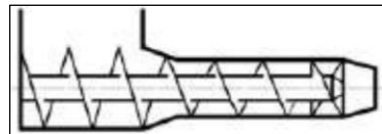
Fuente: (Velilla, 2008).

c) Sistema de Camisa Combinada

Por su configuración y geometría, puede utilizarse en forma cilíndrica o cónica, lo cual genera una desventaja al elevarse la presión durante la transición entre el diámetro de la hélice y su propio paso; a ello se suma el incremento de la temperatura, provocando así un mayor consumo de potencia.

Figura 8

Sistema de Extrusor con camisa combinada



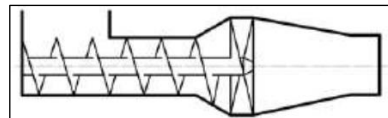
Fuente: (Velilla, 2008).

d) Sistema con Camisa Alargada

Se aumenta la parte delantera, es prominente para poder extruir lingotes de arcilla.

Figura 9

Sistema con Camisa Alargada



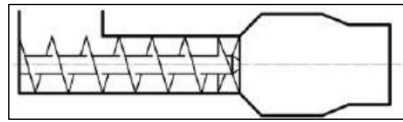
Fuente: (Velilla, 2008).

e) Sistema con Camisa Expandida

Variante del sistema con camisa alargada, para poder conectarlo con una hélice con diámetro constante. El fin es poder obtener una columna uniformemente condensada.

Figura 10

Sistema con Camisa Expandida



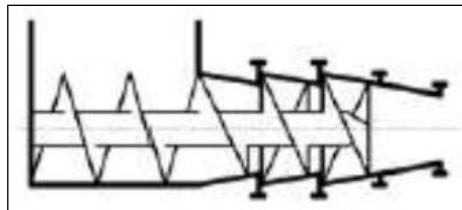
Fuente: (Velilla 2008)

f) Sistema con Camisa de pasos

Mediante este tipo de sistema puede producirse un reflujo del material, lo cual termina disminuyendo la capacidad teórica de tratamiento; de manera habitual, el compuesto tiende a fijarse en el espacio comprendido entre el diámetro interno de la camisa del tornillo extrusor y el diámetro externo de la hélice.

Figura 11

Sistema con Camisa de pasos



Fuente: (Velilla, 2008).

Partes de una Máquina Extrusora

Las partes que conforman una máquina extrusora son (Velilla, 2008):

a) Tolva para mezclar

Este componente tiene la tarea de recibir y contener el material, permitiendo una alimentación continua hacia la máquina, con el objetivo de que el equipo mantenga su operación sin interrupciones.

b) Polea conductora

Es la polea que se acopla al eje del extrusor para posibilitar el desarrollo del procedimiento de extrusión.

c) Base o soporte

Es el elemento en el cual se aseguran los componentes primarios del sistema de extrusión, permitiendo ejecutar el proceso de fabricación del ladrillo.

d) Rodillos deslizantes

Mecanismo de transmisión empleado para trasladar cargas desde un punto hacia otro, ejecutando un proceso de trabajo de modo continuo.

e) Barra para corte

Se trata de un sistema de corte multialambre con desplazamiento vertical, destinado a seccionar la columna de barro moldeado.

f) Cortado de ladrillos extruidos

Mecanismo utilizado para fraccionar el material en secciones simétricas mediante un sistema de empuje, haciendo uso de una sierra para efectuar el corte.

g) Cabezal y boquilla

La boquilla se fija o acopla en la parte terminal del cilindro, el cual la sostiene y por lo general, permanece sujeta mediante tornillos. El cabezal debe tener la capacidad de dar la facilidad de tener un flujo constante de material hacia la boquilla.

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada

Arcilla

Producto que se puede encontrar en la naturaleza, posee propiedades interesantes y versátiles, como una alta eficiencia energética, duración elevada y sostenible en el tiempo. Se produce debido a la erosión y oxidación de las rocas sedimentarias.

Extrusión

Es un proceso llevado a cabo de forma continua, donde la arcilla es preparada con agua para luego pasar húmeda por el eje extrusor, donde por acción de fricción y la temperatura pasa por un molde, brindándole la forma deseada, donde el producto final es enfriado para no tener deformaciones de tipo permanente.

Eje

Elemento de máquina que posee la característica de transmitir movimiento de rotación de un elemento motriz a un elemento conducido.

Engranaje

Elemento mecánico con la particularidad de transmitir potencia o energía mecánica de un elemento a otro.

Sistema de transmisión

Sirve para entregar potencia o movimiento generado por un dispositivo motriz a otros elementos con el fin de realizar alguna tarea en específico.

Piñón

Es la rueda dentada más pequeña de un par de engranes, el cual va conectado a la máquina motriz.

Rentabilidad

Beneficios obtenidos de llevar a cabo una inversión.

Tasa de recuperación de la inversión

Tiempo estimado donde se recupera la inversión inicial de un proyecto.

Tasa interna de retorno

Es el índice donde se alcanza un punto de equilibrio, es decir, no se generan ni pérdidas ni beneficios.

Tolva

Elemento que tiene la función de recepcionar el material para procesar, con el fin de lograr una alimentación continua para la máquina.

Vida útil

Tiempo estimado en que un bien ya no puede continuar operando de forma correcta.

Valor Actual Neto

Criterio empleado en las inversiones, el cual sirve para actualizar los costos y ventas de una inversión o proyecto para determinar cuánto se puede ganar o perder. Se le llama Valor Neto Actual (VNA), Valor presente neto (VPN) o Valor actualizado neto.

CAPÍTULO III : MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que se emplearon teorías y conceptos del diseño mecánico en la ingeniería para poder diseñar una máquina moldeadora de ladrillo.

El diseño de investigación es del tipo no experimental, porque no se realizó ninguna manipulación de las variables involucradas en el desarrollo de la investigación, sino que como se lograron obtener fueron aplicadas para dar respuesta a los objetivos planteados.

3.2. Población y muestra

La población viene a ser las máquinas extrusoras semiautomáticas en el ámbito nacional.

La muestra viene a ser la máquina extrusora semiautomática moldeadora de ladrillo a diseñar.

3.3. Hipótesis

Se logra reducir el tiempo de fabricación durante el proceso de producción de ladrillos mediante el diseño de una máquina moldeadora de ladrillo.

3.4. Variables – Operacionalización

- Variable independiente

Máquina moldeadora de ladrillo.

- Variable dependiente

Tiempo de elaboración.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Instrumentos	Indicadores	Unidades
Variable independiente Diseño de máquina moldeadora de ladrillo	Es una máquina compuesta por múltiples elementos de máquina, que servirá para la elaboración de ladrillo de arcilla.	- Wincha. - Fichas de campo. - Entrevista. - MS Excel. - Software 3D.	- Peso de la mezcla. - Esfuerzos normales y cortantes. - Deformación en los elementos estructurales. - Sección transversal. - Diagrama de Fuerza Cortante. - Diagrama de Momento Flector. - Fuerzas internas y externas. - Dimensión de los elementos de máquina. - Factor de seguridad.	- Newton (N). - Pa (N/m²). - Metro (m). - Metro al cuadrado (m²). - Metro (m). - Newton (N). - Newton (N). - Metro (m). - Adimensional.
Variable dependiente Tiempo de elaboración	Para elaborar ladrillo de arcilla, es necesario conocer el tiempo que dura su fabricación y de poder reducirlo a lo más mínimo para lograr optimizar el proceso de producción y aumentar la eficiencia y rentabilidad de la máquina empleada.	- MS Excel.	- Peso de la mezcla. - Volumen de la mezcla. - Densidad del material. - Velocidad del eje extrusor. - Tiempo de elaboración del ladrillo.	- Newton (N). - Metro cúbico (m³) - Kilogramo por metro cúbico (kg/ m³). - Metro por segundo (m/s). - Segundo (s).

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Métodos y técnicas de investigación

3.5.1. Métodos de investigación

a) Entrevista

Este método sirvió para obtener información y determinar lo que se necesita para poder diseñar la máquina moldeadora de ladrillos, obtener información sobre ciertos parámetros y medidas para lograr un óptimo diseño.

b) Análisis de Contenido

Sirvió para obtener información de las diferentes bibliografías existentes referente al diseño de máquinas extrusoras o máquinas moldeadoras de ladrillos para su correcto y adecuado diseño.

3.5.2. Técnicas de investigación

Análisis documental

Sirvió para recopilar información relevante de diferentes fuentes de información previas a la investigación en desarrollo, como tesis, libros, con el fin de poder añadir conocimiento a lo que existe sobre el tema de investigación.

De Campo

Esta técnica sirvió para saber cómo funciona una máquina extrusora de ladrillos para poder tener claro y la idea completa de su correcto funcionamiento, dato que sirvió para poder dimensionar y diseñar de manera correcta la máquina moldeadora propuesta en la investigación y así poder reducir el tiempo de elaboración del ladrillo.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Conforme a los métodos empleados, se detallan los siguientes materiales e instrumentos:

Tabla 2*Relación de técnicas e instrumentos*

Método	Instrumentos y Materiales
Entrevista	Cuaderno, lapicero, celular.
Observación Directa	Cuaderno de apuntes, fichas de campo, fotografías, wincha, nivel.
Análisis de contenido	Libros, Tesis, Informes, Revistas, Páginas web.

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos

Para efectuar el diseño integral de la máquina moldeadora de ladrillos de arcilla se recurrió a software como MathCAD Prime 7, el cual permitió realizar los cálculos mecánicos correspondientes a los elementos de máquina que la conforman, también se utilizó SolidWorks para modelar cada componente y generar el ensamblaje tridimensional, validando su comportamiento estructural al verificar factores de seguridad mayores a 2 y deformaciones dentro de rangos permisibles, procediendo luego a la elaboración de los planos finales. Para estimar el presupuesto o inversión requerida para su implementación se empleó Ms Excel, además de desarrollar el análisis de rentabilidad con el fin de determinar si el proyecto resulta viable o no.

CAPÍTULO IV : PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Para lograr un adecuado diseño, primero se calcularon todos los parámetros necesarios, posteriormente se modeló pieza a pieza en software especializado de ingeniería, para este caso, se utilizó el software SolidWorks 2018 para el modelado de piezas para su posterior ensamble y análisis estático de las piezas más críticas que conforman a la máquina semiautomática moldeadora de ladrillo de arcilla.

Para los cálculos de los parámetros, se hizo uso del software MathCad Prime 7, un programa muy potente que sirve para poder hacer un análisis detallado y además de que, si se tienen errores que corregir, solo basta con cambiar algunos parámetros y lo restante se actualiza automáticamente, ahorrando tiempo.

CAPÍTULO V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Resultados

5.1.1. Desarrollo del primer objetivo específico

En consideración con los datos recopilados de la ladrillera Inka Forte, donde se utilizó un instrumento de recolección adecuado, un cuestionario dirigido al representante legal de la ladrillera, obteniendo:

Figura 12

Proceso que se realiza de manera artesanal en la fabricación de ladrillo



Fuente: Adaptado de Madrid & Mirez (2024).

La Figura 12 detalla el proceso que se realiza de manera artesanal en la fabricación de ladrillo, empezando con la recolección de la materia prima que incluye inspección y selección, luego viene la preparación de la arcilla donde se incluye su trituración y molienda, seguidamente del mezclado, que involucra adición de agua y amasado, para luego continuar con el moldeado, donde se enfoca la presente investigación, ya que es el moldeado manual o artesanal, luego sigue el secado, involucrando el secado al aire y secado en sombra, para seguir con el horneado que incluye

la preparación del horno, cocción y enfriamiento, para finalmente culminar con el proceso de almacenamiento de la producción, que involucra inspección final y almacenamiento de los ladrillos producidos en su respectivo lugar.

Etapas de moldeado de ladrillo artesanal

Esta etapa se encuentra en el cuarto lugar para la fabricación de ladrillo artesanal, que es donde se moldea de manera manual para posteriormente ser colocados en moldes de metal y que luego son presionados para que adquieran la forma requerida. Como el proceso es artesanal, dicha etapa de moldeado genera ciertas variaciones en las medidas o dimensiones del ladrillo fabricado, lo que resulta en un producto que a veces no cuenta con las especificaciones estandarizadas, lo que afecta su uniformidad y estabilidad en la construcción. Cabe precisar que, en el compactado se tiene una etapa algo irregular, porque la presión que se aplica durante dicha etapa de moldeado no es constante y uniforme, generando variaciones en la densidad del producto final, y por ende, afectando también su resistencia, ya que se logran generar en su interior, provocando una disminución en el parámetro mencionado. Todo lo mencionado, puede tener origen en múltiples factores, entre ellos el secado a la intemperie, porque las condiciones climáticas tienen cierta variabilidad, provocando que el tiempo de secado sea irregular logrando afectar directamente en su calidad. La exposición prolongada al sol de los ladrillos fabricados puede generar que se agriete, mientras que la humedad puede originar un retraso en el secado y debilitamiento de la estructura, ya que las muestras lograron arrojar un valor de humedad en el rango de 10 a 15% de los ladrillos fabricados, logrando no cumplir con el estándar requerido por la NTP 399.613.2013, donde menciona que dicho valor debe ser inferior a 1% antes de la etapa de cocción para que se evite las grietas y deformado en los ladrillos, donde un valor relativamente elevado, ya que una elevada absorción de agua puede generar la reducción en la durabilidad del ladrillo y consecuentemente, en su resistencia al aire libre. Un residuo inadecuado de humedad antes de la etapa de cocción genera que los ladrillos se

puedan agrietar o deformar durante la etapa de cocción, y por ende, esto afecta la calidad de los ladrillos fabricados. Todo ello se logra demostrar con la información obtenida, que se detalla seguidamente:

Análisis sobre la calidad

En la Tabla 3 se aprecian los datos recopilados de la ladrillera Inka Forte respecto a su proceso de fabricación de ladrillo artesanal, iniciando en enero hasta diciembre de 2024, donde se logra producir anualmente un total de 1102770 de ladrillos, pero con un total de ladrillos defectuosos de 120136, lo que representa un 10.89% sobre la producción por año total.

Tabla 3
Información sobre la producción por mes para 2024

Mes	Producción total (ladrillos)	Ladrillos con defectos	Porcentaje con defectos (%)	Tipo de defecto (fisuras, malformaciones, etc.)
Enero	93540	10245	10.95%	Deformación, fisura, grieta
Febrero	89760	10373	11.56%	Deformación, fisura, grieta
Marzo	94100	10062	10.69%	Deformación, fisura, grieta
Abril	89870	9667	10.76%	Deformación, fisura, grieta
Mayo	92630	10252	11.07%	Deformación, fisura, grieta
Junio	90240	9399	10.42%	Deformación, fisura, grieta
Julio	93510	10008	10.70%	Deformación, fisura, grieta
Agosto	92820	10077	10.86%	Deformación, fisura, grieta
Septiembre	90360	9890	10.95%	Deformación, fisura, grieta
Octubre	92990	10877	11.70%	Deformación, fisura, grieta
Noviembre	89670	9295	10.37%	Deformación, fisura, grieta
Diciembre	93280	9991	10.71%	Deformación, fisura, grieta
Total	1102770	120136	10.89%	

Fuente: Elaboración propia.

Luego, en la Tabla 4 se puede observar la capacidad de producción anual, logrando obtener una producción de 301.34 ladrillos por hora de forma aproximada, siendo redondeado a 300 ladrillos por hora, que se reduce debido a los ladrillos defectuosos, pero debido a la alta demanda de ladrillo en la región, se requiere evaluar el diseño de una máquina extrusora semiautomática para una capacidad de 600 ladrillos por hora, ya que la ladrillera a indicado que necesitan duplicar su producción para suplir la demanda.

Tabla 4*Información sobre la capacidad de producción por día y por hora*

Mes	Producción total (ladrillos)	Días	Capacidad (ladrillos por día)	Jornada laboral diaria	Capacidad (ladrillos por hora)
Enero	93540	31	3017.42	10	301.74
Febrero	89760	29	3096.00	10	309.52
Marzo	94100	31	3035.48	10	303.55
Abril	89870	30	2995.67	10	299.57
Mayo	92630	31	2988.06	10	298.81
Junio	90240	30	3008.00	10	300.80
Julio	93510	31	3016.45	10	301.65
Agosto	92820	31	2994.19	10	299.42
Septiembre	90360	30	3012.00	10	301.20
Octubre	92990	31	2999.68	10	299.97
Noviembre	89670	30	2989.00	10	298.90
Diciembre	93280	31	3009.03	10	300.90
Total	1102770	366	3013.03	10	301.34

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5 muestra el análisis respectivo sobre los indicadores de calidad en la producción anual de ladrillo artesanal, donde se obtuvo que el 78.83% logra cumplir con las dimensiones requeridas y estandarizadas, mientras que el 11.17% no logra cumplirlas, y con relación a la resistencia, el 76.67% logra cumplir con la resistencia deseada y solicitada de acuerdo a la norma y el 13.33% no lograba satisfacer dicho parámetro. Con relación a la absorción de agua, tiene influencia en la resistencia, ya que si el ladrillo absorbe mucha agua indica un elevado número de poros o huecos en su interior, lo cual genera que se debilite, afectando directamente su resistencia, por tanto, si se tuvo que el 76.67% de ladrillos tienen una resistencia consistente, da por entendido que el mismo valor de ladrillos posee una cantidad baja de poros o huecos, tomando en cuenta lo mencionado por Cuayla (2022).

Tabla 5

Indicadores referente a la calidad en la producción anual de ladrillo

Mes	Ladrillos sometidos	Cumplió medidas	Cumplió resistencia	Cumplió con la absorción de agua debida
Enero	100	78	75	75
Febrero	100	80	78	78
Marzo	100	80	81	81
Abril	100	81	80	80
Mayo	100	79	77	77
Junio	100	77	76	76
Julio	100	79	75	75
Agosto	100	77	74	74
Septiembre	100	80	78	78
Octubre	100	81	73	73
Noviembre	100	78	80	80
Diciembre	100	76	73	73
Total	1200	946	920	920
Porcentaje		78.83%	76.67%	76.67%

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Desarrollo del segundo objetivo específico

Al momento del desarrollo de la investigación, como primer paso, se determinó la capacidad que debe producir la máquina extrusora semiautomática, donde dicha capacidad debe ser de 600 ladrillos por hora, teniendo lo siguiente:

Capacidad de producción

Esta fue obtenida de la información recopilada de la ladrillera, que es de:

$$Q_{producción} = 600 \frac{\text{ladrillos}}{h}$$

Medidas de ladrillo

De acuerdo con información de diferentes fabricantes, el ladrillo portante debe poseer como medidas: 0.24 m x 0.12 m x 0.10 m, como medidas estándar. Por tanto:

$$l_{ladrillo} = 0.24 \text{ m}$$

$$a_{ladrillo} = 0.12 \text{ m}$$

$$h_{ladrillo} = 0.10 \text{ m}$$

Velocidad de extrusión

En consideración con Händle (2007), la velocidad para el proceso de extrusión debe encontrarse en el rango de 0.15 a 0.20 m/s, y para el caso del presente estudio, se ha empleado de 32 pies/min, que es equivalente a 0.16256 m/s, por ende:

$$v = 0.16256 \frac{m}{s}$$

Densidad de arcilla

De igual modo, dicho parámetro se extrajo de la investigación de Händle (2007), que es de:

$$\rho_{arcilla} = 1760 \frac{kg}{m^3}$$

Relación entre longitud y diámetro del tornillo

Esta proporción debe mantenerse en 8 para lograr un mezclado más óptimo y una homogeneización adecuada de la arcilla utilizada, ya que así se facilita la expulsión del aire atrapado, permitiendo un control térmico más uniforme y elevando la calidad del ladrillo o del material elaborado. Esto reduce la aparición de defectos y proporciona un acabado superficial correcto junto con una mejor estética del producto final (Händle, 2007).

$$\frac{L_{tornillo}}{D_{tornillo}} = 8$$

Presión de extrusión

Es necesario aplicar una presión de extrusión cercana a los 10 MPa para la producción de ladrillos, ya que ello asegura una compactación adecuada de la arcilla empleada, favoreciendo la eliminación del aire y la porosidad, incrementando su densidad y la resistencia del ladrillo terminado. Esta presión posibilita optimizar el desplazamiento del material dentro de la máquina extrusora, garantizando que la pieza obtenida mantenga una forma y dimensiones consistentes, además de mejorar su acabado superficial. Asimismo, permite alcanzar un mayor ritmo de producción sin afectar la integridad del equipo, contribuyendo a una operación más sostenible y eficiente (Händle, 2007).

$$P_{ext} = 10 \text{ MPa}$$

Voltaje del sistema eléctrico

En consideración con los datos brindados por la ladrillera Inka Forte, respecto a las características del sistema eléctrico, indicando que se cuenta con un voltaje monofásico de 220 V, pero además de un voltaje trifásico de 380 V.

$$V_{trif} = 380 \text{ V}$$

$$V_{monof} = 220 \text{ V}$$

Densidad del acero

La densidad del acero es de aproximadamente de 7850 kg/m^3 , importante para el diseño de la estructura y elementos de máquina para la máquina extrusora semiautomática de ladrillo.

$$\rho_{acero} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

5.1.3. Desarrollo del tercer objetivo específico

En primer lugar, antes de partir con el diseño mecánico de los elementos de máquina se determina el tipo de ladrillo a moldear, que es el ladrillo autoportante, con una proporción hueca en volumen de menos del 30% del volumen total, se ha elegido este tipo de ladrillo por ser el que resiste más y es más empleado en las construcciones debido a esa característica.

Diseño mecánico

El cálculo se presenta a continuación, donde se hizo uso del software MathCAD Prime 7 para tal fin.

Cálculo de fuerzas sobre el eje

Para poder dimensionar dichas fuerzas, es necesario calcular la masa de arcilla sobre el eje, para lo cual es necesario calcular el volumen que contendrá el tornillo extrusor. Considerando el volumen de un ladrillo 15 huecos, 30% de volumen vacío. Entonces se tiene que:

$$l_{\text{ladrillo}} = 0.24 \text{ m}$$

$$a_{\text{ladrillo}} = 0.12 \text{ m}$$

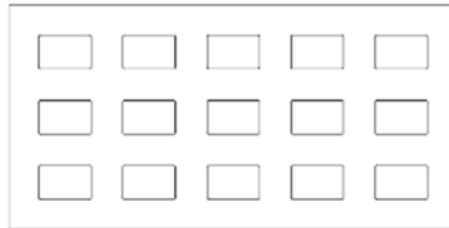
$$h_{\text{ladrillo}} = 0.10 \text{ m}$$

$$V_{\text{ladrillo}} = l_{\text{ladrillo}} \cdot a_{\text{ladrillo}} \cdot h_{\text{ladrillo}}$$

$$V_{\text{ladrillo}} = 0.00288 \text{ m}^3$$

Figura 13

Calculo de la masa de arcilla sobre el eje



Fuente: Elaboración propia.

Considerando que cada hueco tiene un ancho de 0.018m y un largo de 0.028 m con una altura de 0.10 m, con un total de 15 huecos:

$$a_{\text{hueco}} = 0.018 \text{ m}$$

$$b_{\text{hueco}} = 0.028 \text{ m}$$

$$N_{\text{hueco}} = 15$$

$$V_{\text{lad.hueco}} = N_{\text{hueco}} \cdot a_{\text{hueco}} \cdot b_{\text{hueco}} \cdot h_{\text{ladrillo}} = 0.000756 \text{ m}^3$$

$$R = \frac{V_{\text{lad.hueco}}}{V_{\text{ladrillo}}} = 0.26$$

El volumen total de cada ladrillo:

$$V_{lad.total} = V_{ladrillo} - V_{lad.hueco} = 0.00212 \text{ m}^3$$

Ahora, se quieren producir 600 ladrillos por hora, en total se tiene una masa necesaria de:

$$N_{ladrillos} = 600 \text{ hr}^{-1}$$

$$\rho_{arcilla} = 1760 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 109.873 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$$

$$m = N_{ladrillos} \cdot \rho_{arcilla} \cdot V_{lad.total}$$

$$m = 2243 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$m = 0.62 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Diseño del husillo extrusor

Cabe mencionar que el material empleado es de alta densidad, donde se somete a fuerzas del tipo combinada (torsión y flexión), por tanto, dicho eje se modela siendo considerado como viga que se encuentra apoyado de forma simple, pero con una fuerza de tipo distribuida.

Relación L/D

Tomando en cuenta a Anguita en su bibliografía Extrusión de Plásticos, dicho parámetro generalmente es inferior a 30 para extrusores de fundición. Ahora, considerando el tipo de extrusora propuesto para la investigación y las propiedades estándares que rigen el diseño de las mismas, se recomienda un valor de relación de 8.

Longitud del husillo

Es de vital relevancia porque tiene relación directa en el rendimiento de producción de la maquinaria diseñada además de los costos de la misma. Desde el punto de vista funcional, al incrementar la longitud del husillo se obtiene un aumento en la capacidad de plastificación y en la productividad del equipo. Asimismo, se mejora la calidad del mezclado y la

homogeneización del material procesado.

$$D_{husillo} = 6 \text{ in} = 0.1524 \text{ m}$$

$$L = 8 D_{husillo} = 1.2192 \text{ m}$$

Área de flujo

$$P_{tornillo} = D_{husillo} = 0.1524 \text{ m}$$

$$A = \frac{V_{lad.total}}{P_{tornillo}} = 0.01394 \text{ m}^2$$

Diámetro del eje

$$d_{eje} = \sqrt{D_{husillo}^2 - \frac{4 \cdot A}{\pi}} = 0.074 \text{ m}$$

Ancho del filete

Este parámetro debe estar en un rango de entre 0.06 a 0.12 del diámetro del husillo para el adecuado diseño, se toma el valor menor de 0.06.

$$e = 0.06 D_{husillo} = 0.0091 \text{ m}$$

$$e = 9.1 \text{ mm}$$

Ángulo de hélice del canal

$$\varphi_{hélice} = \text{atan}\left(\frac{P_{tornillo}}{\pi \cdot D_{husillo}}\right) = 0.31 \text{ rad}$$

$$\varphi_{hélice} = 17.66^\circ$$

Número de filetes del tornillo

Se calcula conociendo la longitud del paso diametral, aplicando la expresión matemática siguiente:

$$N_{filetes} = \frac{L}{D_{husillo}} = 8$$

Tolerancia del tornillo/cilindro holgura

La distancia de la holgura entre la superficie interna del cilindro y la cresta del filete del husillo resulta fundamental, pues cuando este espacio es mayor se logra una mezcla con mejor efectividad, aunque disminuye el avance del propio husillo. De manera habitual se emplean husillos de diámetro constante para conservar dicha holgura entre el cilindro y el husillo, la cual debe corresponder aproximadamente al 0.02 del diámetro total del husillo.

$$\delta_d = 0.02 \cdot D_{\text{husillo}} = 0.003 \text{ m}$$

$$\delta_d = 3.048 \text{ mm}$$

Capacidad del diseño

Para poder diseñar correctamente el eje extrusor, es necesario multiplicar por unos factores al flujo antes ya calculado, estos dependen de las características del extrusor.

Las facturas se obtienen del Anexo 3.

$$V_{\text{requerido}} = V_{\text{lad.total}} \cdot N_{\text{ladrillos}} = 45.01 \frac{ft^3}{hr}$$

$$CF_1 = 1 \qquad CF_2 = 1 \qquad CF_3 = 1$$

El factor CF_1 es igual a 1 porque el paso del tornillo es igual al diámetro del tornillo el cual se puede apreciar en el Anexo 3.

El factor CF_2 es igual a 1 por que el tipo de hélices empleados no fueron especiales, sino que se empleó el tipo que generalmente siempre se utilizan en extrusores de ladrillos, el cual se puede verificar en el Anexo 3.

El factor CF_3 es igual a 1 por que no se utilizó en extrusor de paletas, sino un extrusor estándar y se puede verificar en el Anexo 3.

$$V_{\text{diseño}} = V_{\text{requerido}} \cdot CF_1 \cdot CF_2 \cdot CF_3 = 45.01 \frac{ft^3}{hr}$$

Velocidad del extrusor

El factor de carga recomendado para el material utilizado corresponde a 30%B, el cual se determina a partir de la diferencia establecida entre los valores 30%A y 30%B, se elige este porque el eje extrusor debe trabajar a una menor velocidad en comparación con lo descrito.

$$C_{@ 1rpm} = 1.49 \frac{ft^3}{hr \cdot rpm}$$

$$N_{extrusor} = Round \left(\frac{V_{diseño}}{C_{@ 1rpm}}, rpm \right) = 30 rpm$$

Velocidad periférica del tornillo

$$V = \pi \cdot D_{husillo} \cdot \frac{N_{extrusor} \cdot 2\pi}{60} = 0.16 \frac{m}{s}$$

Razón de corte

La arcilla es un material que tiene comportamiento de fluido no newtoniano, debido a esa característica se debe agregar una corrección para que se pueda trabajar con él, para este fin se utiliza la razón de corte, la cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$H_t = \frac{D_{husillo} - d_{eje}}{2} = 0.039 m$$

$$\gamma_{ap} = \frac{\pi \cdot N_{extrusor} \cdot D_{husillo}}{H_t} = 38.39 \frac{1}{s}$$

Viscosidad aparente

Para poder calcular dicho parámetro, es necesario agregar factores de corrección, que depende las características de la arcilla, que se puede considerar una pasta sin grasa y el material estará húmedo en un 85%, los factores que se emplearán son obtenidos del Anexo 4:

$$m = 1580 \frac{kg}{m \cdot s^{1.63}}$$

$$n = 0.37$$

Luego, se tiene que:

$$u_{app} = (m) \cdot \gamma_{ap}^{n-1} = 158.72 Pa \cdot s$$

Esfuerzo cortante

La ecuación para determinar dicho esfuerzo para un fluido considerado pseudoplástico es muy compleja, pero puede ser modelada con la siguiente ecuación:

$$\tau = m \cdot \gamma_{ap}^n$$

$$\tau = 6.09 kPa$$

Presión de extrusión a lo largo de la longitud efectiva del tornillo

Este parámetro se determina considerando la longitud de la camisa o cilindro junto con el diámetro de dicha camisa (que usualmente coincide con el diámetro del tornillo); para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$L_c = L = 1.22 m$$

$$r_{ic} = \frac{D_{husillo}}{2} = 0.08 m$$

$$\Delta P = \frac{2 \cdot L_c \cdot \tau}{r_{ic}} = 194.96 kPa$$

Potencia para el tornillo extrusor

Se utiliza la expresión siguiente:

$$F_d = 18N \text{ (Anexo5)}$$

$$F_b = 4.4 \text{ (Anexo 6)}$$

$$P_{te} = L \cdot N_{extrusor} \cdot F_d \cdot f_b = 0.41 = hp$$

Potencia para mover la mezcla

Para determinar este parámetro, es necesario usar la expresión siguiente:

$$F_f = 1 \text{ (Anexo 7)}$$

$$F_m = 2 \text{ (Anexo 1)}$$

$$F_p = 1.29 \text{ hp (Anexo 8)}$$

$$\rho_{mezcla} = 109.873$$

$$C = 45.01$$

$$L = 4$$

$$P_m = \frac{F_p \cdot C \cdot L \cdot P_{mezcla} \cdot F_f \cdot F_m}{100000} = 0.51 hp$$

Potencia eléctrica para el tornillo extrusor

Para determinar este dato, se emplea la ecuación, donde W es la carga transmitida y V es la velocidad:

$$W = 188.11 \text{ lbs}$$

$$V = 31.496 \text{ hp}$$

$$P_w = \frac{W \cdot V}{33000} = 0.18 \text{ hp}$$

Potencia para el motor del extrusor:

$$F_{sc} = 2.3$$

$$n = 0.78$$

$$P_T = \frac{(P_{te} + P_m + P_w) \cdot F_{sc}}{n} = 3.234 \text{ hp}$$

Se seleccionó un motor de 5 HP, porque además debe mover otros componentes menores que generan un cargo de energía adicional a los 3.234 HP requeridos.

Cálculo de torque:

$$P = 2.984 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$N = 30$$

$$T = \frac{9549.29 P}{N} = 949.84 \text{ N} \cdot \text{m}$$

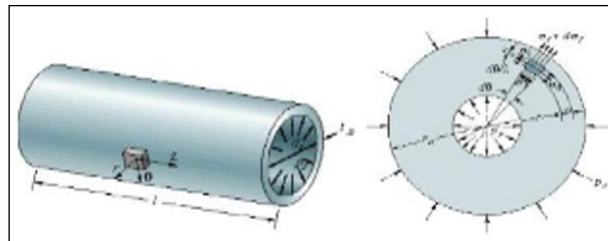
Diseño de la camisa o cilindro:

Ahora, se dimensiona el cilindro del extrusor o camisa.

Cálculo del radio interior

$$r_{ic} = \frac{D_{\text{husillo}}}{2} + 2\delta_d = 82 \text{ mm}$$

Figura 14
Radio interior



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del radio exterior

El espesor de la lámina es de 5/32 pulgadas entonces:

$$t_c = \frac{5}{32} \text{ in} = 3.97 \text{ mm}$$

$$r_{oc} = r_{ic} + t_c = 86.26 \text{ mm}$$

Cálculo del tipo de pared para el cilindro

$$t_{tp} = \frac{r_{oc}}{10} = 8.63 \text{ mm}$$

Este dato es menor al espesor de lámina, por lo tanto, se emplea un cilindro que posea una delgada pared.

Calculando las tensiones o esfuerzos

El método para el diseño de la camisa se establece bajo el supuesto de que la presión de operación durante la extracción es equivalente a la presión interna de un cilindro de pared delgada, ya que el espesor resulta reducido en relación con su radio. Por ello, se asume que dicha presión interna corresponde a la presión máxima de trabajo del sistema.

Cuando los cilindros se emplean como recipientes para trasladar fluidos a presiones elevadas, en su interior aparecen esfuerzos radiales y tangenciales cuya magnitud varía de acuerdo al radio del elemento. Para estimar tanto el esfuerzo de tipo tangente y en su longitud, se considera que la deformación radial permanece uniforme en toda la circunferencia del cilindro.

Esfuerzo de tangencia

$$d_{ic} = D_{hustillo} + 2\delta_d = 0.1585 \text{ m}$$

$$P_i = \Delta P = 194.96 \text{ kPa}$$

$$\sigma_t = \frac{d_{ic} \cdot P_i}{2t_c} = 3.89 \text{ MPa}$$

Esfuerzo longitudinal

$$\sigma_l = \frac{P_i \cdot d_{ic}}{4 \cdot t_c} = 1.95 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo radial

$$\sigma_r = \frac{r_{ic}^2 \cdot P_i}{r_{oc}^2 - r_{ic}^2} \cdot \left(1 - \frac{r_{oc}^2}{r_{ic}^2}\right) = -194.96 \text{ kPa}$$

Factor de seguridad en la sección crítica del lado

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_l^2 + \sigma_r^2 - \sigma_t \cdot \sigma_r - \sigma_l \cdot \sigma_r - \sigma_t \cdot \sigma_l} = 3.54 \text{ MPa}$$

$$S_{yc} = 26 \text{ ksi} = 179.26 \text{ MPa}$$

Acero AISI 1010

$$FS = \frac{S_{yc}}{\sigma} = 50.62$$

Diseño del eje

Para el diseño del eje, se emplea un acero AISI 1035 CD, dureza 168 HRC, Maquinado, cuyas características son las siguientes:

$$S_{ut} = 80 \text{ ksi}$$

$$n = N_{extrusor} = 30 \text{ rpm}$$

$$S_y = 67 \text{ ksi}$$

Análisis estático

El eje se considera como una barra simplemente apoyada y que soporta cargas distribuidas debido al peso de la mezcla y del propio eje. Para poder dibujar los esquemas de carga tipo cortante y de momento tipo flexión, se procede de la siguiente manera:

Se calcula W_1 y W_2 , para determinar el volumen de la cámara donde se aloja el extrusor y este valor se multiplica por la densidad de la arcilla y de ese modo se obtiene la masa, que al ser multiplicada por la gravedad permite calcular el peso.

$$V_1 = \pi \cdot L_c \cdot \left(\frac{D_{hustillo}^2 - d_{eje}^2}{4} \right) = 0.02 \text{ m}^3$$

$$m_1 = V_1 \cdot P_{arcilla} = 29.91 \text{ kg}$$

$$W_1 = m_1 \cdot g = 293.28 \text{ N}$$

$$P_{acero} = 7850 \frac{kg}{m^3}$$

$$V_2 = \pi \cdot L_c \cdot \left(\frac{d_{eje}^2}{4} \right) = (5.25 \cdot 10^{-3}) m^3$$

$$m_2 = V_2 \cdot P_{acero} = 41.2 \text{ kg}$$

$$W_2 = m_2 \cdot g = 404 \text{ N}$$

La carga distribuida debido ambos pesos, se obtiene con la ecuación:

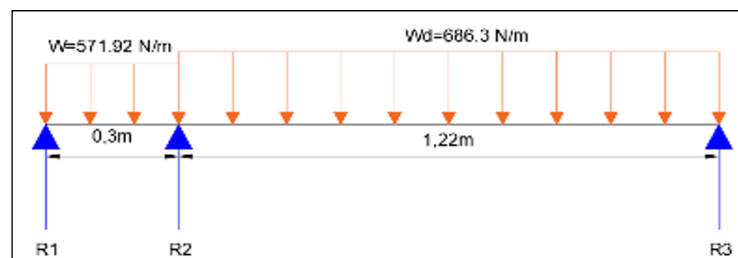
$$w = \frac{w_1 + w_2}{L_c} = 571.92 \frac{N}{m}$$

$$W_d = 1.2 \cdot w = 686.3 \frac{N}{m}$$

A continuación, se muestra el eje como una viga con sus cargas distribuidas debido al peso de la mezcla y de su propio peso. Para poder resolver esta viga continua con 3 tramos, es decir, se tiene una viga hiperestática, se emplea el método de Hardy Cross.

Figura 15

Análisis estático por flexión y torsión



Fuente: Elaboración propia.

$$L_{12} = 0.3m$$

$$L_{23} = 1.22m$$

1. Se empieza calculando la rigidez relativa en cada tramo

$$K_{12} = 0.75 \cdot \frac{1}{0.3} = 2.5$$

$$K_{23} = 0.75 \cdot \frac{1}{1.22} = 0.61$$

2. Luego, se calculan los coeficientes de distribución:

$$f_{12} = 1$$

$$f_{32} = 1$$

$$f_{21} = \frac{K_{12}}{K_{12} + K_{23}} = 0.803$$

$$f_{23} = \frac{K_{23}}{K_{12} + K_{23}} = 0.197$$

3. Calculando los momentos de empotramiento perfecto (Anexo 9):

$$MEP_{12} = \frac{w \cdot L_{12}^2}{12} = 4.29 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$MEP_{21} = -MEP_{12} = -4.29 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$MEP_{23} = \frac{W_d \cdot L_{23}^2}{12} = 85.12 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$MEP_{32} = -MEP_{23} = -85.12 \text{ N} \cdot \text{m}$$

4. Se continua con el proceso de distribución de momentos mediante el uso de una tabla en una hoja de cálculo Excel se determinarán los momentos finales en cada tramo.

Tabla 6

Proceso de distribución con método de Cross

Tramo	1	2	3
FD	1.00	0.803	0.197
MEP	4.29	-4.29	85.12
1era Distribución	-4.29	-64.91	85.12
Transmisión	-32.45	-2.15	-7.96
2da Distribución	32.45	-32.45	7.96
Transmisión	-16.23	16.23	-3.98
3era Distribución	16.23	-16.23	3.98
Transmisión	-8.11	8.11	-1.99
4ta Distribución	8.11	-8.11	1.99
Momentos finales	0.00	-103.79	103.79

Fuente: Elaboración propia.

Los momentos finales obtenidos en cada nudo serán:

$$M_{12} = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{23} = 103.79 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{21} = -103.79 \text{ N} \cdot \text{m}$$

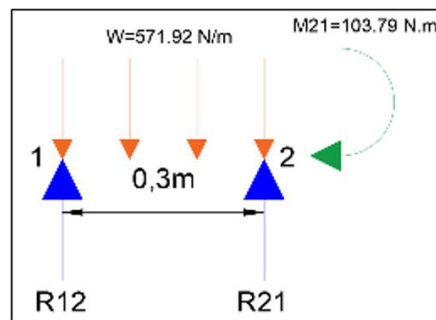
$$M_{32} = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Calculamos las reacciones isostáticas por tramos.

Tramo 12:

Figura 16

Tramo 12



Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma M_2 = 0$$

$$R_{12} = \frac{\frac{W \cdot L_{12}}{2} + M_{21}}{L_{12}} = -260.18 \text{ N}$$

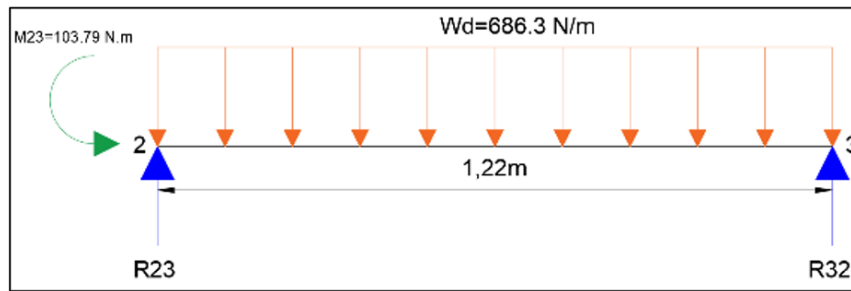
$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{21} = w \cdot L_{12} - R_{12} = 431.75 \text{ N}$$

Tramo 23:

Figura 17

Tramo 23



Fuente: Elaboración propia

$$\Sigma M_2 = 0$$

$$R_{32} = \frac{\frac{W_d \cdot L_{23}^2}{2} - M_{23}}{L_{23}} = 333.57 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{23} = W_d \cdot L_{23} - R_{32} = 503.72 \text{ N}$$

Las reacciones entonces son:

$$R_1 = R_{12} = -260.18 \text{ N}$$

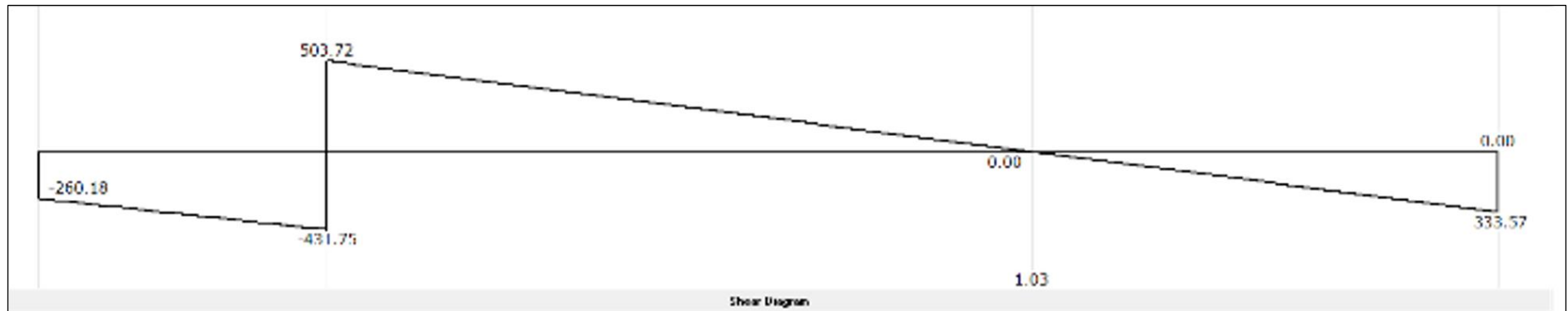
$$R_2 = R_{21} + R_{23} = 935.47 \text{ N}$$

$$R_3 = R_{32} = 333.57 \text{ N}$$

Graficando los esquemas de carga cortante además del momento flexionante para el eje considerado:

Figura 18

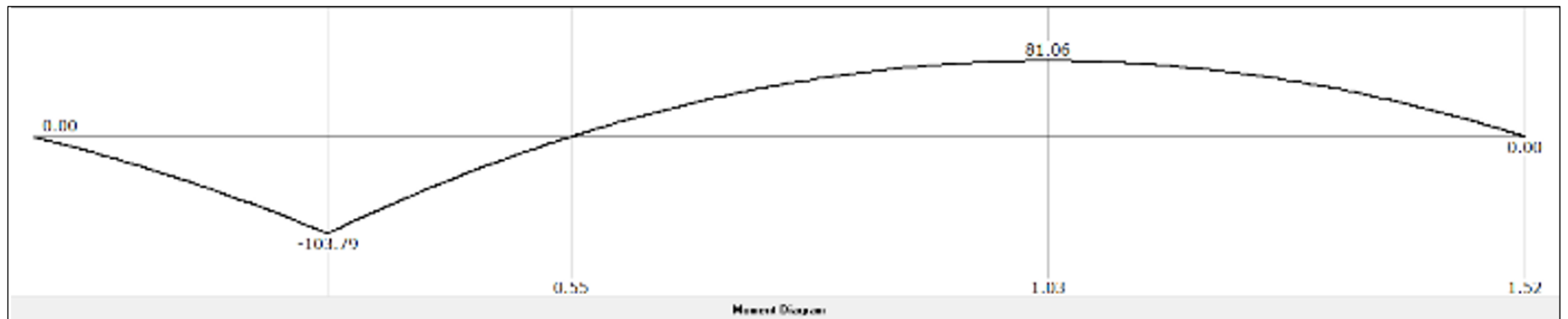
Esquema de carga cortante



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Esquema de momento flexionante



Fuente: Elaboración propia

El momento máximo es:

$$M = 103.79 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{máx}} = |M| = 103.79 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Esfuerzo debido a la flexión:

$$d_{\text{eje.interno}} = 0.063 \text{ m}$$

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot M_{\text{máx}} \cdot d_{\text{eje}}}{\pi(d_{\text{eje}}^4 - d_{\text{eje.interno}}^4)}$$

$$\sigma_x = 5.48 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante debido a la torsión:

$$\tau_{xy} = \frac{16 \cdot T \cdot d_{\text{eje}}}{\pi \cdot (d_{\text{eje}}^4 - d_{\text{eje.interno}}^4)} = 25.07 \text{ MPa}$$

Solución estática:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = 43.77 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} = 6.35 \text{ ksi}$$

Del acero seleccionado:

$$S_y = 67 \text{ ksi} = 461.95 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad obtenido será:

$$FS_{\text{eje}} = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} = 10.55$$

Diseño por fatiga:

$$S_{ut} = 80 \text{ ksi}$$

De acuerdo al límite de resistencia a la fatiga se tiene que el esfuerzo de

fluencia último es menor de 200 ksi, usando la ecuación:

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$S'_e = 0.5 \cdot S_{ut} = 40 \text{ ksi}$$

Factor de superficie (Anexo 10):

$$a = 2.7$$

$$b = -0.265$$

$$S'_{ut} = 80$$

$$k_a = a \cdot S'_{ut}{}^b = 0.85$$

Factor de tamaño:

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$$d'_{eye} = 74$$

$$k_b = 1.51 \cdot d'_{eye}{}^{-0.157} = 0.77$$

Factor de carga:

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

$$k_c = 1$$

Factor de temperatura (Anexo 11):

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad (Anexo 12):

$$k_e = 0.702$$

Factor de efectos varios (Anexo 13 y 14):

$$r = 3mm$$

$$D = 74mm$$

$$d = 69mm$$

$$\frac{D}{d} = 1.07$$

$$\frac{r}{d} = 0.04$$

$$K_t = 1.76$$

$$q = 0.84$$

$$k_f = 1 + q \cdot (k_t - 1) = 1.64$$

El límite de la resistencia a la fatiga es:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_f \cdot S'_e = 29.88 \text{ ksi}$$

$$S_e = 206.01 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad debido al diseño por fatiga será entonces:

$$FS_f = \frac{S_e}{\sigma_{eq}} = 4.71$$

Cálculo para rodamientos, considerando contaminación típica:

$$T_{operación} = 60^\circ C$$

$$d_{eje} = 74 \text{ mm}$$

$$n = 30$$

$$F_r = 935.47N = 0.935kN$$

$$P = F_r = 0.935 \text{ kn}$$

- a. Selección de rodamiento, de acuerdo a catalogo SKF del 2019, seria un rodamiento rígido de bolas de una hilera (Anexo 15):

Modelo: 61814-2RS1

$$a = 3$$

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$D = 90 \text{ mm}$$

$$n_r = 4300 \text{ rpm}$$

$$C = 12.4 \text{ kN}$$

$$C_0 = 13.2 \text{ kN}$$

$$P_u = 0.56 \text{ kN}$$

- b. Lubricación (Anexo 16,17 y 18):

ISO VG 1000

$$d_m = 0.5(d + D) = 80 \text{ mm}$$

$$v_1 = 310 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$$

$$v = 1000 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$$

- c. Vida nominal básica:

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 \cdot n} \right) \left(\frac{C}{P} \right)^a = 1.29 \cdot 10^6$$

- d. Condiciones de lubricación:

$$k = \frac{v}{v_1} = 3.23$$

e. Factor de contaminación (Anexo 19):

$$n_2 = 0.2$$

f. Factor a_{SKF} (Anexo 20):

$$n_c \cdot \left(\frac{P_u}{P}\right) = 0.12$$

$$a_{SKF} = 1.6$$

g. Vida nominal SKF:

$$L_{10mh} = a_{SKF} \cdot L_{10h} = 207 \cdot 10^6$$

h. Carga *mínima*:

$$K_r = 0.015 \text{ kN}$$

$$d_m = 80$$

$$F_{rm} = K_r \cdot \left(6 + \frac{4 \cdot n}{n_r}\right) \cdot \left(\frac{d_m}{100}\right)^2 = 0.058 \text{ kN}$$

Sistema de transmisión de potencia

Cálculo del sistema de transmisión del motor eléctrico al eje del extrusor, se selecciona un reductor de velocidad. Para ello, es necesario calcular la relación de transmisión del motor eléctrico al eje extrusor, considerando un factor de servicio de 1.4 (Anexo 22), el reductor de velocidad consta de engranajes de dientes rectos en tres etapas.

$$f_s = 14$$

$$P_{diseño} = f_s^3 \cdot P_t = 8.87 \text{ hp}$$

$$K_o = f_s = 1.4$$

$$n_{motor} = 900 \text{ rpm}$$

$$N_{extrusor} = 30 \text{ rpm}$$

$$R_t = \sqrt[3]{\frac{n_{motor}}{N_{extrusor}}} = 3.11$$

$$VR_1 = 3.11$$

$$VR_2 = VR_1 = 3.11$$

$$VR_3 = VR_2$$

Elaborando una tabla para determinar el numero de dientes en el piñón y engranaje de cada etapa:

Tabla 7

Número de dientes en el piñón y engranaje

<i>Primera reducción</i>					
<i>Np</i>	<i>Ng</i>	<i>Entero más cercano</i>	<i>VR calculada</i>	<i>VR real</i>	<i>Velocidad real de salida</i>
17	53	53	3.11	3.12	288.68
<i>Segunda reducción</i>					
17	53	53	3.11	3.12	92.60
<i>Tercera reducción</i>					
17	53	53	3.11	3.12	29.70

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla elaborada, se tiene una relación de transmisión real de 3.12 por etapa, donde la velocidad del eje extrusor es de 29.70 rpm, considerando que se requiere 30 rpm (+1rpm), este valor se encuentra dentro del rango, entonces, se tendrán 17 dientes en cada piñón y 53 dientes en cada engrane conducido.

Del Anexo 23 se obtiene el paso diametral, considerando una potencia de diseño de 8.75 hp y la velocidad nominal del eje del motor de 900 rpm, se tiene:

$$P_d = 12 \cdot \frac{1}{in}$$

$$N_p = 17$$

$$N_G = 53$$

Los diámetros de paso, distancia entre centros, velocidad de la línea de paso y la carga transmitida.

$$D_p = \frac{N_p}{P_d} = 1.42in$$

$$D_p = 36\text{ mm}$$

$$D_G = \frac{N_G}{P_d} = 4.42in$$

$$D_G = 112\text{ mm}$$

$$C = \frac{(N_p + N_G)}{2 \cdot P_d} = 2.92in$$

$$C = 74\text{ mm}$$

$$D'_P = D_P \cdot \frac{1}{in} = 1.42$$

$$n_{motor} = 900 \frac{ft}{min}$$

$$v_t = \frac{\pi \cdot D'_P \cdot n_{motor}}{12} = 333.79 \frac{ft}{min}$$

Carga transmitida:

$$P = 4.78\text{ lbf}$$

$$v'_t = v_t \cdot \frac{min}{ft} = 333.79$$

$$W_t = 33000 \cdot \frac{P}{v'_t} = 472.57\text{ lbf}$$

Calculando el ancho de cada piñón y el engrane, con la ecuación:

$$F = \frac{12}{P_d} = 1in$$

$$F = 25.4\text{ mm}$$

El material para cada piñón y engrane será de acero.

$$C_p = 2300$$

Determinando el numero de calidad del Anexo 24 y el factor dinamico del Anexo 25:

$$Q_v = 6$$

$$K_v = 1.25$$

Al definir la forma de los dientes se utilizan los factores geométricos de flexión para el piñón y el engranaje según el anexo 26, y el factor geométrico para picadura conforme al anexo 27, tomando un ángulo de perfil de 20°.

$$J_P = 0.295$$

$$J_G = 0.43$$

$$I = 0.16$$

Determinando el factor de distribución de carga, de los Anexos 28 y 29.

$$\frac{F}{D_p} = 0.706$$

$$C_{pf} = \frac{F}{10 \cdot D_p} - 0.025 = 0.046$$

$$F' = F \cdot \frac{1}{in} = 1$$

$$C_{ma} = 0.247 + 0.0167 \cdot F' - 0.765 \cdot 10^{-4} \cdot F'^2 = 0.264$$

$$k_m = 1 + C_{pf} + C_{ma} = 1.309$$

Del Anexo 30, se calcula el factor de tamaño:

$$K_s = 1$$

Del Anexo 31, se calcula el factor de borde:

$$K_B = 1$$

El factor de servicio SF, se tomara un valor de:

$$SF = 1$$

El factor de relacion de dureza es:

$$C_H = 1$$

El factor de confiabilidad se obtiene del anexo 32, para una confiabilidad de 0.99 se tiene

$$K_R = 1$$

Se determinó la vida útil de diseño, calculando el número de ciclos de carga que soportaron el piñón y el engrane. Asimismo, se establecieron los factores de esfuerzo correspondientes al número de ciclos para la fatiga por flexión y para la picadura en cada uno de los componentes.

La duración de diseño será de 65700 horas. Los números de carga son:

$$V_e = 65700$$

$$n_{p1} = 900$$

$$q = 1$$

$$VR_{1R} = 3.11765$$

$$VR_{2R} = VR_{1R}$$

$$VR_{3R} = VR_{1R}$$

$$N_{cP1} = 60 \cdot V_e \cdot n_{p1} \cdot q = 3.55 \cdot 10^9$$

$$n_{p1} = 900 \text{ rpm}$$

$$N_{cG1} = 60 \cdot V_e \cdot n_{g1} \cdot q = 1.14 \cdot 10^9$$

$$n_{g1} = \frac{n_{p1}}{VR_{1R}} = 288.68 \text{ rpm}$$

Del Anexo 33.

$$Y_{NP1} = 1.3558 \cdot N_{cP1}^{-0.0178} = 0.92$$

$$Y_{NG1} = 1.3558 \cdot N_{CG1}^{-0.0178} = 0.94$$

Del anexo 34

$$Z_{NP1} = 1.4488 \cdot N_{CP1}^{-0.023} = 0.87$$

$$Z_{NG1} = 1.4488 \cdot N_{CG1}^{-0.023} = 0.90$$

Calculando los esfuerzos flexionantes esperados en el piñón y en el engrne, con la ecuación:

$$P_d = 12 \cdot \frac{1}{in} \quad F = 1 in$$

$$S_{tp1} = \frac{W_t \cdot P_d}{F \cdot J_p} \cdot K_o \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_B \cdot K_v = 44042 psi$$

$$S_{tG1} = S_{tp1} \cdot \frac{J_p}{J_G} = 30215 psi$$

Ajustando los esfuerzos flexionantes, usndo la ecuación:

$$S_{atP1} = S_{tp1} \cdot \frac{K_R \cdot (SF)}{Y_{NP1}} = 48047 psi$$

$$S_{atG1} = S_{tG1} \cdot \frac{K_R \cdot (SF)}{Y_{NG1}} = 32302 psi$$

El esfuerzo de contacto esperado en el piñón y el engrane, con la ecuación se tiene:

$$C_p = 2300 psi$$

$$W'_t = W_t \cdot \frac{1}{lbf}$$

$$F'_t = F \cdot \frac{1}{in} = 1$$

$$D'_P = D_P \cdot \frac{1}{in} = 1.42$$

$$S_{c1} = C_p \cdot \sqrt{\frac{W'_t \cdot K_o \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_v}{F' \cdot D'_p \cdot I}} = 158961 psi$$

Ajustando los esfuerzos de contacto en el piñon y en el engranaje:

$$S_{acP1} = S_{c1} \cdot \frac{K_R \cdot (SF)}{Z_{NP1}} = 181941 psi$$

$$S_{acG1} = S_{c1} \cdot \frac{K_R \cdot (SF)}{Z_{NG1}} = 177244 psi$$

Del Anexo 35, se tiene que:

$$HB = \left(\frac{S_{acP1}}{psi} - 29100 \right) \cdot \frac{1}{322} = 474.66$$

Se puede elegir un acero con dureza HB 495, con un esfuerzo de contacto de 8840 psi.

$$HB = 495$$

$$S_{ac} = (322 \cdot HB + 29100) \cdot psi = 188490 psi$$

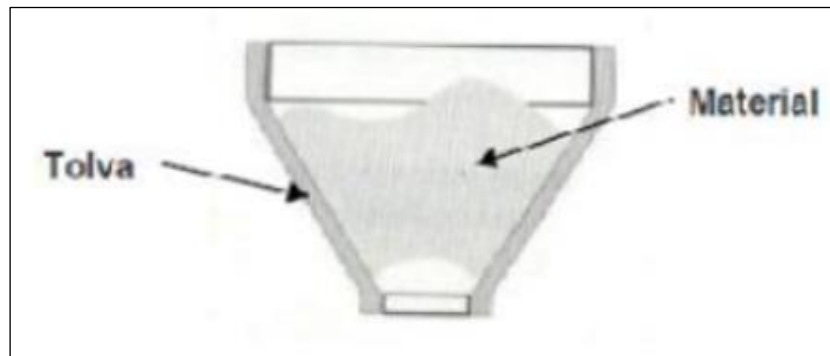
Dato mayor a los obtenidos.

De acuerdo al anexo 36, debe ser un acero AISI4140 OQT 1000.

Diseño de la Tolva

Se puede decir que es el componente de diseño mas sencillo, este es el que sirve para poder agregar el material a extruir, donde este debe ser suficiente para que se mantenga una producción constante para que trabaje de forma interrumpida.

Figura 20
Diseño de tolva



Fuente: Elaboración propia.

Volumen de la tolva

El flujo másico de materiales:

$$m = 2243 \frac{kg}{hr}$$

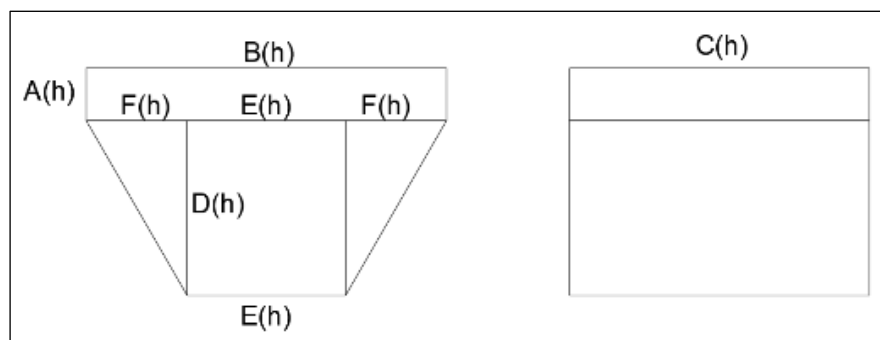
Se estableció que la tolva debía alimentarse cada 10 minutos, por lo tanto, se determinó un nuevo flujo de masa correspondiente a dicho intervalo de tiempo.

$$t = 10 \text{ min}$$

$$m_{tolva} = m \cdot t = 373.83kg$$

Entonces, el volumen de la tolva es:

$$V_{tolva} = \frac{m_{tolva}}{\rho_{arcilla}} = 0.2124m^3$$



Se calculó la configuración geométrica de la tolva, considerando las dimensiones necesarias para garantizar un flujo adecuado del material y una alimentación continua conforme a los requerimientos del proceso.

Valores de prueba	$A(h) := 0.12 \text{ m}$	$h := 0 \text{ m}$
	$C(h) := 0.45 \text{ m}$	
	$D(h) := h$	
	$E(h) := 0.36 \text{ m}$	
	$F(h) := \frac{h \cdot \sqrt{3}}{3}$	
Restricciones	$V_{tolva}(h) := A(h) \cdot (2 \cdot F(h) + E(h)) \cdot C(h) + 2 \cdot \left(\frac{D(h) \cdot F(h)}{2} \right) \cdot C(h) + D(h) \cdot E(h) \cdot C(h)$	
	$V_{tolva}(h) = 0.2124 \text{ m}^3$	
Solver	$h := \text{Ceil}(\text{find}(h), 0.00001 \text{ m}) = 0.532 \text{ m}$	$A(h) = 0.12 \text{ m}$ $D(h) = 0.53 \text{ m}$ $C(h) = 0.45 \text{ m}$ $E(h) = 0.36 \text{ m}$ $F(h) = 0.31 \text{ m}$

La altura total desde el ensamble del cilindro al nivel superior de entrada del material es:

$$A(h) = 0.12m$$

$$D(h) = 0.53m$$

$$E(h) = 0.36m$$

$$F(h) = 0.31m$$

$$H_t = A(h) + D(h) + 50 \text{ mm} = 0.7m$$

$$B(h) = 2 \cdot F(h) + E(h) = 0.98m$$

Para el soporte de la tolva planteada se empleó ángulo de acero ASTM A36. La estructura fue diseñada para soportar tanto el peso propio de la

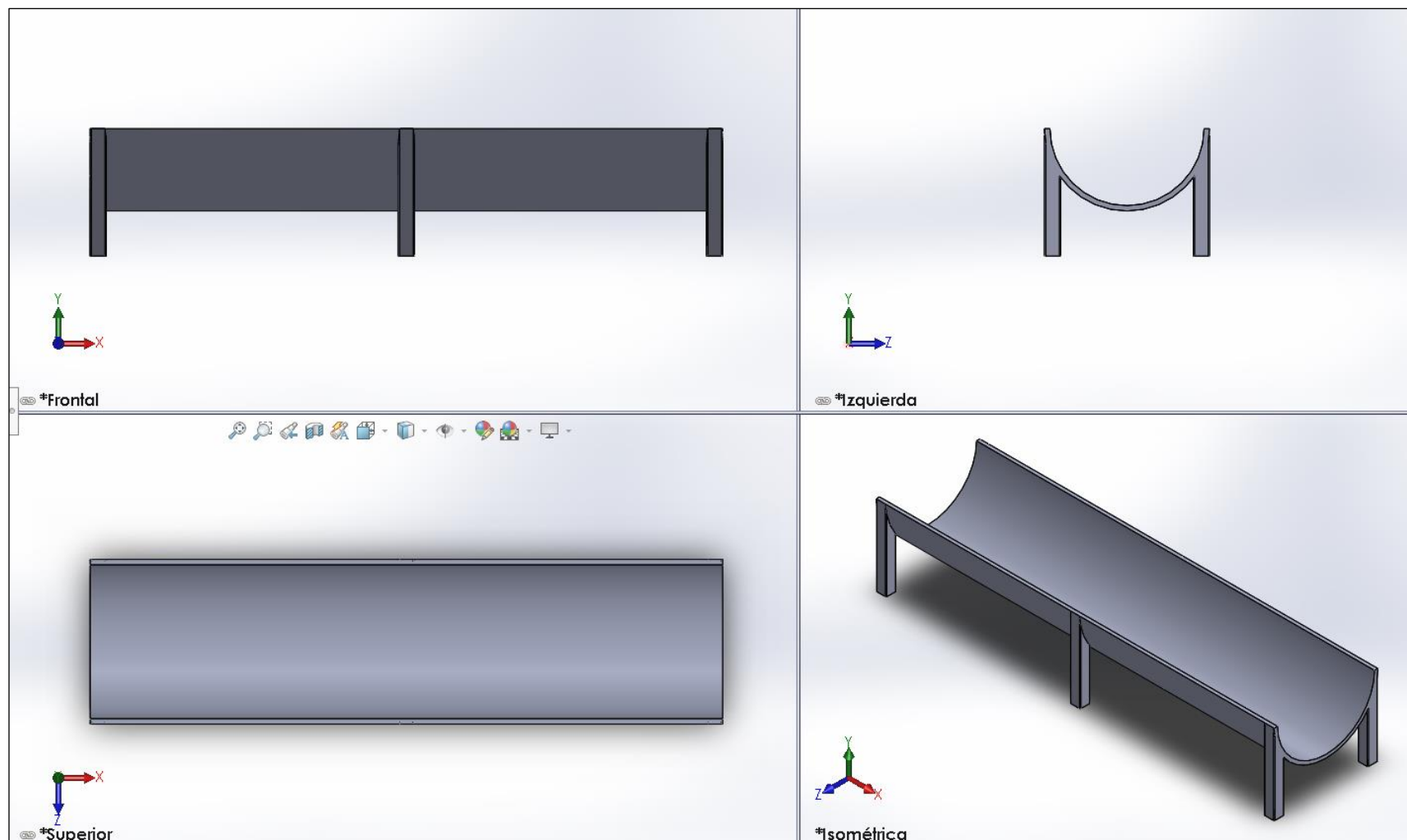
tolva elaborada en acero galvanizado como la carga del material almacenado en su interior.

5.1.4. Desarrollo del cuarto objetivo específico

Una vez determinadas las dimensiones de cada componente mecánico y estructural, se realizó el modelado utilizando el software SolidWorks 2018. En las figuras siguientes se presenta el modelo tridimensional de cada pieza y posteriormente, el ensamblaje completo del mecanismo semiautomatizado moldeador propuesto. En los anexos se incluyen los detalles de cada elemento con sus respectivas dimensiones.

Figura 21

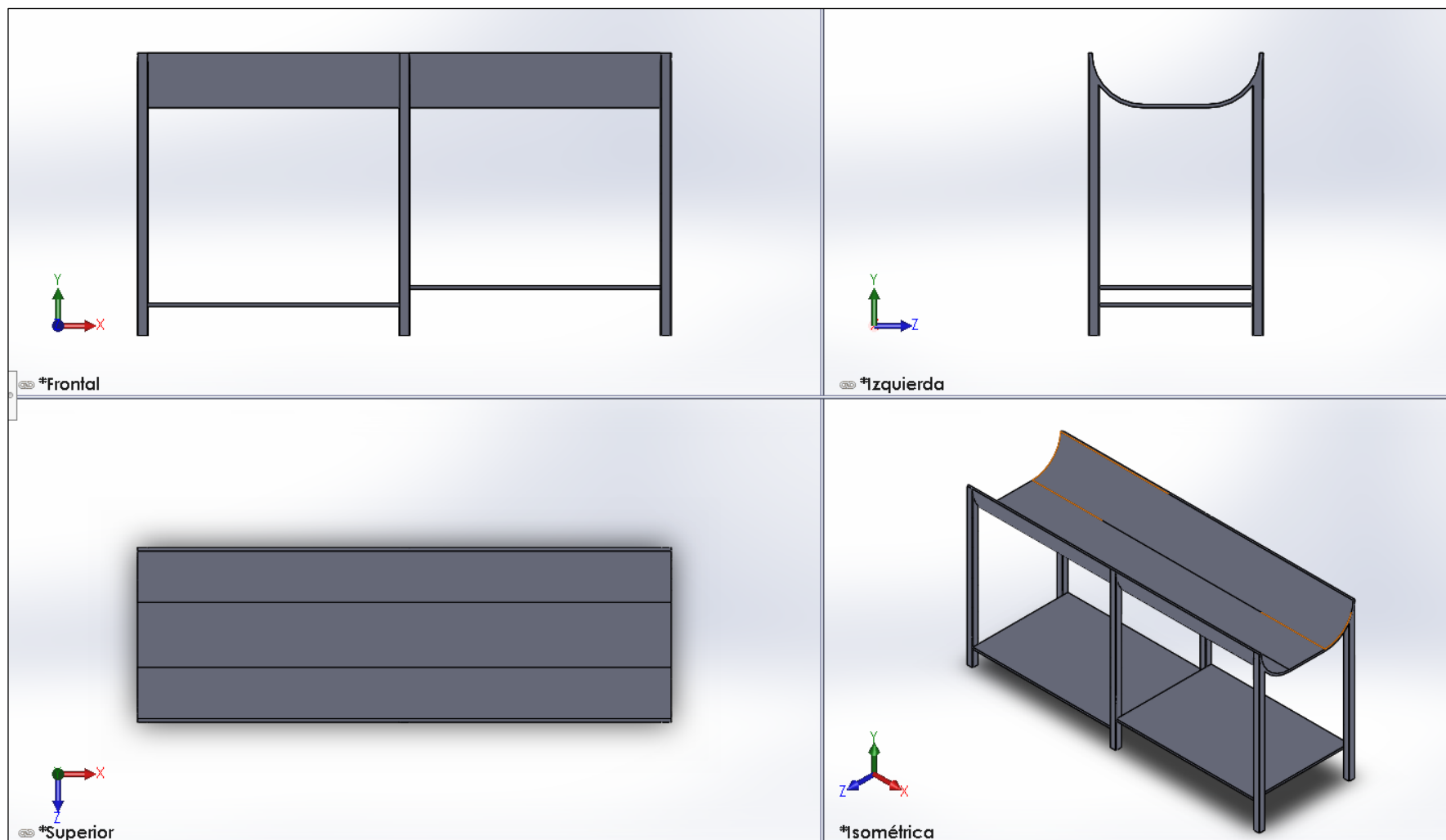
Soporte base de cilindro para eje extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 22

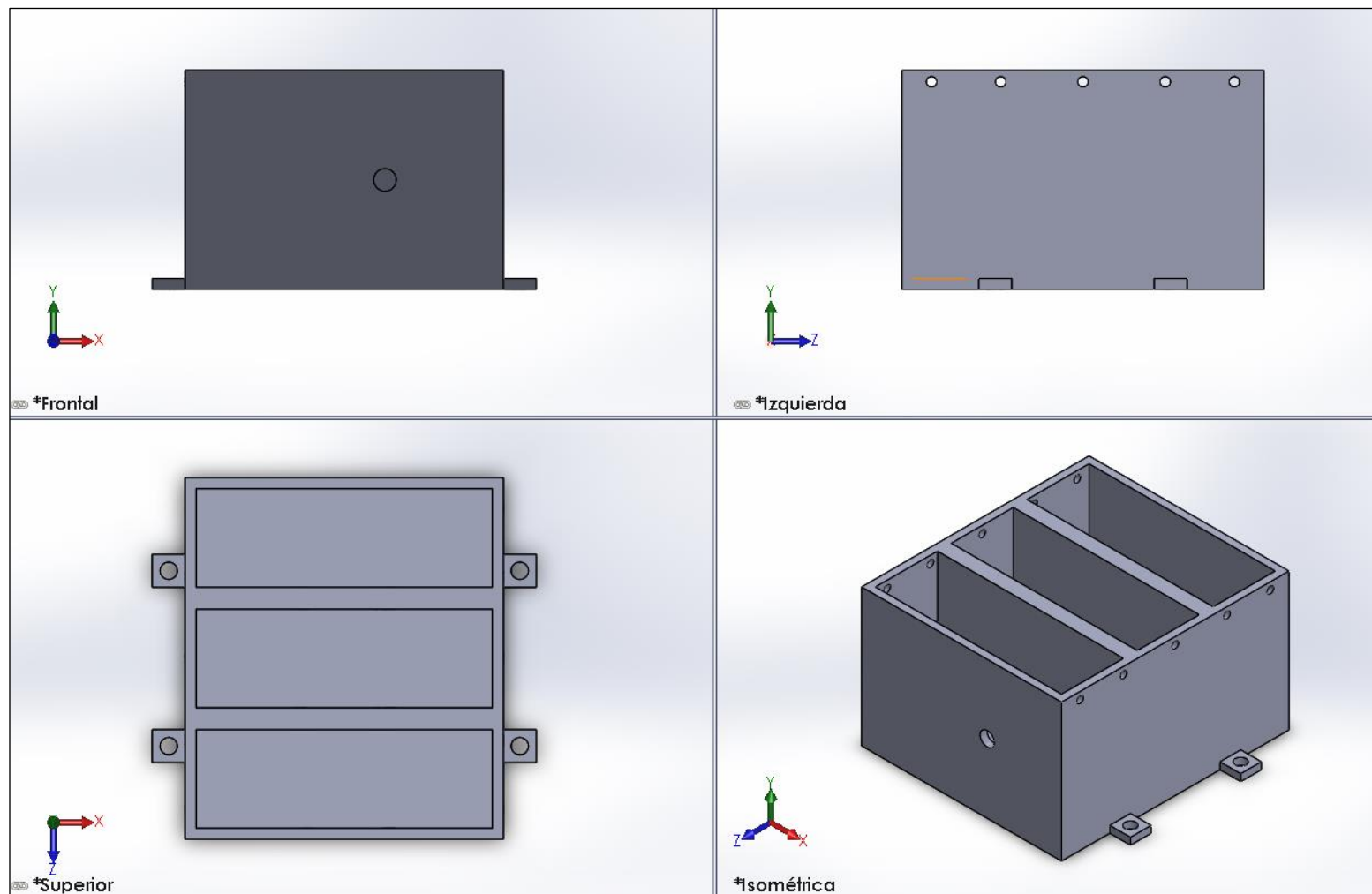
Soporte base de cilindro para eje de mezclado



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 23

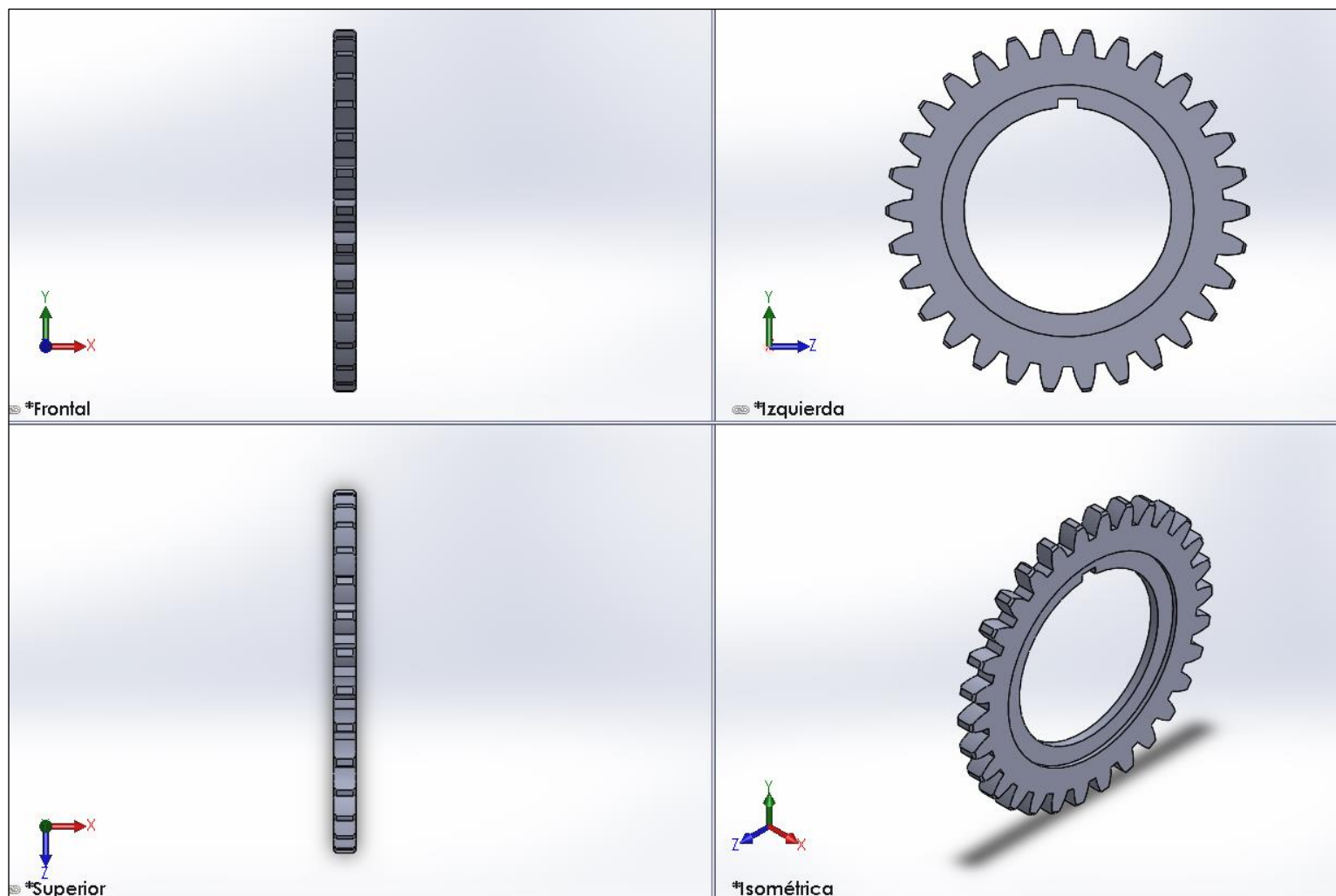
Caja reductora de velocidad portaengranajes



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 24

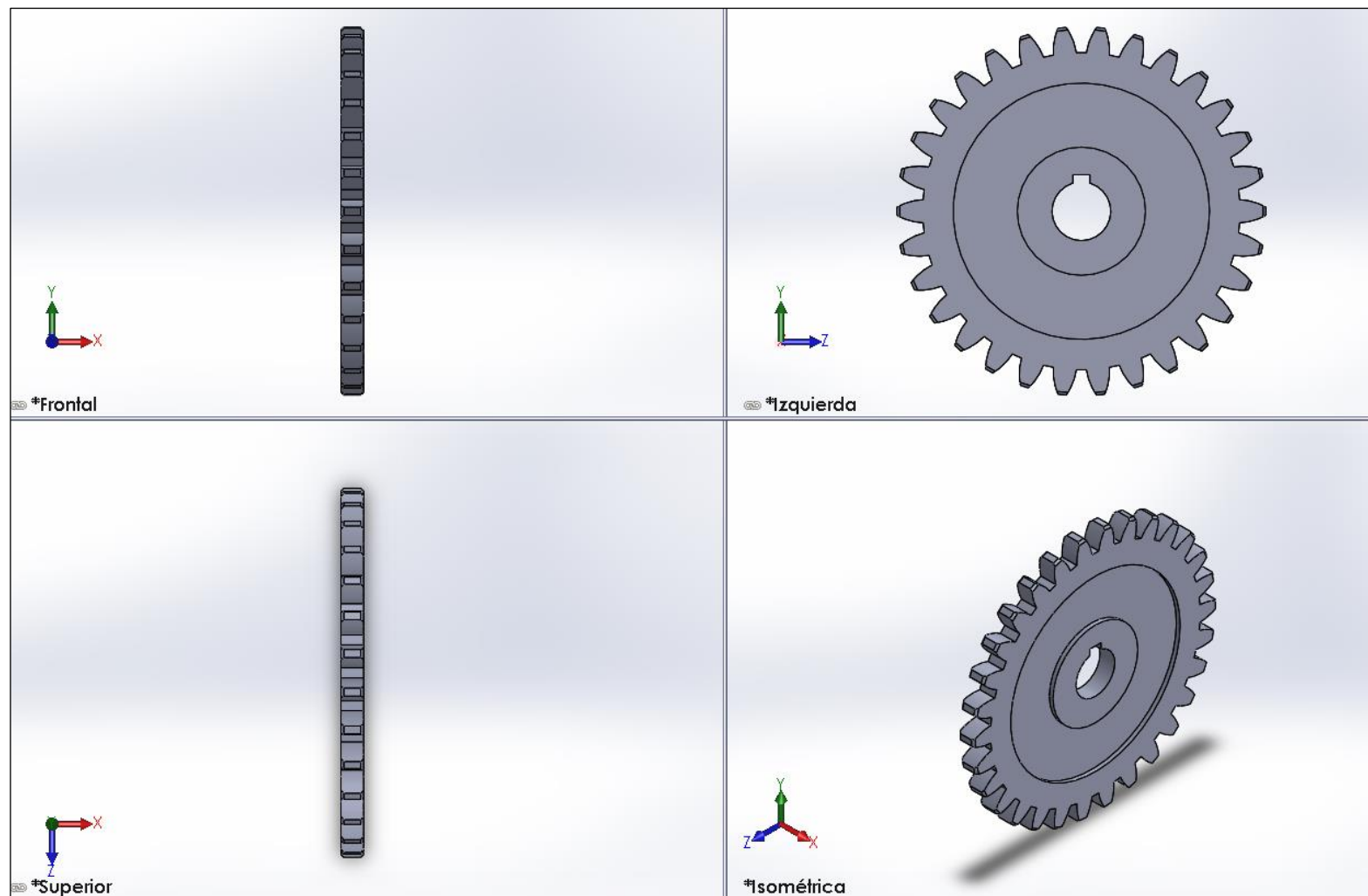
Catarina de 121.5 mm de diámetro para eje mezclador



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

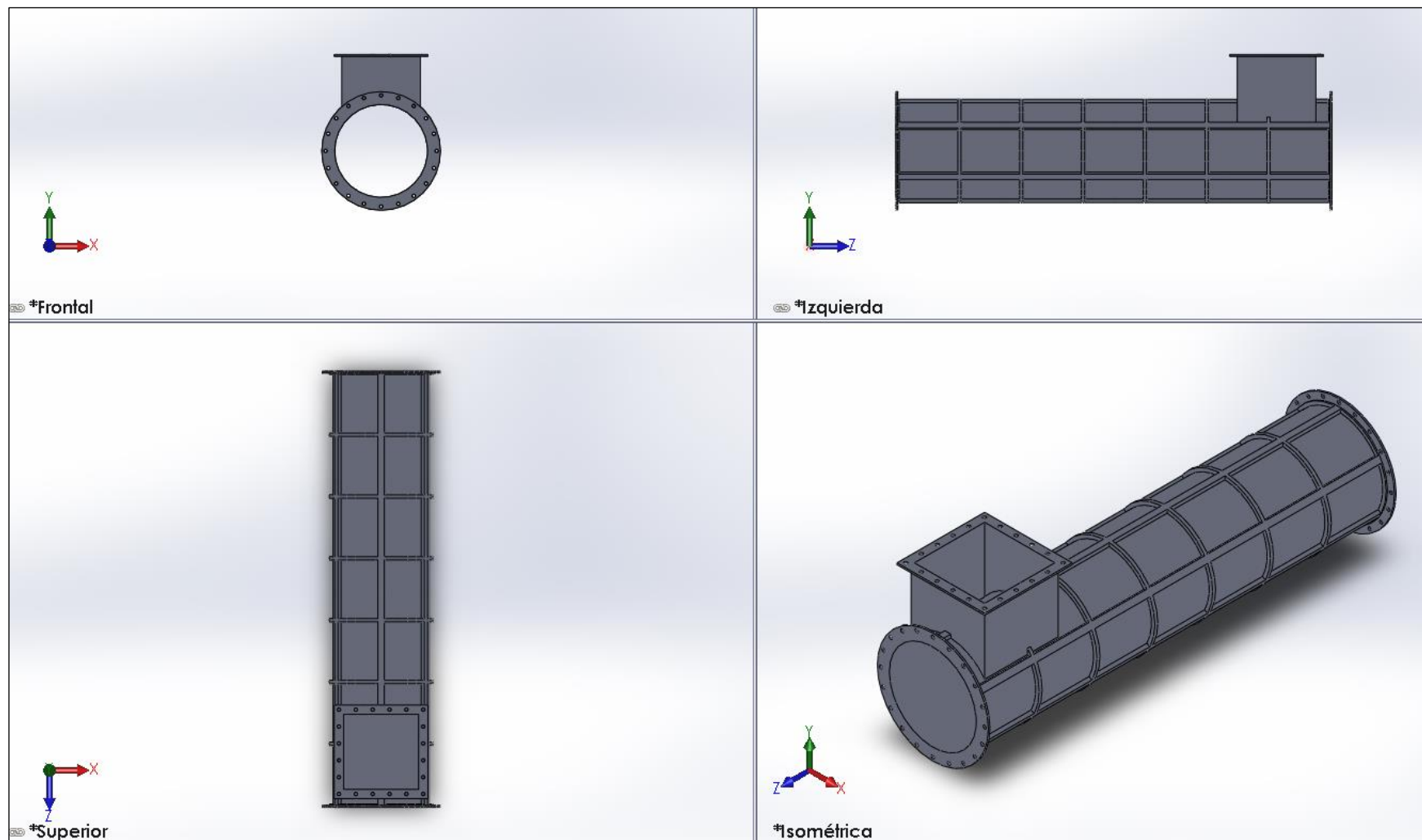
Figura 25

Catarina para eje extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

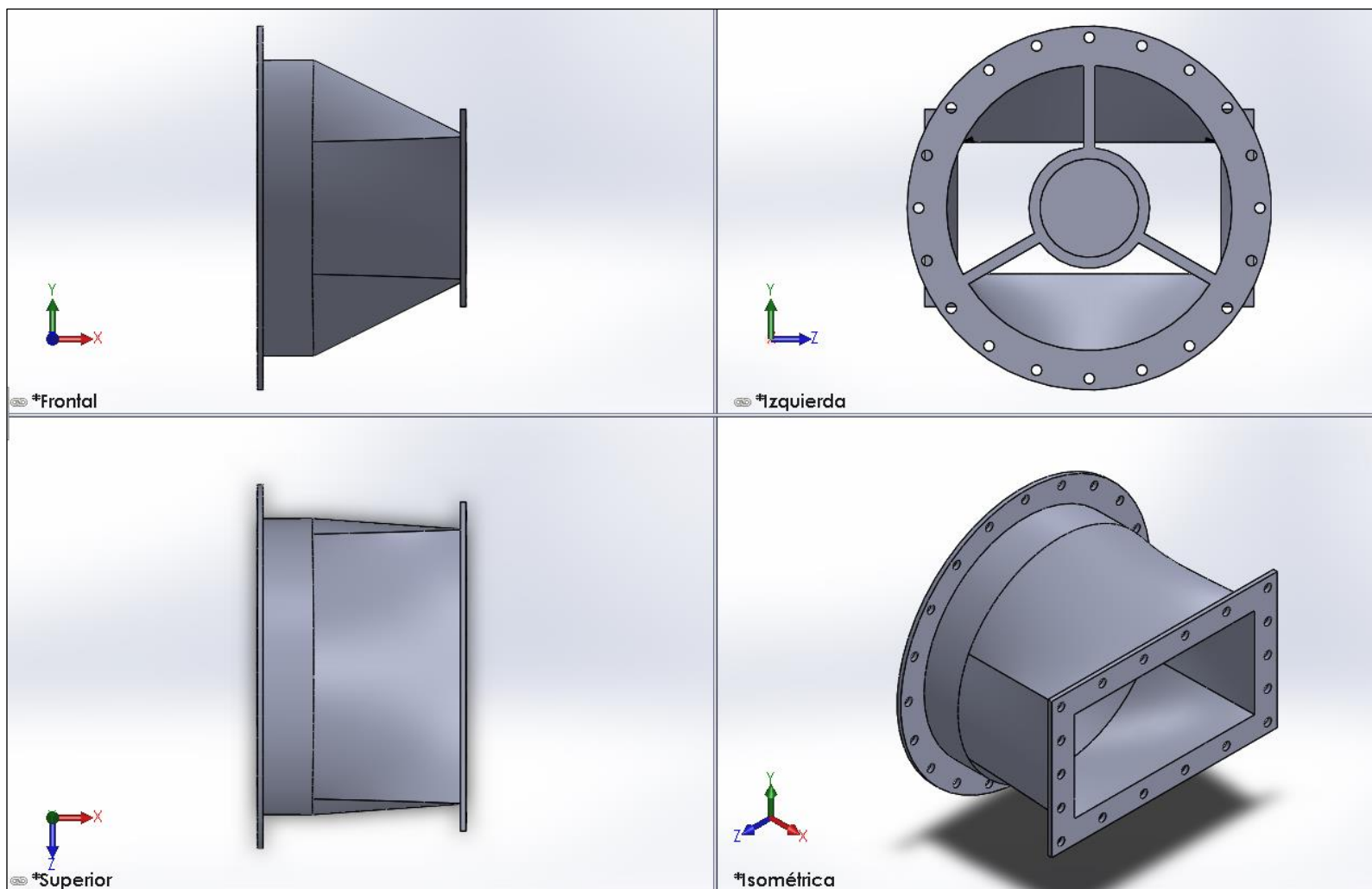
Figura 26
Cilindro para eje extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 27

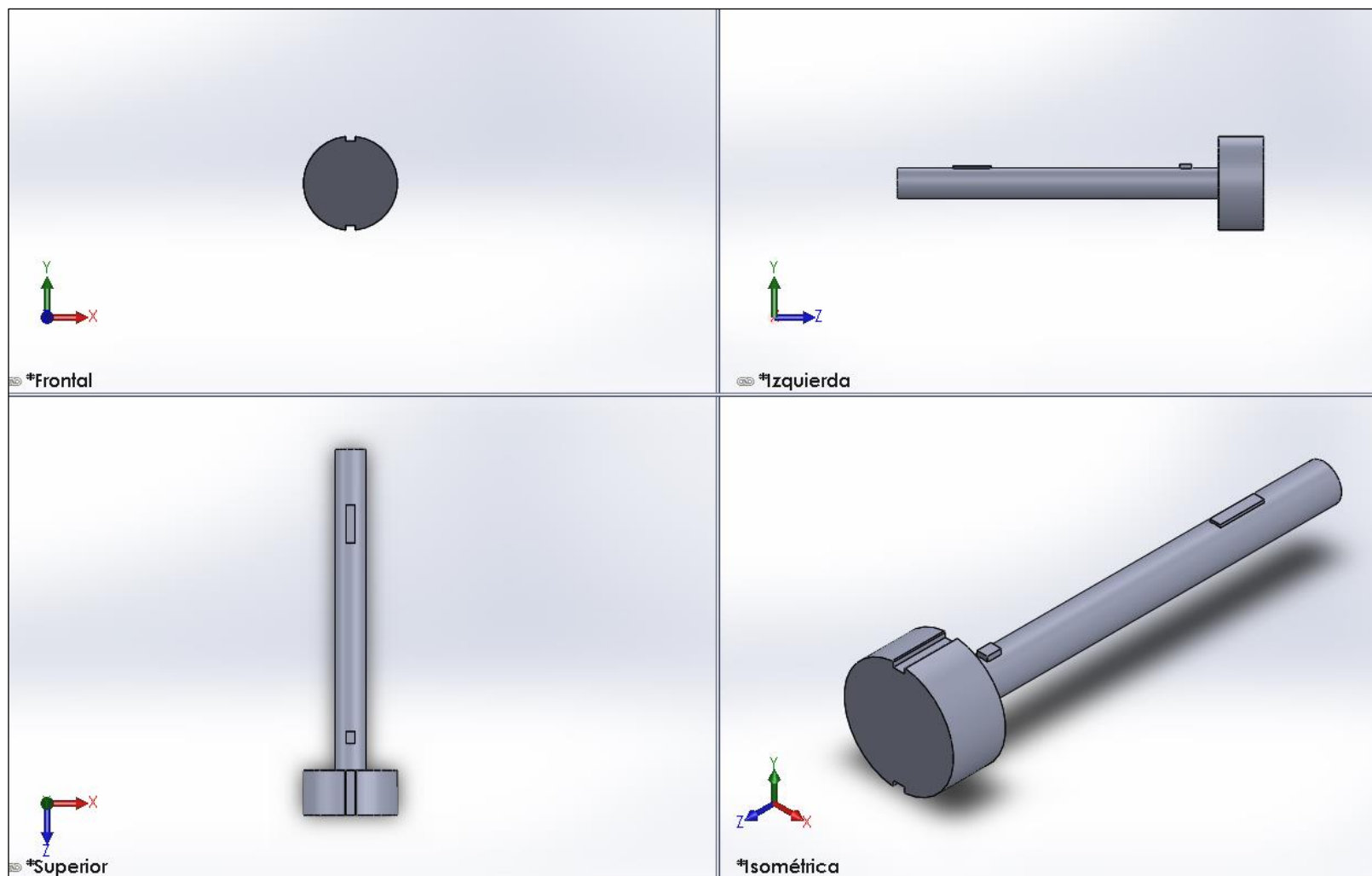
Conector entre extrusor y molde de ladrillo



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 28

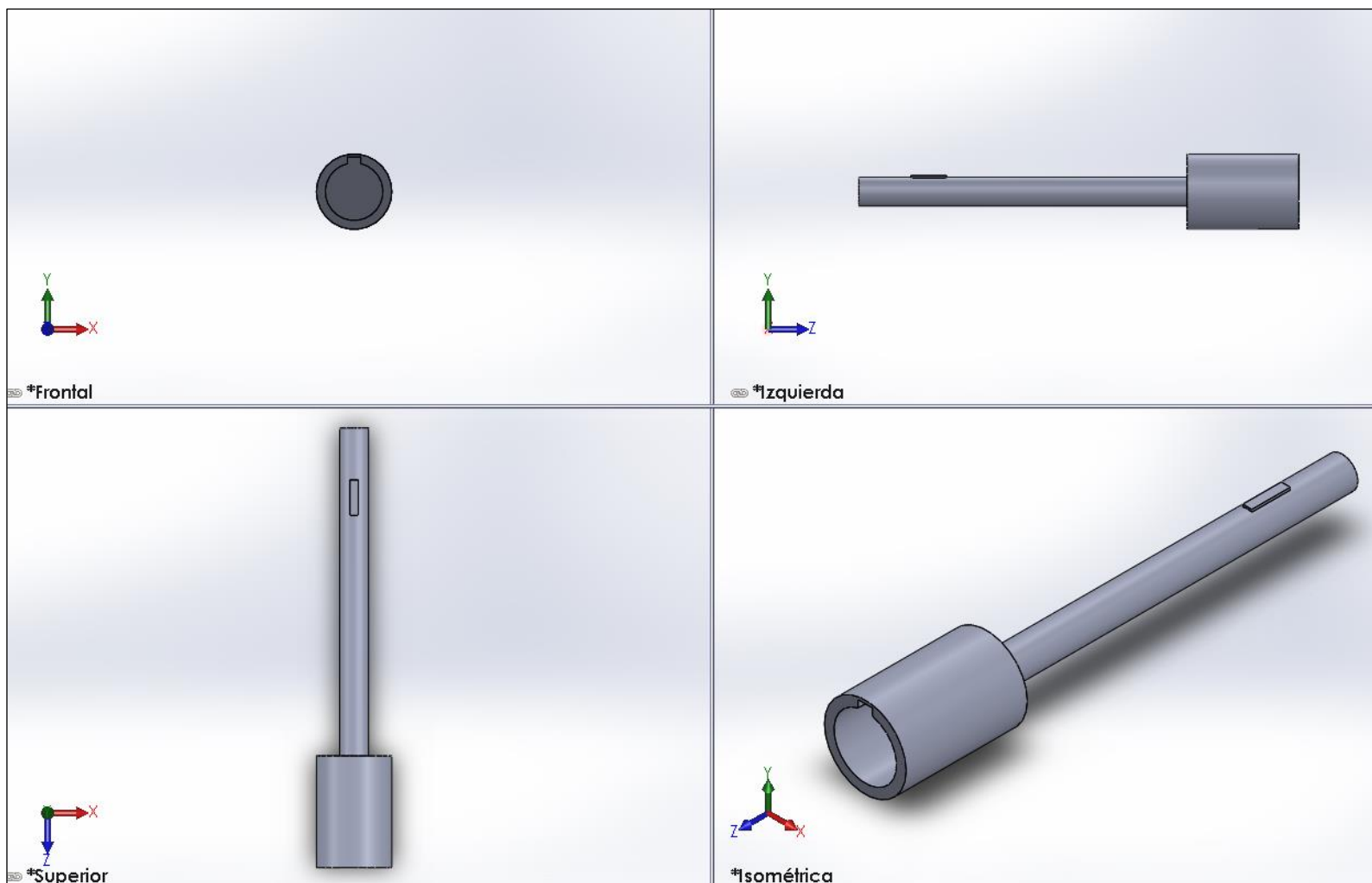
Eje de 20.64 mm de diámetro para engranajes al extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 29

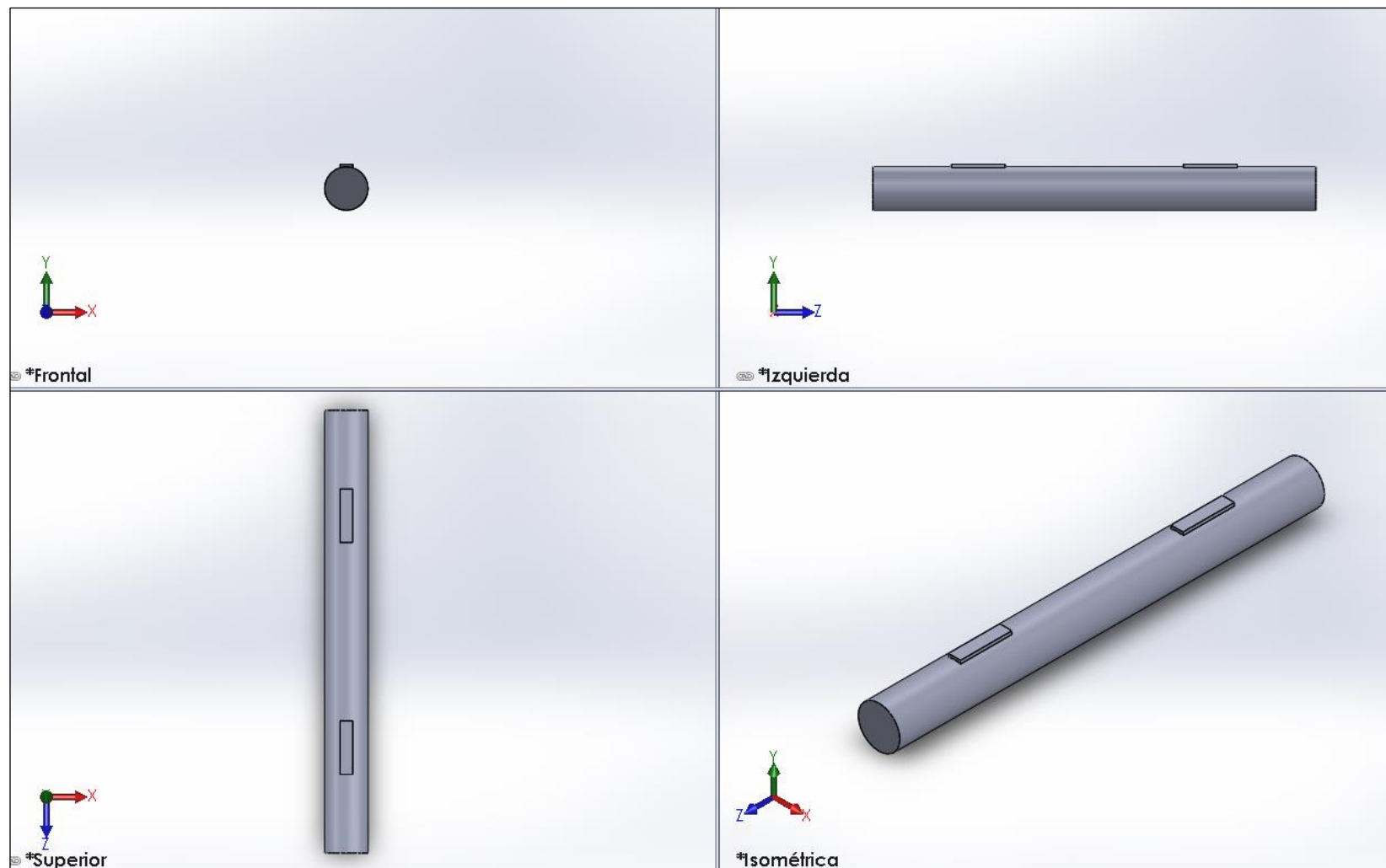
Eje de 20.64 mm de diámetro para engranajes al motor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

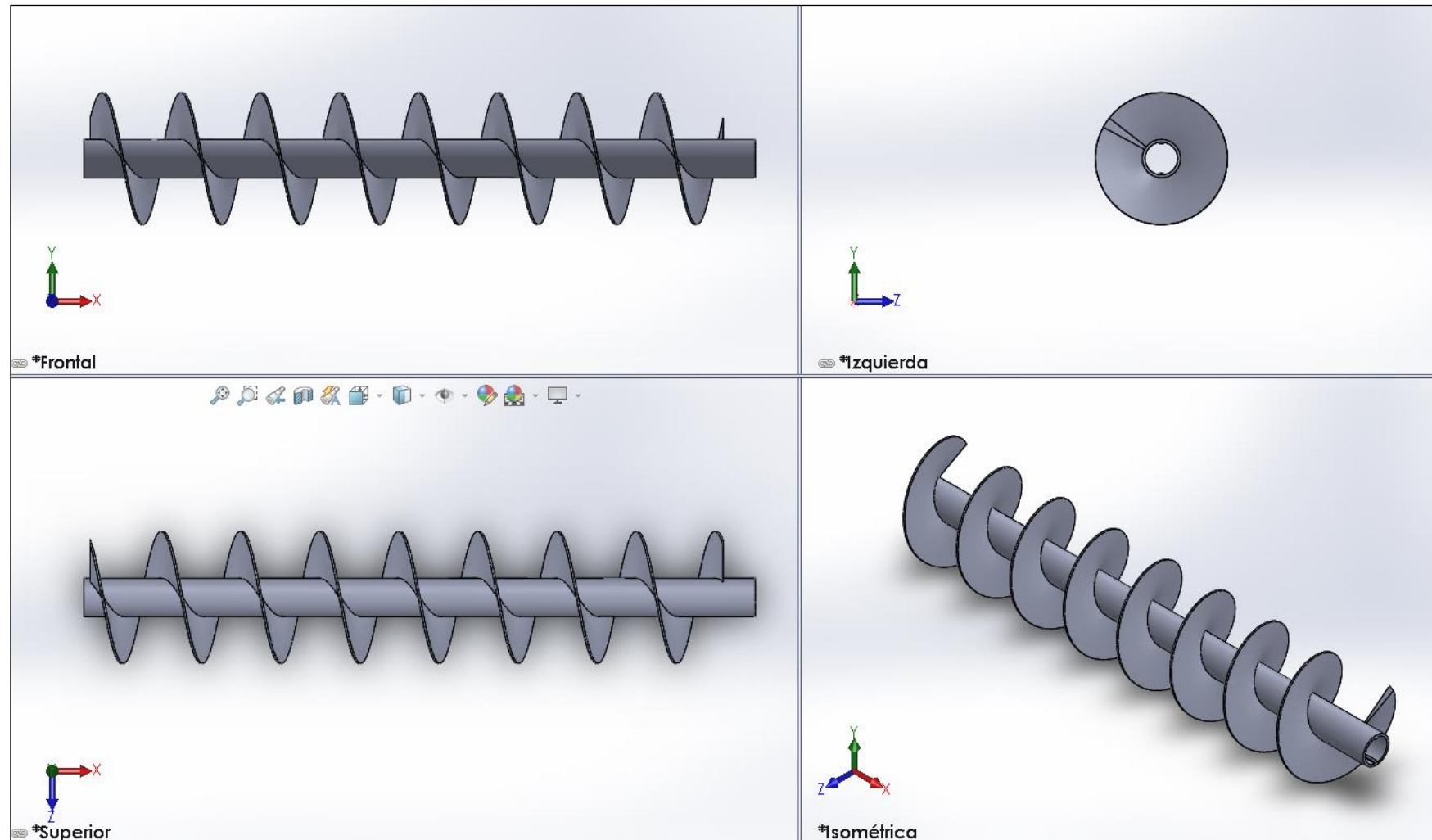
Figura 30

Eje de 20.64 mm de diámetro para engranajes



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

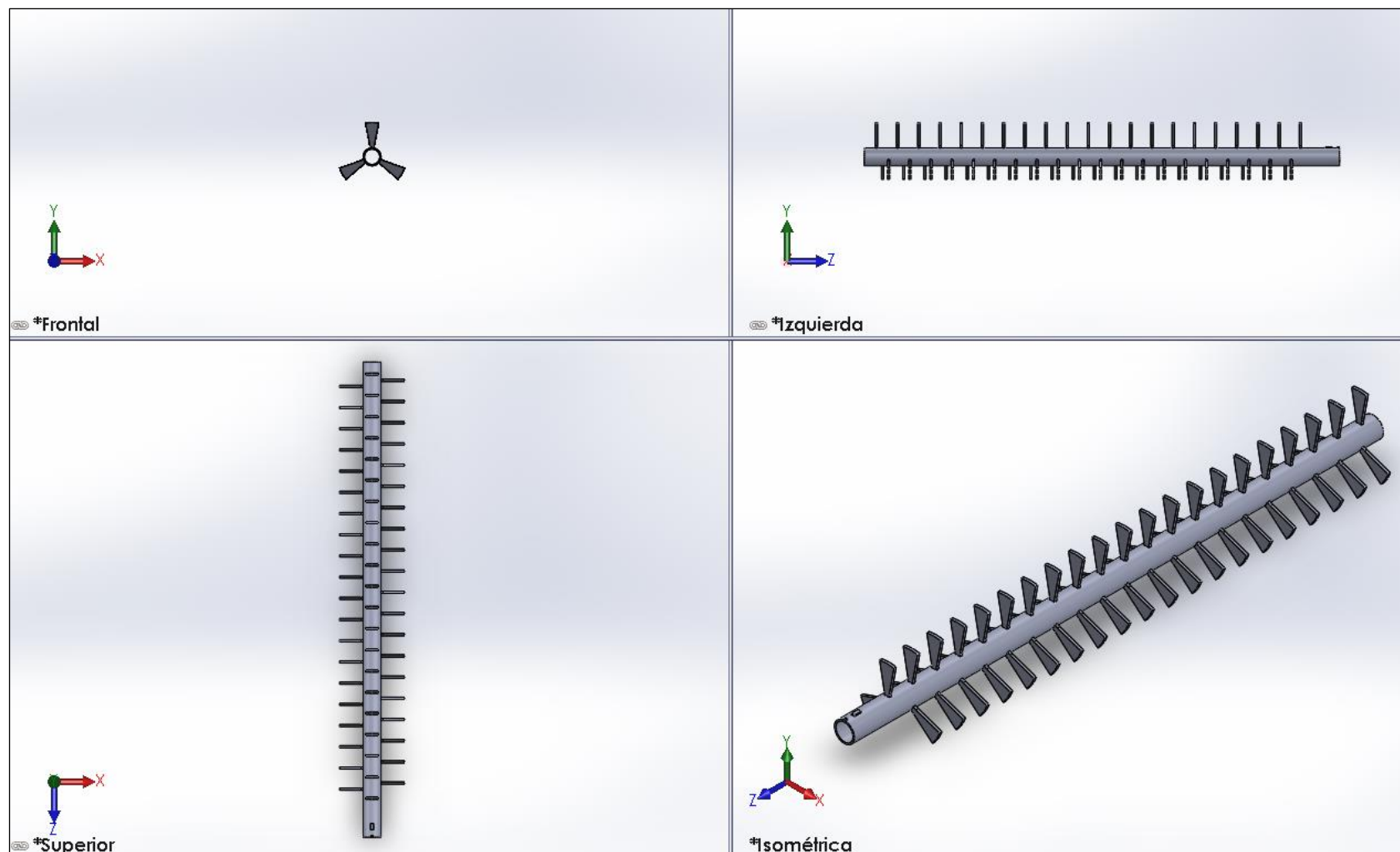
Figura 31
Eje extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 32

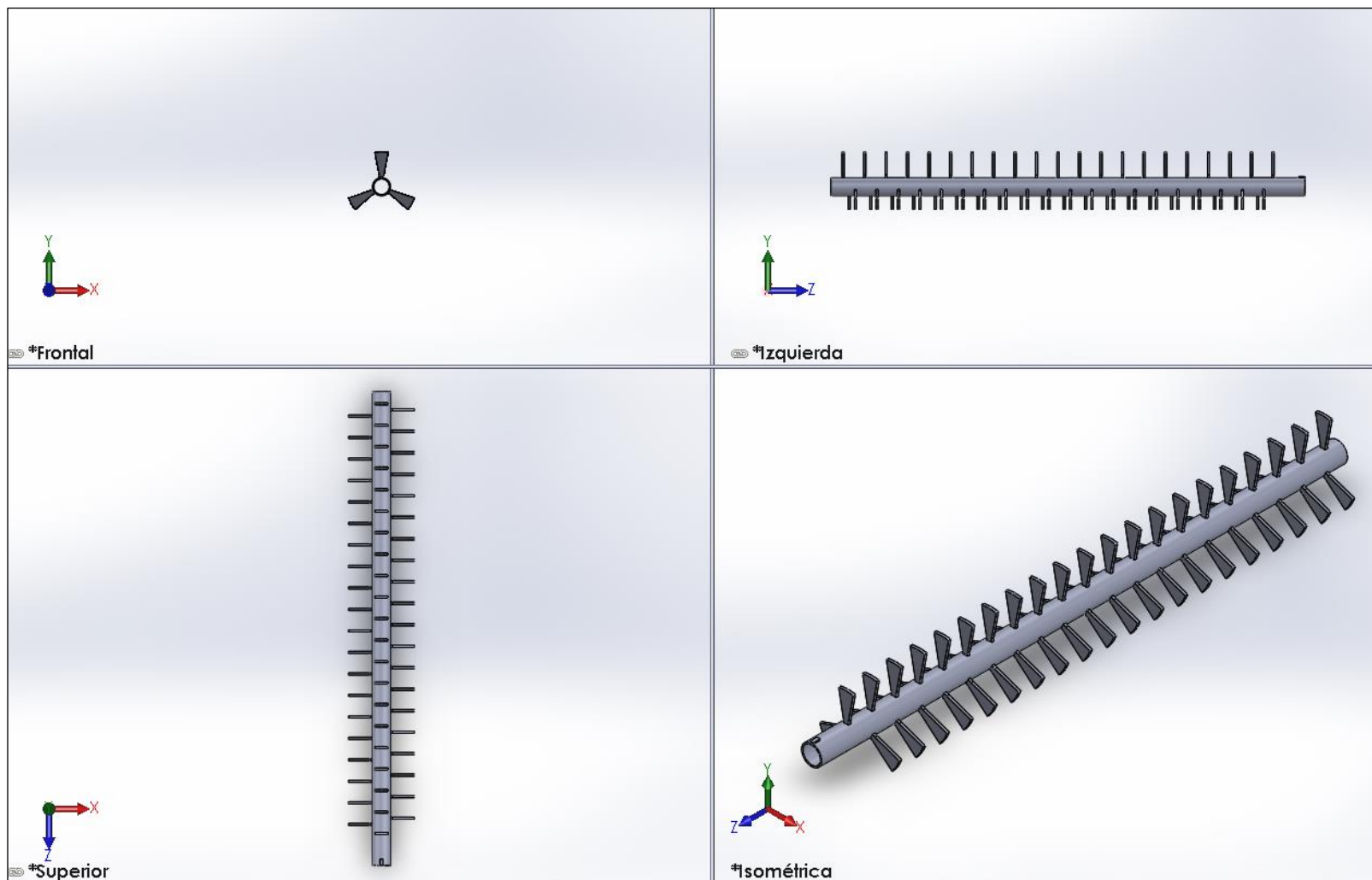
Eje mezclador 1



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 33

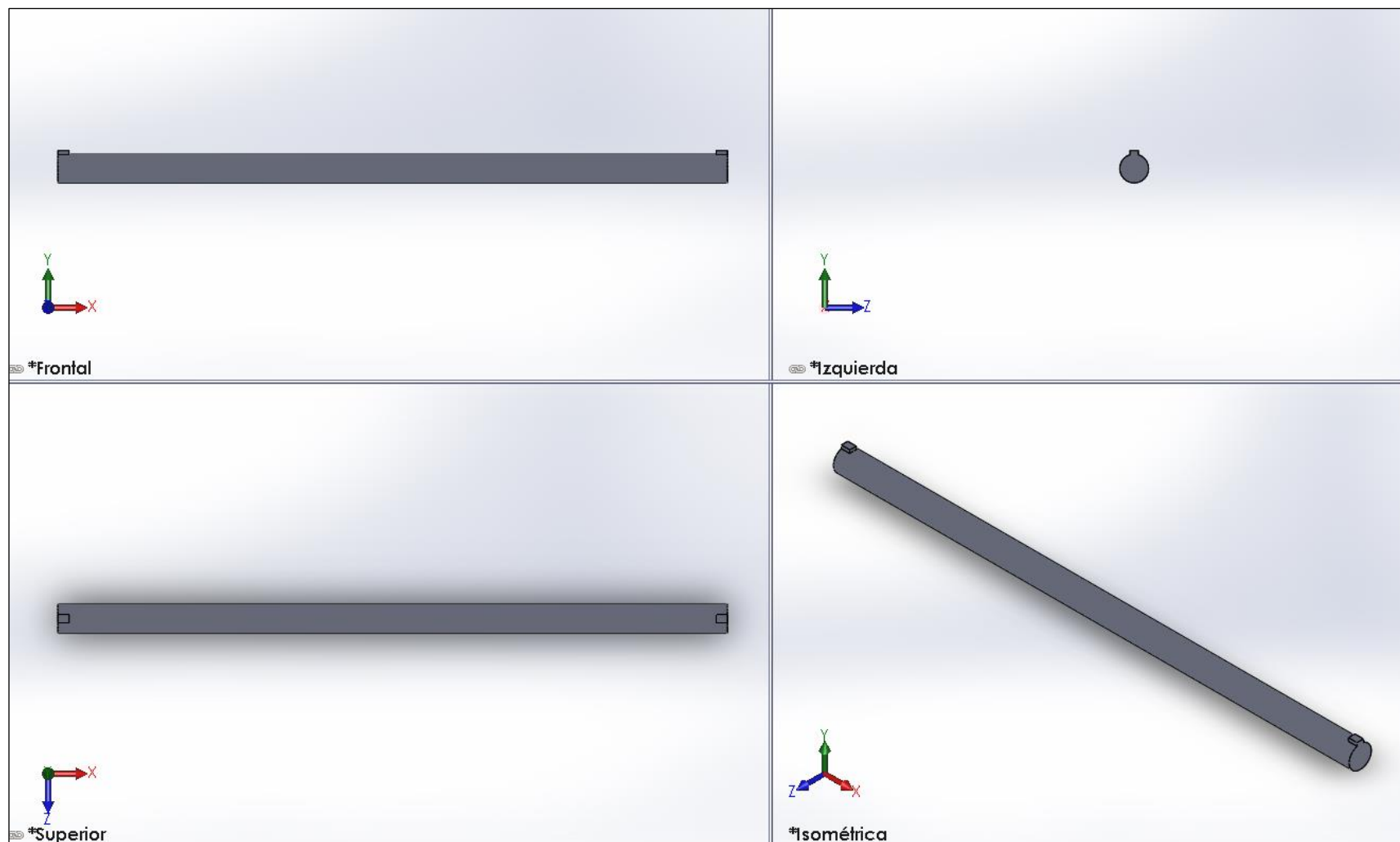
Eje mezclador 2



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 34

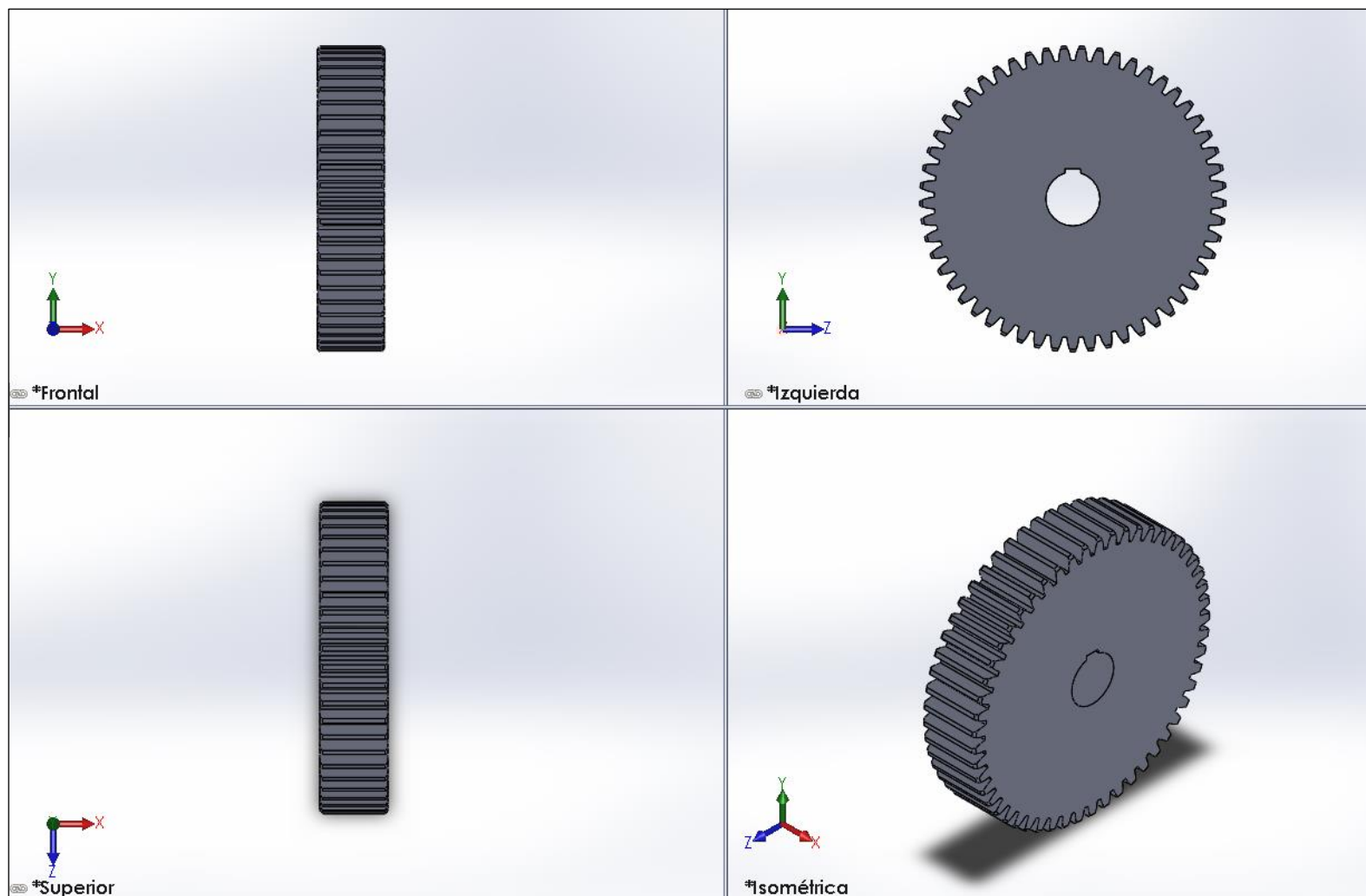
Eje transmisor a eje mezclador



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 35

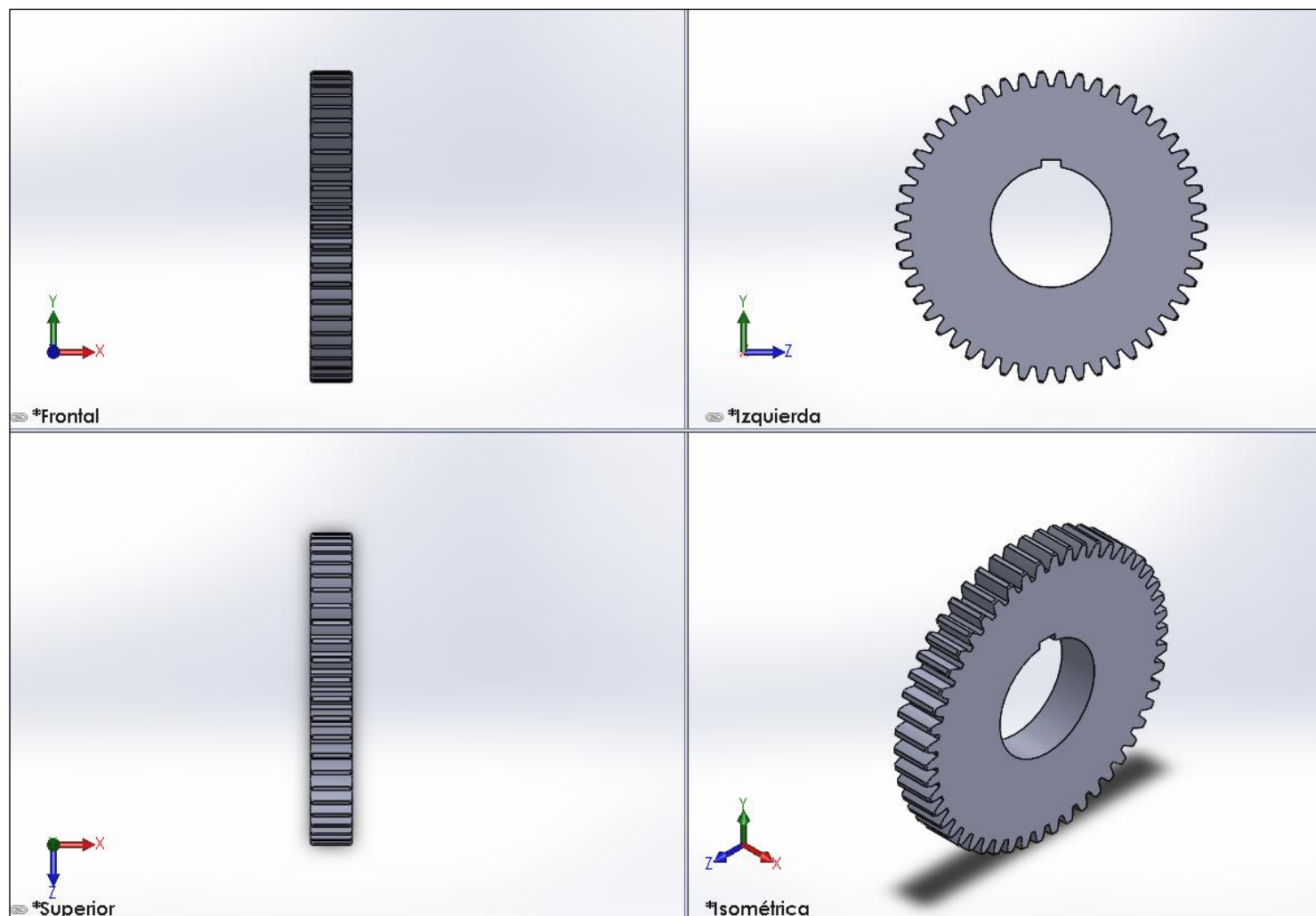
Engranaje de 53 dientes de 112.36 mm de diámetro



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 36

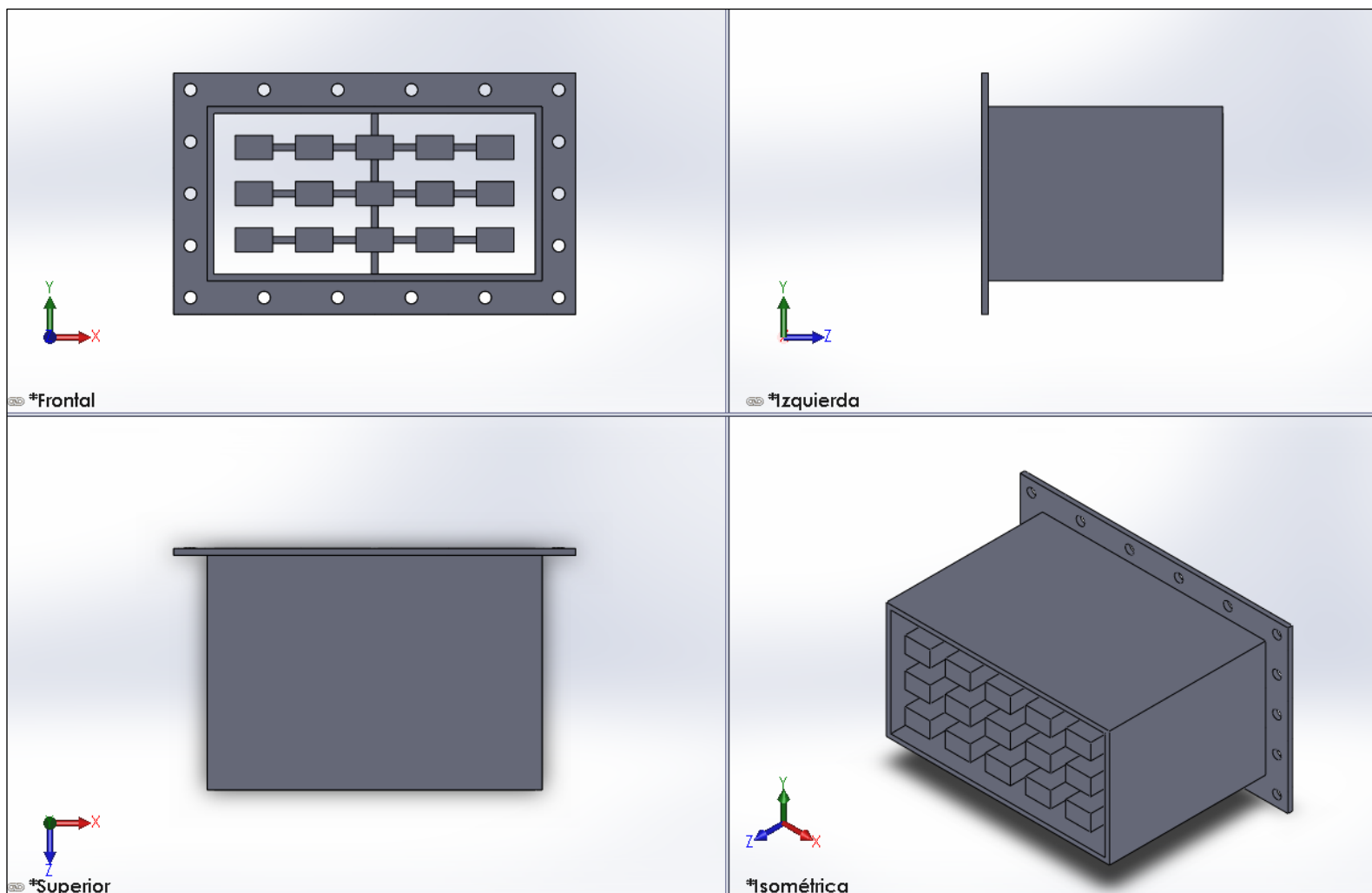
Engrane para eje de mezclado



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 37

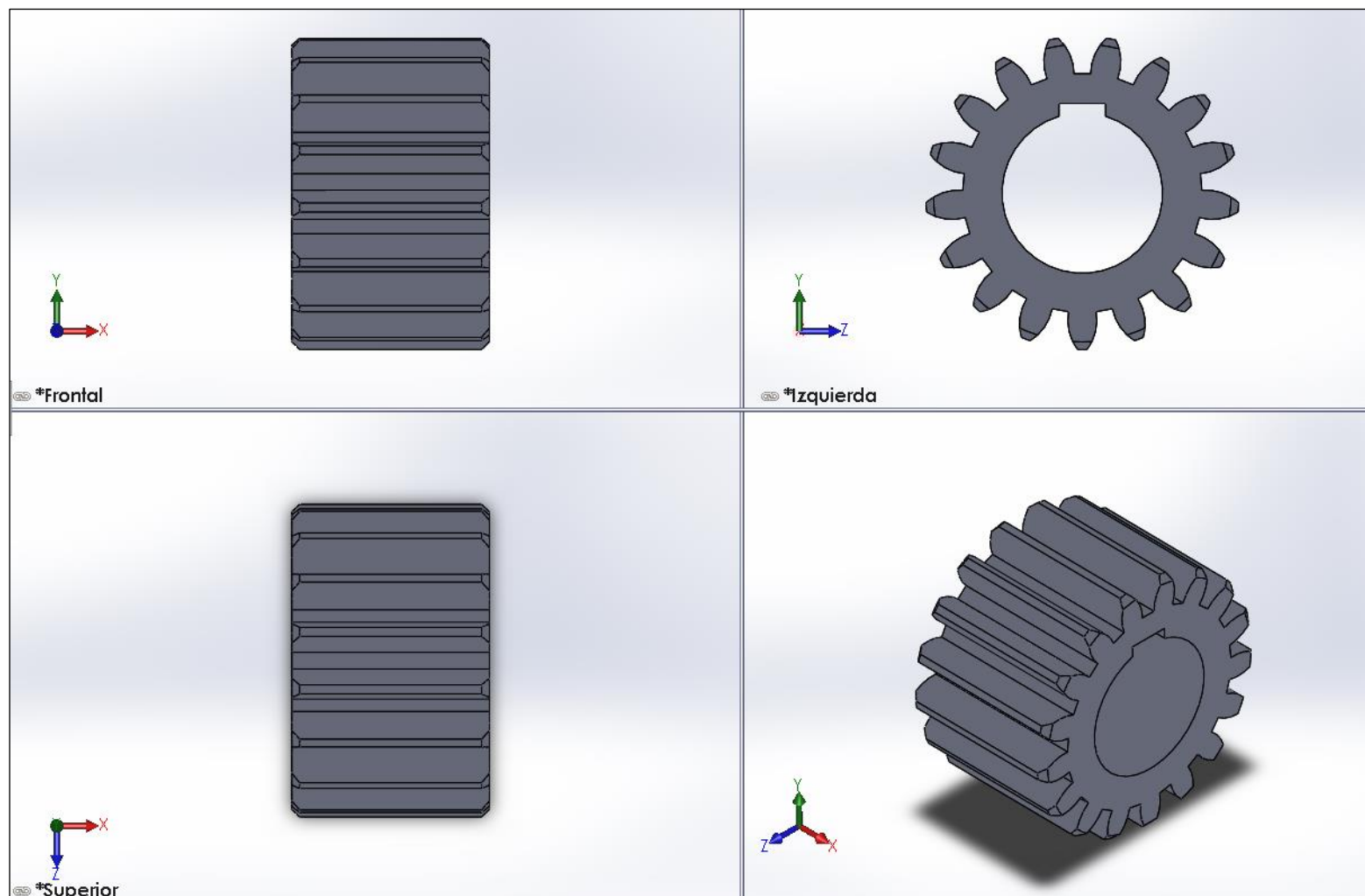
Molde de ladrillo portante



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

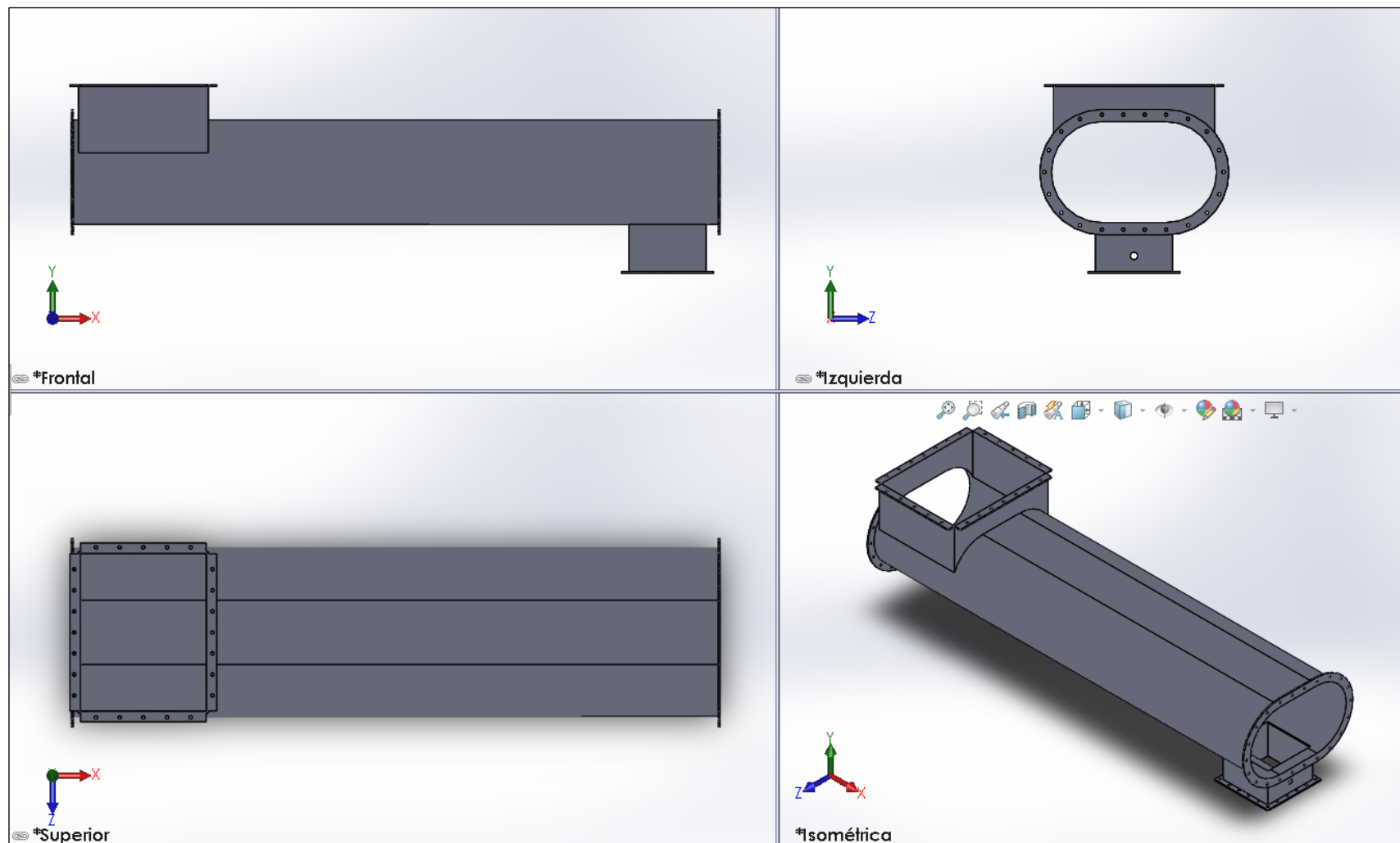
Figura 38

Piñón de 17 dientes de 36.04 mm de diámetro



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

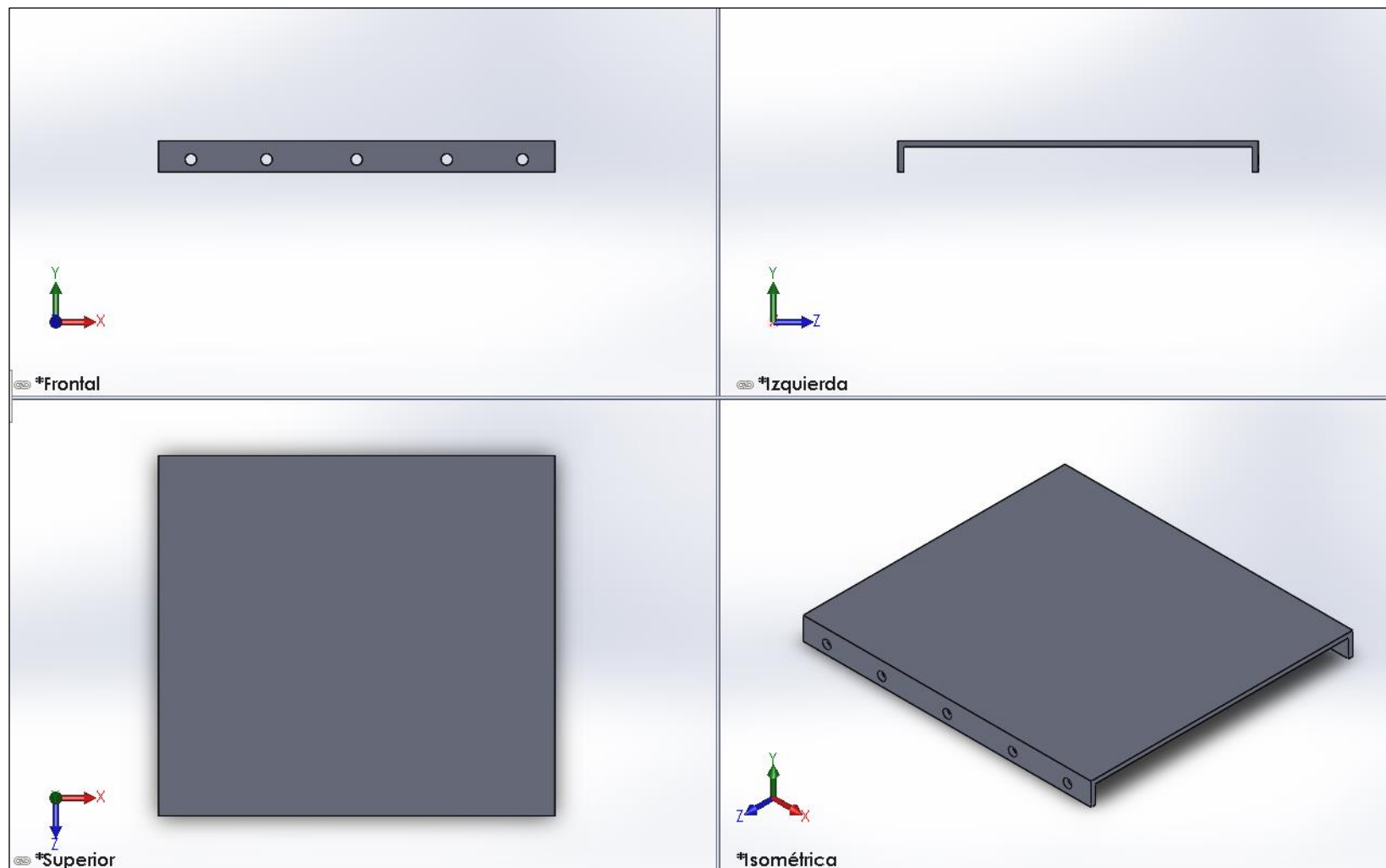
Figura 39
Tanque mezclador



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 40

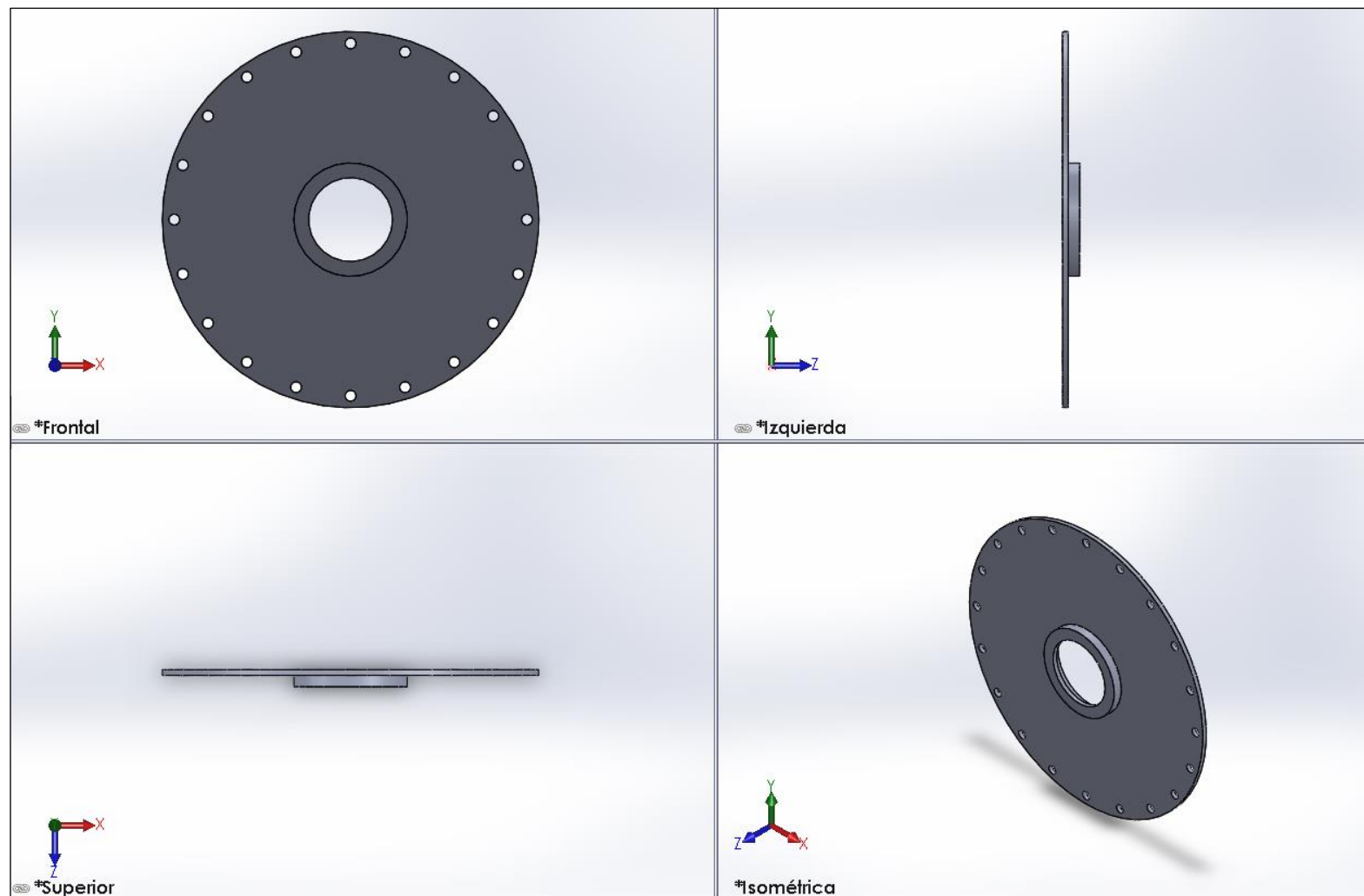
Tapa para caja portaengranajes



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 41

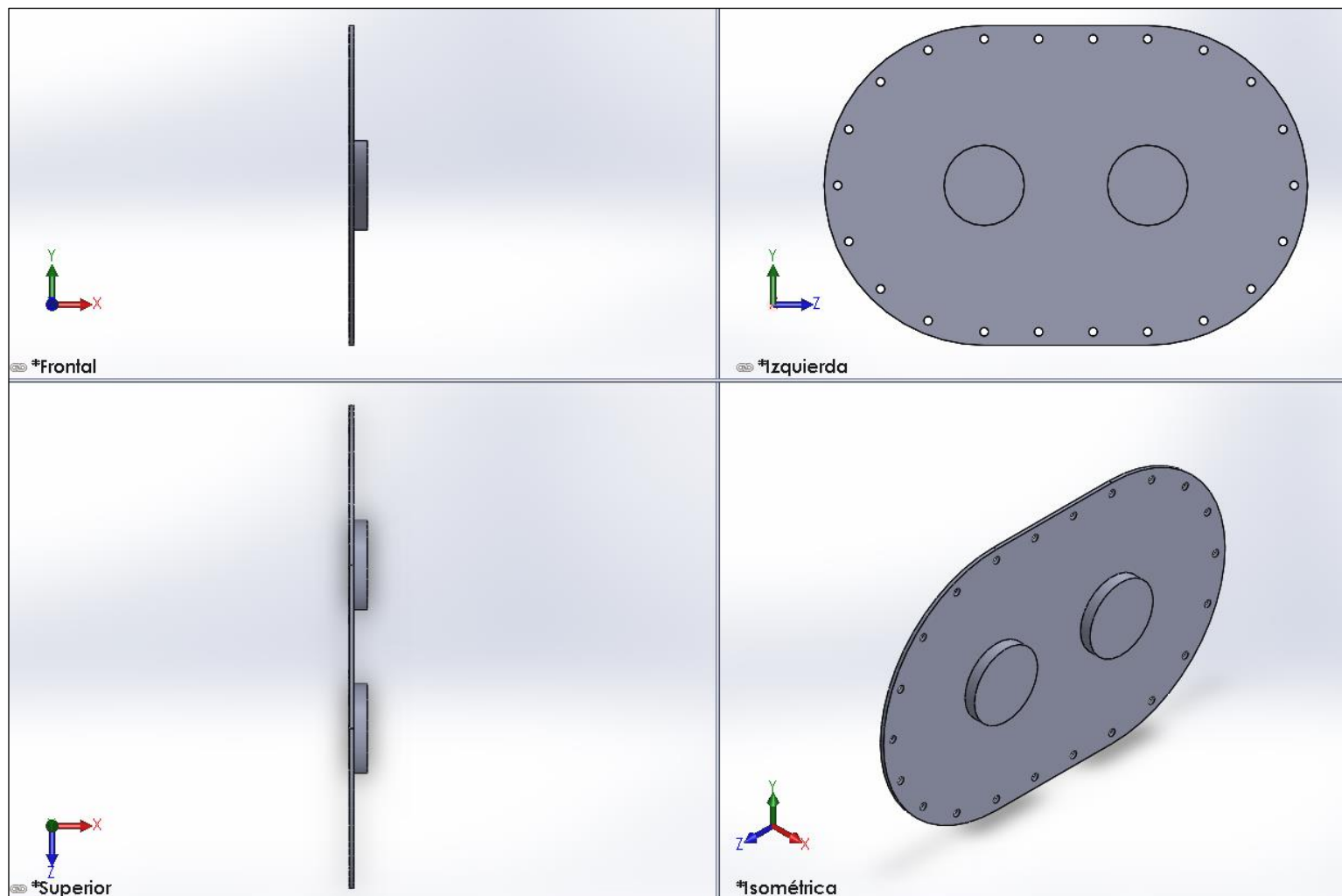
Tapa cilindro mezclador



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 42

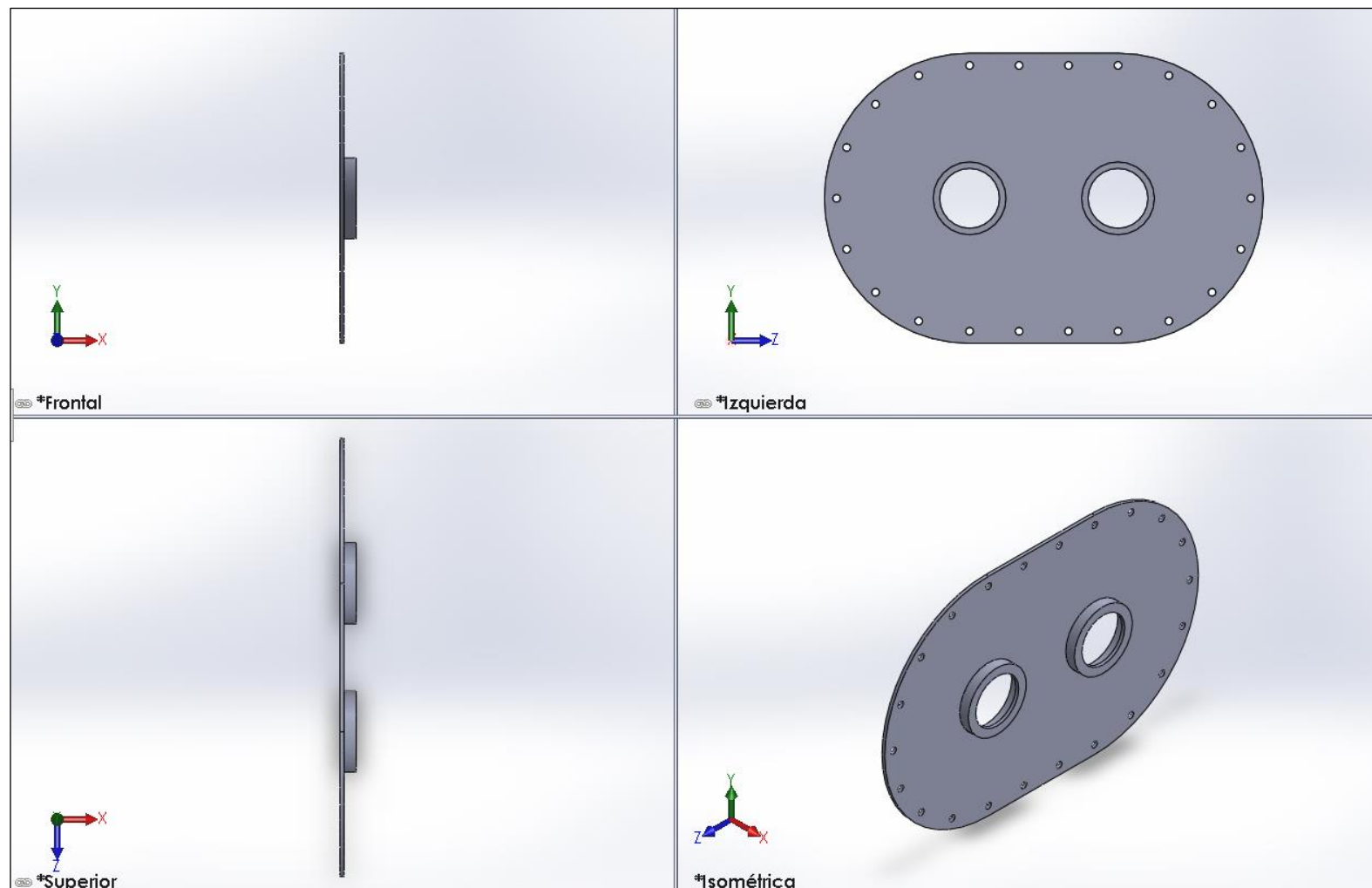
Tapa 1 para tanque mezclador



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

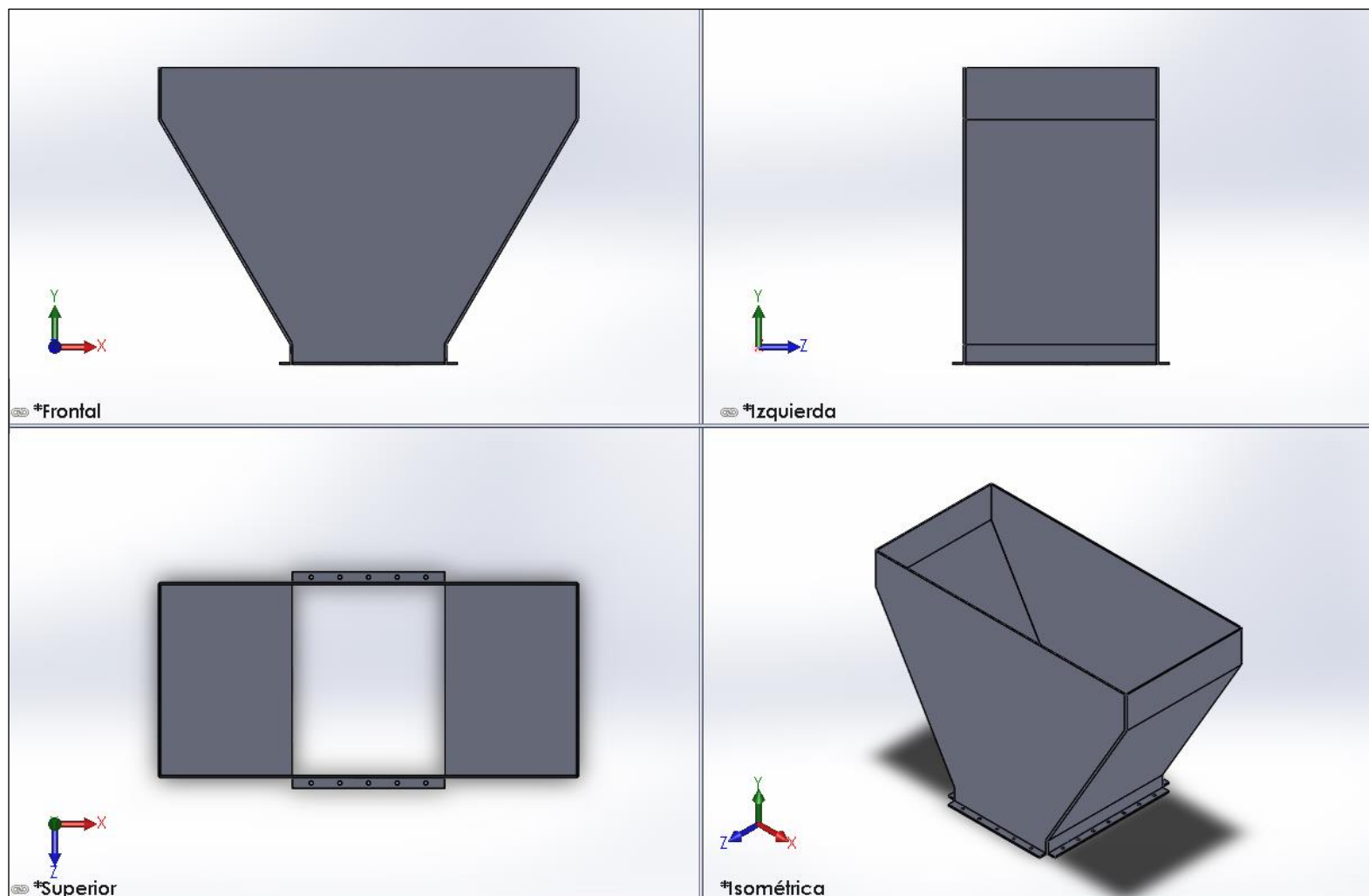
Figura 43

Tapa 2 para tanque mezclador



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

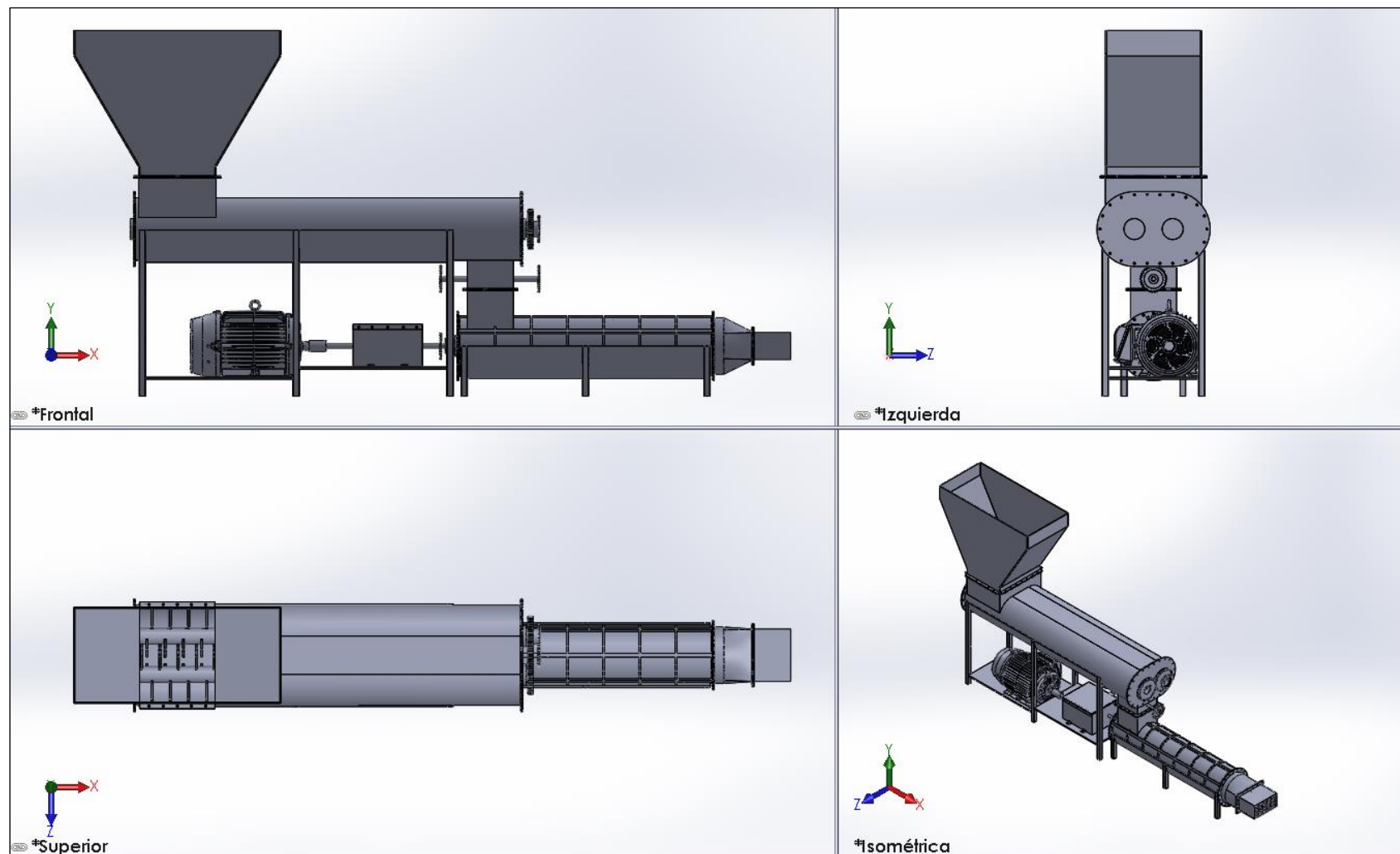
Figura 44
Tolva de alimentación



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 45

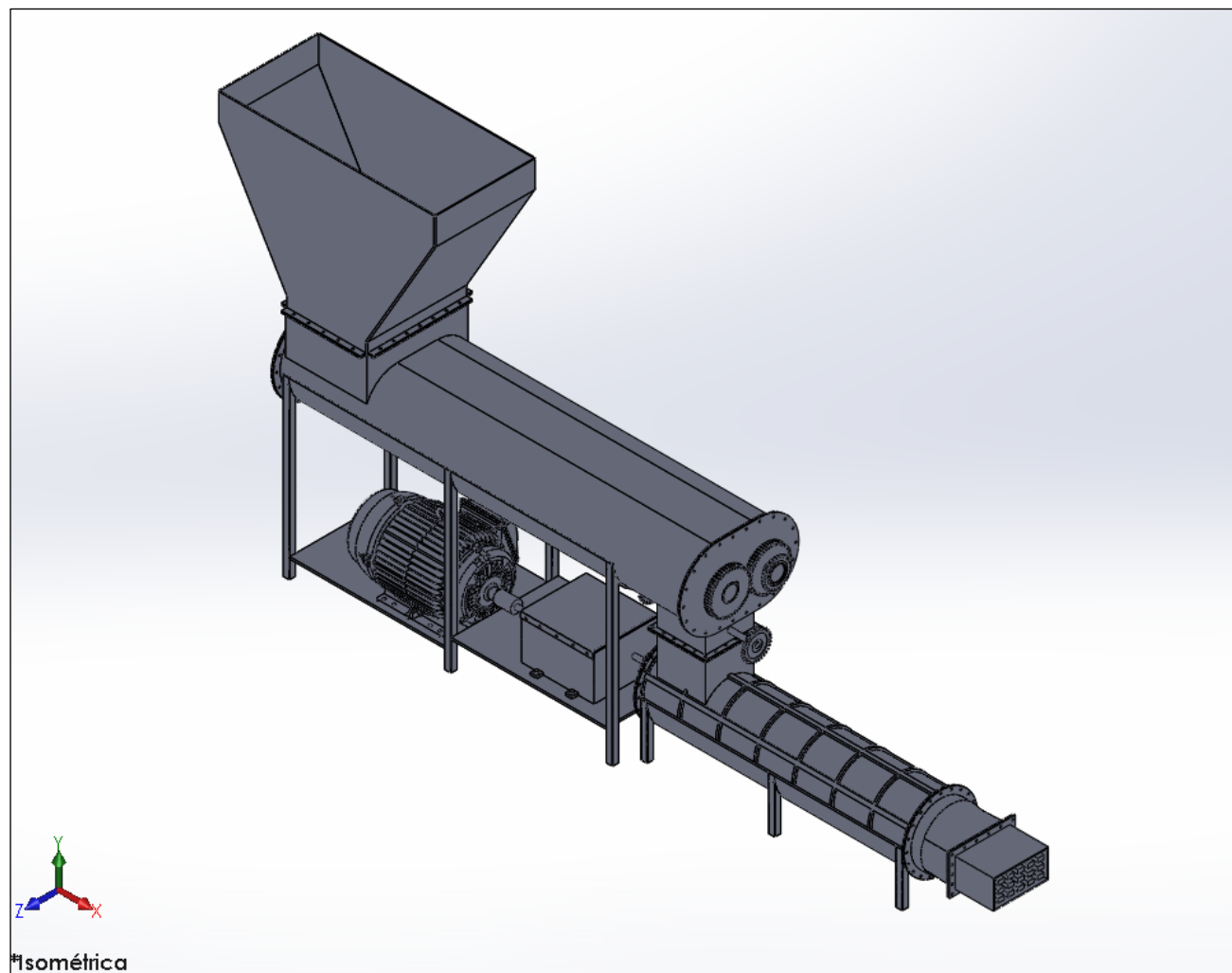
Vistas al ensamblar los componentes y elementos que conforman al sistema semiautomatizado moldeador de ladrillo



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 46

Vista isométrica obtenida de realizar el ensamblaje total para obtener el mecanismo moldeador de ladrillo



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Análisis estático de los elementos más importantes de la máquina extrusora semiautomática de ladrillo

Continuando con el desarrollo del estudio, ahora es necesario estimar las tensiones de Von Mises, deformaciones y factores de seguridad para los elementos más importantes y críticos que conforman la máquina extrusora semiautomática de ladrillo, mediante el uso del software SolidWorks 2018, detallándose seguidamente:

Análisis estático del eje extrusor de arcilla

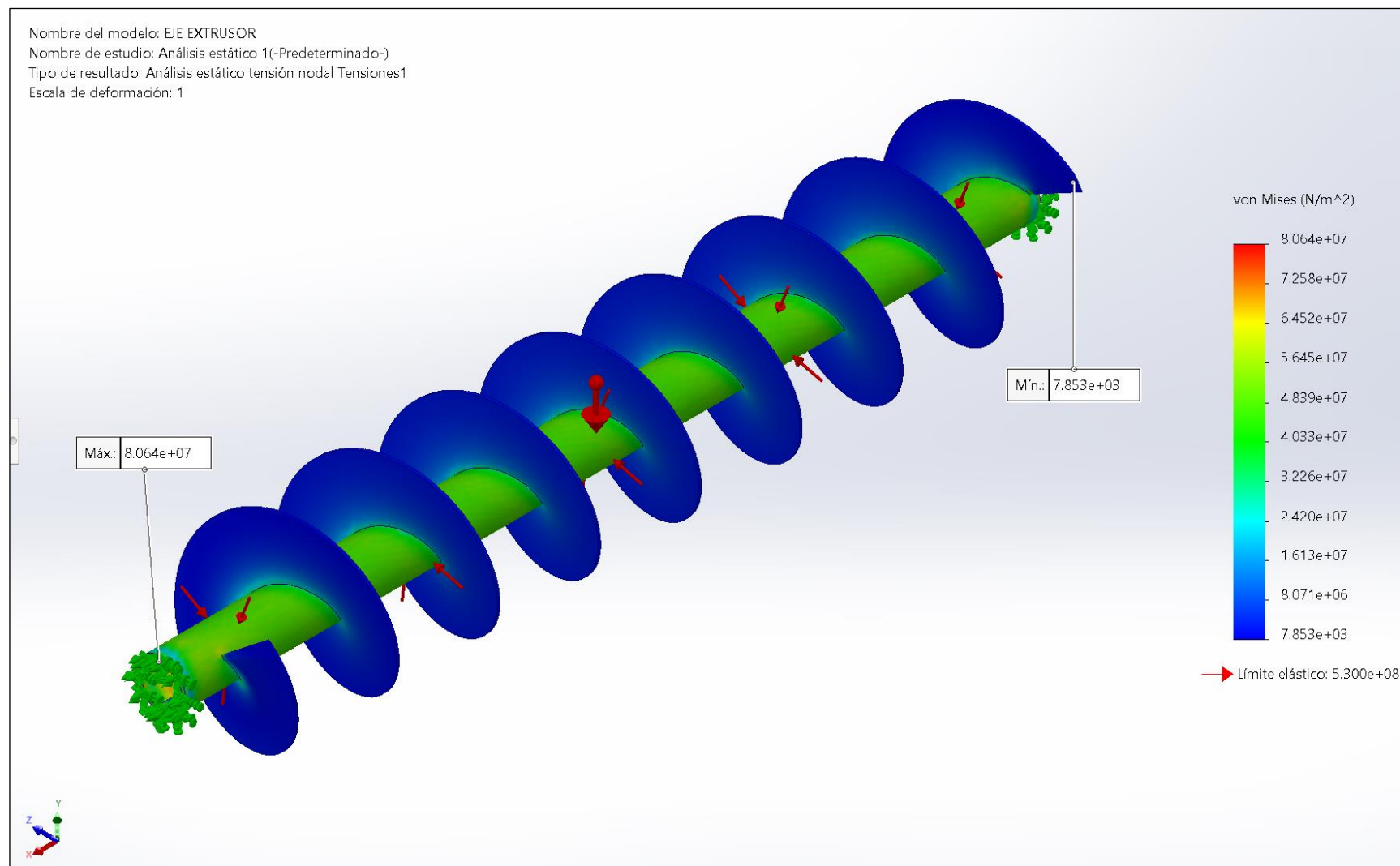
En la Figura 47 se aprecian los resultados del análisis estático realizado sobre el eje extrusor de arcilla, obteniéndose una tensión máxima de Von Mises de 80.64 MPa, la cual se mantiene por debajo del límite elástico del material, fijado en 530 MPa.

En la Figura 48 se visualizan los datos referentes a los desplazamientos del eje extrusor, registrándose un desplazamiento máximo de 0.05964 mm, valor que resulta prácticamente imperceptible para el ojo humano.

En la Figura 49 se muestran los factores de seguridad derivados del análisis estático del eje extrusor de arcilla, alcanzándose un mínimo de 6.572, o 6.6 al realizar el redondeo correspondiente.

Figura 47

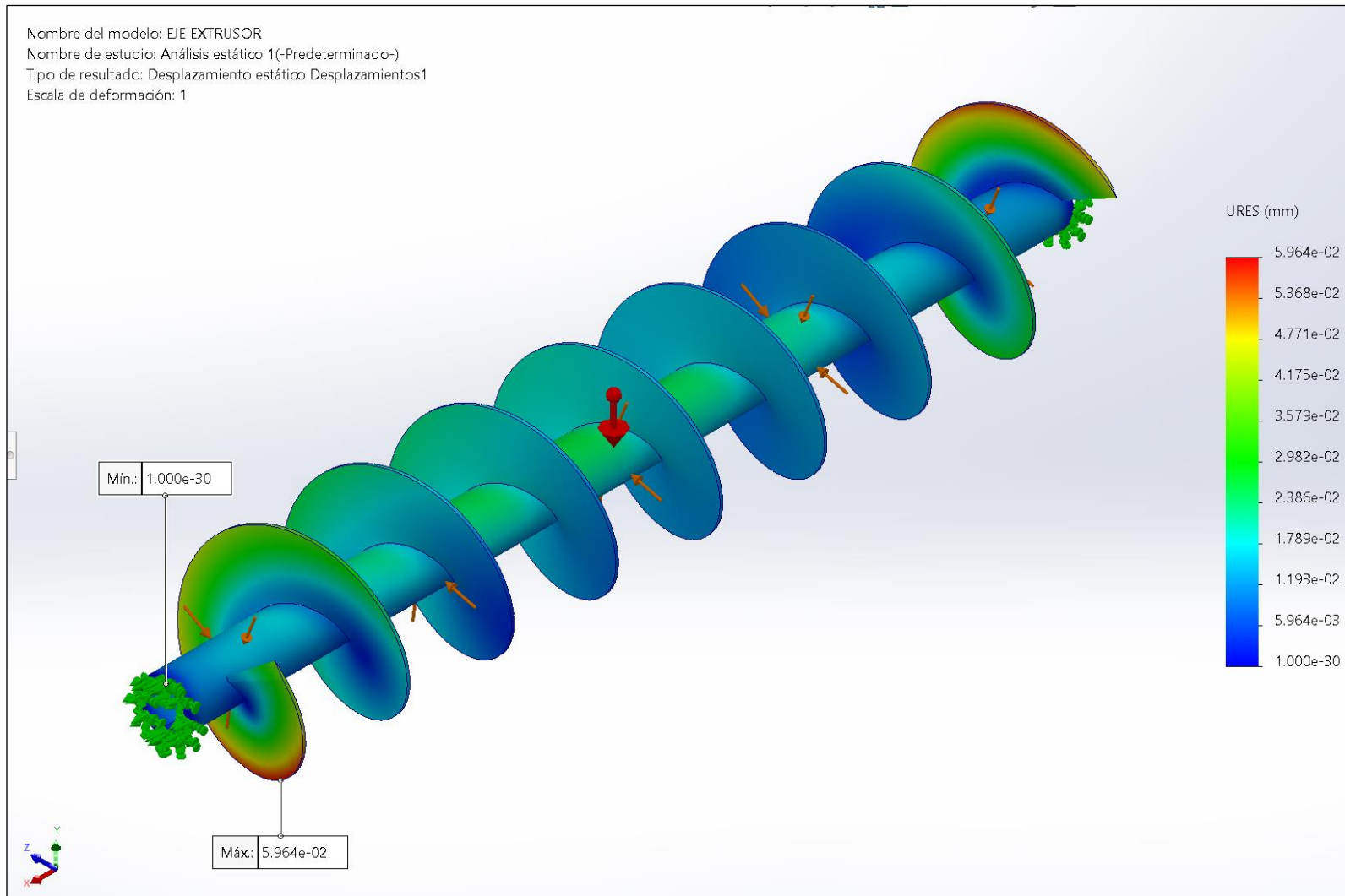
Esfuerzos de Von Mises producidos del análisis estático en el eje extrusor de arcilla



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 48

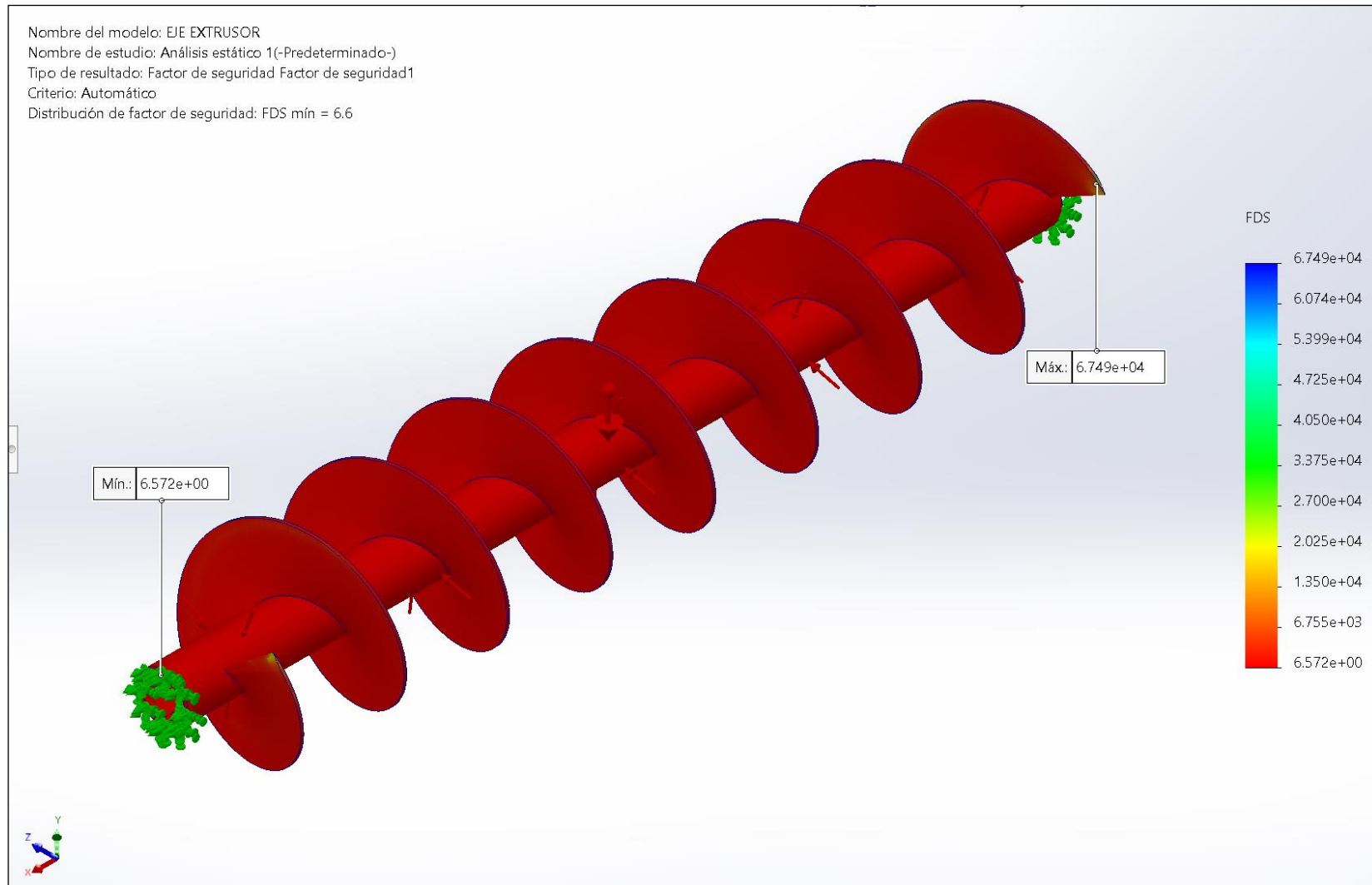
Deformaciones producidas del análisis estático en el eje extrusor de arcilla



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 49

Factores de seguridad producidos del análisis estático en el eje extrusor de arcilla



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Análisis estático del cilindro para el eje extrusor

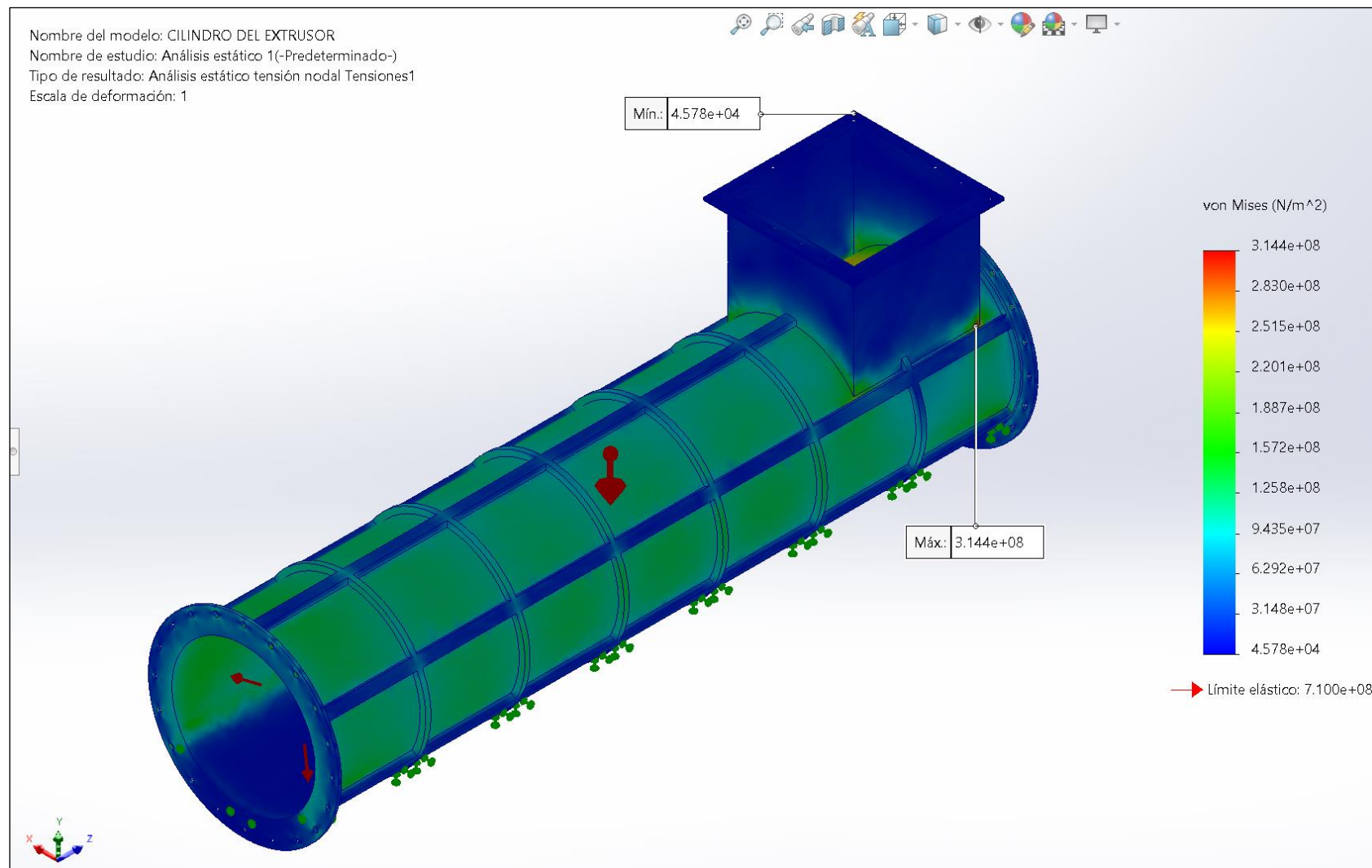
En la Figura 50 se aprecian los resultados del análisis estático efectuado sobre el cilindro correspondiente al eje extrusor, registrándose una tensión máxima de Von Mises de 314.40 MPa, valor que permanece por debajo del límite elástico del material, estimado en 710 MPa.

En la Figura 51 se muestran los datos relacionados con los desplazamientos del cilindro para el eje extrusor, obteniéndose un desplazamiento máximo de 0.2328 mm, magnitud que resulta prácticamente imperceptible para la visión humana.

En la Figura 52 se evidencian los factores de seguridad derivados del análisis estático del cilindro asociado al eje extrusor, alcanzándose un valor mínimo de 2.258, o 2.30 tras efectuar el redondeo correspondiente.

Figura 50

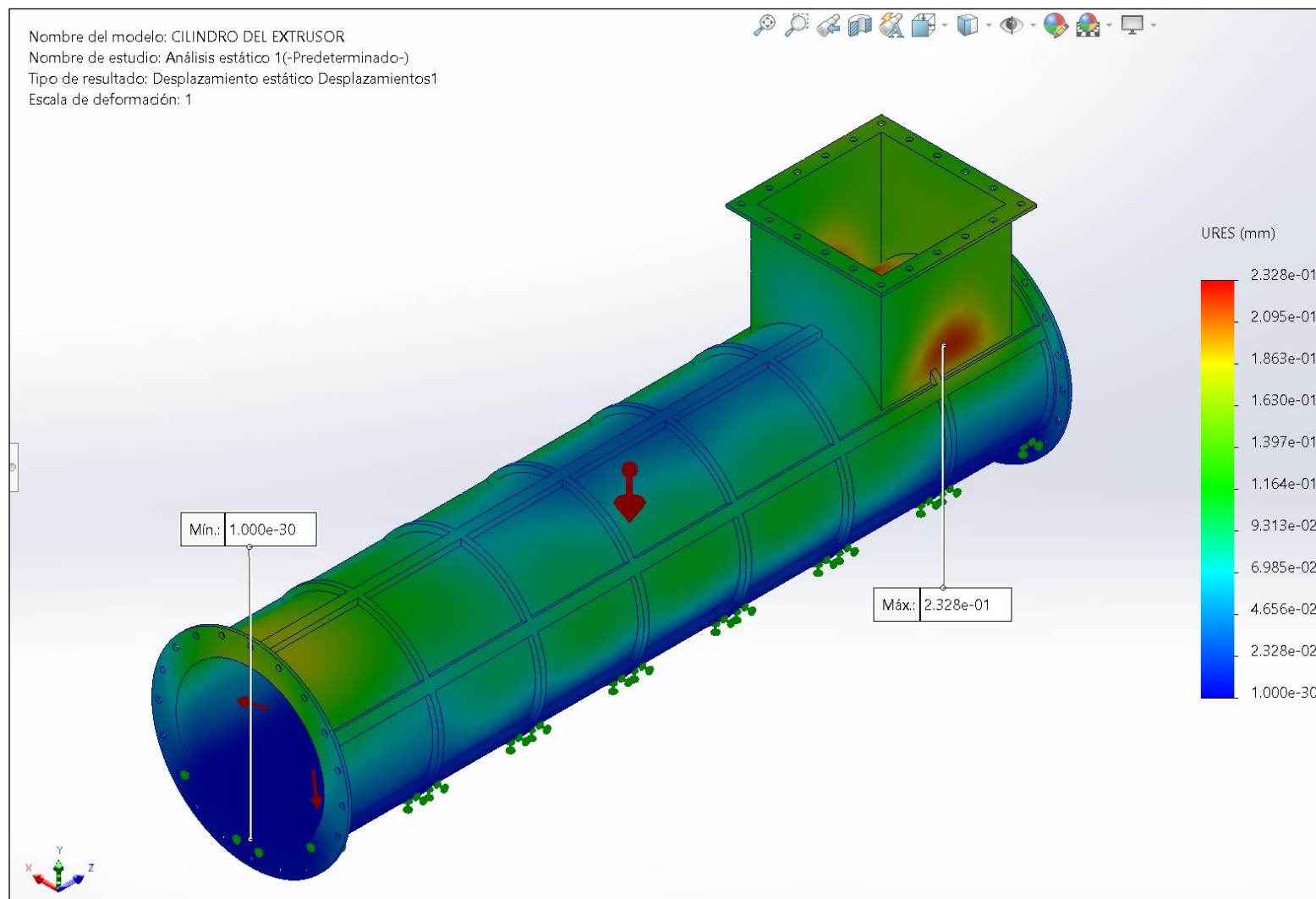
Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en el cilindro para el eje extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 51

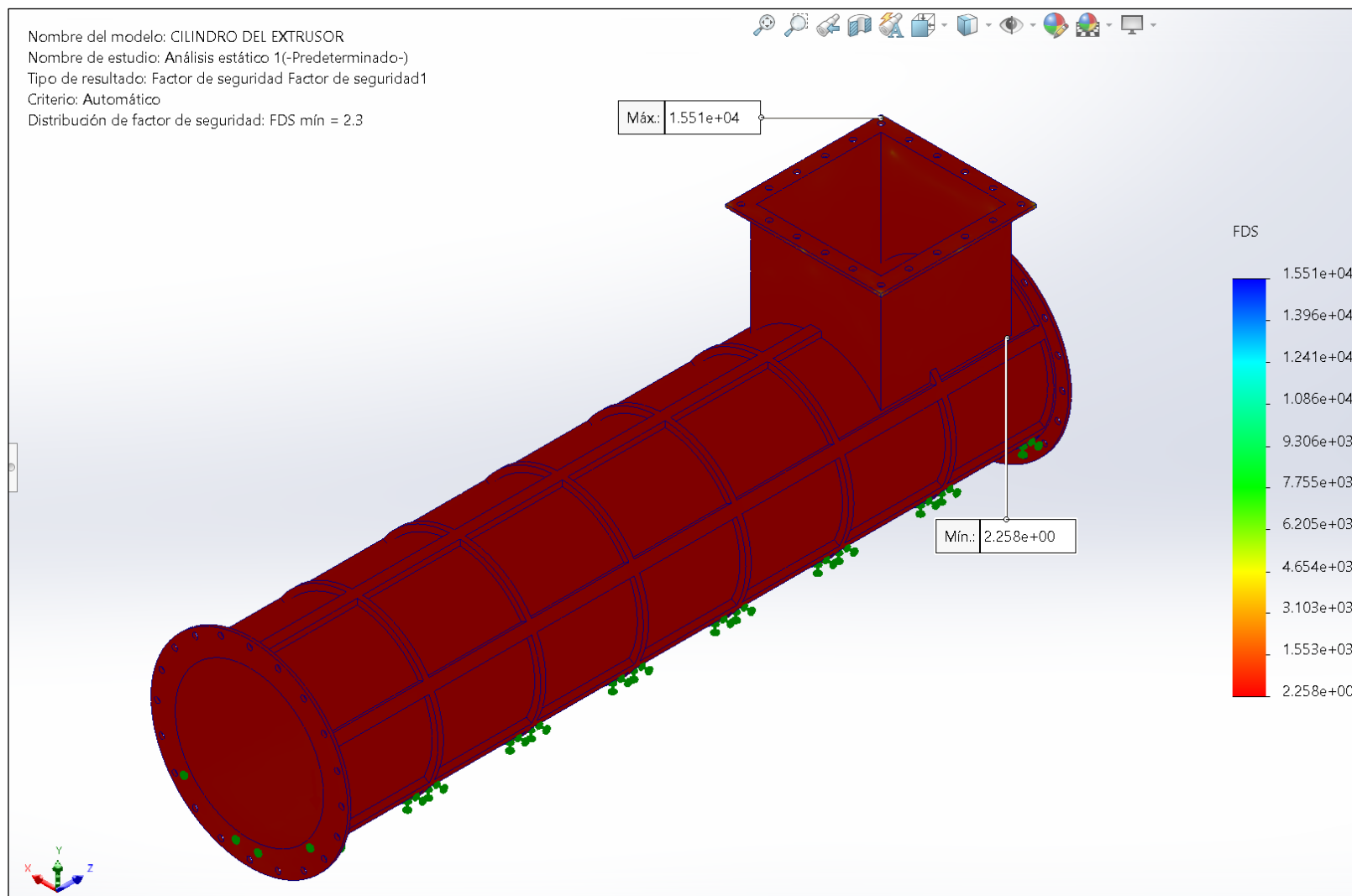
Desplazamientos producidos del análisis estático en el cilindro para el eje extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 52

Factores de seguridad producidos del análisis estático en el cilindro para el eje extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Análisis estático del cilindro mezclador de arcilla y agua

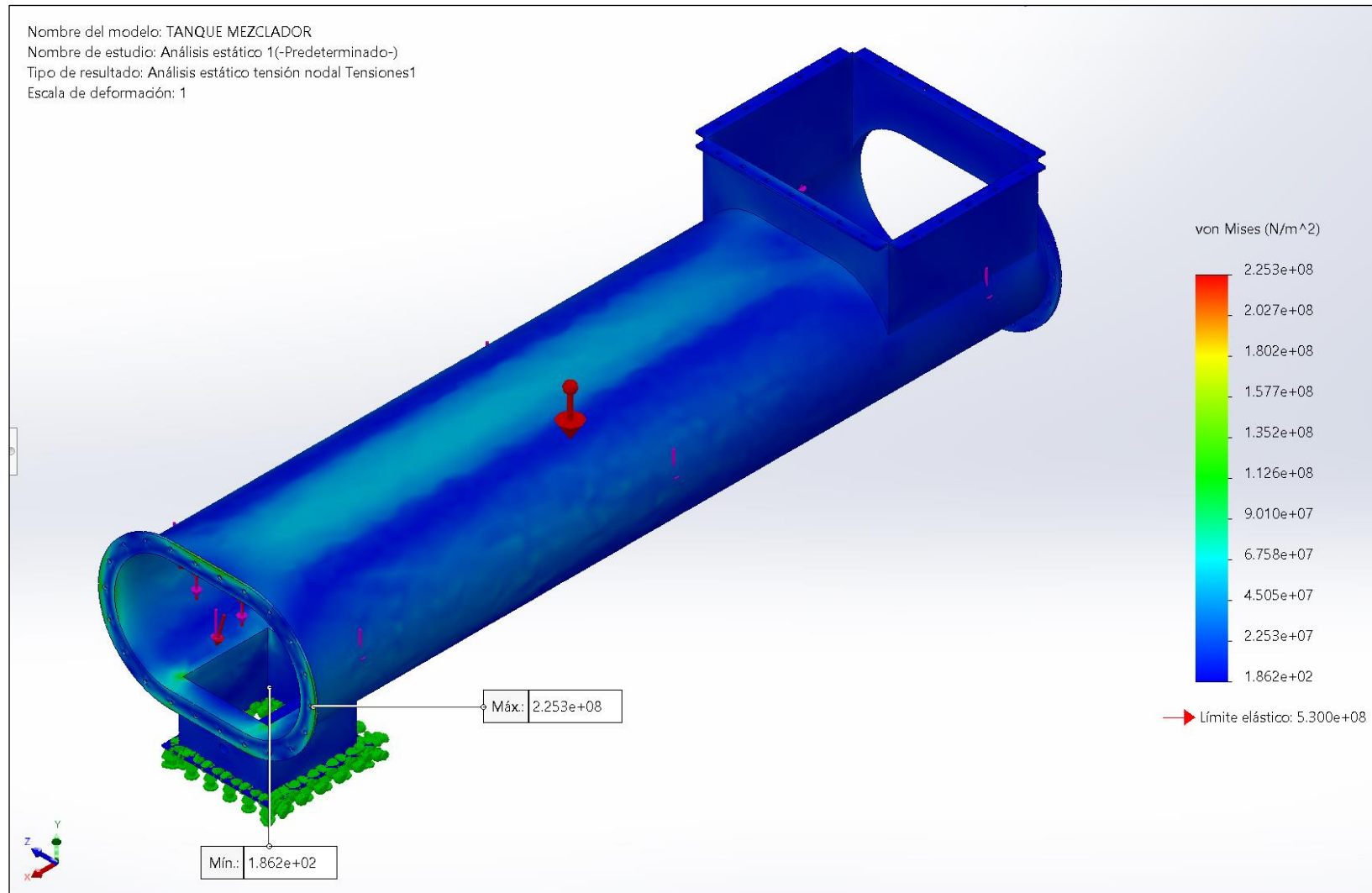
En la Figura 53 se presentan los resultados del análisis estático realizado sobre el cilindro mezclador de arcilla y agua, alcanzándose una tensión máxima de Von Mises de 225.30 MPa, valor que se mantiene por debajo del límite elástico del material, que es de 530 MPa.

En la Figura 54 se muestran los datos relacionados con los desplazamientos del cilindro mezclador de arcilla y agua, registrándose un desplazamiento máximo de 1.106 mm, magnitud prácticamente imperceptible para el ojo humano.

En la Figura 55 se evidencian los factores de seguridad obtenidos del análisis estático del cilindro mezclador de arcilla y agua, alcanzándose un mínimo de 2.353 o 2.40 tras realizar el redondeo correspondiente.

Figura 53

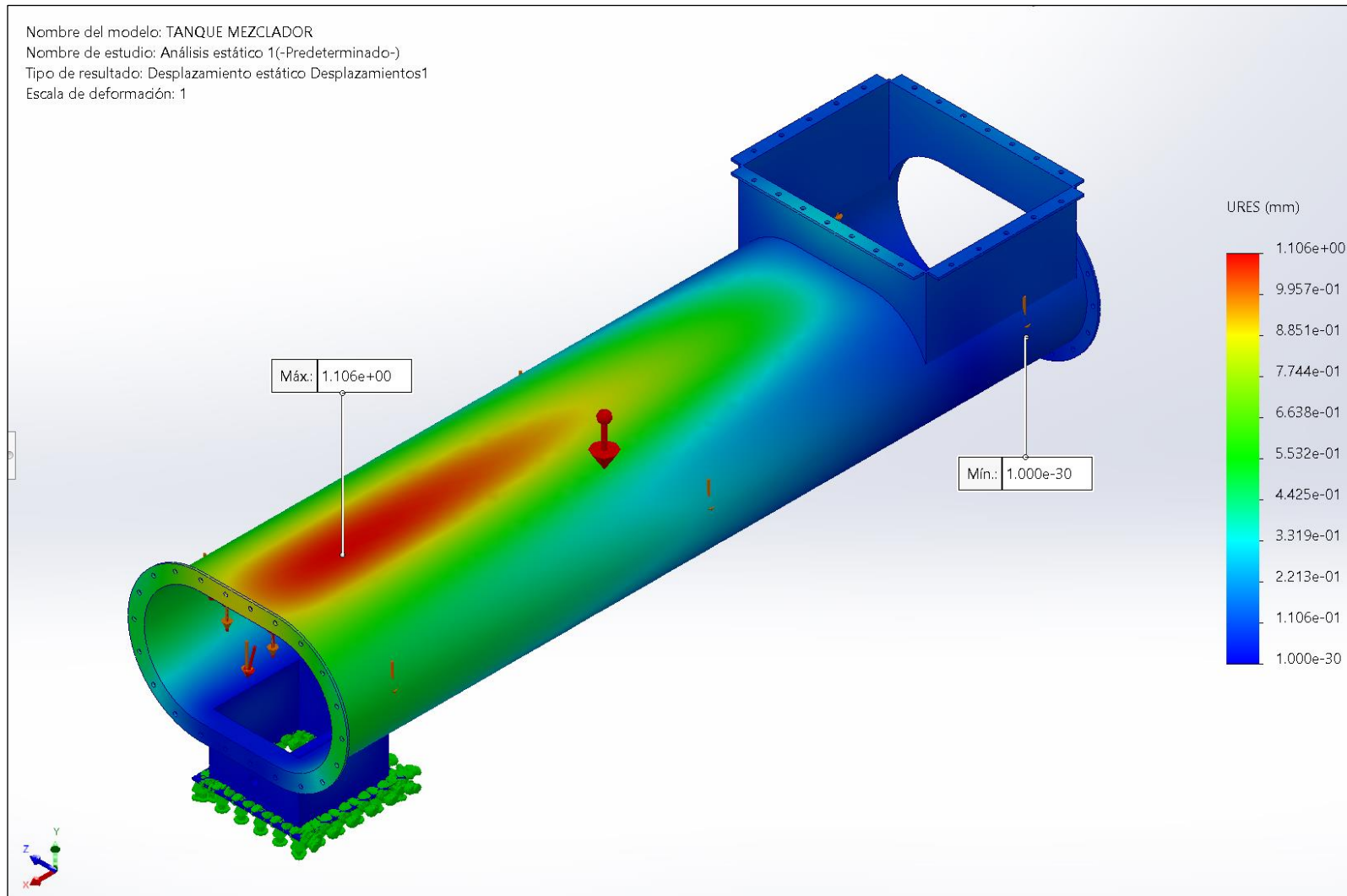
Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en el cilindro mezclador de arcilla y agua



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 54

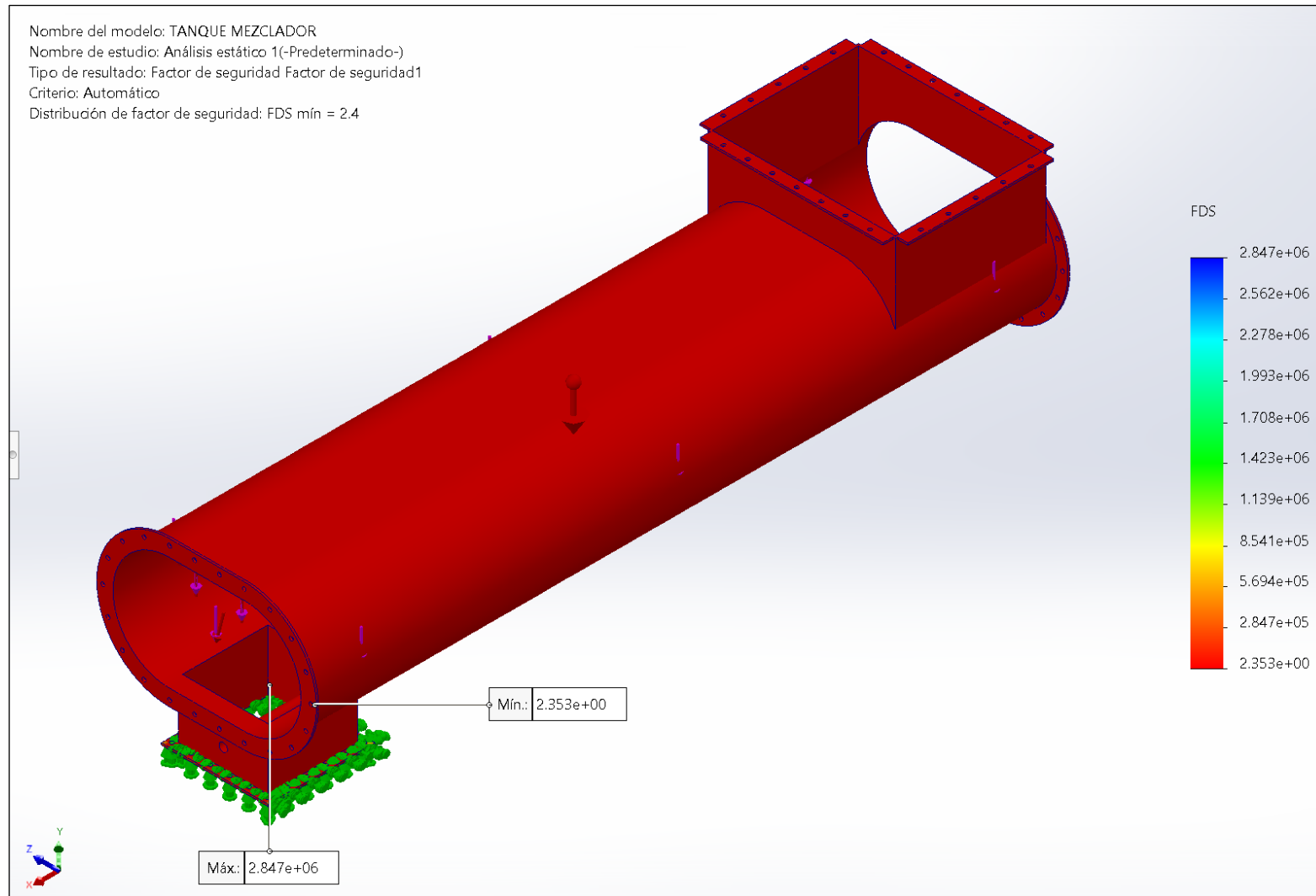
Desplazamientos producidos del análisis estático en el cilindro mezclador de arcilla y agua



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 55

Factores de seguridad producidos del análisis estático en el cilindro mezclador de arcilla y agua



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Análisis estático del cilindro mezclador de arcilla y agua

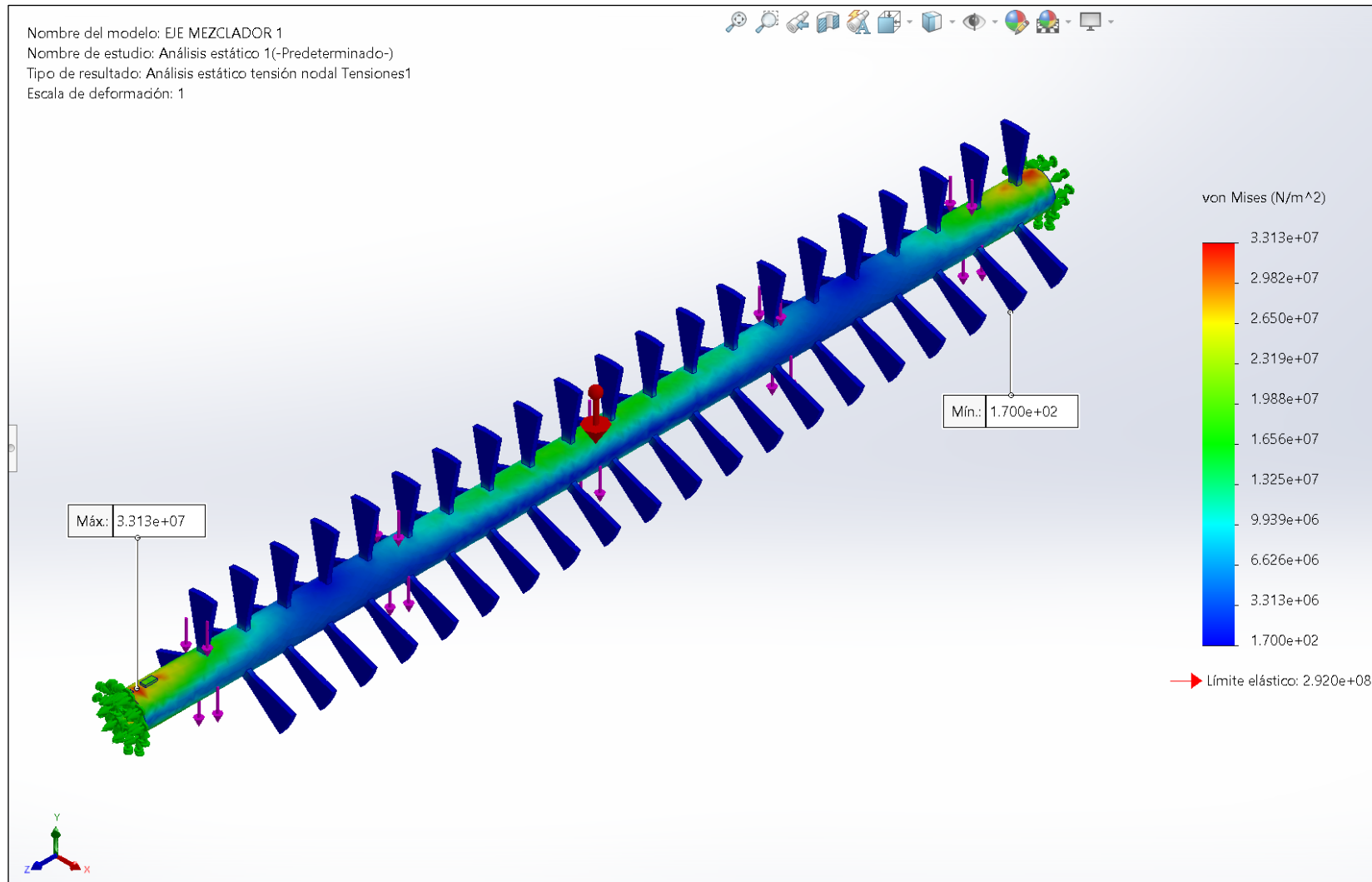
En la Figura 56 se presentan los resultados del análisis estático efectuado sobre el eje mezclador de arcilla y agua, obteniéndose una tensión máxima de Von Mises de 33.13 MPa, la cual se mantiene por debajo del límite elástico del material, que es de 292 MPa.

En la Figura 57 se muestran los datos relacionados con los desplazamientos del eje mezclador de arcilla y agua, registrándose un desplazamiento máximo de 0.5791 mm, magnitud prácticamente imperceptible a simple vista.

En la Figura 58 se evidencian los factores de seguridad derivados del análisis estático del eje mezclador de arcilla y agua, alcanzando un mínimo de 8.814, o 8.80 al redondearse.

Figura 56

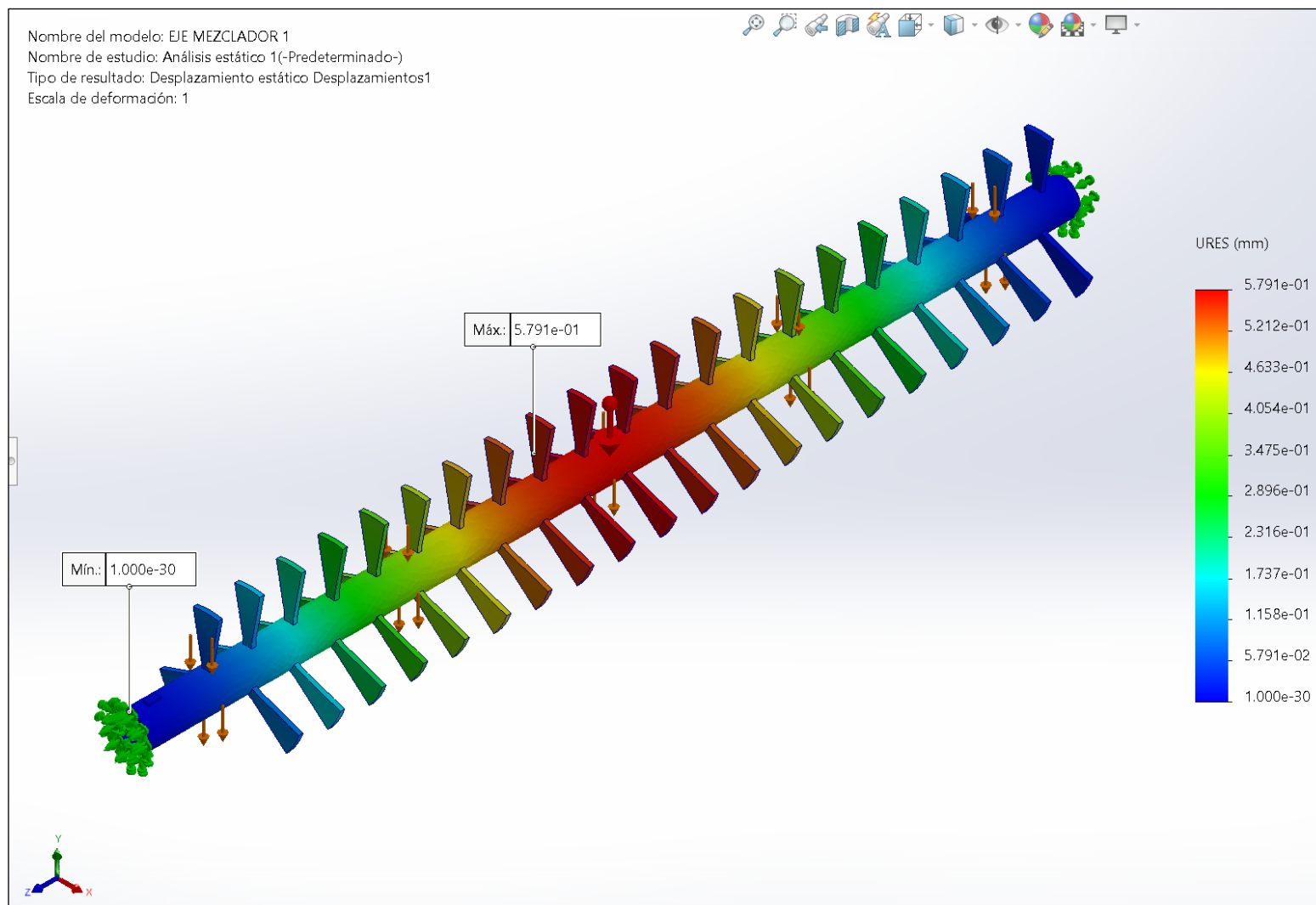
Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en el eje mezclador de arcilla y agua



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 57

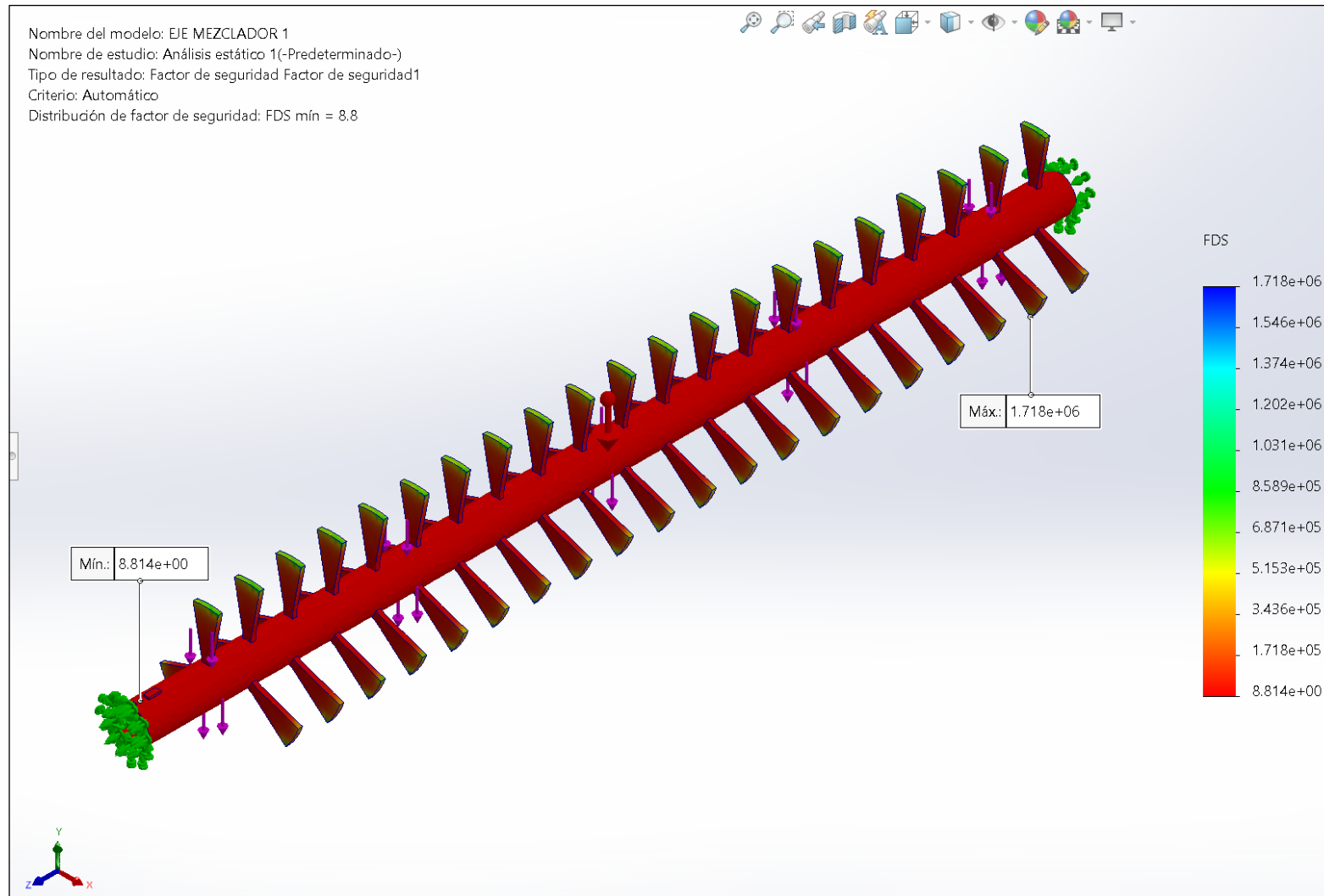
Desplazamientos producidos del análisis estático en el eje mezclador de arcilla y agua



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 58

Factores de seguridad producidos del análisis estático en el eje mezclador de arcilla y agua



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Análisis estático de la base para cilindro mezclador

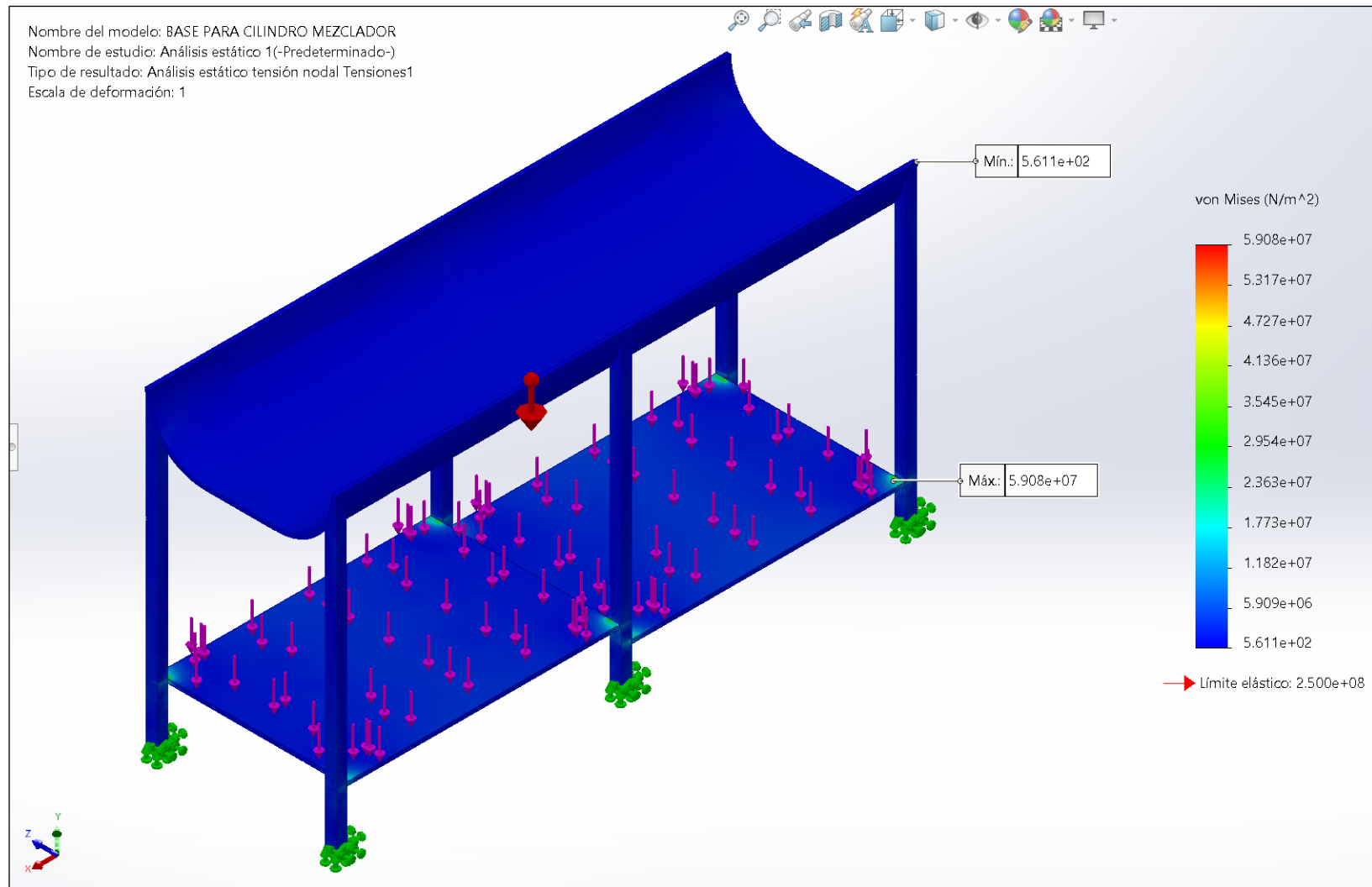
En la Figura 59 se presentan los resultados del análisis estático realizado sobre la base del cilindro mezclador, registrándose una tensión máxima de Von Mises de 59.08 MPa, valor que permanece por debajo del límite elástico del material, fijado en 250 MPa.

En la Figura 60 se muestran los datos referentes a los desplazamientos de la base del cilindro mezclador, obteniéndose un desplazamiento máximo de 0.2451 mm, magnitud prácticamente imperceptible para el ojo humano.

En la Figura 61 se evidencian los factores de seguridad derivados del análisis estático de la base del cilindro mezclador, alcanzando un mínimo de 4.231 o 4.20 al realizar el redondeo correspondiente.

Figura 59

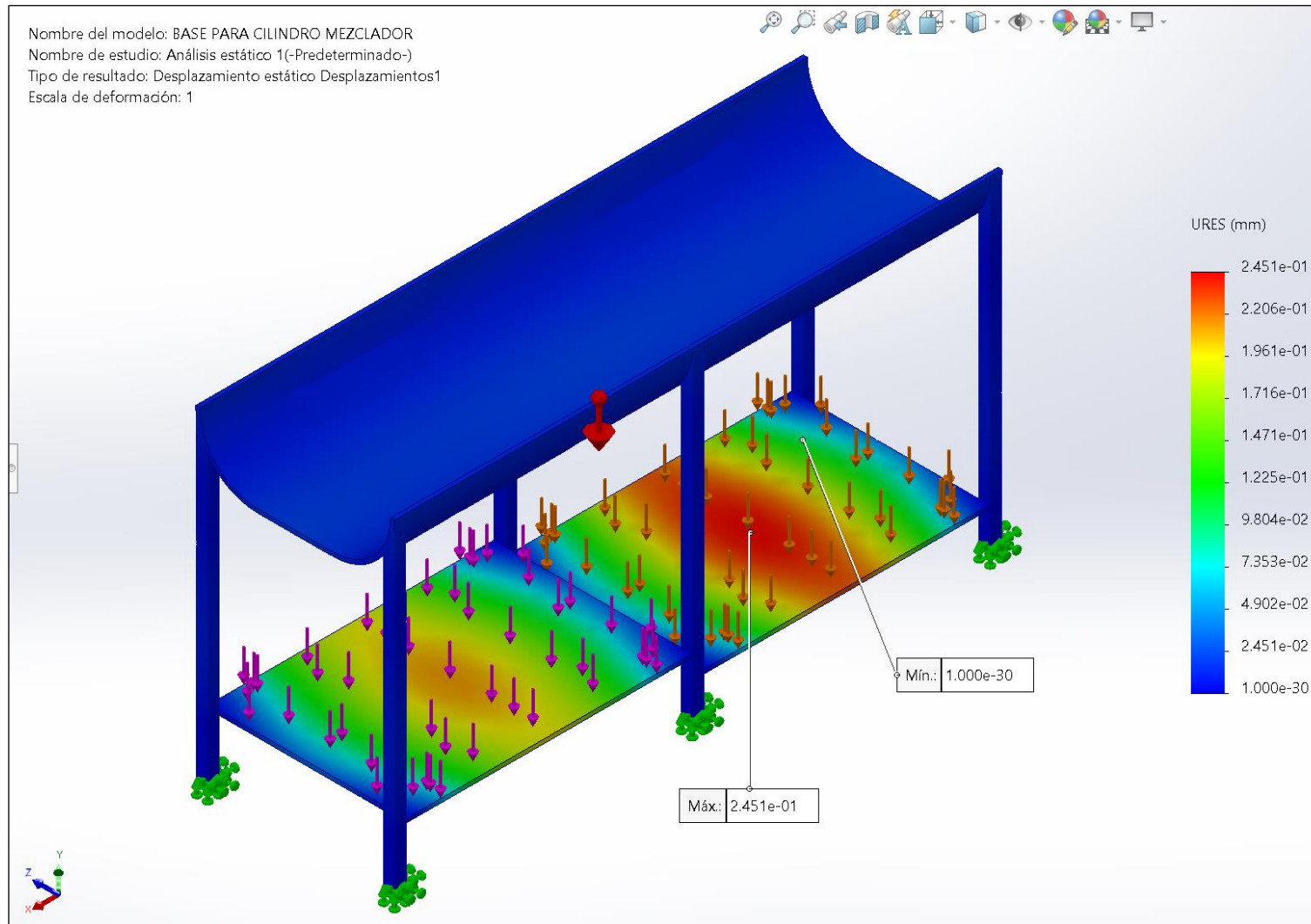
Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en la base para cilindro mezclador



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 60

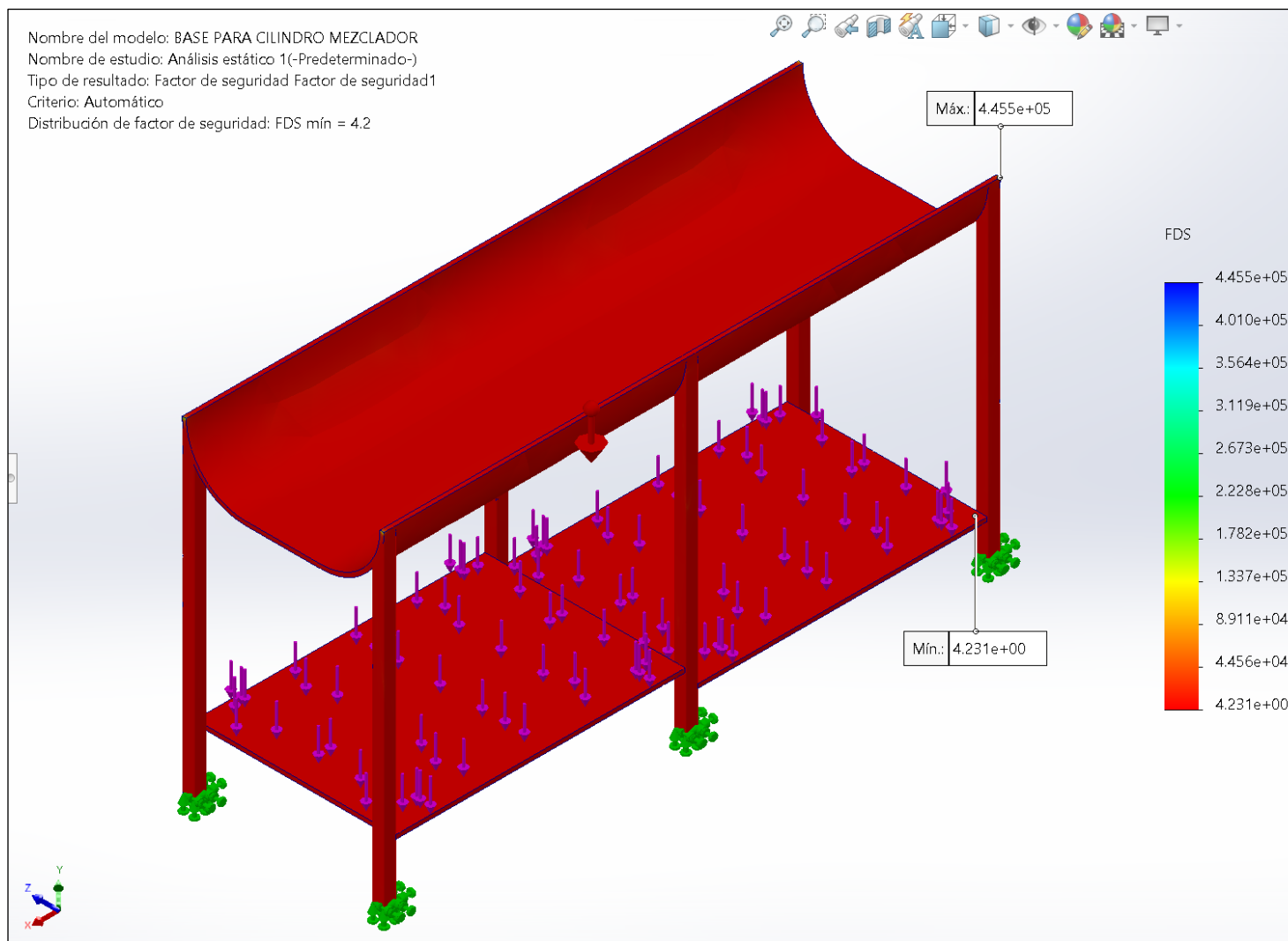
Desplazamientos producidos del análisis estático en la base para cilindro mezclador



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 61

Factores de seguridad producidos del análisis estático en la base para cilindro mezclador



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Análisis estático de la base para cilindro extrusor

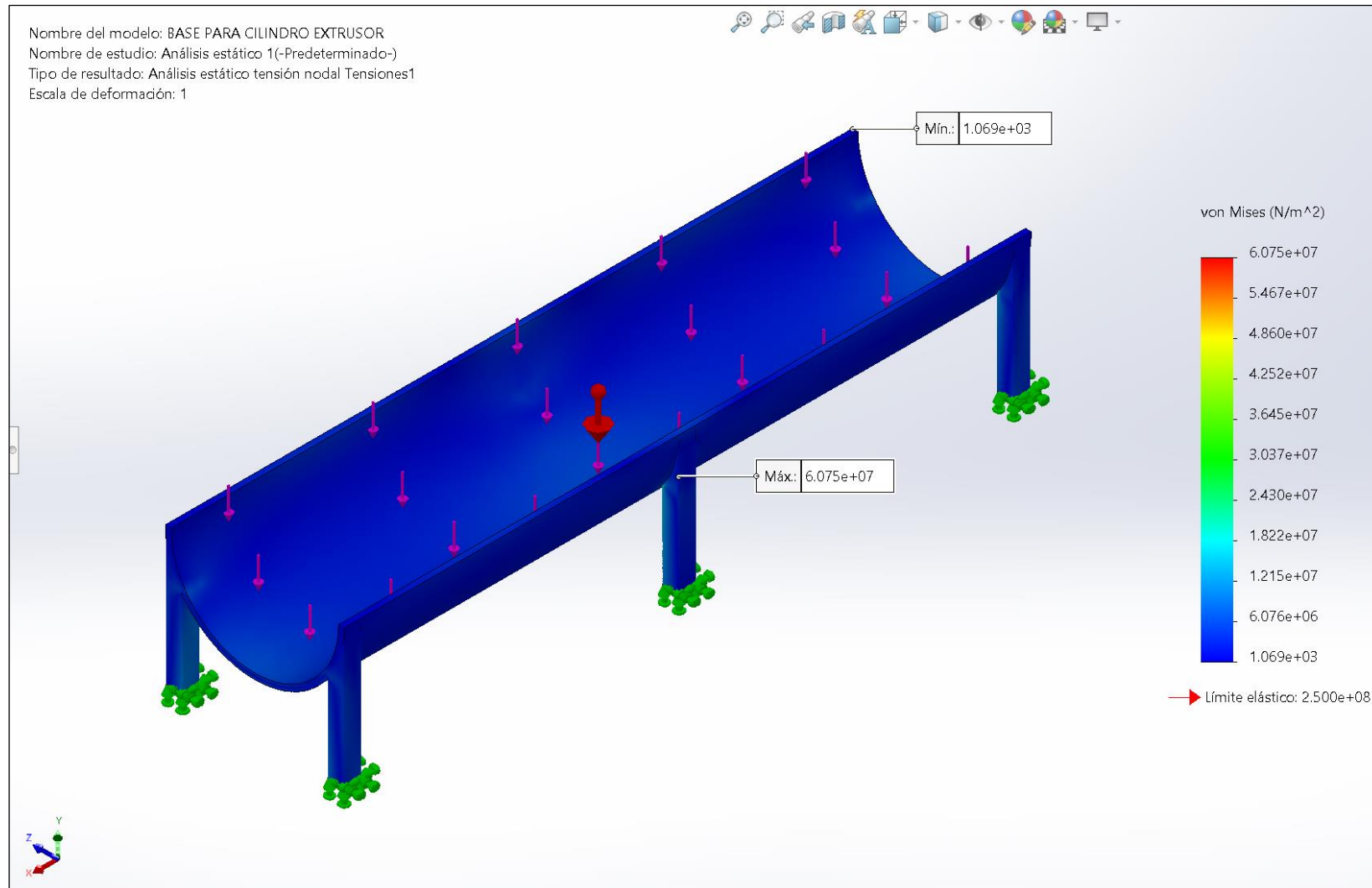
En la Figura 62 se presentan los resultados del análisis estático realizado sobre la base del cilindro extrusor, registrándose una tensión máxima de Von Mises de 60.75 MPa, la cual se mantiene por debajo del límite elástico del material, que es de 250 MPa.

En la Figura 63 se muestran los datos relacionados con los desplazamientos de la base del cilindro extrusor, obteniéndose un desplazamiento máximo de 0.0656 mm, valor prácticamente imperceptible a simple vista.

En la Figura 64 se evidencian los factores de seguridad derivados del análisis estático de la base del cilindro extrusor, alcanzando un mínimo de 4.116 o 4.10 al redondearse.

Figura 62

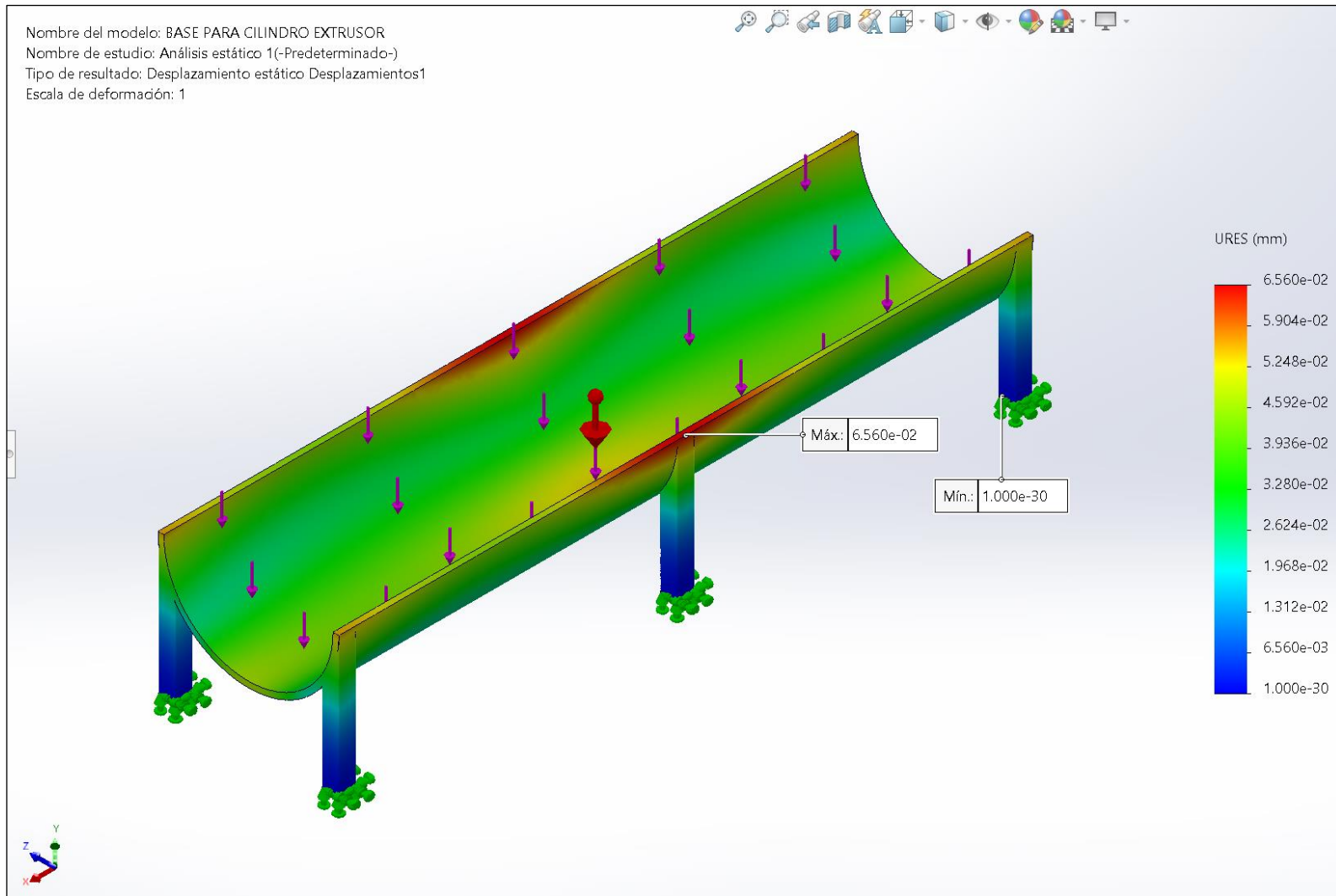
Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en la base para cilindro extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 63

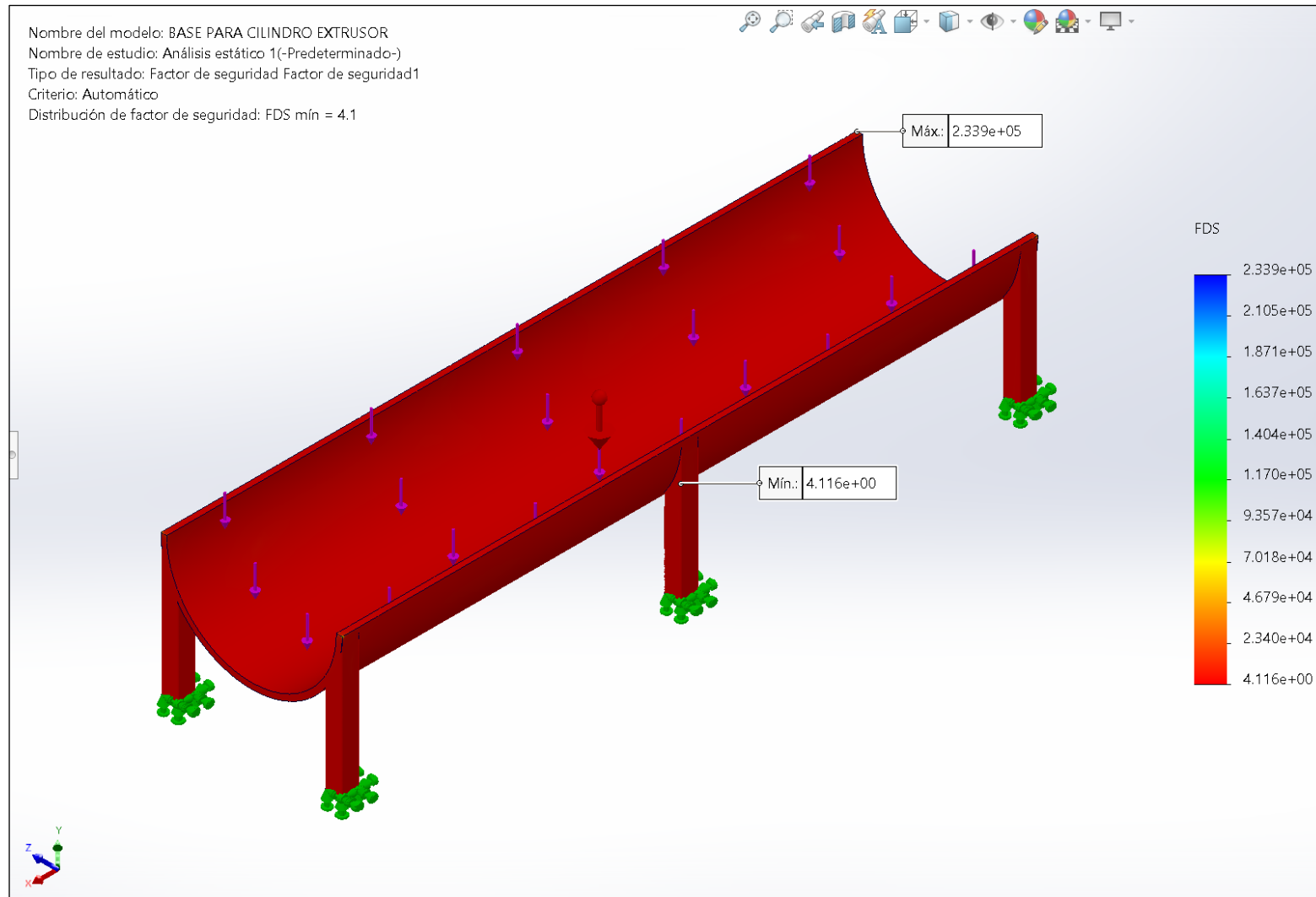
Desplazamientos producidos del análisis estático en la base para cilindro extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 64

Factores de seguridad producidos del análisis estático en la base para cilindro extrusor



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Análisis estático de la tolva de carga

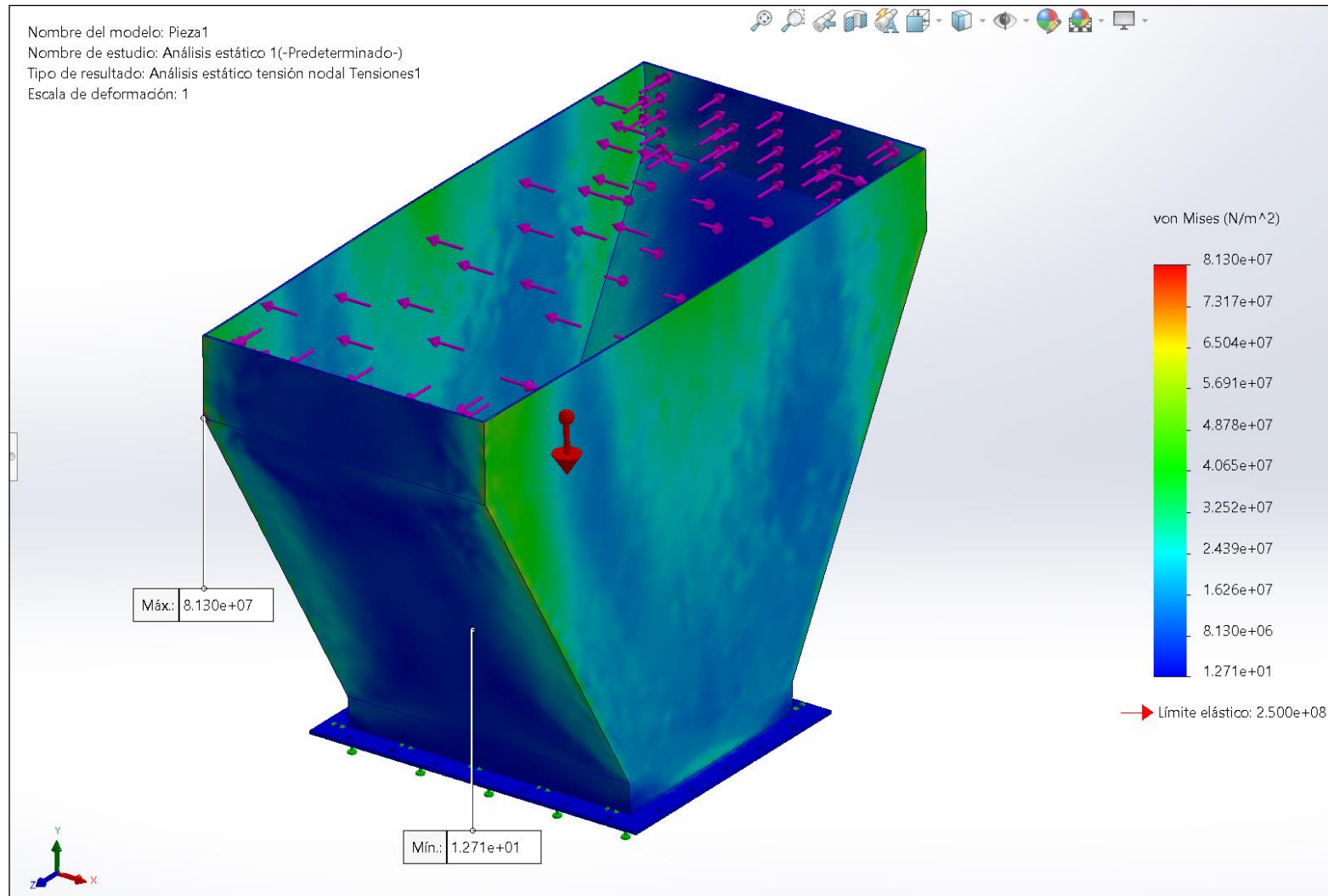
En la Figura 65 se presentan los resultados del análisis estático realizado sobre la tolva de carga, registrándose una tensión máxima de Von Mises de 81.30 MPa, la cual permanece por debajo del límite elástico del material, que es de 250 MPa.

En la Figura 66 se muestran los datos referentes a los desplazamientos de la tolva de carga, obteniéndose un desplazamiento máximo de 7.778 mm, magnitud prácticamente imperceptible a simple vista.

En la Figura 67 se evidencian los factores de seguridad derivados del análisis estático de la tolva de carga, alcanzando un mínimo de 3.075 o 3.10 al redondearse.

Figura 65

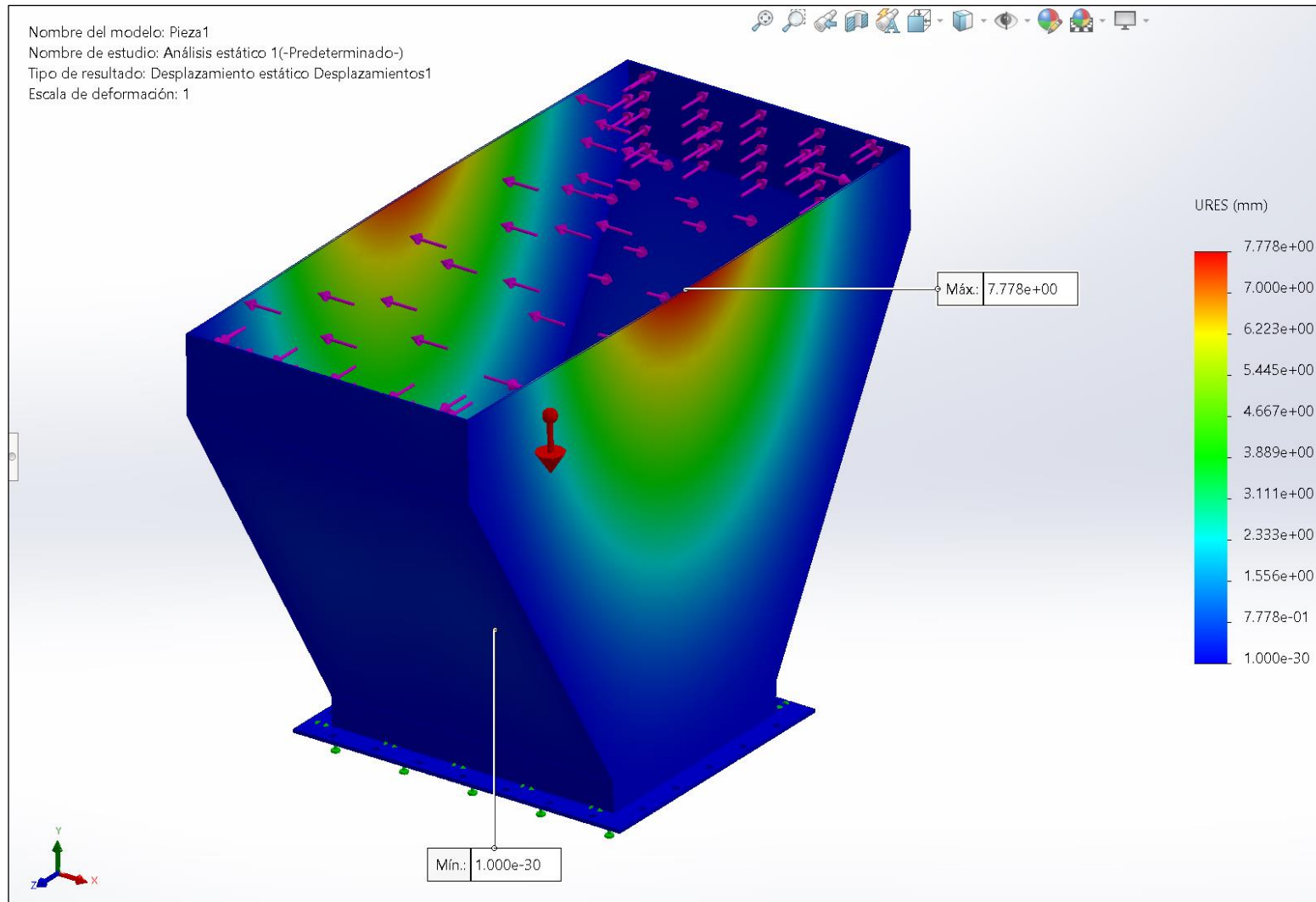
Tensiones de Von Mises producidas del análisis estático en la tolva de carga



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 66

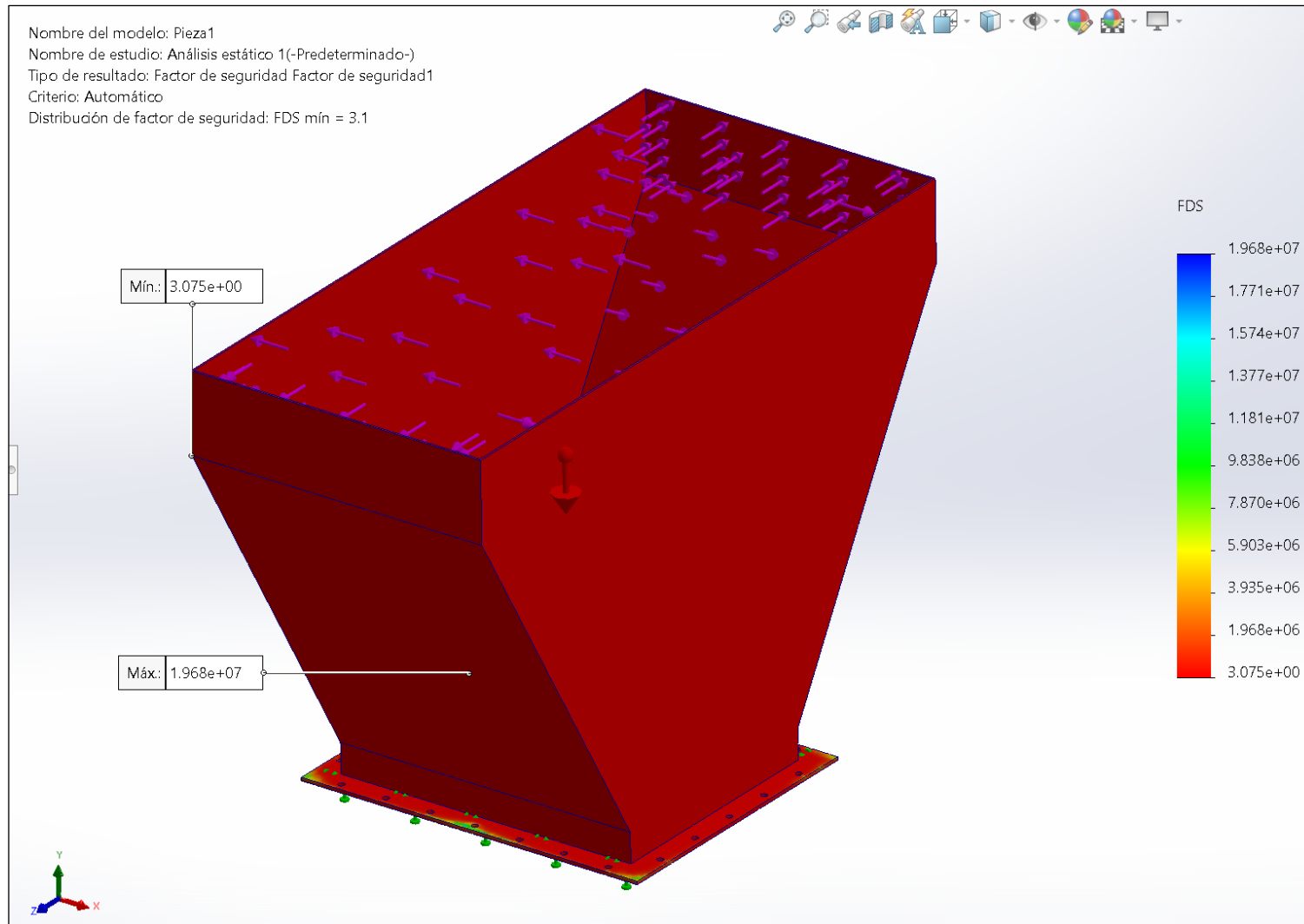
Desplazamientos producidos del análisis estático en la tolva de carga



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

Figura 67

Factores de seguridad producidos del análisis estático en la tolva de carga



Fuente: Elaborado con SolidWorks 2018.

5.1.5. Desarrollo del quinto objetivo específico

La Tabla 8 detalla el presupuesto total que se ha estimado para poder implementar el sistema semiautomático moldeador de ladrillos de arcilla, considerando equipos y componentes necesarios para ello, llegando a un monto de S/.74115.80, agregando el motor, estructuras, engranajes de dientes rectos, ejes, moldes para los ladrillos a fabricar, entre otros componentes, además se incluyó el IGV y un porcentaje adicional por concepto de imprevistos, todo ello refleja una inversión significativa orientada a garantizar la operación eficiente y robusta de la máquina propuesta.

Tabla 8

Costo de equipamiento y componentes de máquina para el sistema semiautomático moldeador de ladrillo de arcilla

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Motor IPW55 220/380/440V IE2 4 HP	1	S/. 4 500.00	S/. 4 500.00
Caja reductora de velocidad con engranajes de dientes rectos	1	S/. 4 000.00	S/. 4 000.00
Eje extrusor de 1 290 mm de largo en Acero AISI 1045 estirado en frío	1	S/. 3 600.00	S/. 3 600.00
Eje mezclador de 1 951 de largo en Acero AISI 1045 estirado en frío	2	S/. 4 800.00	S/. 9 600.00
Estructura base de soporte para cilindro extrusor de 30 mm x 30 mm x 2.5 mm de espesor	1	S/. 3 500.00	S/. 3 500.00
Estructura base de soporte para cilindro mezclador de 30 mm x 30 mm x 2.5 mm de espesor	1	S/. 4 000.00	S/. 4 000.00
Catarina para eje extrusor	3	S/. 350.00	S/. 1 050.00
Catarina para eje mezclador	1	S/. 350.00	S/. 350.00
Cilindro de eje extrusor	1	S/. 7 500.00	S/. 7 500.00
Boquilla conectora para molde y cilindro extrusor	1	S/. 1 800.00	S/. 1 800.00
Eje transmisor a eje mezclador	1	S/. 2 000.00	S/. 2 000.00
Engranaje para eje mezclador de 53 dientes	2	S/. 700.00	S/. 1 400.00
Molde para ladrillo portante en acero AISI 1045	1	S/. 900.00	S/. 900.00
Tanque mezclador en Acero AISI 1045	1	S/. 4 500.00	S/. 4 500.00
Tapa para cilindro extrusor	1	S/. 1 000.00	S/. 1 000.00
Tapa para cilindro mezclador	2	S/. 800.00	S/. 1 600.00
Rodamientos SKF 61814-2RS1	6	S/. 700.00	S/. 4 200.00
Tolva de salida de plancha de fierro galvanizado de 5 mm de espesor	1	S/. 1 600.00	S/. 1 600.00
COSTO DE MATERIAL TOTAL SIN IGV			S/. 57 100.00
IGV (18%)			S/. 10 278.00
IMPREVISTOS (10% DEL COSTO DE MATERIAL TOTAL INCLUYENDO IGV)			S/. 6 737.80
COSTO TOTAL DE EQUIPAMIENTO Y ELEMENTOS DE MÁQUINA			S/. 74 115.80

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se determinó el costo correspondiente al ensamblaje y a las pruebas de funcionamiento, cuyo detalle se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

Gasto debido al ensamble y pruebas del sistema

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Gasto debido a ensamble y pruebas	1	S/. 18 500.00	S/. 18 500.00

Fuente: Elaboración propia.

El gasto total para la implementación, incluyendo las etapas de ensamble y puesta en marcha, se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10

Resumen del precio total por concepto de fabricación

Descripción	Precio total
Costo de Equipos y elementos de máquina	S/. 74 115.80
Costo de ensamblaje y pruebas	S/. 18 500.00
Costo total de fabricación	S/. 92 615.80

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el monto total por concepto de fabricación tomando en cuenta al ensamblaje además de la puesta en marcha alcanzó la suma de S/.92615.80.

Análisis de rentabilidad

Ingreso por venta de ladrillo

Para poder obtener dicho ingreso, se debe tomar en cuenta a cuanto se va a vender cada ladrillo de arcilla producido, el cual se tomó como referencia un valor de S/.0.70 por unidad producida, entonces:

$$\text{Ingresos anuales} = \text{Costo unitario} \times \text{Ventas anuales}$$

$$\text{Ingresos anuales} = S/. \frac{0.70}{\text{ladrillo}} \times 600 \frac{\text{ladrillos}}{\text{hora}} \times 12 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 355 \frac{\text{días}}{\text{año}}$$

$$\text{Ingresos anuales} = S/. 1789200.00$$

Entonces, el ingreso que se genera debido a las ventas de ladrillo de arcilla asciende a la suma anual de S/.1789200.00.

Pago por mano de obra

La Tabla 11 muestra la cantidad de mano de obra requerida para poder operar el sistema semiautomático moldeador de ladrillo de arcilla, siendo necesarios un total de 8 trabajadores, un abastecedor, un operario de la máquina, un acomodador de los ladrillos ya producidos y un almacenero encargado de llevar los ladrillos para su posterior despacho por el área de ventas, donde el salario para cada uno es de S/.2400.00, que al año es de S/.67200.00 considerando fiestas patrias y navidad, con un total por los 8 trabajadores de S/.268800.00, dato importante requerido para el análisis de rentabilidad.

Tabla 11
Resumen del precio por mano de obra

Descripción	Cantidad	Salario	Meses	Salario anual
Abastecedor	2	S/. 2 400.00	12+2	S/. 67 200.00
Operario de máquina	2	S/. 2 400.00	12+2	S/. 67 200.00
Acomodador	2	S/. 2 400.00	12+2	S/. 67 200.00
Almacenero	2	S/. 2 400.00	12+2	S/. 67 200.00
Total	2	S/. 9 600.00	12+2	S/. 268 800.00

Fuente: Elaboración propia.

Pago por consumo de energía

El sistema automático moldeador de ladrillo de arcilla posee un consumo de electricidad de 5 HP de acuerdo con el motor seleccionado, y tomando como referencia que se cuenta con una tarifa BT5B por ser una ladrilla pequeña, con un costo por kWh de S/.0.7049, obteniendo:

$$\text{Costo de energía anual} = 5 \text{ HP} \times \frac{0.746 \text{ kW}}{1 \text{ HP}} \times 12 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 355 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \frac{\text{S}/.0.7049}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo de energía anual} = \text{S}/.11200.72$$

Pago por comprar materia prima

La materia prima necesaria para la producción de ladrillos con buena resistencia, es la arcilla, la misma que posee un precio de S/.0.12 por

kilogramo al mayoreo, que, al comprarse la cantidad necesaria para todo un año, se obtiene un precio total:

$$\text{Costo materia prima anual} = \frac{S/.0.12}{kg} \times \frac{0.62 kg}{s} \times \frac{3600 s}{1 hora} \times \frac{12 horas}{1 día} \times \frac{355 días}{año}$$

$$\text{Costo materia prima anual} = S/.1140998.40$$

La Tabla 12 muestra toda la información anteriormente obtenida, que sirvió para realizar el análisis de rentabilidad respectivo y así obtener los indicadores respectivos para determinar la factibilidad del sistema semiautomático moldeador de ladrillo de arcilla.

Tabla 12
Análisis de indicadores de rentabilidad

Año	Inversión	O&M	Compra de carbón	Mano de obra	Costo de energía	Materia prima	Ventas anuales	Ingreso Bruto	Impuesto a la Renta	Ingreso Neto	Ingreso Neto Actualizado
0	-S/. 92 615.80									-S/. 92 615.80	-S/. 92 615.80
1		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 131 281.59	S/. 119 346.90
2		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 126 232.30	S/. 104 324.21
3		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 121 377.21	S/. 91 192.49
4		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 116 708.85	S/. 79 713.72
5		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 112 220.05	S/. 69 679.82
6		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 107 903.90	S/. 60 908.94
7		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 103 753.75	S/. 53 242.08
8		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 99 763.22	S/. 46 540.28
9		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 95 926.17	S/. 40 682.06
10		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 92 236.70	S/. 35 561.24
11		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 88 689.14	S/. 31 085.00
12		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 85 278.02	S/. 27 172.20
13		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 81 998.09	S/. 23 751.93
14		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 78 844.32	S/. 20 762.17
15		S/. 23 153.95	S/. 150 000.00	S/. 268 800.00	S/. 11 200.72	S/. 1 140 998.40	S/. 1 789 200.00	S/. 195 046.93	S/. 58 514.08	S/. 75 811.85	S/. 18 148.75
										Ingreso total neto	S/. 822 111.79
										VAN	S/. 729.495.99

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 13 muestra el resumen de los indicadores del análisis de rentabilidad obtenidos.

Tabla 13

Resumen de indicadores rentables

Inversión	- S/. 92 615.80
Ingreso total neto actualizado	S/. 822 111.79
VAN (15 años)	S/. 729 495.99
TIR	137.90%
t_r (años)	0.78 años

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 13 se aprecia que la inversión necesaria para la implementación del sistema semiautomático moldeador de ladrillos de arcilla asciende a S/.92615.80. Al realizar el análisis de rentabilidad, se obtuvo un ingreso neto actualizado de S/.822111.79 durante los 15 años de vida útil estimada del proyecto, un Valor Actual Neto (VAN) de S/.729495.99, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 137.90% y un periodo de recuperación de la inversión de aproximadamente 0.78 años, es decir, cerca de 10 meses.

5.2. Discusión de resultados

El autor Arias Benavides (2018) obtuvo un valor de inversión para el diseño de la máquina para fabricar ladrillos de \$ 32 672 600, que, al tipo de cambio actual para transformar a soles, es de S/. 28 916.07, la cual tuvo una capacidad de producción de 240 ladrillos por hora. Cabe precisar que, en relación a la presente investigación, es correcto, ya que al tener una capacidad menor en comparación a la de 600 ladrillos por hora de la máquina moldeadora propuesta con una inversión de S/. 92 615.80, dicho debe ser menor por lógica, por lo tanto, se tiene una relación directa con la investigación del autor mencionado. Con respecto al tiempo de recuperación de la inversión, dicho autor obtuvo un tiempo de 11 años, en tanto, al comparar los resultados con la presente investigación, que fue de 0.78 años, se tendría que realizar un análisis más adecuado para determinar porque difiere tanto dichos resultados.

Arzate Illanes (2014) obtuvo en su investigación que con el diseño de una máquina moldeadora de arcilla humedecida con el propósito de fabricar ladrillos se aumentaba la capacidad de producción en los talleres de alrededor de un 400% en relación a la producción anterior. De igual modo, en la presente investigación se logró determinar que se puede triplicar la capacidad de producción lo que generaría un aumento de la rentabilidad al emplear una máquina semiautomática moldeadora de ladrillo de arcilla. Dicho autor también mencionó que se reducía considerablemente los costos por concepto de moldeo y de mano de obra, entre otros, permitiendo aumentar las utilidades, de igual modo pasó con la actual investigación, donde se pudo determinar del análisis de rentabilidad que se obtiene grandes beneficios monetarios del diseño de una máquina moldeadora semiautomática para producir ladrillos.

Para el análisis estático se utilizó el software SolidWorks 2018, donde se obtuvo que los esfuerzos máximos que se produjeron en cada pieza de la máquina extrusora semiautomática de ladrillo de arcilla estuvieron por debajo del límite elástico de cada material empleado, y que por ende, los factores de

seguridad se encuentran dentro de lo permitido, superior a 2, y los desplazamientos se encuentran bastante pequeños siendo imperceptibles.

Sacoto Romo (2013) obtuvo como resultado una TIR de 55% para su proyecto de investigación sobre implementar una fábrica productora de ladrillos, donde consideró un horizonte de análisis de 5 años, demostrando lo rentable y viable de su propuesta. De igual forma sucedió en la presente investigación, donde la TIR calculada fue de 137.90% pero considerando un horizonte de análisis de 15 años, por lo que se podría decir, que dichos análisis son correctos, ya que al realizar un análisis en un tiempo menor se obtendrá una TIR menor en relación si se emplea un mayor tiempo.

CAPÍTULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- De la situación actual en la ladrillera Inka Forte, se obtuvo que la capacidad actual es de 300 ladrillos por hora, que debe duplicarse a 600 ladrillos por hora o su equivalente en flujo másico, que es de 0.62 kg/s.
- Entre los parámetros de diseño se tiene que el eje extrusor debe tener un diámetro de 74 mm, con un total de 8 filetes del tornillo sin fin con un largo de 1.29 m y un factor de seguridad de diseño de 5.74, un motor de 5 HP para poder mover todo el sistema de mezclado y extruir la mezcla para su posterior moldeado, piñón de 17 dientes con 36 mm de diámetro, engrane con 53 dientes con un diámetro de 112 mm y una distancia entre centros de 74 mm.
- Del dimensionamiento de los elementos de máquina y del ensamblaje final de la máquina semiautomática moldeadora de ladrillo de arcilla se obtuvieron como medidas estándar 3 424.32 mm de largo, 541 mm de ancho y 1 748 mm de alto.
- Al realizar el análisis estático a las piezas más importantes de la máquina extrusora semiautomática de ladrillo de arcilla, se logró corroborar que los esfuerzos máximos se encuentran los debajo del límite elástico de cada material empleado y, por ende, los factores de seguridad se encuentran por encima de 2, y los desplazamientos son bastante pequeños e imperceptibles.
- Al evaluar los costos realizando un análisis de indicadores de rentabilidad para el proyecto, considerando un horizonte de análisis de 15 años, se obtuvo un VAN de S/. 729 495.99, una TIR de 137.90% y finalmente un tiempo de recuperación de la inversión de 0.78 años o equivalente a 10 meses, lo cual demuestra lo realmente rentable y factible del diseño de la máquina semiautomática moldeadora de ladrillo de arcilla.

6.2. Recomendaciones

- La máquina semiautomática moldeadora de ladrillo de arcilla propuesto en realidad puede aumentar su capacidad de producción, pero se debe realizar un análisis para determinar qué tanto puede aumentarse.
- Al realizar el cálculo de los elementos de máquina se debe tener bastante cuidado al elegir los parámetros de diseño iniciales, los cuales deben ser precisos para un diseño correcto y evitar pérdidas de tiempo por algún dato mal seleccionado.
- Se debe tener cuidado de las medidas del recinto donde se requiera instalar la máquina semiautomática moldeadora de ladrillo con el fin de saber si entra sin problemas.
- Al realizar el análisis de rentabilidad se ha considerado un precio más competitivo, pero en realidad el precio se podría ajustar a lo real cuando se tenga un posicionamiento adecuado en el mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beltrán Rico, M., & Marcilla Gomis, A. (2012). *Tecnología de Polímeros*. Alicante: Publicaciones Universidad de Alicante.
- Carvajal Contreras, J. J., & Gelvez Barbosa, J. D. (2023). *Diseño de un modelo de extrusora para la industria ladrillera*. Repositorio Institucional de la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Cuayla Falcon, F. K. (2022). *Comparación de las propiedades físico - mecánicas de ladrillos ecológicos artesanales y ladrillos de arcilla para techo en losas aligeradas - Moquegua 2022*. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
- Del Puerto Bordón, P. M., & Riveros, S. D. (2021). Industrialización de ladrillos con utilización de mezcladora mecánica para los oleros de la ciudad de Pilar. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 5(6), 12961-12977. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1302
- ECURED. (2020). *Arcilla*. Retrieved 14 de abril de 2021, from <https://www.ecured.cu/Arcilla>
- Gutierrez Romero, R. R. (2020). *Diseño de una máquina procesadora de arcilla para elaborar ladrillos artesanales en Huancayo*. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Händle, F. (2007). *Extrusion in Ceramics*. Springer.
- Herrera-Sosa, L. C., Villena-Montalvo, E. E., & Rodríguez-Neira, K. R. (2020). Evaluación del desempeño térmico del sillar (ignimbrita) de Arequipa, Perú. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(1), 152-163. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2261>
- Ladrillera Mecanizada. (2020). *Historia del ladrillo*. Retrieved 14 de abril de 2021, from <http://www.ladrillramecanizada.com/blog/historia-del-ladrillo/>
- Ladrillera Mecanizada. (2024). *El origen de la Arcilla*. Retrieved 14 de abril de 2021, from <http://www.ladrillramecanizada.com/blog/el-origen-de-la-arcilla/>
- Madrid Ayosa, J. G., & Mirez Rojas, F. D. (2024). *Diseño de máquina extrusora semiautomática para moldear ladrillo mejorando la calidad del producto en una fábrica ladrillera de Chota, Cajamarca*. Repositorio Institucional de la

Universidad César Vallejo.

- Martinez Guzman, J. Y., & Calambas Quiñones, Y. V. (2020). *Propuesta de mejora para optimizar el proceso de elaboración de ladrillo en la microempresa Buena Vista ubicada en el corregimiento El Zarzal (Tambo)*. Repositorio Institucional de la Fundación Universitaria de Popayán.
- ProIndoCerámica. (2024). *Proceso*. Retrieved 16 de abril de 2021, from Materias Primas Escenciales: <https://sites.google.com/site/proindoceramica/proceso>
- Rocha, J. H., Zapata-Ampuero, N., Herrera-Rosas, M., & Murillo-Borda, W. (2020). Evaluación de la resistencia a la compresión de ladrillos de suelo-cemento. *Congreso Brasileiro de Patología de las Construções, 1800-1808*. <https://doi.org/10.4322/CBPAT.2020.176>
- Rodriguez Prado, R. A., & Cortez, W. M. (2023). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de ladrillos a base de arcilla, tierra y vidrio molido reciclado*. Repositorio Institucional de la Universidad de Lima.
- Torres Vasquez, M., & Vasquez Torres, E. J. (2023). *Caracterización física y mecánica de ladrillos artesanales de arcilla usando escorias de aluminio y teja triturada*. Repositorio Institucional de la Universidad Señor de Sipán.
- Turpo Ccoa, S. (2021). *Diseño de una máquina extrusora hidráulica semi automática para la fabricación de ladrillos pasteleros en la empresa Ladrillos Imperio Cusco - 2021*. Repositorio Institucional de la Universidad Continental.
- Urrego, E., F., L., Pacheco, C. , D., Rivera, D. C., & Guerrero, U. M. (2014). Análisis de factores de riesgo en trabajadores de ladrilleras de Ubaté. *IIEC*, 5-10.
- Vanegas-Padilla, A. P., Fragozo-Frías, G. Y., López-Caballero, J. L., Ortega-Sinning, E. R., & Pedroza-Padilla, C. J. (2024). Eficiencia del ladrillo utilizando mezcla de arcilla y residuos de vidrio como agregado fino en los procesos constructivos del municipio de Valledupar – Cesar. *Revista Politécnica*, 20(40), 124-138. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n40a8>
- Velilla Díaz, W. (2008). *Diseño y validacion de un modelo de Extrusora de Arcilla*. Barranquilla: Universidad del Norte, División de Ingenierías, Maestría en Ingeniería Mecánica.

ANEXOS

Anexo 1 – Descripción del material y factor de material

Screw Conveyors for Bulk Materials - ANSI/CEMA Standard #350					
Table 2-2 Material Characteristics (cont.)					
Material Description	Loose Bulk Density [lb/ft ³ (kgf/m ³)]	CEMA Material Code	Component Series	Material Factor	V
Cinders, Coal	40 (641)	40D ₃ 36T	3D	1.8	
Clay (See Bentonite, Diatomaceous Earth, Fuller's Earth, Kaolin & Marl)			--	--	
Clay, Brick, Dry, Fine	100-120(1602-1922)	110C _{1/2} 36	3D	2.0	
Clay, Calcined	80-100(1281-1602)	90B ₆ 36	3D	2.4	
Clay, Ceramic, Dry, Fine	60-80 (961-1281)	70A ₁₀₀ 35P	1A-1B-1C	1.5	X
Clay, Dry, Lumpy	60-75 (961-1201)	68D ₃ 35	2D	1.8	
Clinker, Cement (See Cement, Clinker)			--		
Clover, Seeds	45-48 (721-769)	47B ₆ 25N	1A-1B-1C	0.4	X
Coal, Anthracite, Culm and River	55-61 (8814-977)	60B ₆ 35TY	2A-2B	1.0	
Coal, Anthracite, Sized - 1/2"	49-61 (785-977)	55C _{1/2} 25	2A-2B	1.0	
Coal, Bituminous, Mined	40-60 (641-961)	50D ₃ 35LNX	1A-1B	0.9	
Coal, Bituminous, Mined, Sized	45-55 (721-881)	48D ₃ 35QVN	1A-1B	1.0	
Coal, Bituminous, Mined, Slack	43-50 (689-801)	47C _{1/2} 45TN	2A-2B	0.9	
Coal, Lignite	37-45 (593-721)	41D ₃ 35TN	2D	1.0	
Cocoa, Beans	30-45 (481-721)	38C _{1/2} 25Q	1A-1B	0.5	
Cocoa, Nibs	35 (561)	35C _{1/2} 25	2D	0.5	
Cocoa, Powdered	30-35 (481-561)	33A ₁₀₀ 45XY	1B	0.9	
Coconut, Shredded	20-22 (320-352)	21E45	2B	1.5	X
Coffee, Beans, Green	25-32 (400-513)	29C _{1/2} 25PQ	1A-1B	0.5	
Coffee, Beans, Roasted	20-30 (320-481)	25C _{1/2} 25PQ	1B	0.4	X
Coffee, Chaff	20 (320)	20B ₆ 25MY	1A-1B	1.0	X
Coffee, Ground, Dry	25 (400)	25A ₄₀ 35P			
Coffee, Ground, Wet	35-45 (561-721)	40A ₄₀ 45X			
Coffee, Soluble	19 (304)	19A ₄₀ 35PUY			X
Coke, Breeze	25-35 (400-561)	30C _{1/2} 37NY	3D	1.2	
Coke, Loose	25-35 (400-561)	30D ₇ 37N	3D	1.2	
Coke, Petrol, Calcined	35-45 (561-721)	40D ₇ 37NY	3D	1.3	
Compost	30-50 (481-801)	40D ₇ 45TV	3A-3B	1.0	
Concrete, Pre-Mix, Dry	85-120(1362-1922)	103C _{1/2} 36U	3D	3.0	
Copper, Sulfate (Bluestone)	75-95 (1201-1522)	85C _{1/2} 35S	2A-2B-2C	1.0	
Copper, Ore	120-150(1922-2403)	135D ₃ 36	3D	4.0	
Copper, Ore, Crushed	100-150(1602-2403)	125D ₃ 36	3D	4.0	
Copra, Cake, Ground	40-45 (641-721)	43B ₆ 45HW	1A-1B-1C	0.7	X
Copra, Cake, Lumpy	25-30 (400-481)	28D ₃ 35HW	2A-2B-2C	0.8	X
Copra, Lumpy	22 (352)	22E35HW	2A-2B-2C	1.0	X
Copra, Meal	40-45 (641-721)	42B ₆ 35HW	2D	0.7	X

*Consult Conveyor Manufacturer.

V - Those materials which show an X may be handled in vertical screw conveyors.

Anexo 2 – Capacidad de carga para extrusor de acuerdo al material

Table 2-3 Screw Conveyor Capacities

Material Class Code		Degree of Trough Loading	Screw Dia. (in)	Maximum RPM*	Capacity, ft ³ /hr	
					At Max. RPM	At One RPM
A-15		45% 	6	165	368	2.23
A-25			9	155	1,270	8.2
B-15			12	145	2,820	19.4
B-25			14	140	4,370	31.2
C-15			16	130	6,060	46.7
C-25			18	120	8,120	67.6
			20	110	10,300	93.7
			24	100	16,400	164.0
			30	90	28,795	320.0
			36	75	41,490	553.2
A-35	E-15	30% A 	6	120	180	1.49
A-45	E-25		9	100	545	5.45
B-35	E-35		12	90	1,160	12.9
B-45	E-45		14	85	1,770	20.8
C-35			16	80	2,500	31.2
C-45			18	75	3,380	45.0
D-15			20	70	4,370	62.5
D-25			24	65	7,100	109.0
D-35			30	60	12,800	213.3
D-45			36	50	18,440	368.8
A-16	C-36	30% B 	6	60	90	1.49
A-26	C-46		9	55	300	5.45
A-36	D-16		12	50	645	12.90
A-46	D-26		14	50	1,040	20.80
B-16	D-36		16	45	1,400	31.520
B-26	D-46		18	45	2,025	45.00
B-36	E-16		20	40	2,500	62.50
B-46	E-26		24	40	4,360	109.00
C-16	E-36		30	35	7,465	213.30
C-26	E-46		36	30	11,064	368.80
A-17	C-37	15% 	6	60	45	0.75
A-27	C-47		9	55	150	2.72
A-37	D-17		12	50	325	6.46
A-47	D-27		14	50	520	10.4
B-17	D-37		16	45	700	15.6
B-27	D-47		18	45	1,010	22.5
B-37	E-17		20	40	1,250	31.2
B-47	E-27		24	40	2,180	54.6
C-17	E-37		30	35	3,728	106.5
C-27	E-47		36	30	5,532	184.4

* Maximum recommended RPM

Anexo 3 – Factores de capacidad para extrusores

Table 2-4 Screw Conveyor Capacities

Special Conveyor Pitch Capacity Factor CF_1					
Pitch	Description	CF_1			
Standard	Pitch = Diameter of screw	1.00			
Short	Pitch = 2/3 Diameter of screw	1.50			
Half	Pitch = 1/2 Diameter of screw	2.00			
Long	Pitch = 1-1/2 Diameter of screw	0.67			
Special Conveyor Flight Capacity Factor CF_2					
Type of Flight	Conveyor Loading				
	15%	30%	45%		
Cut Flight	1.95	1.57	1.43		
Cut & Folded Flight	N. R.*	3.75	2.54		
Ribbon Flight	1.04	1.37	1.62		
Special Conveyor Mixing Paddle Capacity Factor CF_3					
Factor CF_3	Standard Paddles Per Pitch Set at 45°				
	Reverse Pitch				
	None	1	2	3	4
	1	1.08	1.16	1.24	1.32

* Not Recommended

Anexo 4 – Factores de corrección de acuerdo a las características del material

Material	m_0	n	Temperature range (°C)	Moisture range (%)	A (K)	B (1/% M_{DB})	Reference
Cooked cereal dough (80% corn grits, 20% oat flour)	78.5	0.51	67–100	25–30	2500	–7.9 ^a	Harper et al., 1971
Pregelatinized corn flour	36.0	0.36	90–150	22–35	4390	–14	Cervone and Harper, 1978
Soy grits	0.79	0.34	35–60	32	3670	—	Remsen and Clark, 1978
Hard wheat dough	1,885	0.41	35–52	27.5–32.5	1800	–6.8	Levine, 1982
Corn grits	28,000	≈0.5	177	13	—	—	Van Zuilichem et al., 1974
	17,000	≈0.5	193	13	—	—	
	7,600	≈0.5	207	13	—	—	
Full-fat soybeans	3,440	0.3	120	15–30	—	—	Fricke et al., 1977
Moist food product	223	0.78	95	35	—	—	Tsao et al., 1978
Pregelatinized corn flour	17,200	0.34	88	32	—	—	Harmann and Harper, 1974
Sausage emulsion	430	0.21	15	63	—	—	Toledo et al., 1977
Semolina flour	20,000	0.50	45	30	—	—	Nazarov et al., 1971
Defatted Soy	110,600	0.05	100	25	—	—	Jao et al., 1978
	15,900	0.40	130	25	—	—	
	671	0.75	160	25	—	—	
	78,400	0.13	100	28	—	—	
	23,100	0.34	130	28	—	—	
	299	0.65	160	28	—	—	
	28,800	0.19	100	35	—	—	
	28,600	0.18	130	35	—	—	
	17,800	0.16	160	35	—	—	
Wheat flour	4,450	0.35	33	43	—	—	Lounay and Bure, 1973
Defatted soy dough	1,210	0.49	54	25	—	—	Luxenburg et al., 1985
	868	0.45	54	50	—	—	
	700	0.43	54	75	—	—	
	1,580	0.37	54	85	—	—	
	2,360	0.31	54	100	—	—	
	2,270	0.31	54	110	—	—	

Anexo 5 – Factor de diseño de acuerdo al diámetro de la camisa

Conveyor Diameter Factor, F_d			
Screw Diameter Inches	Factor F_d	Screw Diameter Inches	Factor F_d
4	12.0	16	106.0
6	18.0	18	135.0
9	31.0	20	165.0
10	37.0	24	235.0
12	55.0	30	360.0
14	78.0	36	520.0

Anexo 6 – Factor de rozamiento de acuerdo al material

Hanger Bearing Factor, F_b		
Component Group	Bearing Type	F_b
Group A	Ball	1.0
Group B	Babbitt Bronze	1.7
	Wood	
Group C	Plastic Nylon	2.0
	Teflon	
Group D	Chilled hard iron Hardened alloy sleeve	4.4

Anexo 7 – Factor debido al porcentaje de carga

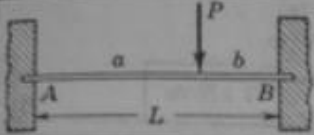
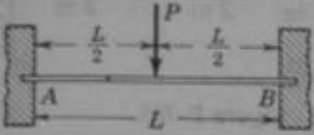
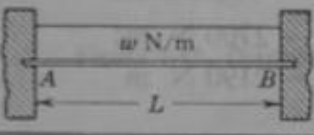
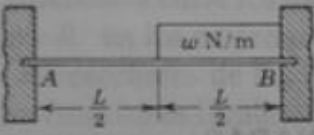
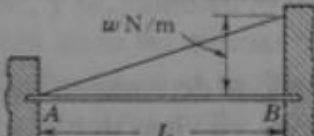
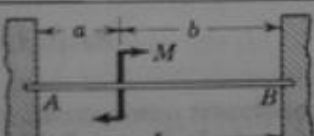
Flight Factor, F_f				
Type of Flight	Conveyor Loading			
	15%	30%	45%	95%
Standard	1.0	1.0	1.0	1.0
Cut Flight	1.10	1.15	1.20	1.30
Cut & Folded Flight	NR	1.50	1.70	2.20
Ribbon Flight	1.05	1.14	1.20	-

Anexo 8 – Factor de acuerdo al número de hélices por paso

Paddle Factor, F_p					
	Standard paddles per pitch set at 45o reverse pitch				
	None	1	2	3	4
F_p	1	1.29	1.58	1.87	2.16

Anexo 9 – Momentos de empotramiento perfecto para método de Cross

TABLA 7-2. Vigas doblemente empotradas con diversos tipos de carga

CASO No.	TIPO DE CARGA	MOMENTOS EN LOS EXTREMOS	VALOR DE $EI\delta$ (y es positiva hacia abajo)
1		$M_A = -\frac{Pab^2}{L^2}$ $M_B = -\frac{Pa^2b}{L^2}$	$EI\delta$ en el centro = $\frac{Pb^2}{48}(3L-4b)$ Nota: sólo para $a > b$
2		$M_A = M_B = -\frac{PL}{8}$	$EI\delta$ máximo = $\frac{PL^3}{192}$
3		$M_A = M_B = -\frac{wL^2}{12} = -\frac{WL}{12}$	$EI\delta$ máximo = $\frac{wL^4}{384} = \frac{WL^3}{384}$
4		$M_A = -\frac{5}{192}wL^2 = -\frac{5}{96}WL$ $M_B = -\frac{11}{192}wL^2 = -\frac{11}{96}WL$	$EI\delta$ en el centro = $\frac{wL^4}{768} = \frac{WL^3}{384}$
5		$M_A = -\frac{wL^2}{30} = -\frac{WL}{15}$ $M_B = -\frac{wL^2}{20} = -\frac{WL}{10}$	$EI\delta$ en el centro = $\frac{wL^4}{768} = \frac{WL^3}{384}$
6		$M_A = M_B = -\frac{5wL^2}{96} = -\frac{5WL}{48}$	$EI\delta$ máximo = $\frac{7wL^4}{3840} = \frac{7WL^3}{1920}$
7		$M_A = \frac{Mb}{L}\left(\frac{3a}{L}-1\right)$ $M_B = -\frac{Ma}{L}\left(\frac{3b}{L}-1\right)$	
8		$M_A = -\frac{6EI\Delta}{L^2}$ $M_B = \frac{6EI\Delta}{L^2}$	

Anexo 10 – Factor de superficie

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{UT} kpsi	S_{UT} 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

De C.J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O.J. Horger (ed.). *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright© 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Anexo 11 – Factor de temperatura

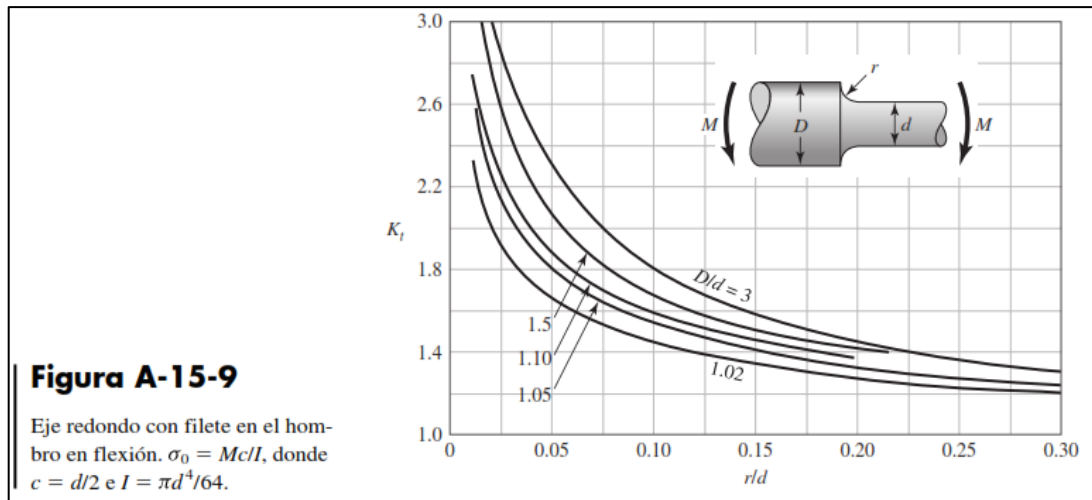
Tabla 6-4	Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.* (S_T = resistencia a la tensión a la temperatura de operación, S_{RT} = resistencia a la tensión a temperatura ambiente; $0.099 \leq \hat{\sigma} \leq 0.110$)	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		

* Fuente: Figura 2-9.

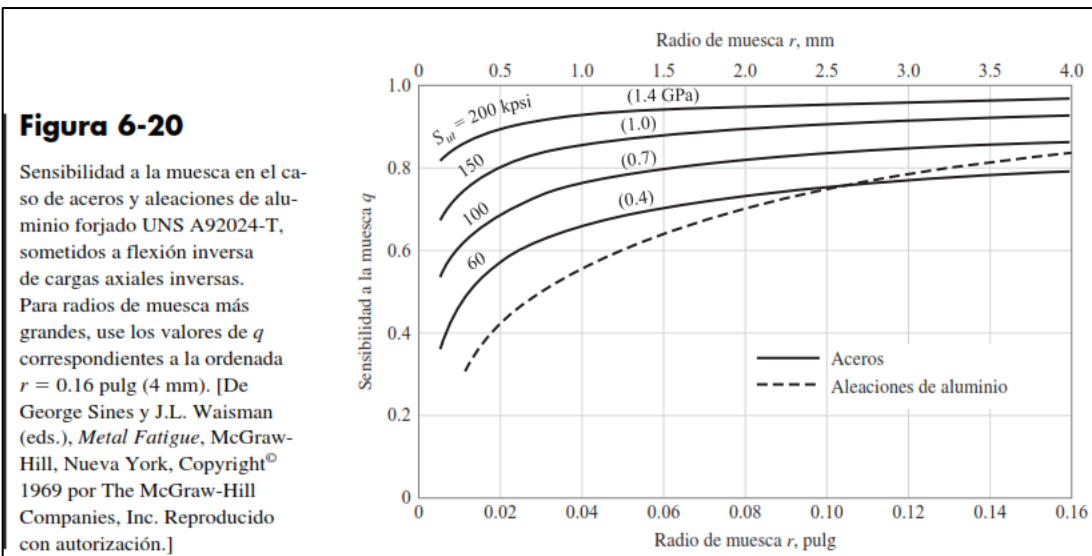
Anexo 12 – Factor de confiabilidad

Tabla 6-5	Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_σ
Factores de confiabilidad k_σ correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga.	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

Anexo 13 – Factor de efectos varios (K_t)



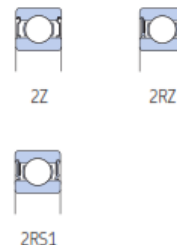
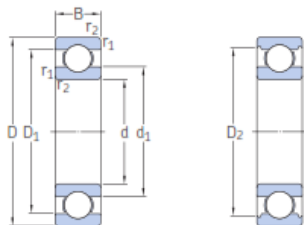
Anexo 14 – Factor de efectos varios (q)



Anexo 15 – Tabla para selección de rodamientos

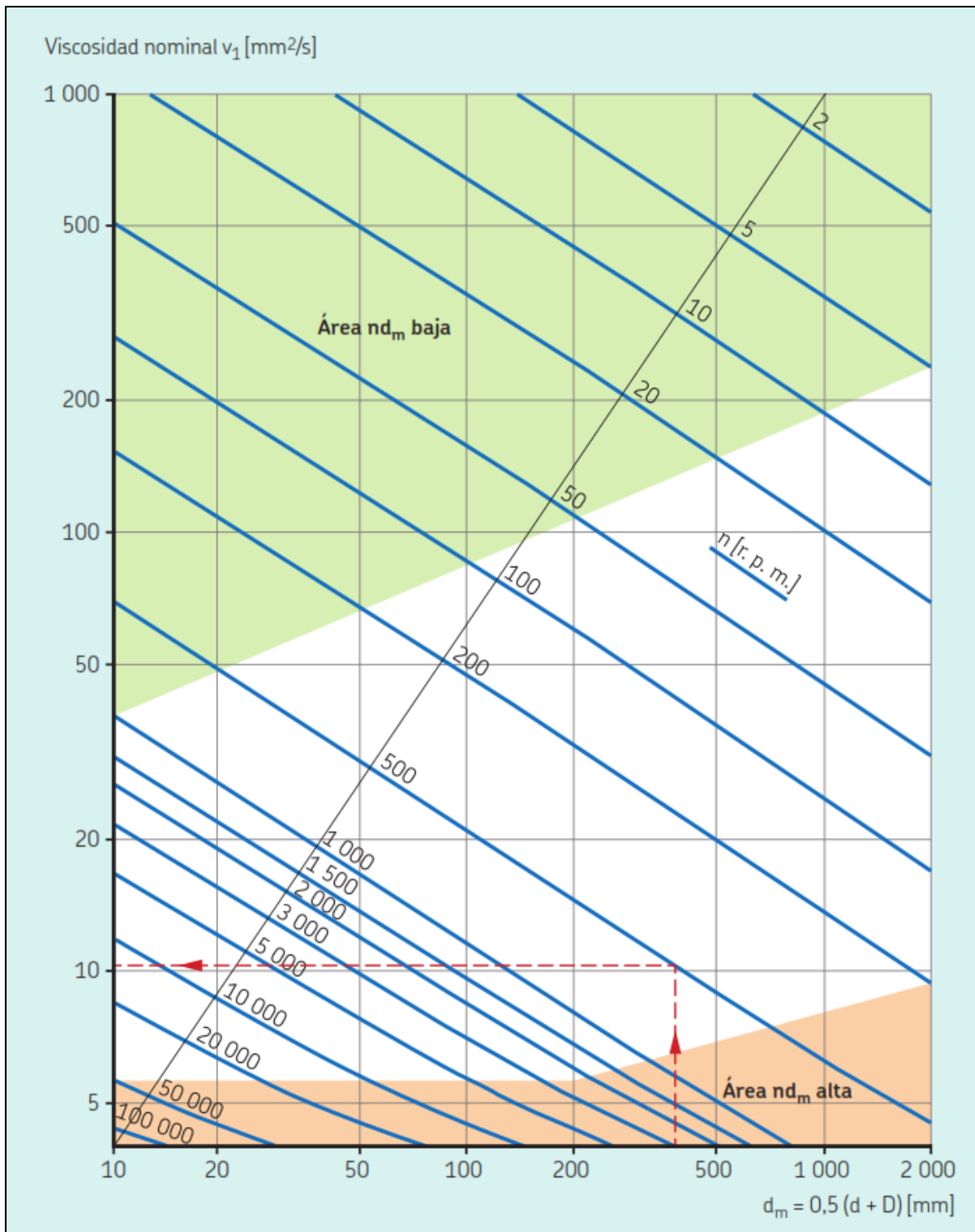
1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 65 – 70 mm

1.1

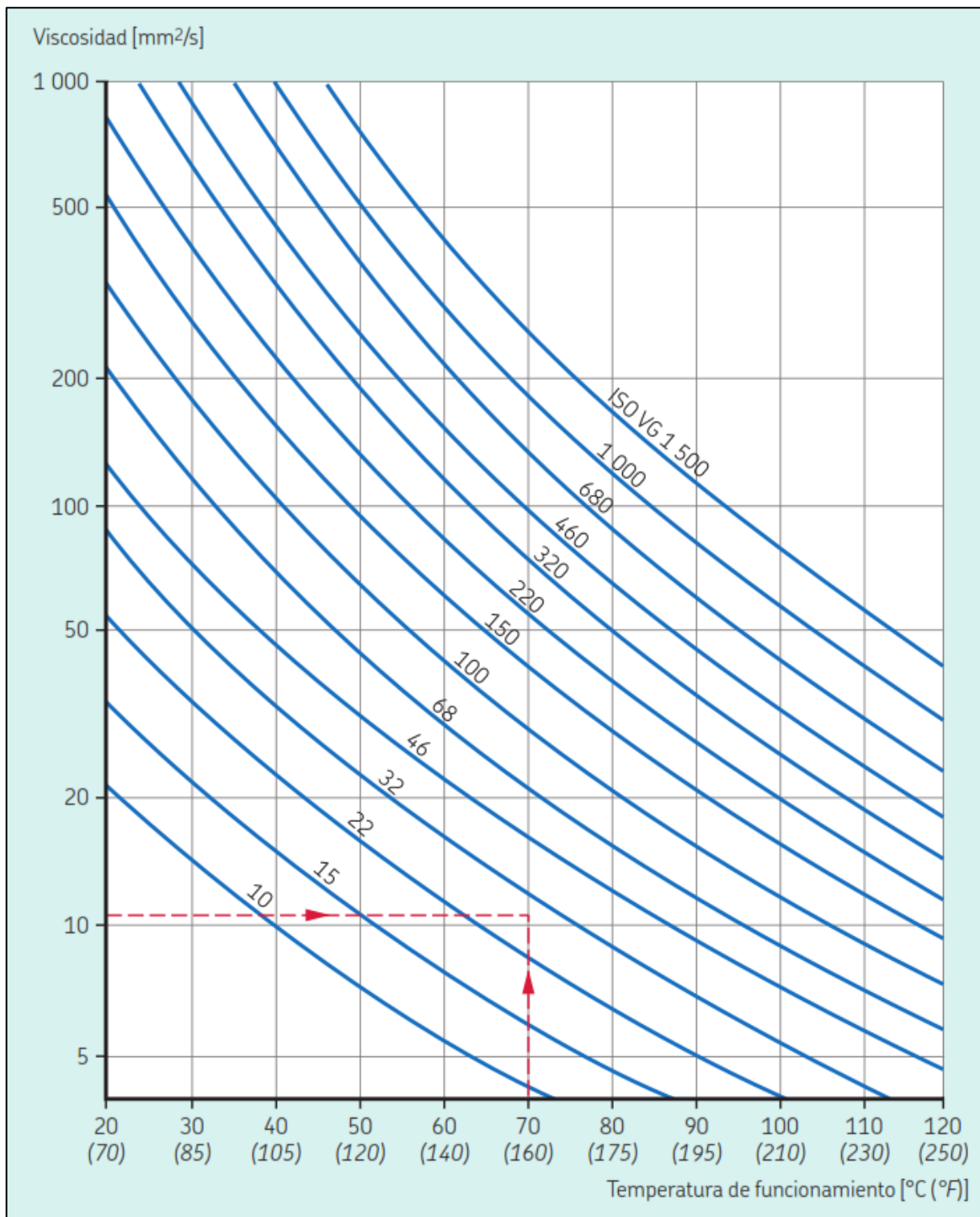


Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado ¹⁾
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–	
65 cont.	120	23	58,5	40,5	1,73	12 000	7 500	1	► 6213	–
	120	23	58,5	40,5	1,73	–	3 600	1,05	► 6213-2RS1	6213-RS1
	120	23	58,5	40,5	1,73	12 000	6 000	1,05	► 6213-2Z	6213-Z
	120	31	55,9	40,5	1,73	–	3 600	1,4	62213-2RS1	–
	140	33	97,5	60	2,5	10 000	6 700	2,55	6313 M	–
	140	33	97,5	60	2,5	10 000	6 700	2,1	► 6313	–
	140	33	97,5	60	2,5	–	3 200	2,15	► 6313-2RS1	6313-RS1
	140	33	97,5	60	2,5	10 000	5 300	2,15	► 6313-2Z	6313-Z
	140	48	92,3	60	2,5	–	3 200	3	62313-2RS1	–
	160	37	119	78	3,15	9 500	6 000	3,35	6413	–
70	90	10	12,4	13,2	0,56	–	4 300	0,14	► 61814-2RS1	–
	90	10	12,4	13,2	0,56	15 000	7 500	0,14	► 61814-2RZ	–
	90	10	12,4	13,2	0,56	15 000	9 000	0,14	► 61814	–
	100	16	23,8	18,3	0,9	14 000	8 500	0,34	► 61914	–
	100	16	23,8	21,2	0,9	–	4 000	0,35	61914-2RS1	–
	100	16	23,8	21,2	0,9	14 000	7 000	0,35	61914-2RZ	–
	110	13	29,1	25	1,06	13 000	8 000	0,44	► 16014	–
	110	20	39,7	31	1,32	13 000	11 000	0,7	6014 M	–
	110	20	39,7	31	1,32	13 000	8 000	0,61	► 6014	–
	110	20	39,7	31	1,32	–	3 600	0,63	► 6014-2RS1	6014-RS1
	110	20	39,7	31	1,32	13 000	6 300	0,64	► 6014-2Z	6014-Z
	125	24	60,5	45	1,9	11 000	10 000	1,3	6214 M	–
	125	24	63,7	45	1,9	11 000	7 000	1,1	► 6214	–
	125	24	63,7	45	1,9	–	3 400	1,1	► 6214-2RS1	6214-RS1
	125	24	63,7	45	1,9	11 000	5 600	1,15	► 6214-2Z	6214-Z
	125	31	60,5	45	1,9	–	3 400	1,4	62214-2RS1	–
	150	35	111	68	2,75	9 500	6 300	2,55	► 6314	–
	150	35	111	68	2,75	9 500	6 300	3,1	6314 M	–
	150	35	111	68	2,75	–	3 000	2,6	► 6314-2RS1	6314-RS1
	150	35	111	68	2,75	9 500	5 000	2,65	► 6314-2Z	6314-Z
	150	51	104	68	2,75	–	3 000	3,75	62314-2RS1	–
	180	42	143	104	3,9	8 500	5 300	4,95	6414	–

Anexo 16 – Figura para determinar la viscosidad nominal (v_1)



Anexo 17 – Figura para determinar el tipo de lubricante



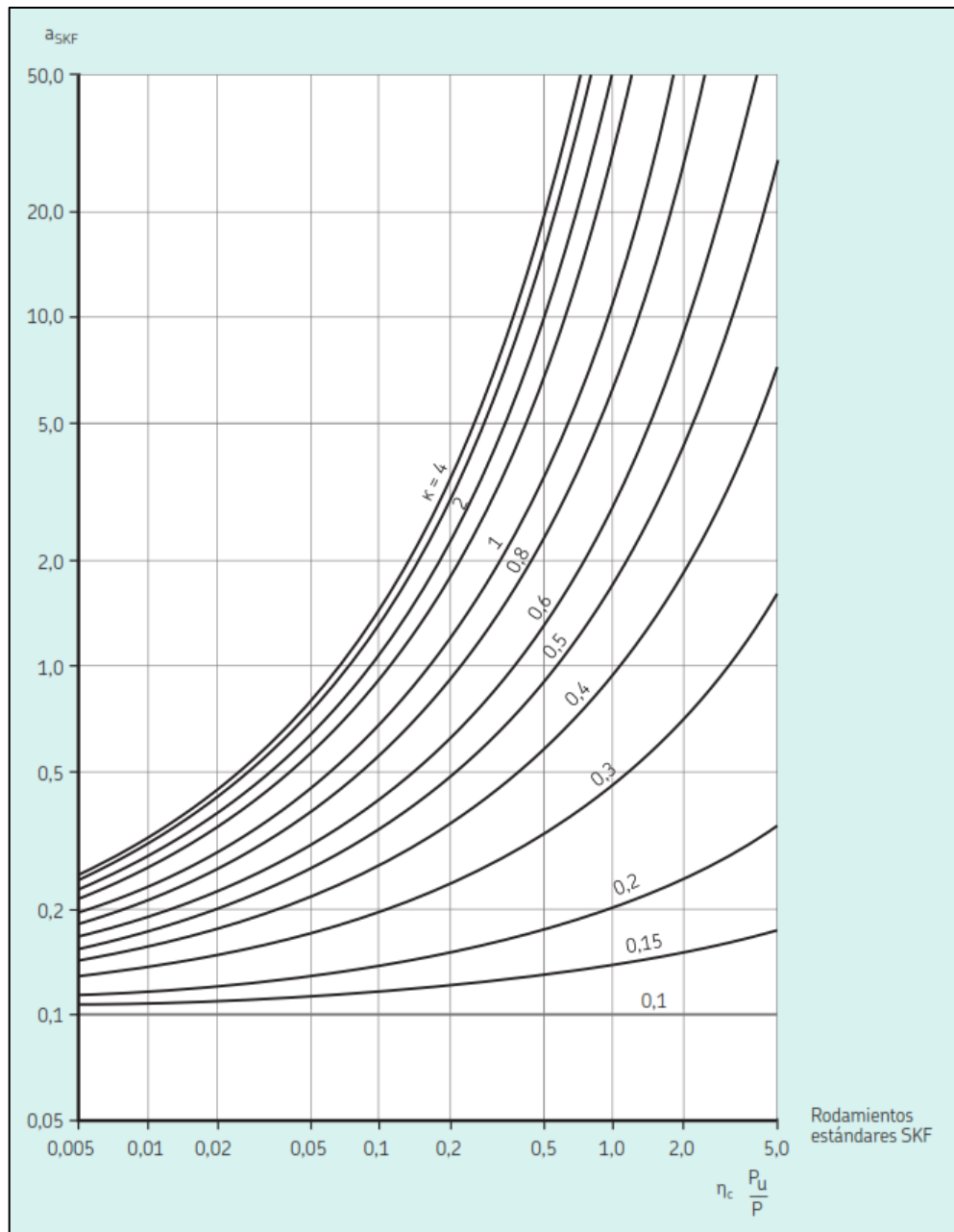
Anexo 18 – Tabla para determinar la velocidad media de acuerdo al tipo de lubricante

Tabla 5			
Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448			
Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C (105 °F)		
	media	min.	máx.
–	mm ² /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

Anexo 19 – Factor de contaminación

Tabla 6		
Valores orientativos para el factor η_c para distintos niveles de contaminación		
Condiciones	Factor $\eta_c^{(1)}$ para rodamientos con diámetro	
	$d_m < 100$	$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema • Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante • Condiciones de laboratorio	1	1
Gran limpieza • Aceite lubricante con filtración muy fina • Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal • Aceite lubricante con filtración fina • Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación severa • Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces • Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy severa • Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de η_c están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento	0	0

Anexo 20 - Gráfico para seleccionar el factor a_{SKF}



Anexo 21 – Factor de cálculo para rodamiento específico

DATOS DEL CÁLCULO		
C	12.4 kN	Capacidad de carga dinámica básica
C_0	13.2 kN	Capacidad de carga estática básica
P_u	0.56 kN	Carga límite de fatiga
	4 300 r/min	Velocidad límite
k_f	0.015	Factor de cálculo
f_0	17.2	Factor de cálculo

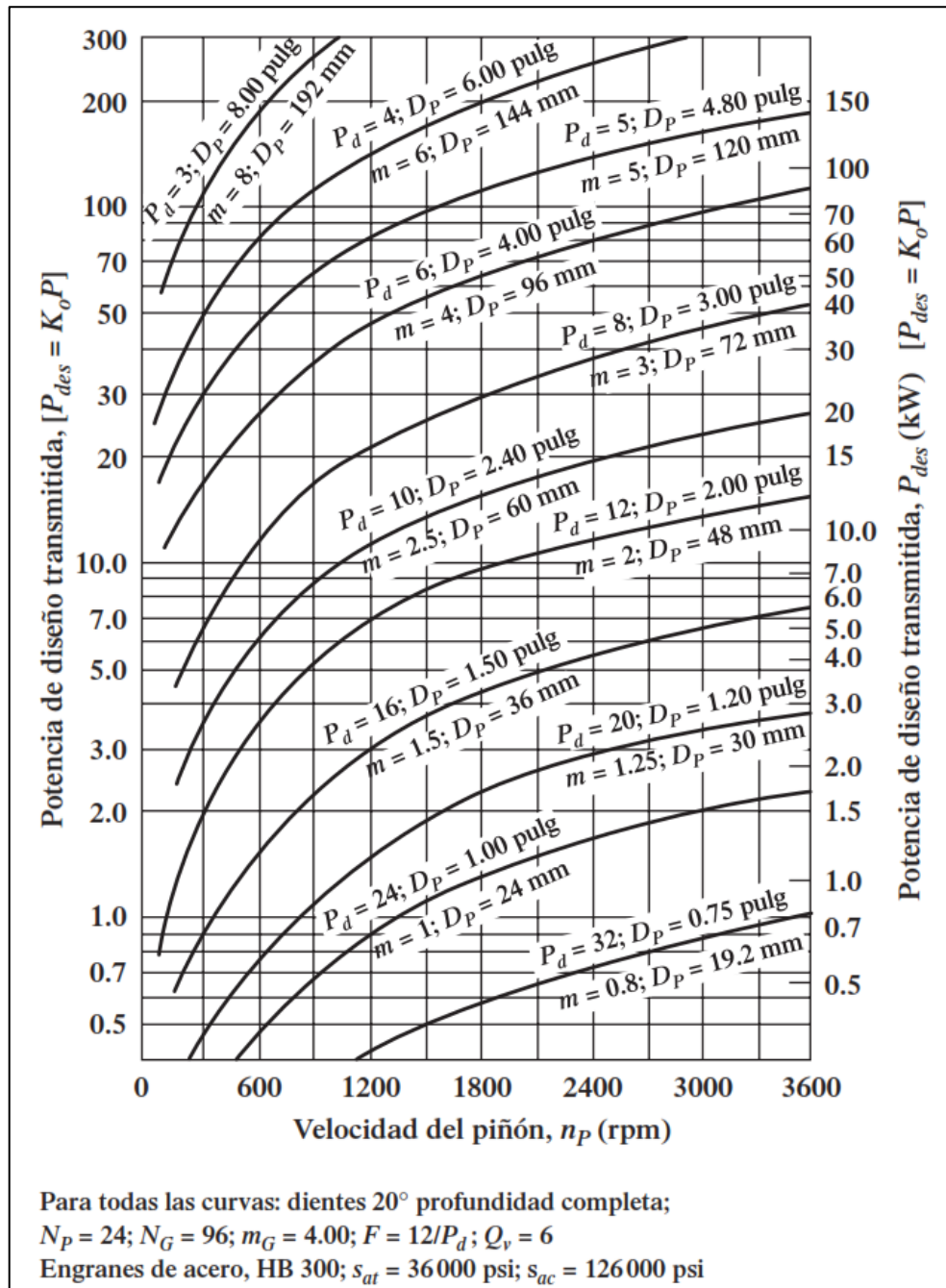
Anexo 22 – Factores de servicio

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal ^a Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional ^b Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

^aSíncronos, fase dividida, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.

^bMonofásicos, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.

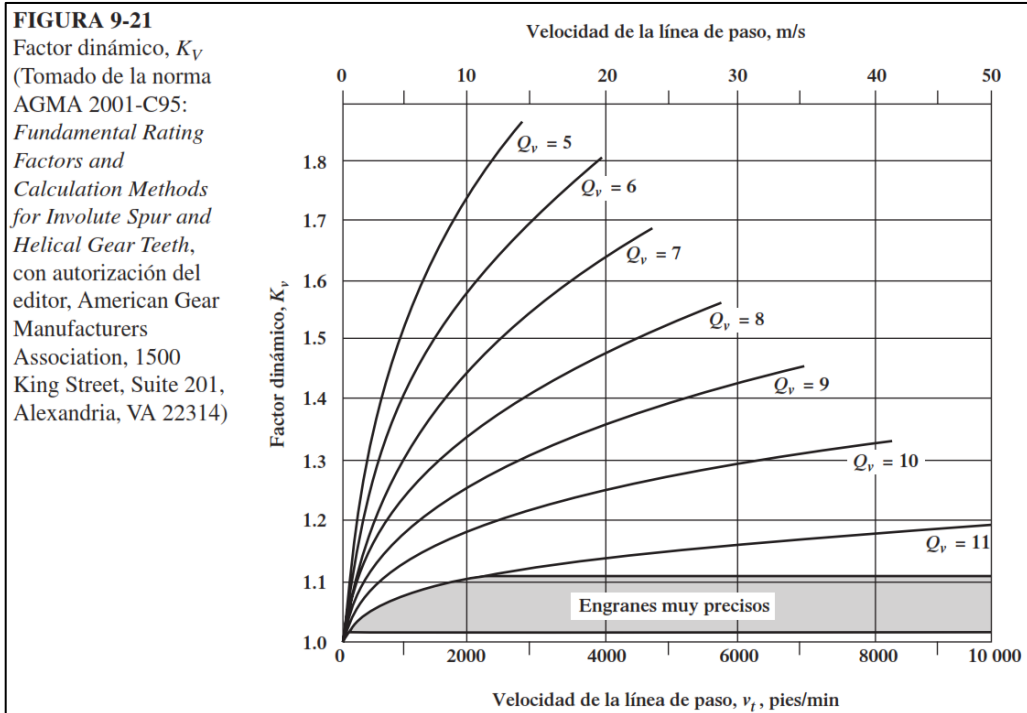
Anexo 23 – Paso diametral para engranajes rectos



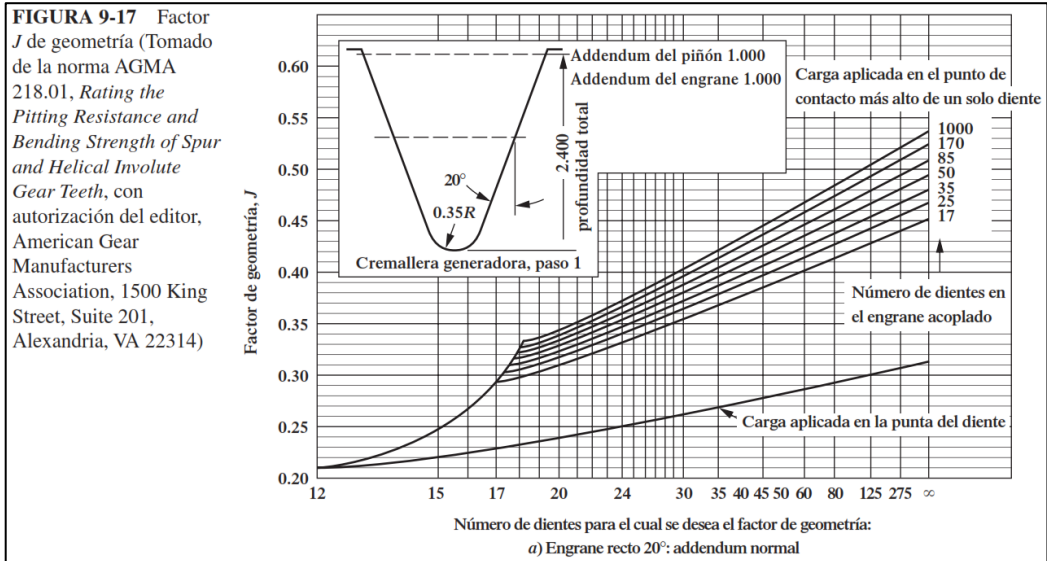
Anexo 24 – Números de calidad recomendados por AGMA

TABLA 9-2 Números de calidad AGMA recomendados			
Aplicación	Número de calidad	Aplicación	Número de calidad
Accionamiento de tambor			
mezclador de cemento	3-5	Taladro pequeño	7-9
Horno de cemento	5-6	Lavadora de ropa	8-10
Impulsores de laminadoras de acero	5-6	Prensa de impresión	9-11
Cosechadora de granos	5-7	Mecanismo de cómputo	10-11
Grúas	5-7	Transmisión automotriz	10-11
Prensas de punzonado	5-7	Accionamiento de antena de radar	10-12
Transportador de mina	5-7	Accionamiento de propulsión marina	10-12
Máquina para fabricar cajas de papel	6-8	Accionamiento de motor de avión	10-13
Mecanismo de medidores de gas	7-9	Giroscopio	12-14
Accionamientos de máquinas herramienta y de otros sistemas mecánicos de alta calidad			
Velocidad de la línea de paso (pies/min)	Número de calidad		Velocidad de la línea de paso
0-800	6-8		0-4
800-2000	8-10		4-11
2000-4000	10-12		11-22
Más de 4000	12-14		Más de 22

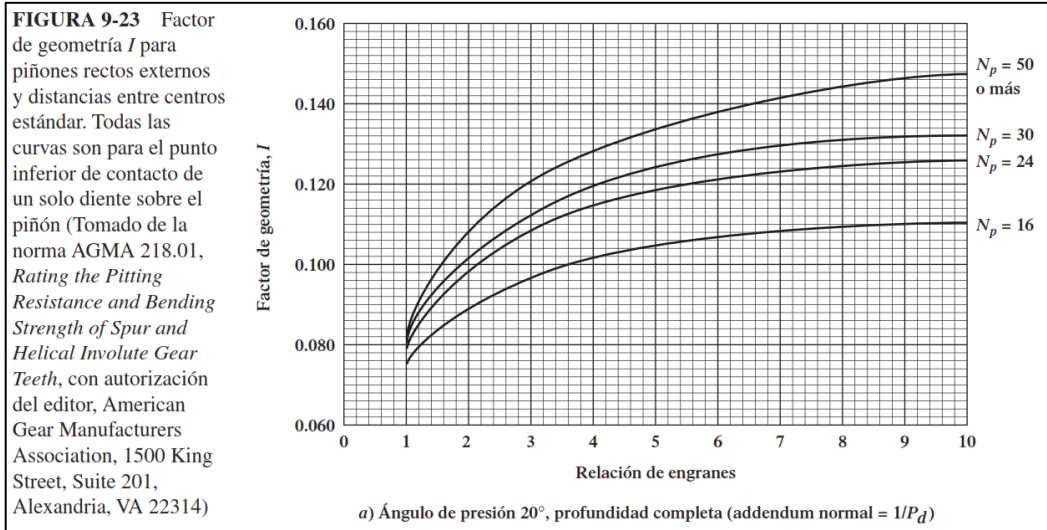
Anexo 25 – Factor dinámico



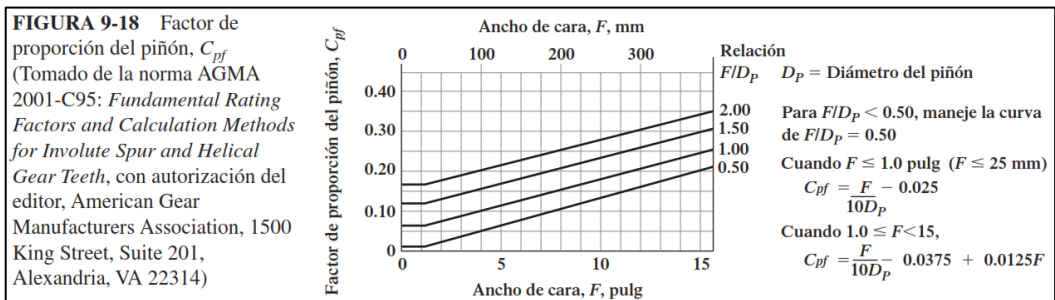
Anexo 26 – Factores de geometría para piñón y engrane



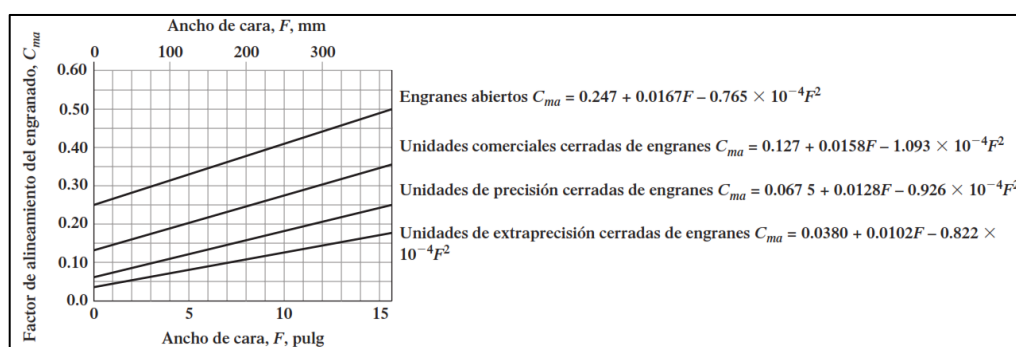
Anexo 27 – Factor de geometría para piñones rectos



Anexo 28 – Factor de proporción del piñón (C_{pf})



Anexo 29 – Factor de alineamiento del engranado, C_{ma}

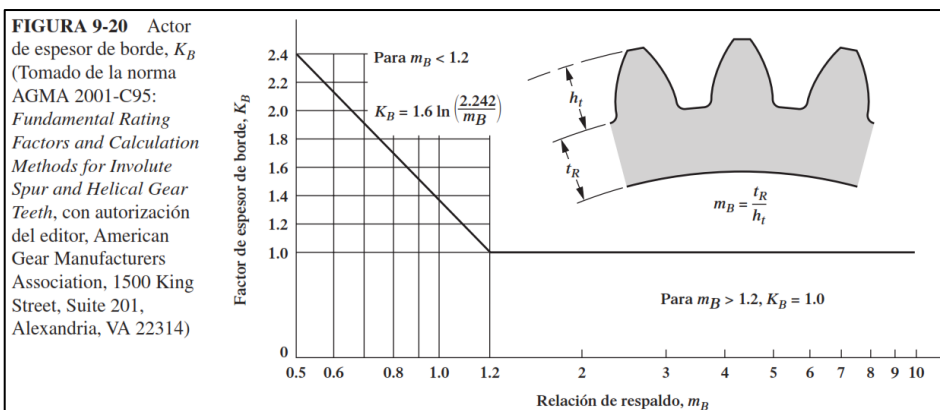


Anexo 30 – Factor de tamaño

TABLA 9-6 Factores de tamaño sugeridos, K_s

Paso diametral, P_d	Módulo métrico, m	Factor de tamaño, K_s
≥ 5	≤ 5	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

Anexo 31 – Factor de borde

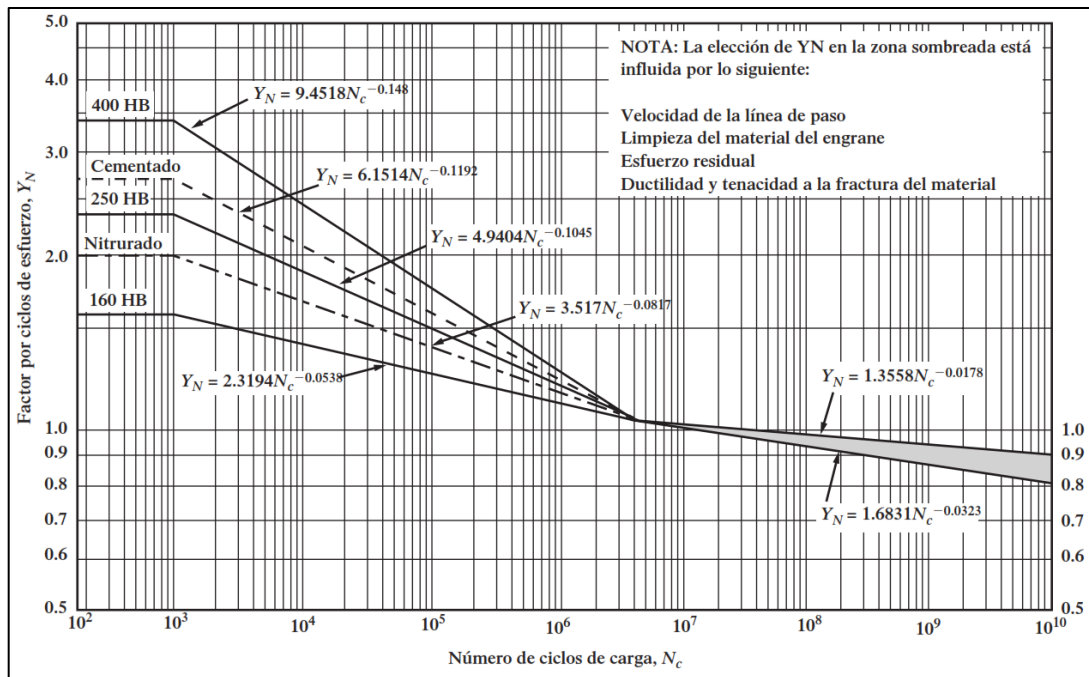


Anexo 32 – Factor de confiabilidad

TABLA 9-8 Factor de confiabilidad, K_R

Confiabilidad	K_R
0.90, una falla en 10	0.85
0.99, una falla en 100	1.00
0.999, una falla en 1000	1.25
0.9999, una falla en 10 000	1.50

Anexo 33 – Figura para determinar el factor por ciclos de esfuerzo, Y_N



Anexo 34 – Figura para calcular el factor por ciclos de esfuerzo, Z_N

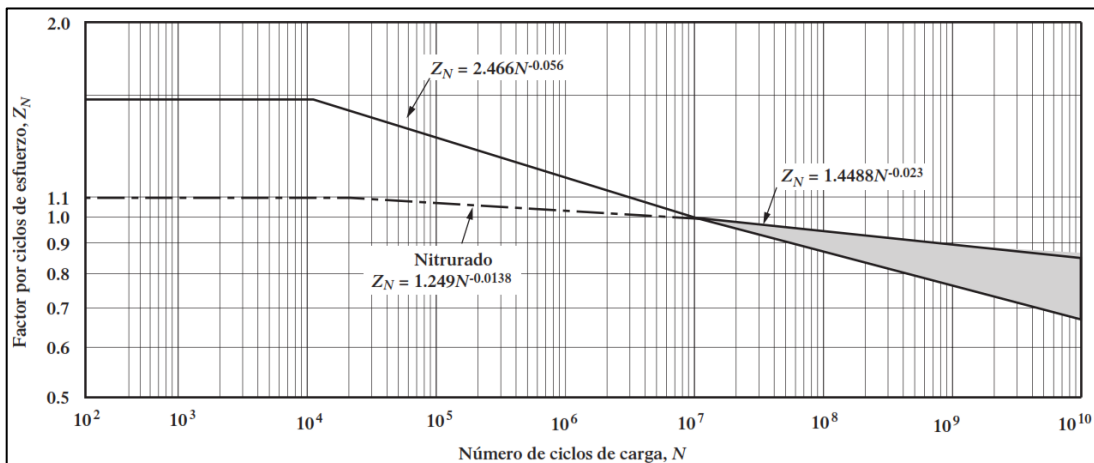
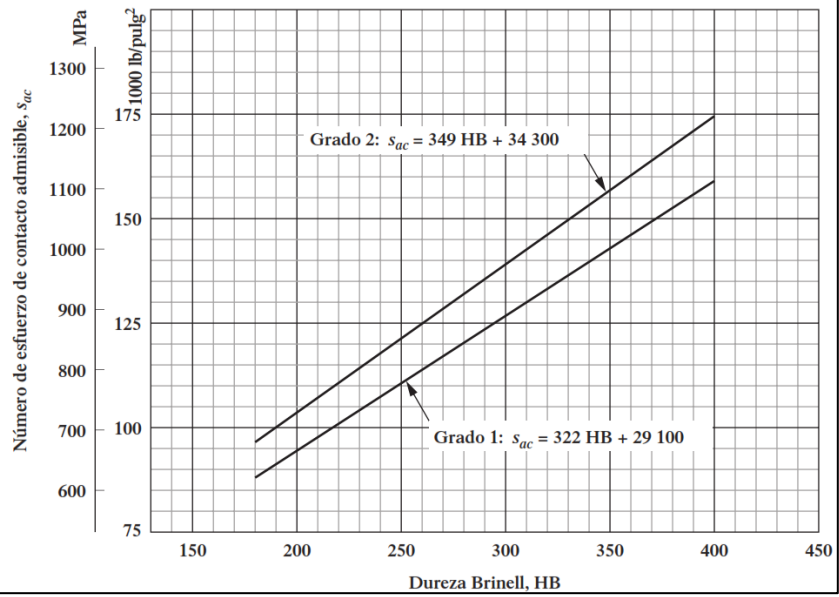


FIGURA 9-24 Factor de resistencia a la picadura por ciclos de esfuerzo, Z_N (Tomado de la norma AGMA 2001-C95: *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*, con autorización del editor, American Gear Manufacturers Association, 1500 King Street, Suite 201, Alexandria, VA 22314)

Anexo 35 - Figura para determinar la dureza del piñón y del engrane

FIGURA 9-11

Número de esfuerzo de contacto admisible, s_{ac} para engranes de acero templado total (Tomado de la norma AGMA 2001-C95: *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*, con autorización del editor, American Gear Manufacturers Association, 1500 King Street, Suite 201, Alexandria, VA 22314)



Anexo 36 – Propiedades del Acero AISI 4140

FIGURA A4-4

Propiedades del acero AISI 4140 con tratamiento térmico: templado en aceite y revenido (*Modern Steels and Their Properties*, Bethlehem Steel Co., Bethlehem, PA)

Tratamiento: Normalizado a 1600 °F, recalentado a 1550 °F, templado en aceite agitado.

Tratado: redondo de 0.530 pulg; ensayado: redondo, 0.505 pulg HB 601, tal como se templó

