	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		VERSIÓN	02
			FECHA	18/05/2023
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): JONATHAN JOSE

APELLIDOS: CARVAJAL CONTRERAS

NOMBRE(S): JOSE DAVID

APELLIDOS: GELVEZ BARBOSA

FACULTAD: INGENIERIAS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA MECÁNICA

DIRECTOR: NOMBRE(S): JESÚS B. APELLIDOS: PEDROZA ROJAS

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE UN MODELO DE EXTRUSORA

PARA LA INDUSTRIA LADRILLERA

RESUMEN

Se presenta a continuación un rediseño de una maquina extrusora de ladrillos para la producción de 3ton/h, dicha maquina fue diseñada mediante técnicas de ingeniería inversa, donde se tomó como modelo una máquina comercial y se rediseño de acuerdo a las necesidades de diseño.

Se utilizaron técnicas de elementos finitos para analizar por torsión el eje principal y el túnel de acuerdo a condiciones de operación utilizados por grandes fabricantes.

Se ha podido presentar un modelo óptimo, económico y de fácil construcción ideal para aquellos pequeños empresarios que deseen incursionar en la industria arcillera.

PALABRAS CLAVE: Diseño mecánico, formatos extrusora, elementos finitos, ingeniería inversa.

CARACTERISTICAS: PÁGINAS: 83 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 0 CD ROOM: 0

DISEÑO DE UN MODELO DE EXTRUSORA PARA LA INDUSTRIA LADRILLERA

JONATHAN JOSE CARVAJAL CONTRERAS

JOSE DAVID GELVEZ BARBOSA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA

SAN JOSE DE CUCUTA

2023

DISEÑO DE UN MODELO DE EXTRUSORA PARA LA INDUSTRIA LADRILLERA

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO

JONATHAN JOSE CARVAJAL CONTRERAS

JOSE DAVID GELVEZ BARBOSA

DIRECTOR

ING. JESÚS B. PEDROZA ROJAS

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA

SAN JOSE DE CUCUTA

2023

ACTA DE SUSTENTACION



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: CÚCUTA, 19 DE MAYO 2023
HORA: 3: 00 P.M.
LUGAR: DM 201
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO: DISEÑO DE UN MODELO DE EXTRUSORA PARA LA INDUSTRIA LADRILLERA.

Jurados: ING. MEIMER PEÑARANDA CARRILLO
ING. JORGE ENRIQUE CABALLERO PRIETO

Director: ING. JESUS BETISAID PEDROZA ROMAS

Nombre de los estudiantes	Código	Calificación Letra	Número
JONATHAN JOSE CONTRERAS	1120876	CUATRO-TRES	4.3
JOSE DAVID GELVEZ	1120808	CUATRO-TRES	4.3

APROBADA


ING. MEIMER PEÑARANDA CARRILLO


ING. JORGE ENRIQUE CABALLERO PRIETO



V.L. MEIMER PEÑARANDA CARRILLO
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Mecánica

Tabla de contenido

1.	Capítulo I. El problema	13
1.1.	Título	13
1.2.	Planteamiento del problema	13
1.3.	Formulación del problema	13
1.4.	Justificación	13
1.4.1.	A nivel técnico	13
1.4.2.	A nivel económico	14
1.4.3.	A nivel social	14
1.5.	Objetivos	16
1.5.1.	Objetivo principal	16
1.5.2.	Objetivos específicos	16
1.6.	Alcances y Delimitaciones	16
1.6.1.	Alcances	16
1.6.2.	Delimitaciones	17
1.6.2.1.	Delimitación espacial	17
1.6.2.2.	Delimitación temporal	17
1.7.	Limitaciones	17
2.	Marco teórico	18
2.1.	Antecedentes en la solución del problema	18
2.1.1.	Antecedentes internacionales	18
2.1.2.	Antecedentes a nivel nacional	19
2.1.3.	Antecedentes locales	19

2.2.	Marco teórico	20
2.2.1.	Diseño mecánico	20
2.2.2.	Tipos de extrusoras	22
2.2.2.1.	Extrusor de hélices.	22
2.2.2.2.	Extrusora sin vacío.	23
2.2.3.	Partes de una extrusora	24
2.2.4.	Elementos de máquinas usados	25
2.2.4.1.	Flechas y ejes	25
2.2.4.2.	Cojinetes de contacto o rodamientos.	26
2.2.4.3.	Rodamientos montados.	27
2.2.4.4.	Tornillo sin fin	28
2.2.5.	Teoría de fallas por carga variable	28
2.2.5.1.	Teoría de Goodman-modificado.	30
2.3.	2.3. Marco conceptual	31
2.3.	Marco legal	32
3.	Diseño metodológico	32
2.4.	3.1. Tipo de investigación	32
2.5.	3.2. Fuentes de información	33
3.2.1.	Fuentes de información primaria	33
3.2.2.	Fuentes de información secundaria	33
3.2.3.	Técnicas y procedimientos para la recolección de la información.	33
3.3.	Metodología	34
4.	Desarrollo del proyecto	34

2.6.	4.1. Características del material a extruir	34
	4.1.1. Clase I	35
	4.1.2. Clase II	35
	4.1.3. Clase III	35
	4.1.4. Clase IV	35
	4.1.5. Clase V	35
2.7.	4.2. Proceso de diseño de la extrusora	36
	4.2.1. Fases del diseño	36
	4.2.1.1. Selección del material a extruir.	36
	4.2.1.2. Clase de extrusor.	36
	4.2.2. Variables del diseño	37
	4.2.2.1. Variables independientes.	37
	4.2.2.2. Variables dependientes.	37
	4.2.3. Pre diseño	37
4.3.	Máquina de referencia	40
4.4.	Diseño del tren de engranes	41
	4.3.1. Primera etapa	42
	4.4.2. Segunda etapa.	46
4.5.	Análisis del eje motriz.	47
	4.5.1. Eje 1 o eje motriz	49
	4.5.1.1. Análisis por elementos finitos.	50
4.6.	Análisis del túnel	55
4.7.	Cálculo del sistema eléctrico	60

4.7.1. Cálculo del contactor	60
4.8. Selección del lubricante para la caja reductora	61
4.9. Costos de la extrusora	62
4.10. Planos de la máquina	64
5. Conclusiones	80
6. Recomendaciones	81
7. Referencias	82

Lista de figuras

Figura 1: Comparativo producción regional Ton/mes para el año 2013 y 2015.	15
Figura 2: Fases del diseño mecánico.	21
Figura 3: Extrusora de hélices.	22
Figura 4: Extrusora sin vacío o toletera.	23
Figura 5: proceso de producción de productos de arcilla.	25
Figura 6: Tipos de rodamientos de bolas.	26
Figura 7: Comparación de los distintos tipos de rodamientos.	27
Figura 8: Chumacera de pedestal.	27
Figura 9: Teoría de falla.	30
Figura 10: vista lateral modelo extrusora sin bomba de vacío.	38
Figura 11: Vista frontal del pre diseño. Fuente: Autores.	39
Figura 12: Vista superior.	39
Figura 13: Vista isométrica.	40
Figura 14: Modelo de extrusora estudiado modelo	41
Figura 15: Eje de la extrusora modelo	41
Figura 16: Tren reductor de engranes	42
Figura 17: Diagrama de cuerpo libre eje motriz.	48
Figura 18: Eje motriz	48
Figura 19: eje central de la extrusora	50
Figura 20: Datos de mallado del eje motriz	51
Figura 21: Mallado eje motriz.	52
Figura 22: Deformación eje principal	53

Figura 23: Resultados de esfuerzos Von Mises eje motriz.	53
Figura 24: Factor se seguridad eje motriz.	54
Figura 25: Características técnicas de los tubos cedula 40.	55
Figura 26: Datos de la malla realizada al túnel.	56
Figura 27: Mallado del túnel.	57
Figura 28: Deformación en el túnel.	58
Figura 29: Esfuerzos en el túnel.	59
Figura 30: Características del motor eléctrico.	60
Figura 31: Grado ISO del lubricante seleccionado.	61

Lista de tablas

Tabla 1: Tabla de prueba para el diseño de engranes rectos primera etapa

44

Introducción

El sector ladrillero es una de las bases de la economía en el departamento de Norte de Santander, actualmente, en el departamento existen más de 103 empresas que se dedican a la producción y comercialización de productos derivados de la arcilla tales como, ladrillos, bloques, piso, tejas, cerámicas, entre otros.

Al ser un sector tan productivo en la región, se convierte en una propuesta tentadora de emprendimiento para los pequeños comerciantes de la región que deseen incursionar en esta línea comercial, o bien para que las grandes y medianas empresas ya constituidas sigan mejorando sus líneas de producción y productos a ofrecer.

Este documento tiene como objetivo presentar una propuesta de diseño de un modelo de extrusora para productos derivados de la arcilla, enfocándose en los costos actuales que tienen estas máquinas; ya que a consecuencia de las alzas que han tenido las materias primas como el acero, soldadura, mano de obra en ingeniería, entre otros. Esto se convierte en el primer obstáculo para aquellos pequeños empresarios que quieran iniciar una línea productiva en esta área comercial.

Para el diseño de esta máquina se hizo uso de herramientas de ingeniería inversa, donde por medio de un modelo de extrusora comercial, se realizó el diseño de esta con el objetivo de bajar los costos de fabricación y poder realizar un diseño más accesible comercialmente. Así mismo, algunos de sus elementos principales (eje motriz y túnel de extrusión) fueron analizados mediante software de elementos finitos para poder corroborar que los materiales y elementos seleccionados y/o calculados pueden brindar un nivel de confianza a la máquina.

1. Capítulo I. El problema

1.1. Título

Diseño de un modelo de extrusora para la industria ladrillera

1.2. Planteamiento del problema

Uno de los principales problemas que se encuentran en la industria ladrillera en el departamento de Norte de Santander la limitación que tienen algunos empresarios para adquirir maquinaria, debido a que esta solo se consigue por medio de importaciones a muy elevados costos y tiempos de entrega muy lentos.

Existen pequeños talleres de metalmecánica dedicada a la fabricación de este tipo de maquinaria, pero sus especificaciones técnicas son muy limitadas y no cumplen con la normativa técnica y de seguridad necesaria para poder garantizar su buena operación y la seguridad del operario.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es el modelo de extrusora más apropiado para la industria ladrillera?

1.4. Justificación

1.4.1. A nivel técnico

Usar conocimientos técnicos y teóricos adquiridos, usando la ingeniería inversa y optimizar los procesos de diseño y construcción de maquinaria, así mismo aplicar herramientas de ingeniería avanzada como los elementos finitos con el objetivo de brindar resultados que respalde el diseño.

1.4.2. A nivel económico

Presentar nuevas alternativas en el mercado que pueda ayudar a los diferentes empresarios, tanto del sector ladrillero para adquirir máquinas que se adapten a sus necesidades económicas y productivas y también servir de apoyo al sector metalmecánico de la región que se dedica a la construcción de maquinaria de este sector productivo de la región. Con esta propuesta, se amplía el catálogo de servicios y productos que los empresarios y constructores de maquinaria de la región puedan acceder y de esa manera contribuir al crecimiento industrial del departamento.

1.4.3. A nivel social

Norte de Santander es uno de los 32 departamentos de Colombia. Está ubicado en la zona nororiental del país sobre la frontera con Venezuela. Forma parte de la región Andina. Tiene 40 municipios en total y de los cuales se destacan por la gran actividad de la industria de la arcilla siendo esta una actividad con mayor impacto económico, de los municipios más comunes se destacan El Zulia, Villa del Rosario y los Patios.

Según un informe de la CAEM publicado por (Herrera et al, 2015) En Colombia la industria ladrillera genera más de 21.000 empleos fijos y alrededor de un poco más de 8.000 empleos temporales, lo que lo convierte en un pilar de la economía colombiana y de los principales generadores de empleo. Entre el año 2013 y 2015 Norte de Santander tuvo una producción de 53.903 y 147.350 Ton/ mes respectivamente en cada año, ubicándose de esa manera en una segunda posición por debajo del departamento de Cundinamarca y de Bogotá, superando incluso a departamentos como Antioquia, Valle del Cauca y Santander, según como se muestra en la figura 1.

REGIÓN	PRODUCCIÓN REGIONAL PARA EL AÑO 2013 (TON/MES)	PRODUCCIÓN REGIONAL PARA EL AÑO 2015 (TON/MES)
Bogotá D.C. y Cundinamarca	184.704	271.956
Norte de Santander	53.903	147.350
Antioquia	35.809	157.693
Valle del Cauca	29.401	107.903
Huila	Sin información en 2013	76.232
Boyacá	Sin información en 2013	40.222
Cesar	Sin información en 2013	46.706
Atlántico	Sin información en 2013	30.660
Santander	Sin información en 2013	16.063
Caldas	Sin información en 2013	12.407
Nariño (Zona de Jongovito - Pasto)	Sin información en 2013	17.007
Guajira	Sin información en 2013	8.520
Cauca	Sin información en 2013	114.602
Tolima	Sin información en 2013	5.946
Sucre	Sin información en 2013	5.390
TOTAL	Sin información en 2013	1.058.656

Figura 1: Comparativo producción regional Ton/mes para el año 2013 y 2015. (Herrera et al, 2015).

Según se describe en la figura 1 debido a que el departamento se caracteriza por su buena calidad de arcilla y productos del gres y la cerámica, la implementación de un diseño de extrusora se estaría abriendo puertas a nuevos empleos en la región debido a que los empresarios podrán expandir sus negocios implementando nuevas líneas productivas y por ende se necesitara más personal para ocupar esos nuevos puestos.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo principal*

- Diseñar un modelo de extrusora para la industria ladrillera.

1.5.2. *Objetivos específicos*

- Calcular y/o seleccionar los elementos mecánicos y eléctricos de la extrusora mediante la aplicación de ingeniería inversa.
- Hacer uso del método de los elementos finitos para la simulación del eje motriz y túnel de extrusión que van a componer la extrusora.
- Presentar los costos de construcción de la extrusora.
- Elaborar planos de construcción y montaje de la extrusora.

1.6. Alcances y Delimitaciones

1.6.1. *Alcances*

El alcance principal del proyecto es el cumplimiento de los objetivos trazados con el fin de presentar un modelo de extrusora para la industria ladrillera, esto con el objetivo de poder brindar alternativas a pequeños y medianos empresarios que quieran iniciar una línea o unidad productiva en el sector ladrillero e incluso a grandes empresas que quieran incluir una nueva línea de producción en sus plantas, esta extrusora tiene una capacidad de extrusión de hasta 3 Ton/h de producción, debido a que es esta una extrusora con un tamaño pequeño en espacio y producción, también la capacidad suele ser la más comercial para aquellos empresarios que quieran iniciar en el sector arcillero con una máquina que les brinde una capacidad de producción sin requerir de mucho personal en la línea.

Al hacer uso de los elementos finitos se pudo determinar los materiales óptimos y dimensiones necesarias para no sobre diseñar elementos de la máquina que puedan generar sobrecostos innecesarios a la hora de llegar a construirse.

1.6.2. Delimitaciones

1.6.2.1. Delimitación espacial.

Este proyecto estará enfocado al sector ladrillero a nivel nacional e internacional, brindando una nueva alternativa para este sector productivo.

1.6.2.2. Delimitación temporal.

Este trabajo se desarrolló en un tiempo de 4 meses a partir de la aprobación por parte del comité del plan de estudios de ingeniería mecánica de la universidad Francisco de Paula Santander.

1.7. Limitaciones

La limitación de este proyecto en que solo se presentó la alternativa de diseño de la extrusora, más no se presentó un prototipo construido, debido a esto solo se estimaron los costos de materiales y de construcción.

2. Marco teórico

2.1. Antecedentes en la solución del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

A nivel internacional se tiene un trabajo realizado por (Chapoñan, P. & Rojas, P. 2019) titulado “Diseño de una máquina extrusora de ladrillos con una capacidad de 1000 unidades/hora para la fábrica ladrillos lark-lambayeque”. En dicho trabajo el autor realizó 4 conceptos del diseño donde fueron evaluados mediante el uso de una matriz de selección para obtener una solución a la problemática, el concepto por el que se optó fue una extrusora de ladrillos con sistema de mezclado y extrusión de vacío, se logró parametrizar la máquina extrusora enfocado al diseño de tornillo sin fin para extrusión, se calculó la potencia del motor necesario para la extrusión, siendo éste de 11 kW, así también una longitud del eje de 1.2 m, diámetro de eje de 0.140 m y tornillo de 0.25 m, para obtener una cantidad de 1000 unidades/h de ladrillo de 18 huecos con dimensiones, largo 0.23 m, ancho 0.125 m y alto 0.09 m. Finalmente, el autor afirma que se elaboró la simulación de los distintos elementos que conforman la máquina (tornillo extrusión, tornillo mezclador, cámara de mezclado, etc.). Con el objetivo de conocer los datos del factor de seguridad, fatiga y deformación, consecutivamente se hizo la selección de material y selección de componentes (motorreductor para mezclado y extrusión, rodamientos, etc.) y elaboración de planos de fabricación y análisis de costos de la máquina.

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

A nivel nacional (Jimenez, D. et al, 2021) en su trabajo “Diseño y construcción de un extrusor de arcilla para impresión 3D” donde el objetivo principal trazado de esta investigación consistió en diseñar y construir un extrusor de arcilla para impresión 3D en respuesta y como alternativa a los altos costos que presentan actualmente los materiales convencionales (PLA, ABS). Con esto se amplió el campo de acción que tiene hoy en día la impresión 3D realizando un enfoque hacia otros sectores de la industria y también de la artesanía. El desarrollo de este proyecto se realizó en tres fases; la primera fase fue el planteamiento de alternativas de sistemas mecánicos, hasta llegar al modelo óptimo de extrusor que cumpla el objetivo propuesto. Con el modelo elegido se realizó un dimensionamiento en CAD (dibujo asistido por computadora) de la estructura y subsistemas. Después se realiza una simulación en CAE (Ingeniería asistida por computadora), con el objetivo de hallar los puntos críticos que se presentan en el proceso de extrusión y finalmente se concluye con la construcción del prototipo.

2.1.3. Antecedentes locales

En la universidad Francisco de Paula Santander los antecedentes más recientes se dividen en dos campos el primero fue un estudio realizado por Perez, R. & Cañizares, C. (2017) su trabajo titulado “análisis de falla para la boquilla de la extrusora de arcilla Souza msl-320 de la ladrillera Ocaña”, en este estudio los autores presentan un análisis de falla realizado a la boquilla de la extrusora mencionada anteriormente esta extrusora se encuentra en la ladrillera Ocaña ubicada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Haciendo uso de la mecánica forense, se utilizaron muestras de la pasta de arcilla y material de la boquilla para caracterizarlos mediante pruebas de dureza, metalografía, espectrometría, difracción de rayos x y microscopía electrónica

de barrido, la cuales arrojaron como resultado errores en el tratamiento térmico del material, lo que ocasiona que no sea apto para soportar las condiciones abrasivas a las que está expuesto.

El otro trabajo fue realizado por Barbosa, P.(2017) este trabajo se titula “diseño de una máquina extrusora de plástico para los productores de maguera de Ocaña”, en este trabajo se orientó a el diseño de un prototipo de maquina extrusora de plástico para el sector de la fabricación de manguera de la provincia de Ocaña del departamento de Norte de Santander; por lo que se planteó como solución a las problemática de competitividad y a las condiciones de trabajo en las que se desenvuelven estos; el prototipo se diseñó con el objetivo de producir manguera de polietileno de ½”, ¾” y 1” mediante un mecanismo compuesto de un husillo y sistema de calentamiento que fundirá, comprimirá la materia prima proveniente de una tolva de alimentación y además la hará pasar a través de una boquilla o molde de extrusión para obtener el producto final.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Diseño mecánico

Como lo define (Schmid, Hamrock, & Jacobson, 2014) el diseño mecánico es el proceso de dar forma, dimensiones, materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento de una máquina para que cumpla unas determinadas funciones o necesidades, el diseño se diferencia del análisis, en que en estos se toma un diseño ya existente para estudiarlo, y verificar que cumpla con las necesidades para las que fue diseñado.

El objetivo final de un diseño mecánico es obtener un producto útil que satisfaga las necesidades de un cliente, y además sea seguro, eficiente, confiable, económico y de manufactura práctica”. Mott, (2006). Diseño de elementos de máquinas, pág. 9

El proceso de diseño comienza con la identificación de una necesidad. El reconocimiento y la expresión de ésta constituyen un acto muy creativo, porque la necesidad quizá sólo sea una vaga inconformidad, un sentimiento de inquietud o la sensación de que algo no está bien. A menudo la necesidad no es del todo evidente; el reconocimiento se acciona por una circunstancia adversa o por un conjunto de circunstancias aleatorias que se originan casi de manera simultánea”. Budynas & Nisbett, (2012), pág. 5. El proceso de diseño mecánico en general sigue las siguientes fases como lo indica la figura 2 a continuación.

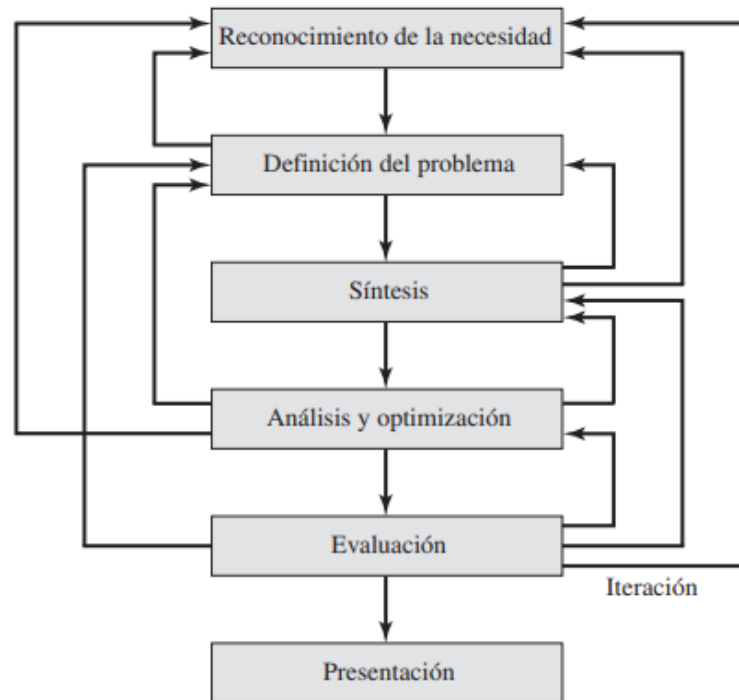


Figura 2: Fases del diseño mecánico.

2.2.2. Tipos de extrusoras

Actualmente, en el mercado existen diferentes tipos de extrusoras, cada una diseñada de acuerdo a capacidades y condiciones de diseño. Entre los tipos de extrusoras se tienen, según los explica (Ibarra, F. 2004)

2.2.2.1. Extrusor de hélices.

Tienen nivel de producción muy alto, la alimentación se hace de manera muy sencilla con la ayuda de una tolva, su mantenimiento es mínimo y sencillo, resolver los problemas de amasamiento. Aunque como desventajas tenga el hecho de que aumente relativamente la complejidad de la máquina y por ende aumento su costo, aun así, se piensa que es la mejor opción para trabajar con mezclas arcillosas. Según lo muestra la figura 3.



Figura 3: Extrusora de hélices. Natreb. (2019). Máquinas

2.2.2.2. Extrusora sin vacío.

En el lenguaje del gremio de la arcilla en Norte de Santander estas máquinas también son conocidas como toleteras. Se caracterizan por no usar un sistema de bomba de vacío como si lo usa las extrusoras de hélices anteriormente nombradas. Su uso se limita solo a ciertos productos que no necesiten del vacío para su conformado, pero esto no es una desventaja en estas máquinas debido a que se les puede adaptar un sistema de vacío. Este tipo de maquina se puede observar en la figura 4.

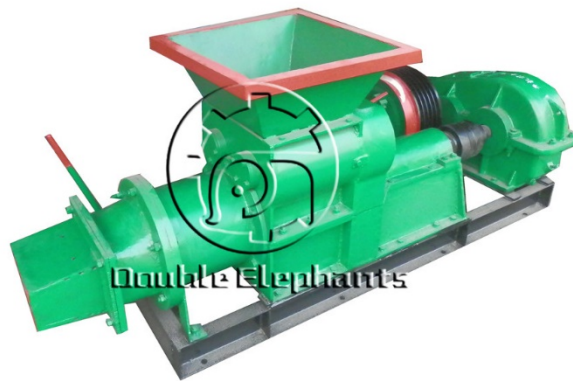


Figura 4: Extrusora sin vacío o toletera. (Henan, D. 2005).

2.2.3. Partes de una extrusora

Según lo explica (Chapoñan Peche & Rojas Pérez, 2019, pág. 32) las partes principales de una extrusora de ladrillos o de productos derivados de la arcilla son lo siguiente:

- Tolva de mezclado: La tolva es el componente que cumple la función de recibir el material, para obtener una alimentación constante al sistema, para que ésta trabaje de manera continúa.
- Polea conducida: Es la polea ajustada al eje extrusor para el proceso de extrusión.
- Base: Es parte donde está fijada las principales componentes del sistema de extrusión para la fabricación del ladrillo.
- Rodillos deslizadores: Es un sistema de transmisión que sirve para desplazar cargas de un punto a otro mediante un proceso continuo.
- Corte de barra: Es un cortador multialambre con movimiento vertical para la columna de barro cocido.
- Corte de ladrillos: Es un sistema que es utilizado para dividir en secciones iguales a través de un sistema de empuje, con la utilización de una sierra.
- Cabezal y boquilla: La boquilla es la que se acopla al final del cilindro, el cual sujeta la boquilla y generalmente va atornillado. El cabezal debe ser capaz de facilitar lo más posible el flujo del material hacia la boquilla.

En la figura 5 se puede observar el proceso de fabricación en una planta ladrillera.

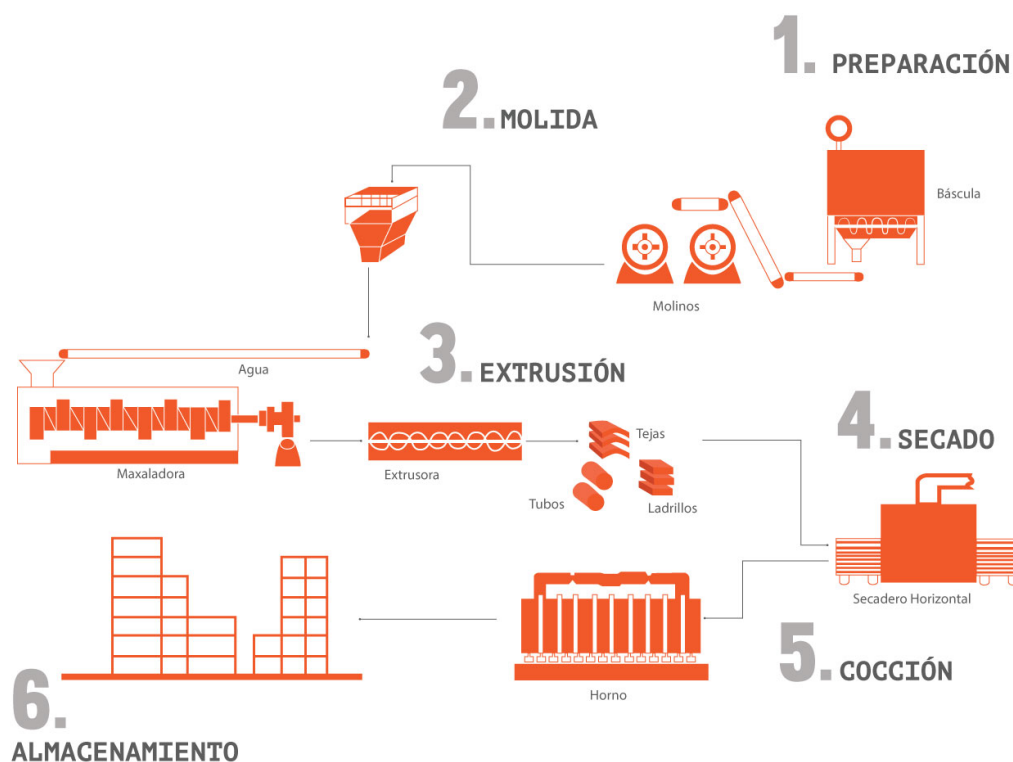


Figura 5: proceso de producción de productos de arcilla. (Arcasa. 2018)

2.2.4. Elementos de máquinas usados

2.2.4.1. Flechas y ejes.

Como lo define (Budynas & Nisbett. 2012) Una se define como un elemento rotatorio, por lo general, de sección transversal circular, que se emplea para transmitir potencia o movimiento. Constituye el eje de rotación u oscilación de elementos como engranes, poleas, volantes de inercia, manivelas, ruedas dentadas o catarinas y miembros similares y, además, controla la geometría de su movimiento. Un eje puede definirse como un elemento no giratorio

que no transmite par de torsión y que se utiliza para soportar ruedas rotatorias, poleas y elementos parecidos.

2.2.4.2. Cojinetes de contacto o rodamientos.

Son elementos mecánicos cuya función principal es soportar cargas de distintos tipos, ya sean radiales o axiales que están aplicadas sobre un eje. Existen múltiples tipos de rodamientos como los son rígidos de bolas, cónicos, cónicos radiales, de rodillos, entre otros dependiendo de su aplicación.

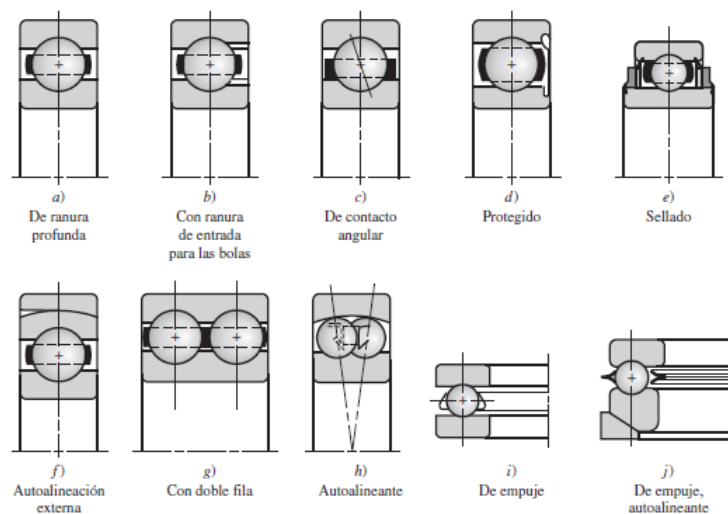


Figura 6: Tipos de rodamientos de bolas.

Tipo de rodamiento	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga de empuje	Capacidad de desalineamiento
Una hilera de bolas con ranura profunda	Buena	Regular	Regular
Doble hilera de bolas, ranura profunda	Excelente	Buena	Regular
Contacto angular	Buena	Excelente	Mala
Rodillos cilíndricos	Excelente	Mala	Regular
Agujas	Excelente	Mala	Mala
Rodillos esféricos	Excelente	Regular a buena	Excelente
Rodillos cónicos	Excelente	Excelente	Mala

Figura 7: Comparación de los distintos tipos de rodamientos.

Fuente: Mott. (2006). Diseño de elementos de maquinas. Cuarta edición, pág. 600

2.2.4.3. Rodamientos montados.

En muchos tipos de maquinaria pesada, y en máquinas especiales producidas en pequeñas cantidades, se seleccionan rodamientos montados, y no rodamientos sueltos. Los rodamientos montados proporcionan un medio de sujetar la unidad del rodamiento en forma directa al armazón de la máquina, con tornillos, y sin introducirlos en un hueco maquinado de una caja, como se requiere en el caso de los rodamientos no montados. Mott. (2006). Diseño de elementos de maquinas. Cuarta edición.

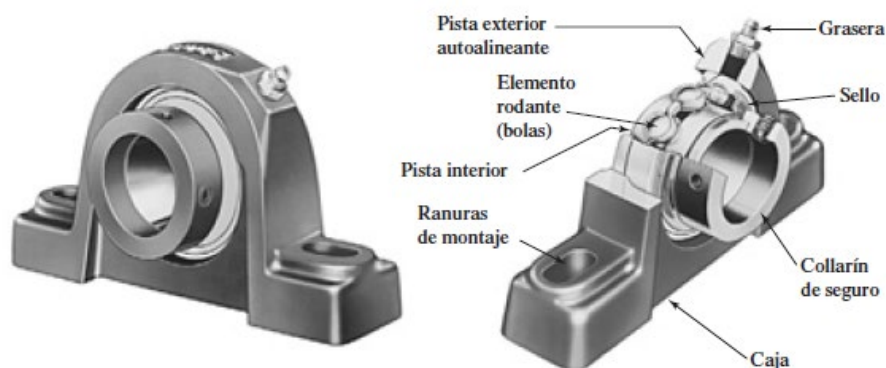


Figura 8: Chumacera de pedestal.

Fuente: Mott. (2006). Diseño de elementos de maquinas. Cuarta edición, pág. 604

2.2.4.4. Tornillo sin fin.

Durante el proceso de extrusión el flujo total se compone esencialmente de dos tipos de flujo: el flujo rotacional y el flujo de presión. De esta manera el flujo total se puede hallar de la siguiente manera:

$$\theta_b = \tan^{-1} \left(\frac{L}{\pi D_b} \right) \dots (1)$$

$$W_b = \left(\frac{L}{p} \right) \cos(\theta_b) - e \dots (2)$$

$$e_b = b_b \cos(\theta_b) \dots (3)$$

Donde:

θ_b = Angulo externo de la hélice (Grados).

L = Paso del tornillo (mm).

D_b = Diámetro del tornillo (mm).

W_b = Ancho del túnel de la hélice (mm).

P = número de aletas para el sin fin.

e = espesos de filete para la hélice. (mm).

b = ancho del filete (mm).

2.2.5. Teoría de fallas por carga variable

La primera investigación científica sobre las fallas debido a cargas variables se debe a August Wohler (1870), quién postuló que la falla era debida al número de ciclos de esfuerzo y también halló una resistencia límite de este fenómeno en los aceros; en 1839 Poncelet fue quién dio nombre al fenómeno (Norton, 1999).

Una carga variable es aquella cuya magnitud varía en el tiempo, su valor no es constante y de acuerdo a la posición variará su intensidad. Las cargas variables son axiales, de torsión y flexión actuando individualmente o combinadas dando origen a un esfuerzo cíclico. La fatiga es un fenómeno asociado a esfuerzo cíclico, cuando la pieza mecánica está sometida a cargas cíclicas, de impacto o el elemento tiene movimiento giratorio o desplazamiento. Cuando se presentan estas situaciones es mejor utilizar el diseño por fatiga.

Hamrock, Jacobson & Schmid (1999) expresan, que el noventa por ciento de las fallas en piezas mecánicas fabricadas con metales son atribuidas al fenómeno de la fatiga. El fenómeno está asociado a la presencia de micro grietas producidas por las cargas variables, grietas que se propagan con el tiempo y al final producirán la falla total del componente mecánico.

Una falla por fatiga es inesperada, repentina, brusca y en muchos casos catastrófica. Generalmente, se presenta a esfuerzos mucho menores que los de resistencia a fluencia. Se define la fatiga como un proceso de daño acumulativo que se manifiesta particularmente por la aparición de grietas seguidas de su propagación (Hamrock, Jacobson & Schmid, 1999).

Las teorías de falla más comunes son: teoría de Goodman-modificado, Soderberg, Gerber (parabólica) y Asme-elíptica.

Gráficamente, en un plano cartesiano, se traza la resistencia límite a la fatiga, la amplitud del esfuerzo y el esfuerzo a la fluencia (en caso de prever una falla por fluencia) en la ordenada o eje vertical, y en el eje de las abscisas o eje horizontal se trazan el esfuerzo último a la tensión, el esfuerzo medio y la resistencia a la fluencia como se observa en la figura 9.

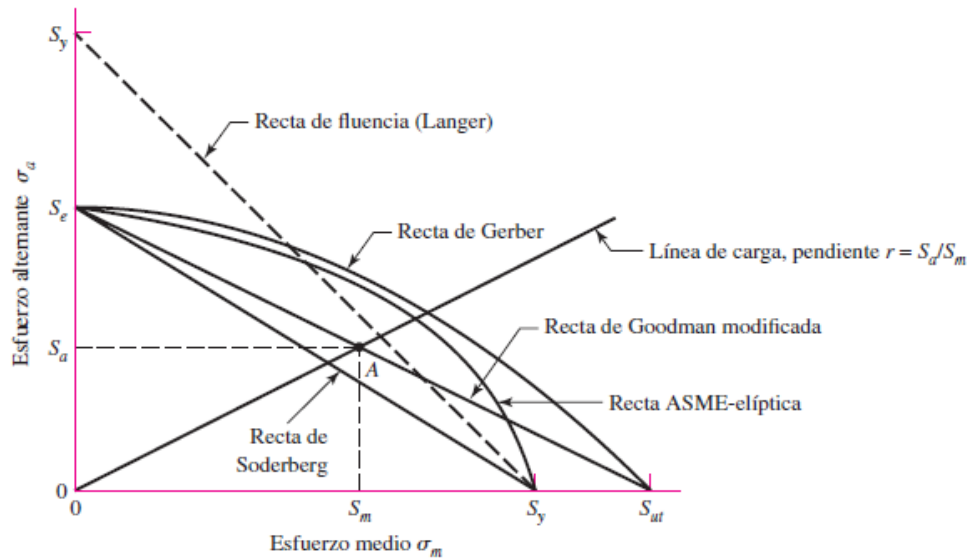


Figura 9: Teoría de falla. (Budynas & Nisbett, 2012)

(Budynas & Nisbett, 2012)

2.2.5.1. Teoría de Goodman-modificado.

Según varios autores esta teoría no es conservadora, su desarrollo aritmético es sencillo y también se puede graficar los resultados fácilmente. Se determina por:

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1; \quad \text{si se tienen en cuenta los esfuerzos,} \quad \frac{n\sigma_a}{S_e} + \frac{n\sigma_m}{S_{ut}} = 1$$

Evaluando el factor de seguridad:

$$n = \frac{S_e * S_{ut}}{\sigma_a S_{ut} * \sigma_m S_e}$$

“Se suele emplear la línea de Goodman como criterio de diseño, ya que es más segura que la línea de Gerber” Norton, 1999; p. 367); sin embargo, Budynas, & Nisbett (2008) manifiestan que los diseñadores conservadores siguen utilizando esta teoría.

2.3. Marco conceptual

En el diseño de la extrusora se tendrán en cuenta los siguientes conceptos:

- **Árbol (flecha):** elemento giratorio de sección circular y que sirve para transmitir potencia y movimiento.
- **Eje:** elemento no giratorio y sobre el que se instalan dispositivos rotativos como ruedas, rodillos, poleas. Este elemento no transmite momento torsor, soporta cargas sin transmitir potencia.
- **Husillo.** Es un componente móvil que se caracteriza por ser corto y delgado.
- **Engranés rectos.** Son utilizados cuando los ejes paralelos; presentan la gran desventaja de ser ruidosos y por lo tanto son empleados en mecanismos de baja velocidad. En este tipo de engranes “La fuerza ejercida sobre un diente de engrane, durante la transmisión de potencia, actúa en dirección normal (perpendicular) al perfil de involuta del diente” (Mott, 2006; p. 535).
- **Engranés helicoidales.** Son utilizados en la transmisión de potencia entre ejes paralelos y a bajas velocidades. En el grupo de los engranes helicoidales, aquellos denominados cruzados se usan entre ejes perpendiculares. En este tipo de engranes, además de las fuerzas tangenciales y radiales se producen fuerzas axiales. (Mott, 2006).
- **Cuñas:** Es un componente de máquina cuyo propósito es transmitir un par torsor y evitar el deslizamiento entre los componentes que están acoplados (por ejemplo,

eje-polea, eje-engrane). Se instalan en el cuñero, que es una ranura axial previamente maquinada sobre la flecha o árbol. “En forma característica, la cuña se instala primero en el cuñero del eje, y después el del cubo se alinea con la cuña y se desliza el cubo a su posición correcta” (Mott, 2006, p. 494).

2.3. Marco legal

Este proyecto se desarrollará bajo los lineamientos establecidos por la Universidad Francisco de Paula Santander, en cuanto a presentación de proyectos y requisitos establecidos por el plan de estudios de ingeniería mecánica, bajo la modalidad de sistematización del conocimiento.

De la misma manera se manejan normas y códigos de diseño establecidas bajo las siguientes normas que recomienda (Budynas & Nisbett, 2012).

- American Gear Manufacturers Association (AGMA)
- American Iron and Steel Institute (AISI)
- American National Standards Institute (ANSI)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- American Society of Testing and Materials (ASTM)
- American Welding Society (AWS).
- ASM International.

3. Diseño metodológico

2.4. 3.1. Tipo de investigación

El proyecto utilizó un enfoque metodológico cuantitativo, este método según lo expone (Hernandez Sampiere et al,2014) el enfoque cuantitativo es un enfoque secuencial y probatorio en donde cada etapa, en este caso el diseño de los elementos que componen la extrusora precede

a la siguiente y en la que no se puede eludir pasos. Partiendo de una idea que va acomodándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas, se maneja una revisión literaria en cuento a antecedentes y diseños propuestos y se construye un marco o una perspectiva teórica.

Según el estatuto estudiantil de la UFPS el proyecto se enmarca dentro de la modalidad de Sistematización de conocimientos, por cuanto se aplicarán los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera.

2.5. 3.2. Fuentes de información

3.2.1. Fuentes de información primaria

Las fuentes de información primarias fueron recuperadas de bases de datos tales como, trabajos de grados, artículos científicos de revistas indexadas nacionales e internacionales y libros de ingeniería de materiales y de diseño.

3.2.2. Fuentes de información secundaria

Las fuentes de información secundarias fueron extraídas de artículos de periódicos, visitas técnicas y charlas con empresarios, trabajadores y personal que se encuentra diariamente en el gremio ladrillero del departamento. A partir de estas fuentes se recolectaron datos de la calidad de la arcilla de la región Nortesantandereana y como es vista está en el mercado nacional e internacional.

3.2.3. Técnicas y procedimientos para la recolección de la información

Según (Hernandez, Fernandez & Baptista, 2014) Para una investigación de enfoque cuantitativo “La recolección de los datos se fundamenta en la medición (se miden las variables o conceptos contenidos en las hipótesis). Esta recolección se lleva a cabo al utilizar procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica.

3.3. Metodología

El proyecto siguió los siguientes pasos mostrados para poder alcanzar los objetivos propuestos y desarrollar cumplidamente el diseño que se propone

- Revisión bibliográfica en diseños de extrusoras propuestas.
- Pre diseño de un modelo partiendo de un modelo comercial
- Cálculo de los elementos de máquinas correspondientes al modelo presentado
- Selección del motor eléctrico y sistema de protección del diseño
- Simulación de las principales partes del modelo usando elementos finitos
- Presentación del modelo final
- Generación de planos de construcción y montaje
- Elaboración de los costos de materiales y construcción
- Elaboración del manual de funcionamiento y de mantenimiento
- Socialización del proyecto

4. Desarrollo del proyecto

2.6. 4.1. Características del material a extruir

Las extrusoras manejan una velocidad de extrusión que es determinada por el tipo de material a trabajar, dentro de estos materiales se encuentran unas clasificaciones que van desde los tipos I hasta los tipos V, donde se determinan si son materiales pesados o livianos; para materiales livianos se tienen extrusoras con velocidades hasta 150 rpm y para materiales pesados se manejan velocidades máximas de 50 rpm.

(Chapoñan, P. & Rojas, P. (2019). Clasifican estos materiales de la siguiente manera:

4.1.1. Clase I

Cebada, trigo, malta, arroz, harinas de trigo y similares, cal en polvo y en general materiales que tienen un peso específico entre 0.4 y 0.7 Ton/m³.

4.1.2. Clase II

Son aquellos materiales no abrasivos que tienen un peso específico entre 0.6 y 0.8 Ton/m³, entre estos se pueden encontrar alumbre en polvo, haba de soja, granos de café, cacao y maíz, carbón de hulla en finos y menudos, cal hidratada.

4.1.3. Clase III

Los materiales de Clase III son materiales generalmente semi-abrasivos de tamaño reducido, mezclas con polvos, con peso específico que se sitúa entre 0,6 - 1,2 Ton/m³, entre estos se pueden encontrar el bórax, carbón vegetal, leche en polvo, sal, jabón pulverizado, azúcar, entre otros.

4.1.4. Clase IV

Dentro de esta clase se encuentra la arcilla y todos aquellos materiales con un peso específico de 0.8 a 1.6 Ton/m³. Entre aquellos otros se encuentra la bauxita, negro de humo, harina de huesos, cemento, azufre, arena, entre otros.

4.1.5. Clase V

Los materiales de Clase V son aquellos materiales altamente abrasivos, troceados o en polvo, como pueden por ejemplo ser las cenizas, hollines de conductos de humos, cuarzo pulverizado, arena silícea. El cual el uso de este material se debe evitar que entre en contacto con soportes y cojinetes.

2.7. 4.2. Proceso de diseño de la extrusora

Se hará uso de la herramienta de ingeniería inversa, como se define “La ingeniería inversa es el proceso de determinar las propiedades de un objeto físico a través de un análisis cuidadoso de su estructura, función y operación. Las mediciones geométricas de toda la superficie de un objeto se realizan manualmente o utilizando varias técnicas de metrología 3D para crear una representación digital 3D del objeto. Esta herramienta permite a los fabricantes entender cómo se diseñó una pieza para poder reproducirla o realizar cambios o mejoras.” (Creaform, 2021)

4.2.1. Fases del diseño

4.2.1.1. Selección del material a extruir.

El material a extruir será una clase IV mencionado anteriormente y es arcilla con un peso específico desde 1.2 a 1.6 Ton/m³ dependiendo del tipo de arcilla.

4.2.1.2. Clase de extrusor.

Existen en el mercado diferentes tipos de extrusores, se encuentran el extrusor sin cilindros alimentadores, extrusor con cilindros propulsores y extrusores de hélices (estos son los más aceptados en el mercado actual). Las hélices que se utiliza en los extrusores cuentan con características propias que permiten tener mayor o menor resistencia, mayor o menor capacidad de flujo, etc. Son mayormente usados para trabajar con mezclas arcillosas y son tipo estándar. Para el cálculo de diseño de los diferentes elementos de la extrusora, se realizaron mediante las siguientes ecuaciones mostrada a continuación siguiendo el método aplicado por (Chapoñan, P. & Rojas, P. 2019).

4.2.2. Variables del diseño

4.2.2.1. Variables independientes.

Dentro de las variables independientes se tomaron las siguientes:

- Capacidad de extrusión (Ton/h): Esta capacidad se ha fijado previamente y se definió que tendrá una capacidad de extrusión de 3 Ton/h, lo que en unidades extruidas daría:

ρ arcilla: 1762 kg/m^3

Según (ICONTEC, 2000) en la NTC 296

V ladrillo tipo tolete: $0.1 \text{ m} \times 0.14 \text{ m} \times 0.29 \text{ m} = 4.06 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

Masa de un ladrillo tipo tolete: 7.15 kg.

Unidades producidas = $7.15 \text{ Kg} \times 60 \text{ minutos} = 429 \text{ Unidades}$

- Material a extruir (ρ): El material a extruir es arcilla para la fabricación de productos cerámicos como lo son (Ladrillos, bloques, piso, etc.)

4.2.2.2. Variables dependientes.

En las variables dependientes, se tomaron las siguientes:

- Potencia (HP): Esta será la potencia requerida por la máquina para poder suministrar la capacidad de extrusión seleccionada.
- Factor de seguridad (F.S).

4.2.3. Pre diseño

Se ha optado por diseñar un equipo capaz de producir 419.5 und/h o 3 Ton/h de ladrillo tipo tolete, que tendrá las dimensiones de: $0.1 \text{ m} \times 0.14 \text{ m} \times 0.29 \text{ m}$, este equipo contará con la

característica que no poseerá bomba de vacío, debido a que el bloque tipo tolete no necesitará de este, en las figuras 10 a 12 se muestran el modelo del prediseño del tipo de extrusora a diseñar.

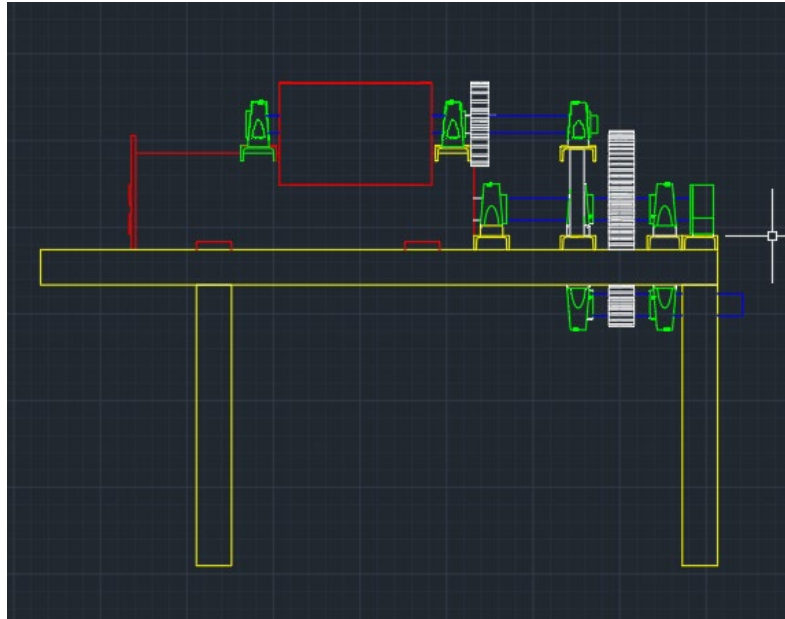


Figura 10: vista lateral modelo extrusora sin bomba de vacío.

En el modelo se observa que cuenta con un tren de engranes rectos que se encargaran de reducir los rpm del motor eléctrico y transmitir la potencia hacia el equipo para poder extruir la capacidad diseñada.



Figura 11: Vista frontal del pre diseño.

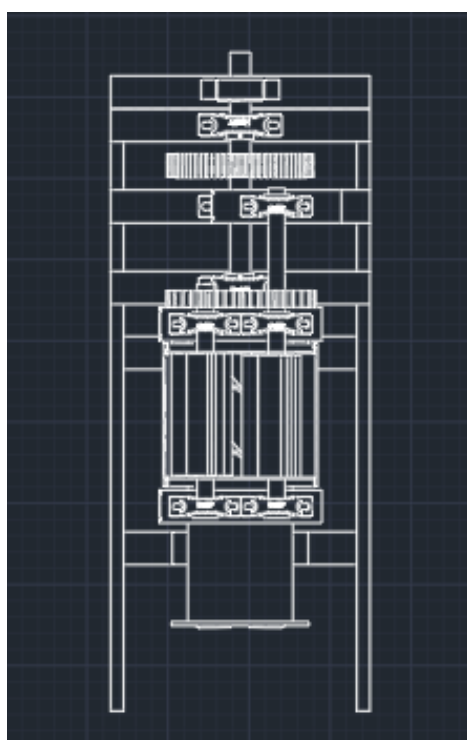


Figura 12: Vista superior.

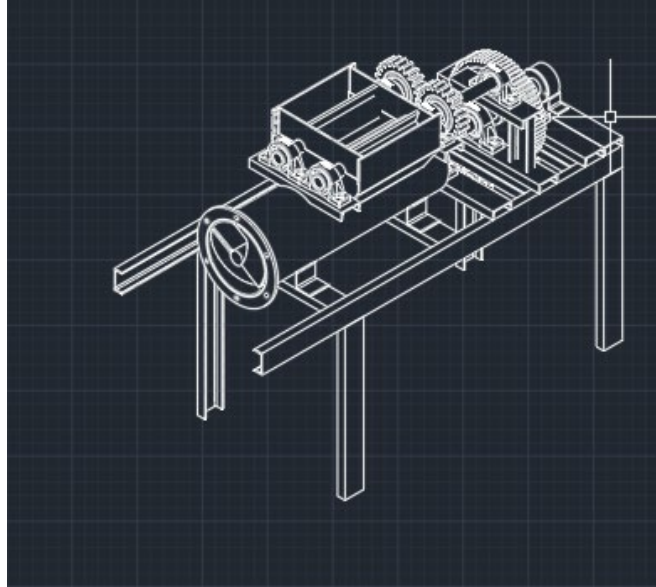


Figura 13: Vista isométrica.

4.3. Máquina de referencia

A la siguiente máquina a continuación se le realizó el estudio de ingeniería inversa, con el objetivo de entender su funcionamiento y de poder realizar un nuevo diseño a partir de este modelo.



Figura 14: Modelo de extrusora estudiado modelo



Figura 15: Eje de la extrusora modelo

4.4. Diseño del tren de engranes

El tren de engranajes será un tren de engranes rectos, el cual se diseñó con los siguientes parámetros:

Será de 2 etapas, donde la primera etapa recibirá la potencia del motor a través de un sistema de correa poleas que reduce las 1200 RPM con las que viene el motor eléctrico a 600 RPM , en esta primera etapa recibe 15 HP se tomó esta potencia en base a los modelos comerciales que existen en el mercado y recomendado por fabricantes que suele ser la potencia con la que estos equipos se encuentran en el mercado, con una velocidad de entrada a 600 RPM y los reducirá a 100 RPM en la primera etapa logrando una relación de engranes de 6 y la segunda etapa tendrá una reducción de 100 RPM a 30 RPM que es la velocidad para lograr una excelente extrusión según recomienda (Chapoñan Peche & Rojas Pérez, 2019) , de esta manera la segunda etapa tendrá una relación de velocidad de 3.33. En la figura 16 a continuación se muestra un esquema del tren reductor de engranes.

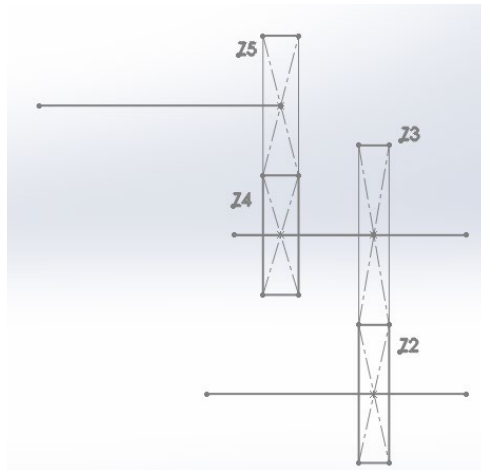


Figura 16: Tren reductor de engranes

4.3.1. Primera etapa

Método de diseño: Se define el material y se determina la geometría.

Mg 1ra etapa: 6.

Material Piñón (Z2): Acero AISI 1040 CD; $s_y = 490 \text{ MPa}$ (67 kpsi).

Material Rueda (Z3): Acero AISI 1030 CD; $s_y = 440 \text{ MPa}$ (64 kpsi).

Método de fabricación: Fresado

Angulo de presión $\Phi = 25^\circ$

Diente estándar de altura completa $k = 1$.

Número de dientes para evitar interferencia $Z_{\min} = 12$

$$Z_2 = 12$$

$$M_g = z_3/z_2$$

$$M_g * z_2 = z_3 = 72 \text{ dientes.}$$

Potencia de diseño $H_d = H.P \times K_s$.

K_s = Factor de sobrecarga de acuerdo con (Mott, 2006) para extrusoras este factor es de 1.50

$$H_d = 15 \text{ HP} \times 1.5 = 22.5 \text{ HP.}$$

$$W_w = W_d.$$

$$K F Q d^2 = K_v W_t$$

$$F = K_v W_t / K Q d^2.$$

$$Q = 2 \text{ mg} / 1 + \text{mg} = 1.71.$$

$$K = S C^2 \text{ sen } \Phi / 1.4 [1/E_2 + 1/E_3]$$

Para aceros a 10^8 ciclos.

$$S C = 0.4 \text{ H. B} - 10 \text{ kpsi.}$$

H.B = dureza Brinell

$$\text{H.B acero 1040} = 170$$

$$\text{H.B acero 1030} = 149$$

Se calcula con la menor dureza.

$$S C = 0.4 (149) - 10 \text{ kpsi} = 49.6 \text{ kpsi}$$

$$E_1 = E_2 = 30 \times 10^6 \text{ psi.}$$

$$\Phi = 25^\circ$$

$$K = 40.06$$

Diámetro de paso del piñón.

$$d_2 = 12 / P.$$

Velocidad línea de paso.

$$V = \pi d n / 12.$$

Factor dinámico.

$K_v = 600 + v / 600$ cuando la velocidad este dentro del rango de 0 a 2000 pie/ min.

Carga tangencial.

$$W_t = 33000 \times H_d / v$$

Se realizará un proceso iterativo teniendo en cuenta una tabla de prueba como se muestra en la tabla 1, donde se encontró el valor deseado.

Tabla 1: Tabla de prueba para el diseño de engranes rectos primera etapa

P	d2	v	Kv	Wt	pc	3pc	5pc	F
2	6	942,48	2,5708	787,815126	1,5708	4,7124	7,854	4,927587

Se seleccionó un paso de 2 pulg. /diente y arrojó los siguientes resultados.

$$d_2 = 6 \text{ pulgadas.}$$

$$V = 942.48 \text{ pie / min.}$$

$$W_t = 787.81 \text{ Lb.}$$

$$\text{Ancho de cara } F = 4.6 \approx 5 \text{ pulgadas.}$$

A continuación, se verifica que la carga a flexión cumpla la condición que sea mayor o igual a la carga dinámica.

Wb o carga a flexión del diente

$$W_b = S Y F / n k_f p$$

Y = de acuerdo a la tabla 14.2 de (Budynas & Nisbett, 2012, pág. 710) se calculó el factor de forma de Lewis de acuerdo al número de dientes.

$$Y_2 = 0.245$$

$$Y_3 = 0.4324$$

$$(SY)_2 = (67 \text{ kpsi} \times 0.245) = 16.41 \text{ kpsi.}$$

$$(SY)_3 = (64 \text{ kpsi} \times 0.432) = 27.648 \text{ kpsi.}$$

$$K_f = 1.5$$

n = (Mott,2006) recomienda los siguientes valores para el factor de seguridad de acuerdo a las siguientes situaciones:

N _ 1.25 a 2.0. El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.

N _ 2.0 a 2.5. Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño. Es la que se suele emplear en la solución de los problemas de este libro.

N _ 2.5 a 4.0. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas

con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

N _ 4.0 o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores.

Para objeto de este estudio se seleccionó un factor de seguridad de 3.0

$$W_b = 9110 \text{ Lb.}$$

$$W_d = K_v \times W_t$$

$$W_d = 2024,67 \text{ Lb}$$

$W_b > W_d$ por lo tanto el diseño para la primera etapa cumple.

4.4.2. Segunda etapa.

De la misma forma se diseñó el tren de la segunda etapa.

Las características de la segunda etapa fueron:

Método de diseño: Se define la geometría y se determina el material.

Método de fabricación: fresado.

Se diseño un paso de = 2.5 pulg/diente.

$$\Phi = 25^\circ$$

$$Z_4 = 12$$

$$Z_5 = 40$$

$$P_c = 12 / P = 4.8$$

$$F = 3 P_c = 14.4 \text{ pulgadas.}$$

$$d_2 = 12 / P = 12 / 2.5 = 4.8 \text{ Pulg}$$

$$E_1 = E_2 = 30 \times 10^6 \text{ psi .}$$

$$W_w = W_d$$

$$K_Q F d_2 = K_v W_t$$

$$K = K_v W_t / Q F d_2$$

$$V = \pi \times d \times n / 12 = \pi \times 4.8 \text{ pulg} \times 100 \text{ rpm} / 12$$

$$V = 125.66 \text{ pie/ s.}$$

$$K_v = 600 + v / 600 = 1.20$$

$$Q = 2 \text{ mg} / 1 + \text{mg} = 1.53$$

$$W_t = 33000 \times H_d / v = 5909 \text{ Lb}$$

$$K = 67.05$$

$$K = SC^2 \text{ sen } \Phi / 1.4 [1/E2 + 1/E3].$$

$$SC = 20.29$$

$$SC = 0.4(HB)-10\text{kpsi}$$

$$HB = 75.72$$

Se seleccionará un material con una dureza Brinell superior o igual al 75.72.

Para este caso se seleccionará al igual que la primera etapa un acero 1040 y 1030.

El tren de engranes tendrá la siguiente configuración:

Primera etapa

Z2 = 12 dientes, d2 = 4.8 pulgadas, P = 2 diente/ pulgada, F = 5 pulgadas.

Z3 = 72 dientes. d3 = 36 pulgadas, P = 2 dientes/pulgada, F = 5 pulgadas.

Segunda etapa

Z4 = 12 dientes, d2 = 6 pulgadas, P = 2.5 diente/ pulgada, F = 14.4 pulgadas.

Z5 = 40 dientes. d3 = 16 pulgadas, P = 2.5 dientes/pulgada, F = 14.4 pulgadas.

4.5. Análisis del eje motriz

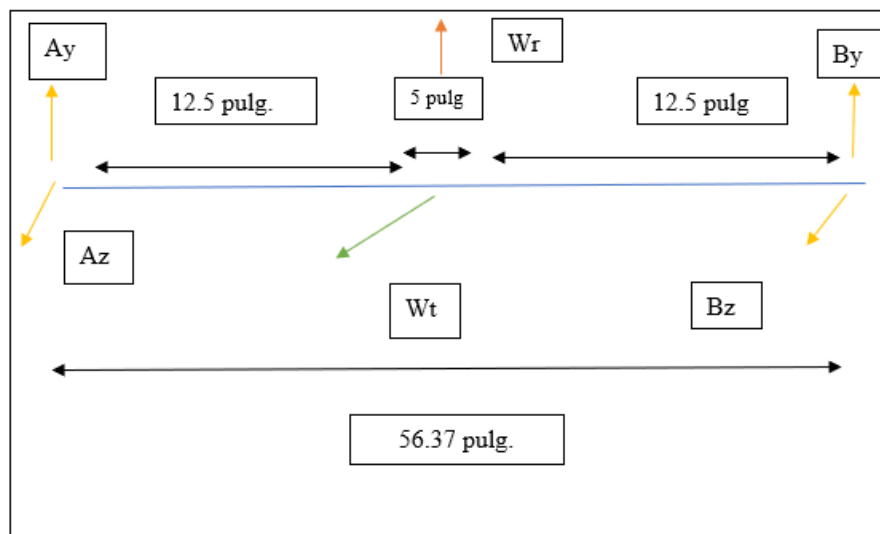


Figura 17: Diagrama de cuerpo libre eje motriz.

Mediante la aplicación de la ingeniería inversa se tomará como referencia los ejes que tienen la extrusora comercial donde se está realizando el análisis, dichos ejes como se presentan a continuación serán simulados en ANSYS para determinar sus esfuerzos y deformaciones.

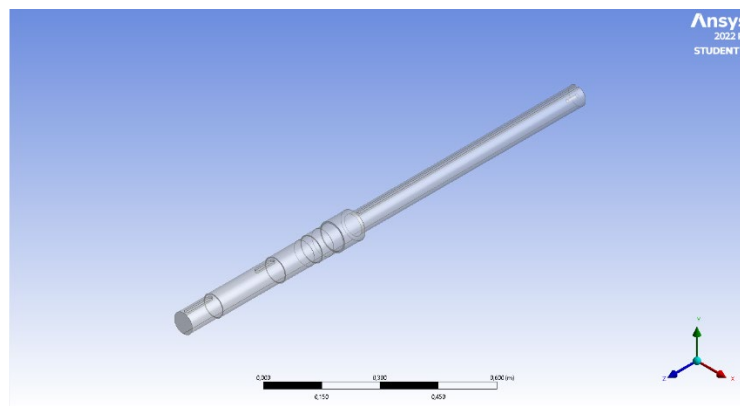


Figura 18: Eje motriz

4.5.1. Eje 1 o eje motriz

En esta ocasión se centra el objetivo de obtener el diámetro mínimo del eje 1 que pueda soportar las cargas que se requieren.

Los datos que se tienen para este diseño son:

Potencia del motor: 15 H.P.

$n = 30$ RPM

$V = 942.48$ pie/ s

$W_t = 787.815$ Lb

$W_r = W_t \times \tan \phi = 367.36$ Lb

$L = 645.647$ mm = 25.4 pulgadas

F engrane = 5 pulg.

S_y = se usará acero 1040 SY = 71 Kpsi, según tabla A-20 (Budynas & Nisbett, 2012).

T = torque máximo.

$T = 63000 \times H / \text{rpm}$

$T = 31500$ Lb. Pulg

Los datos del eje se muestran a continuación.

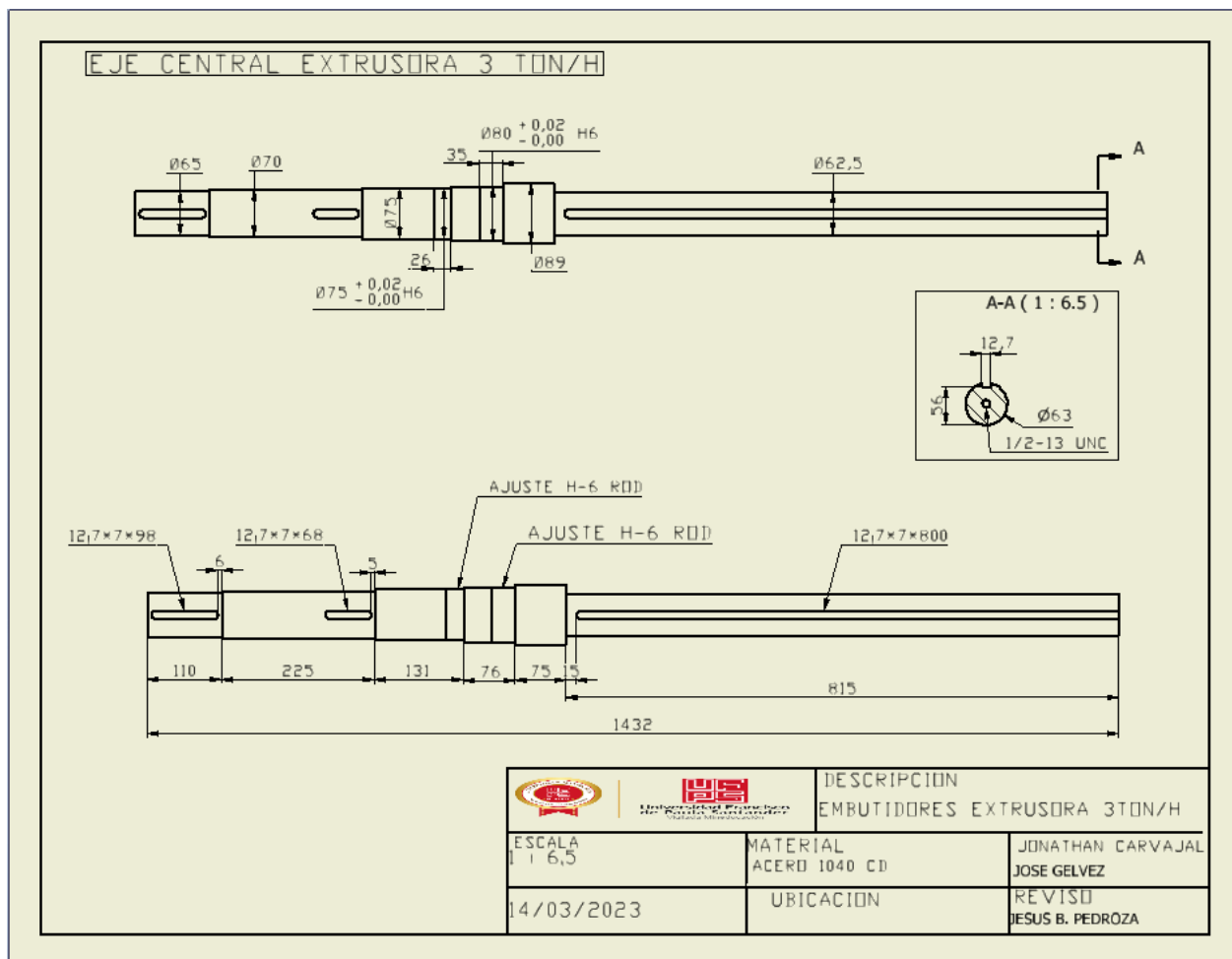


Figura 19: eje central de la extrusora

4.5.1.1. Análisis por elementos finitos.

Se realizó el análisis estructural para determinar sus esfuerzos, deformación y factor de seguridad, mediante el análisis de torsión en el eje, debido a que recibe una carga alta por torsión se prioriza verificar que este eje no falle bajo la condición.

A continuación, se muestra los datos del mallado realizado.

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Sizing	
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5, e-002)
Smoothing	High
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	3,0787e-004
<input type="checkbox"/> Max	0,99586
<input type="checkbox"/> Average	0,27589
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,17017
Inflation	
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	123549
<input type="checkbox"/> Elements	83665

Figura 20: Datos de mallado del eje motriz

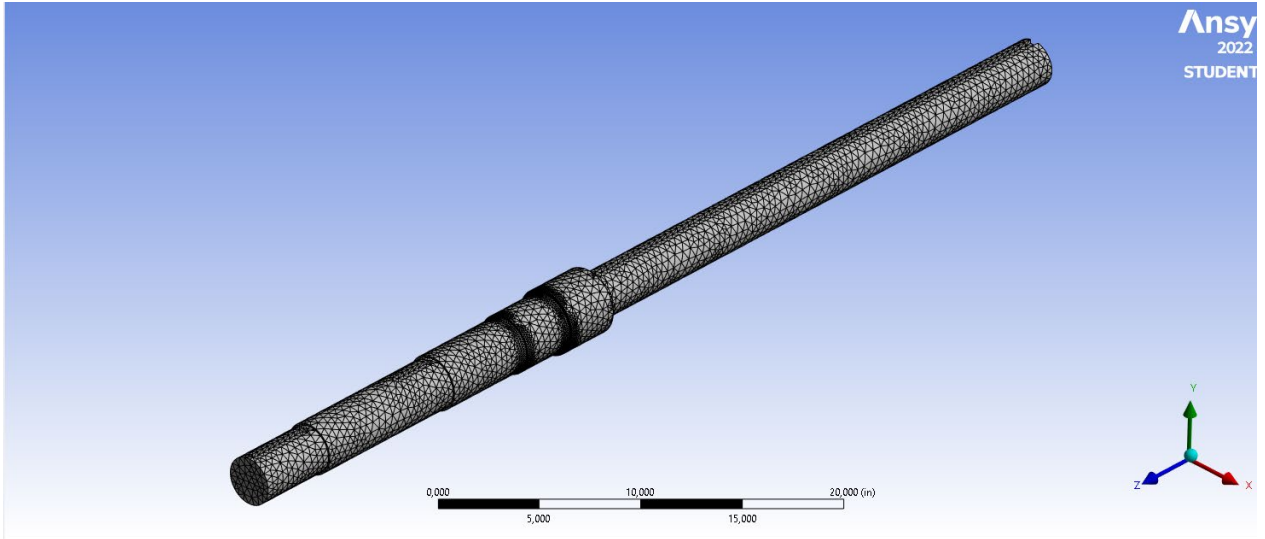


Figura 21: Mallado eje motriz.

Para evaluar la calidad del mallado los autores se basaron en los datos de (Ferziger & Peric, 2002) donde definen unos parámetros de calidad de acuerdo al promedio (average) obtenido al momento del mallado; estos parámetros se definen de la siguiente manera:

De 0-0.25 calidad excelente.

De 0.25 – 0.50 Calidad buena.

0.50 – 0.80 Calidad aceptable.

0.80-0.95 Calidad pobre.

0.95 – 0.99 Calidad mala.

0.99-1.0 Calidad mala.

En vista del primer mallado se puede concluir que su average 0.27 de clasifica dentro de la buena calidad.

Se han obtenido los siguientes resultados:

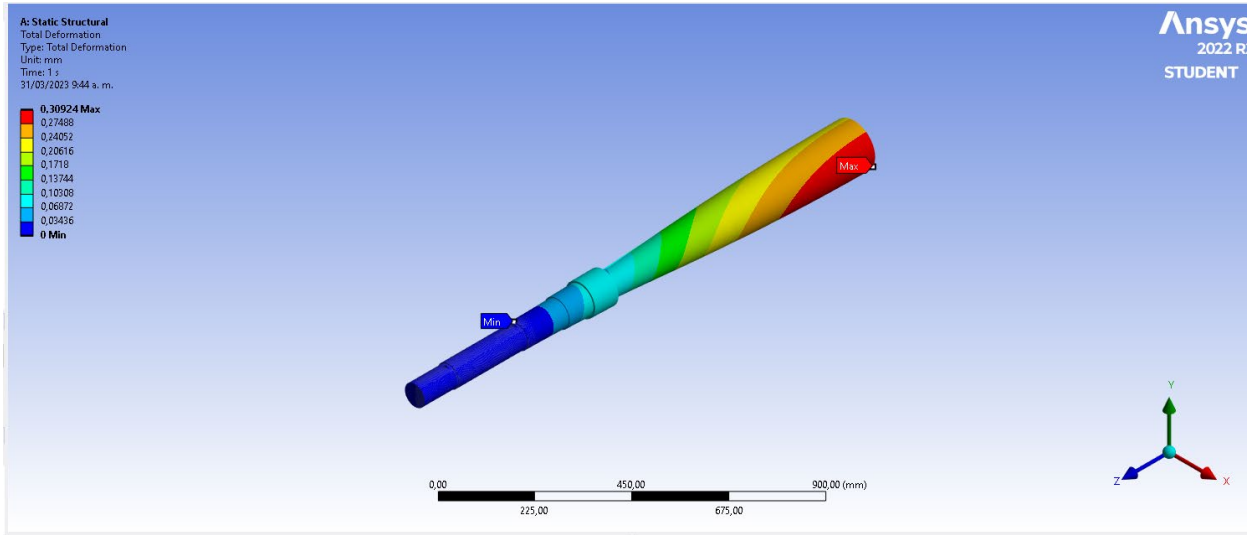


Figura 22: Deformación eje principal

Cómo se observa el eje principal o motriz presentara una deformación máxima en su punta de 0.309 mm, producto de la carga torsional recibida del tren de engranes y de la caja reductora. En la figura 22 se observa el resultado de los esfuerzos.

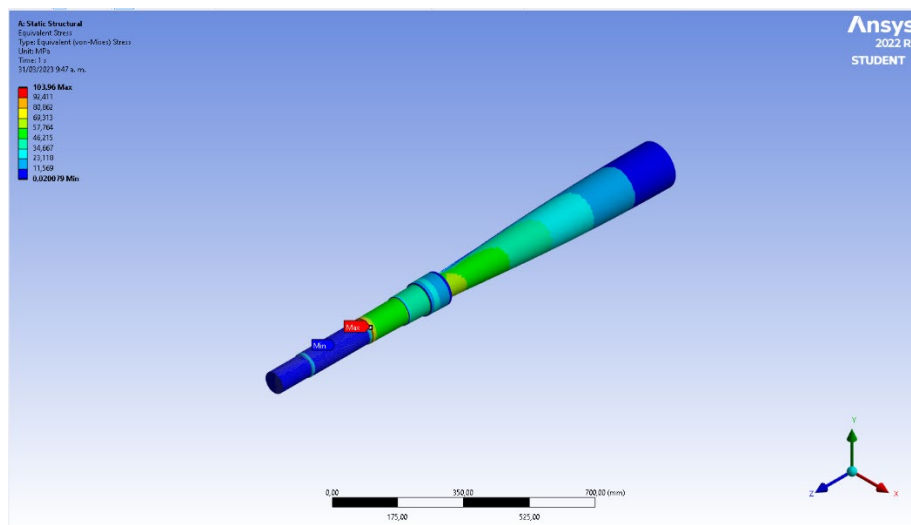


Figura 23: Resultados de esfuerzos Von Mises eje motriz.

Cómo se observa en la anterior figura se ha obtenido un esfuerzo de 103.96 MPa máximo igualmente, este esfuerzo se encuentra en uno de sus escalones, pues es allí donde se encuentran la máxima concentración de esfuerzos.

En la figura 23 se observa el factor de seguridad obtenido mediante la simulación, cabe aclarar que por efectos del programa su factor de seguridad máximo es de 15, lo que nos indica que cada zona del eje según el mapa de color indica el respectivo resultado.

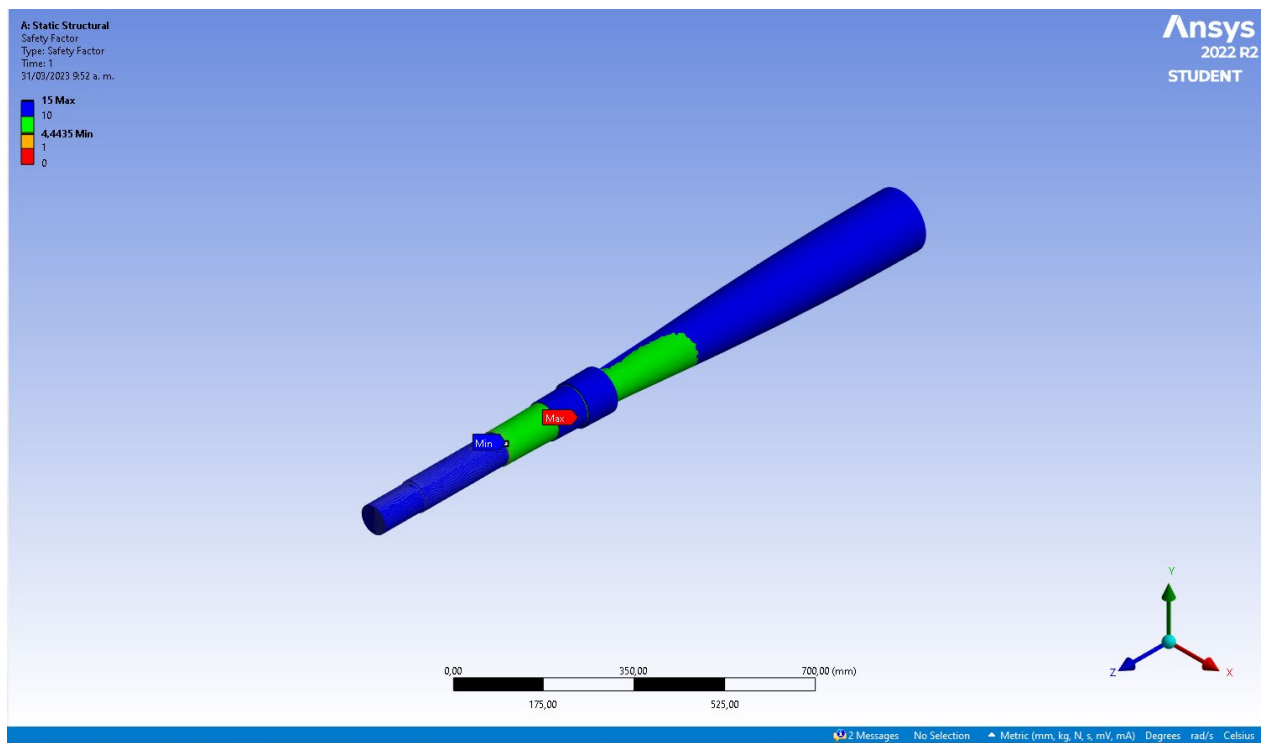


Figura 24: Factor se seguridad eje motriz.

4.6. Análisis del túnel

El túnel de extrusión fue sometido a una simulación de presión de acuerdo a la información dada por (Pérez Gonzales & Barcos H, 2004), donde describe los rangos de presiones que se encuentran en el túnel de extrusión, los cuales varían desde 15 psi en extrusoras pequeñas y hasta 600 psi en extrusoras de gran tamaño.

Se ha tomado como referencia inicial una presión máxima de 600 psi para determinar el comportamiento del túnel, este túnel se seleccionó como un tramo de tubería de 12 pulgadas cedula 40. El cual tiene sus características como se ve en la siguiente figura.

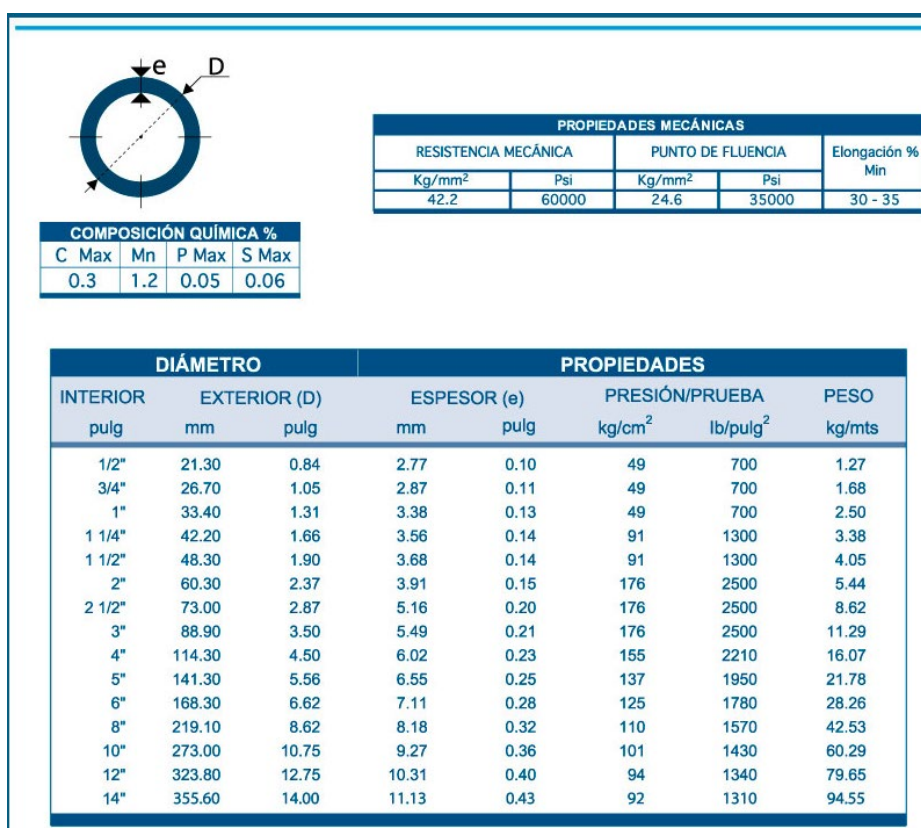


Figura 25: Características técnicas de los tubos cedula 40.

Fuente: (DIPAC, 2023)

En la siguiente figura se muestra los datos del mallado realizado al túnel.

Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/> Display	
<input type="checkbox"/> Defaults	
<input type="checkbox"/> Sizing	
<input type="checkbox"/> Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5,e-002)
Smoothing	High
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1,5625e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,64094
<input type="checkbox"/> Average	0,34876
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,1864
<input type="checkbox"/> Inflation	
<input type="checkbox"/> Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<input type="checkbox"/> Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	125596
<input type="checkbox"/> Elements	18084

Figura 26: Datos de la malla realizada al túnel.

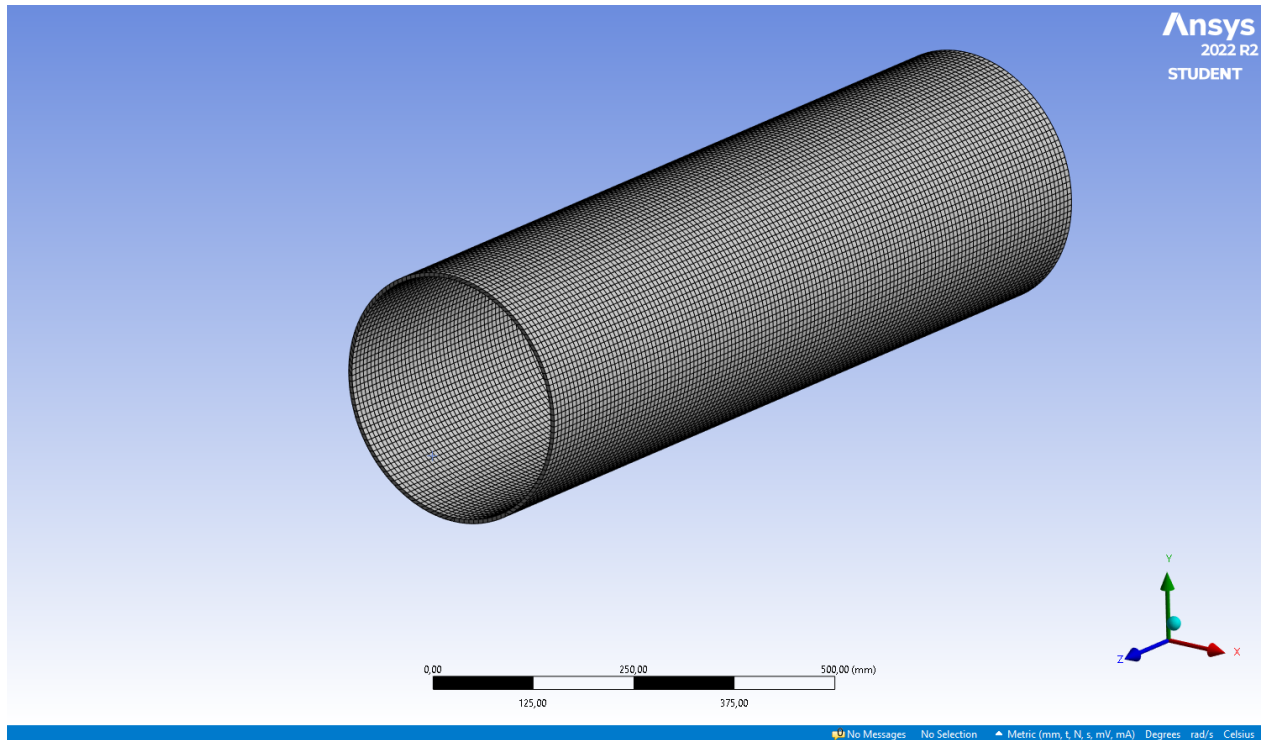


Figura 27: Mallado del túnel.

Tal y como se realizó en la simulación del eje, se seleccionó el mismo método que se define en la sección 4.5.1 del documento, para este caso el valor de Average es de 0.34 lo que da un mallado de condiciones buenas, lo que da consigo resultados confiables.

A continuación, en las figuras 27 y 28 se observan los resultados de la simulación.

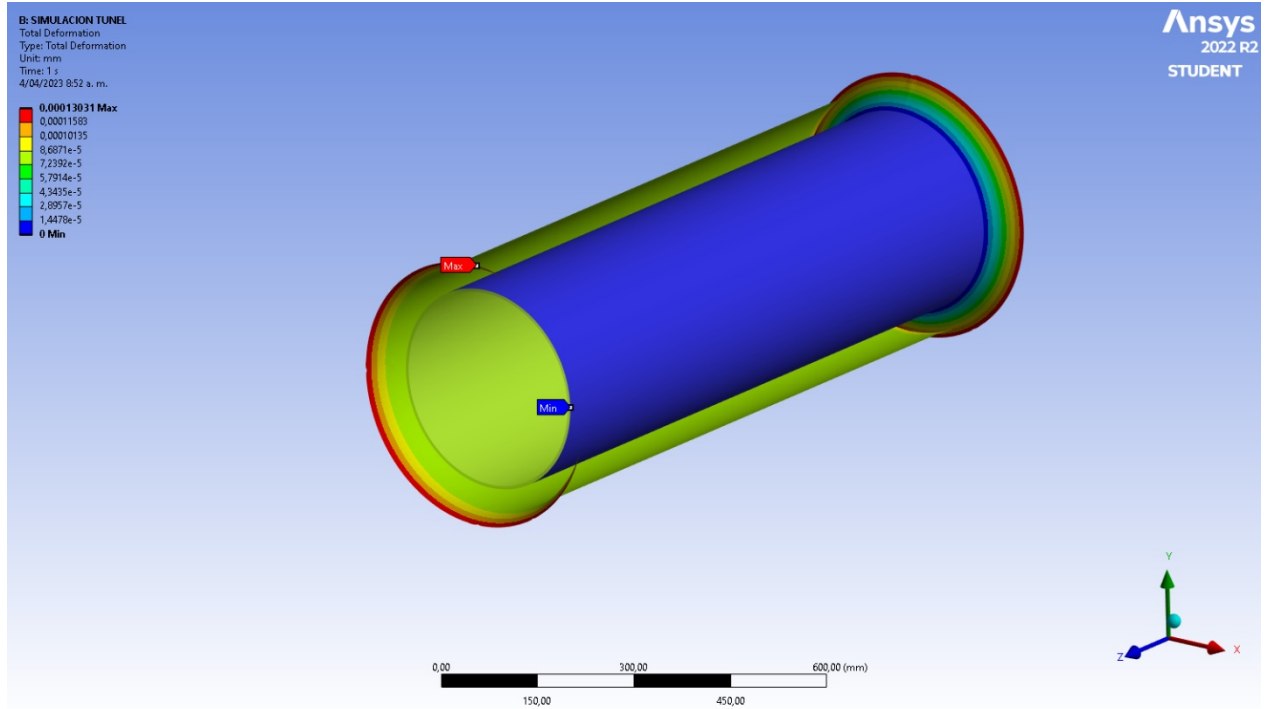


Figura 28: Deformación en el túnel.

Cómo se observa en la anterior figura se pudo determinar que a 600 psi de presión el túnel presenta una deformación máxima de 0.00013031 mm, lo que corresponde a una deformación bastante mínima.

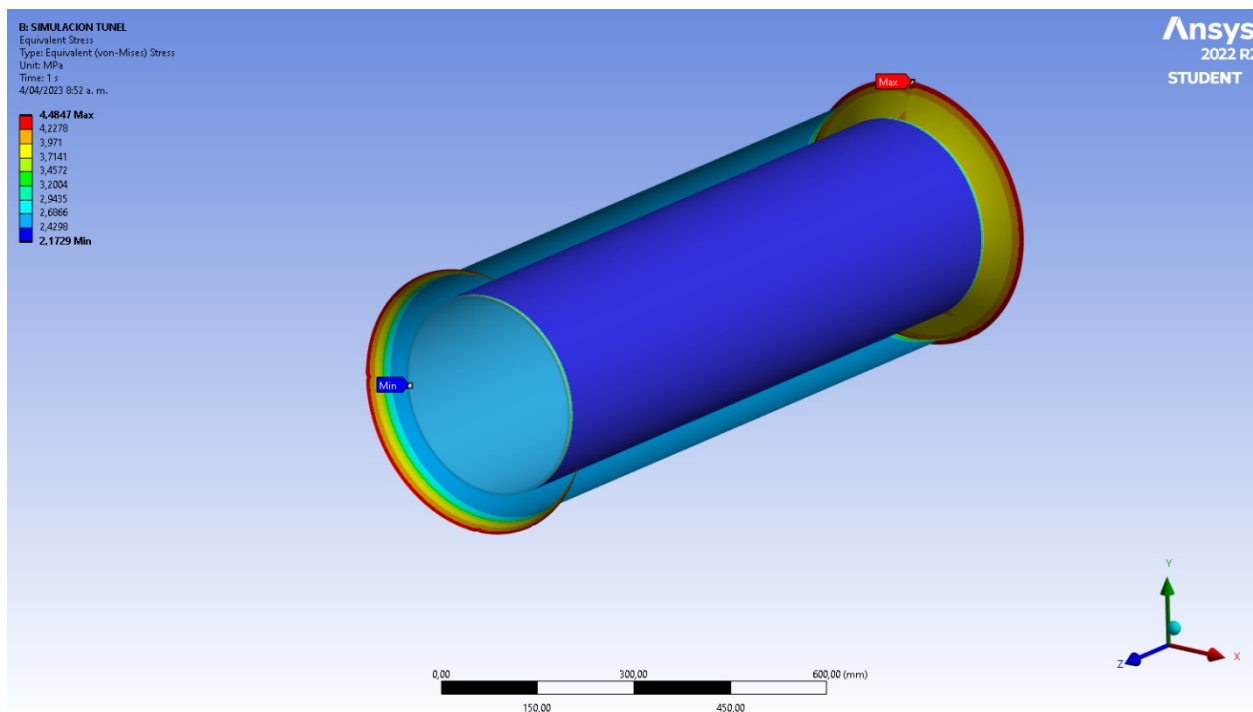


Figura 29: Esfuerzos en el túnel.

Se ha podido determinar que el esfuerzo máximo encontrado en el túnel de extrusión es de 4.48 MPa, dicho esfuerzo es el resultado de la presión de extrusión máxima a la que se ha sometido el túnel.

4.7. Cálculo del sistema eléctrico

A continuación, encontrará el proceso para calcular los elementos eléctricos usados para el arranque del motor de la extrusora.

El motor seleccionado es un motor de 15 HP de la SIEMENS cuyas características se muestran a continuación.

Potencia		Referencia del motor	Tamaño constructivo	Rated Speed	Eficiencia 100%	Factor de potencia	Corriente nominal			Torque nominal	Datos de arranque			Peso IMB3
KW	HP						220V A	380V A	440V A		Nm	Corriente de arranque x In	Torque de arranque x Tn	
Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 6 Polos 1200 rpm														
0,55	0,75	1LE0141-0DC36-4AA4	80M	1100	68,0	0,72	3	1,74	1,5	4,8	3,5	2	2,4	17,0
0,75	1	1LE0141-0EC06-4AA4	90S	1130	73,0	0,72	3,7	2,15	1,86	6,3	4	2	2,4	22
1,1	1,5	1LE0141-1AC36-4AA4	100L	1160	85,5	0,70	4,9	2,85	2,45	9,1	6	3	3,5	45
1,5	2	1LE0141-1BC16-4AA4	112M	1160	86,5	0,71	6,4	3,7	3,2	12,3	7,5	3	3,5	50
2,2	3	1LE0141-1BC26-4AA4	112M	1160	87,5	0,71	9,5	5,5	4,75	18,1	7,5	3	3,5	55
3	4	1LE0141-1CC06-4AA4	132S	1160	87,5	0,71	12,6	7,3	6,3	24,7	6,5	2,5	3,5	57
3,7	5	1LE0141-1CC26-4AA4	132M	1165	87,5	0,71	15,8	9,1	7,9	30,3	6,5	2,5	3,5	65
5,5	7,5	1LE0141-1CC36-4AA4	132M	1165	89,5	0,75	22	12,7	10,9	45,1	7,5	2,5	3,5	85
7,5	10	1LE0141-1CC86-4AA4	132M	1165	89,5	0,71	31	17,8	15,4	61,5	7,5	2,5	3,5	90
11	15	1LE0141-1DC46-4AA4	160L	1170	90,2	0,76	43	25	21,5	89,8	7,5	2,5	3,5	140
15	20	1LE0141-1DC86-4AA4	160L	1170	90,2	0,73	59	34,5	29,5	122	7,5	2,5	3,5	145
18,5	25	1LE0141-1EC86-4AA4	180L	1180	91,7	0,78	68	39,5	34	150	7,5	2,5	3,5	185
22	30	1LE0141-2AC56-4AA4	200L	1180	91,7	0,80	80	46,5	40	178	7,5	2,4	3	235
30	40	1LE0141-2AC86-4AA4	200L	1182	93,0	0,79	107	62	53	242	7,5	2,4	3	260
37	50	1LE0141-2BC86-4AA4	225M	1182	93,0	0,80	132	76	66	299	8,5	2,6	3,5	340
45	60	1LE0141-2CC86-4AA4	250M	1185	93,6	0,83	151	88	76	363	8,5	2,6	3,5	465
55	75	1LE0141-2CC76-4AA4	250M	1185	93,6	0,83	189	109	94	443	8,5	2,6	3,5	470
75	100	1LE0141-2DC83-3AA4	280M	1185	94,1	0,85			122	604	8,5	2,7	3	565
90	125	1LE0141-2DC73-3AA4	280M	1188	94,1	0,85			153	723	8,5	2,7	3	620
110	150	1LE0141-3AC53-3AA4	315L	1190	95,0	0,84			184	883	8,5	2,4	3	1050
150	200	1LE0141-3AC63-3AA4	315L	1190	95,0	0,85			240	1204	8,5	2,4	3	1060

Figura 30: Características del motor eléctrico.

Fuente: (SIEMENS,2016)

4.7.1. Cálculo del contactor

Teniendo en cuenta las características del motor que se muestran a continuación.

Potencia: 15 H.P

RPM: 1200

Voltaje: 220 V

Trifásico

Corriente nominal a 220 V: 35.8 Amp.

Frecuencia: 60Hz.

Eficiencia al 100% de carga: 91.7%

Factor de potencia al 100% de carga: 0.84

Se calculó el amp del contactor mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Amp} = \text{HP} \times 746 / 1.732 \times E \times N \times \text{fp.}$$

Donde:

HP: Potencia.

E: Tensión en voltios.

N: Eficiencia al 100% de carga.

Fp: Factor de potencia al 100% de carga.

Amp: 38.41

Se selecciona un contactor comercial a 40 AMP.

4.8. Selección del lubricante para la caja reductora

Con ayuda del software de NORIA.MX brinda una herramienta que facilito la selección del lubricante, el cual arrojó los siguientes resultados para las características del reductor dado.

Viscosidad del aceite de engranajes

<div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; text-align: center; font-weight: bold;">Instrucciones</div> <p>Ingrese los datos necesarios para para determinar la viscosidad correcta para la caja de engranajes en condiciones determinadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Seleccione el tipo de lubricación ■ Seleccione el tipo de reducción ■ Seleccione la potencia (HP) ■ Seleccione la velocidad de salida (RPM) <p style="text-align: center;">Al finalizar da clic en el botón de "Calcular"</p>	<div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; text-align: center; font-weight: bold;">Calculadora de viscosidad del aceite de engranajes</div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Tipo de lubricación</td> <td style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;">Circulación</td> </tr> <tr> <td>Tipo de reductor</td> <td style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;">Reducción Multiple >10:1</td> </tr> <tr> <td>Potencia (HP)</td> <td style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;">10-20</td> </tr> <tr> <td>Velocidad de salida(RPM)</td> <td style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;">0-150</td> </tr> </table> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> Borrar Calcular </div>	Tipo de lubricación	Circulación	Tipo de reductor	Reducción Multiple >10:1	Potencia (HP)	10-20	Velocidad de salida(RPM)	0-150
Tipo de lubricación	Circulación								
Tipo de reductor	Reducción Multiple >10:1								
Potencia (HP)	10-20								
Velocidad de salida(RPM)	0-150								
<div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Viscosidad correcta (ISO) 320 </div>									

Figura 31: Grado ISO del lubricante seleccionado.

Fuente: (Noria, 2022)

4.9. Costos de la extrusora

Los costos descritos a continuación corresponden a los materiales que se requieren para la construcción de la máquina.

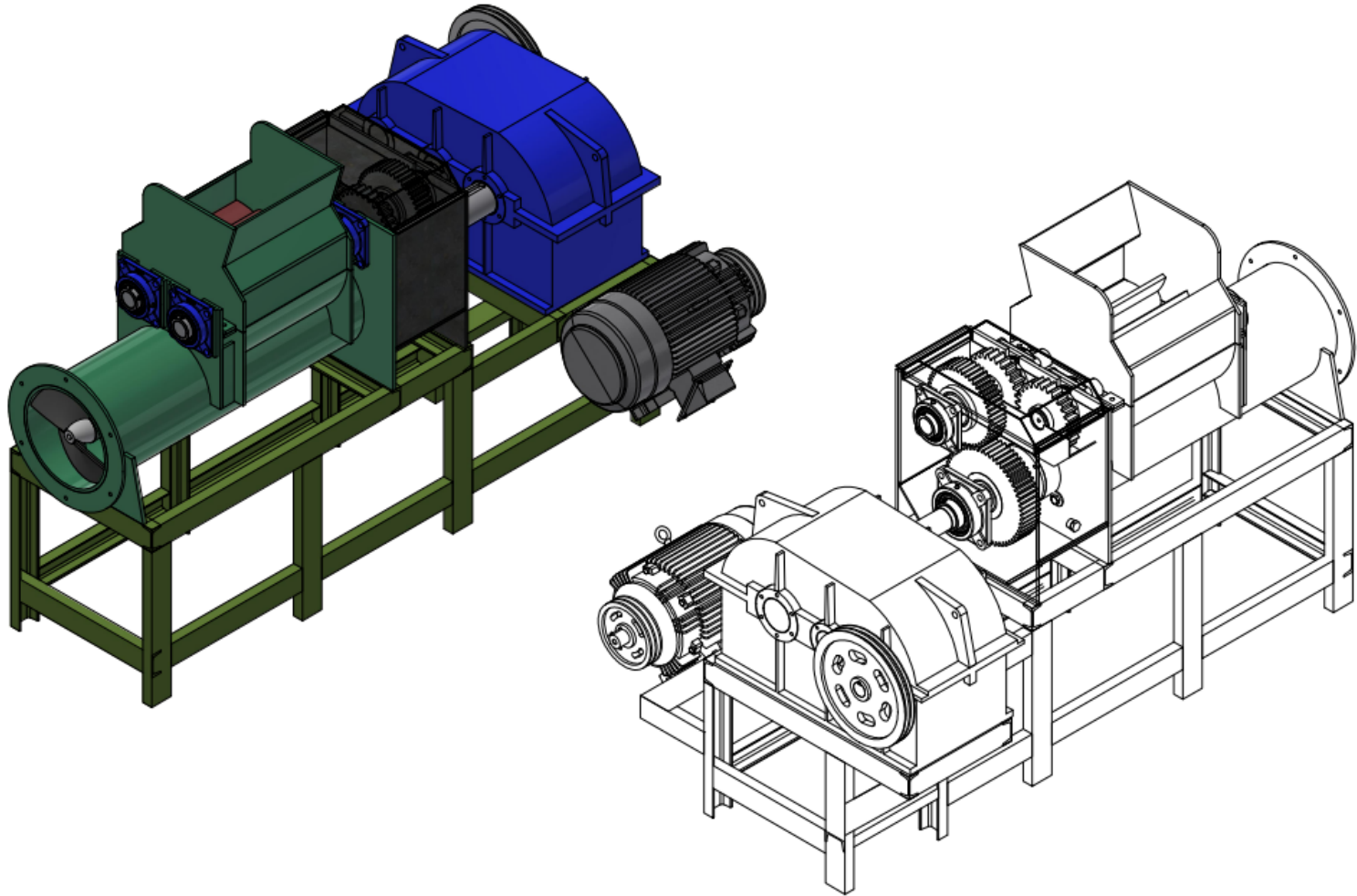
Los elementos como laminas, perfiles y reductor fueron cotizados en chatarrerías y recicladoras de la zona.

Los elementos como rodamientos, ejes de aceros, tornillería, motor y chumaceras fueron cotizados a precios de nuevo.

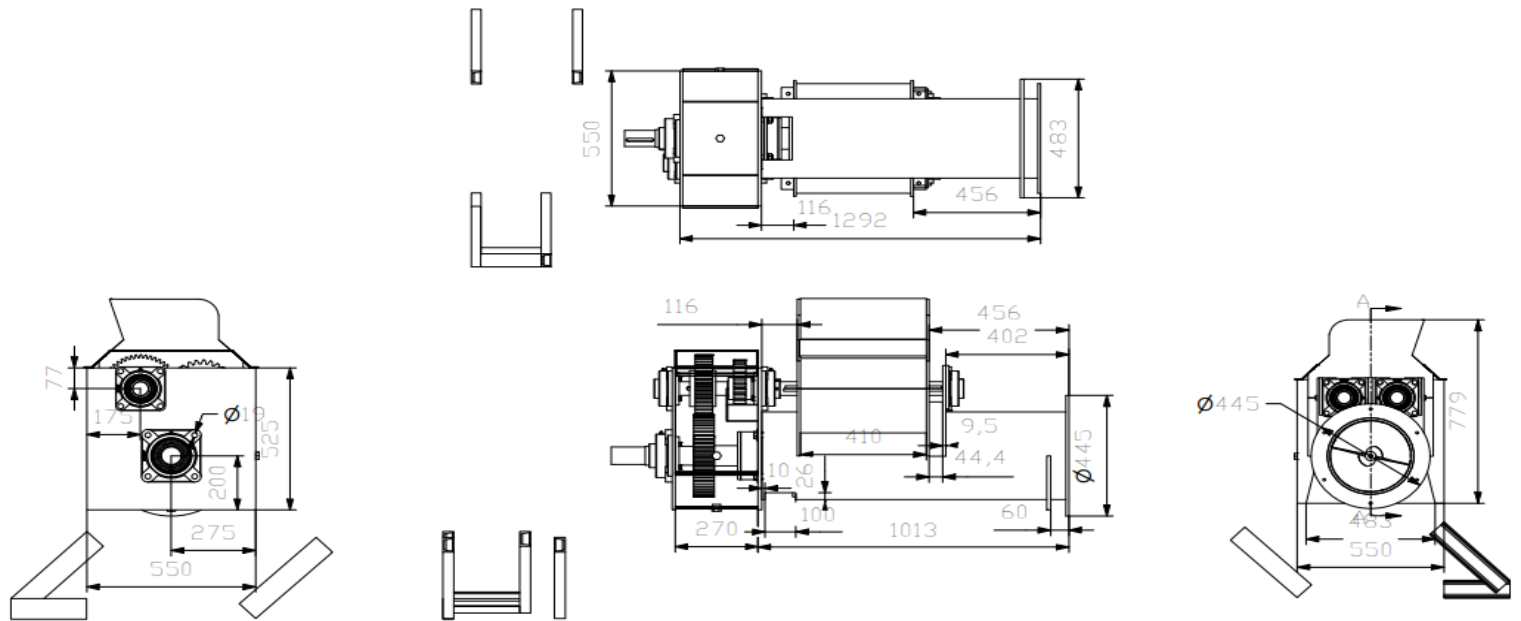
4.10. Planos de la máquina

A continuación, se muestran los diferentes planos realizados de la máquina, tomando como base a la que se le aplicó la ingeniería inversa, se ha utilizado el software INVENTOR de la empresa AUTODESK.

EXTRUSORA - 3 Ton/ h

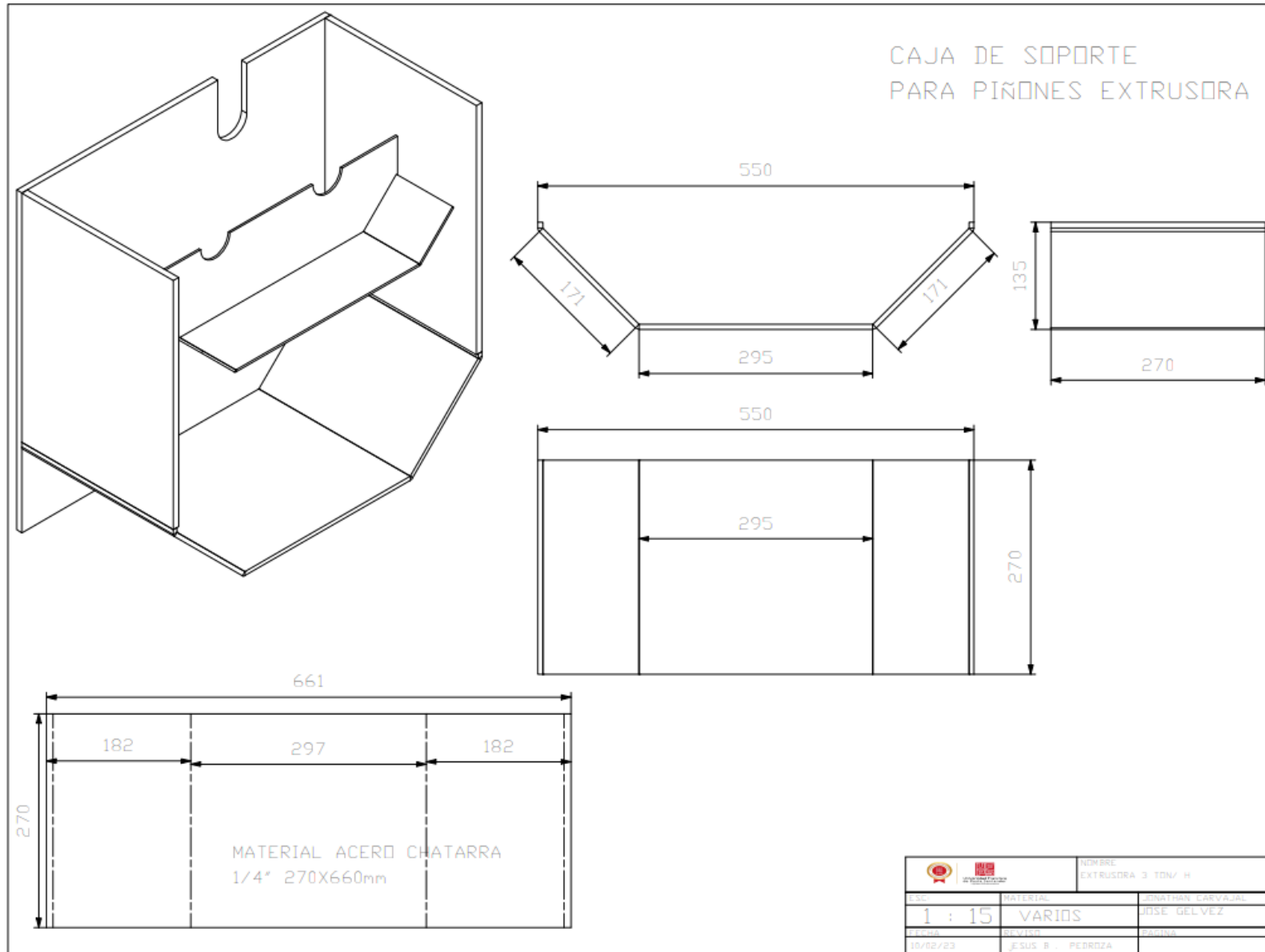


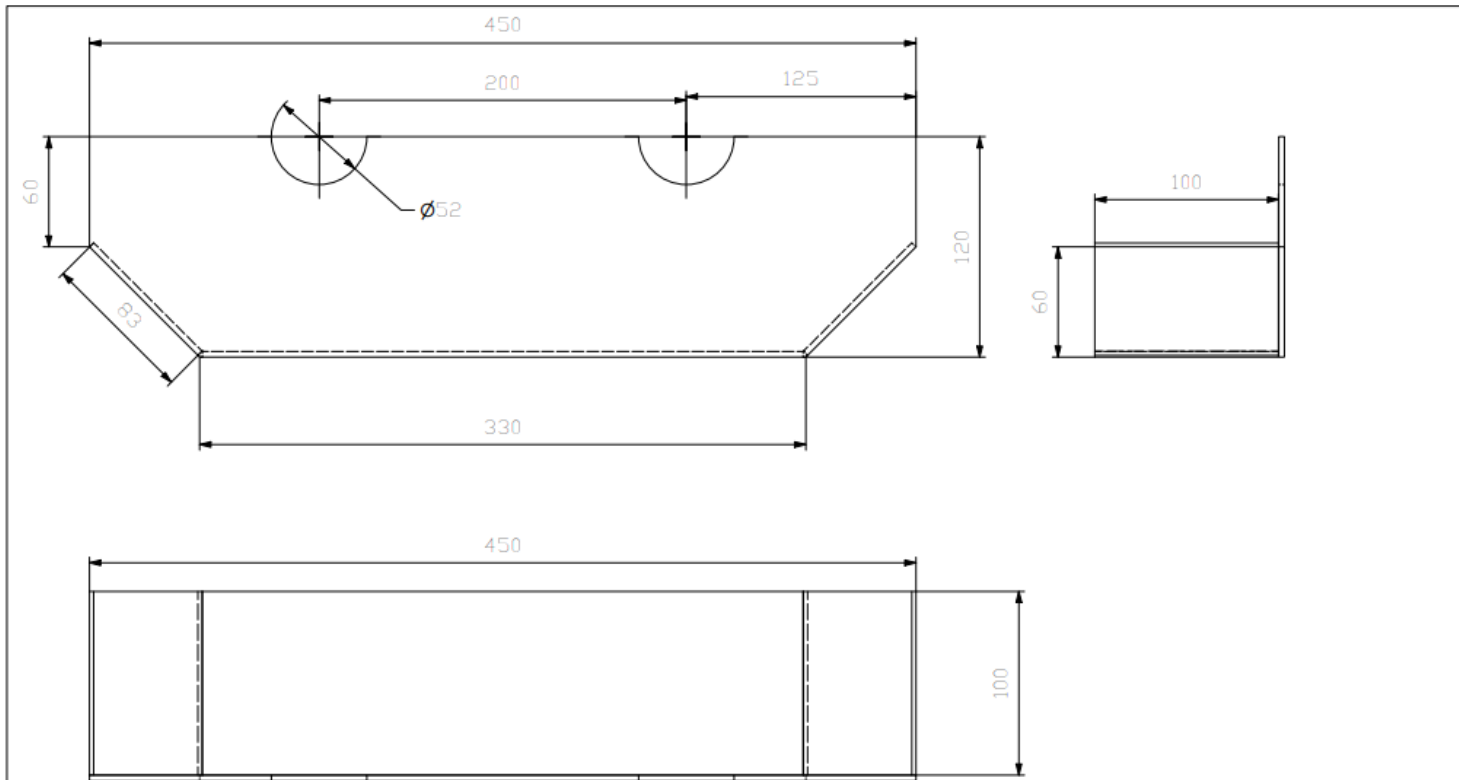
 		NOMBRE EXTRUSORA 3 TON/ H
ESCALA 1 : 15	MATERIALES VARIOS	DISEÑADOR DIESE GELVEZ
FECHA 10/02/23	REVISOR JESUS B. PEDROZA	PROFESOR VARIOS



A-A (1 : 15)

		NOMBRE: EXTRUSORA 3 TON/ H	
ESCALA: 1 : 15	MATERIAL: VARIOS	DISEÑADOR: JONATHAN CARVALLO	
FECHA: 09/02/23	DISEÑISTA: JOSUE B. PEDROZA	DIBUJANTE: JOSUE GELVEZ	



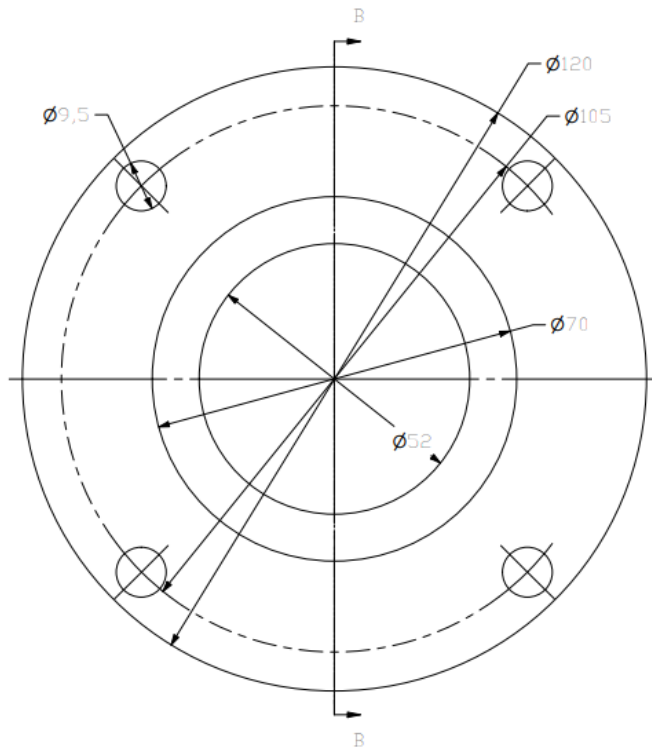


MATERIAL ACERO CHATARRA
CALB.14 (2mm)

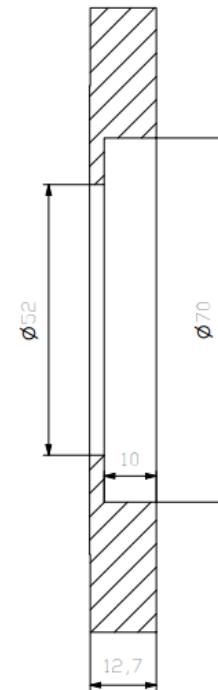
		NOMBRE EXTRUSORA 3 TON/ H
ESCALA 1 : 15	MATERIALES VARIOS	DISEÑADOR JOSE GELVEZ
FECHA 10/02/23	ELABORADO JESUS B. PEDROZA	PROYECTO

DISCO RETENEDOR
EJE EMBUTIDOR
CTD-3UND

EXTRUSORA 3 TON/H



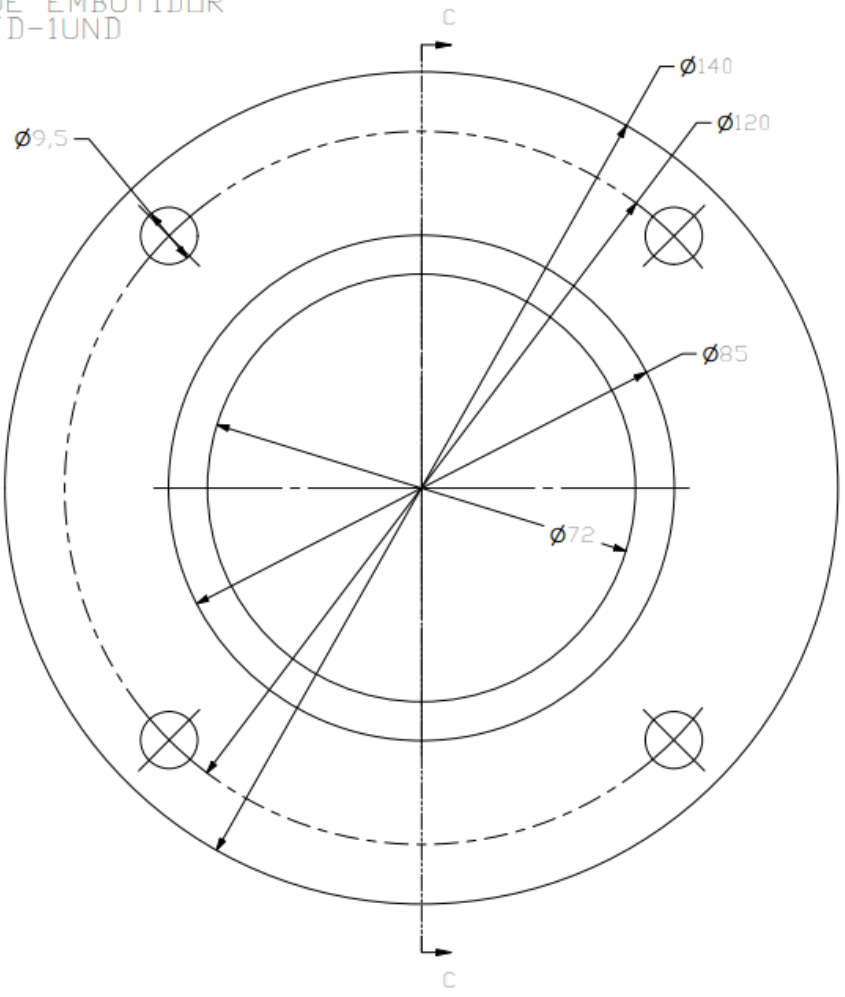
B-B (1 : 1)



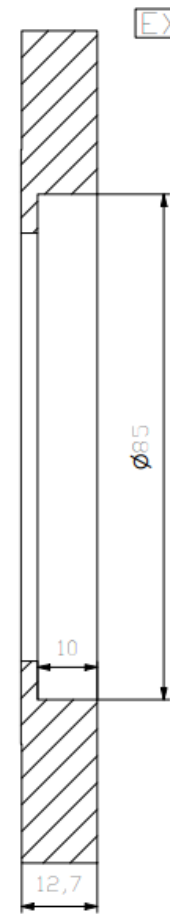
MATERIAL
3-DISCO ACERO CHATARRA Ø120mm
3-Retenedores 50X70X10
12-Tornillos 3/8x1-1/2"

		NOMBRE EXTRUSORA 3 TON/ H
ESCALA 1 : 15	MATERIAL VARIOS	DISEÑADOR JOSE GELVEZ
FECHA 15/02/03	REVISOR JESUS B - PEDRIZA	PROYECTO

DISCO RETENEDOR
EJE EMBUTIDOR
CTD-1UND



C-C (1:1)

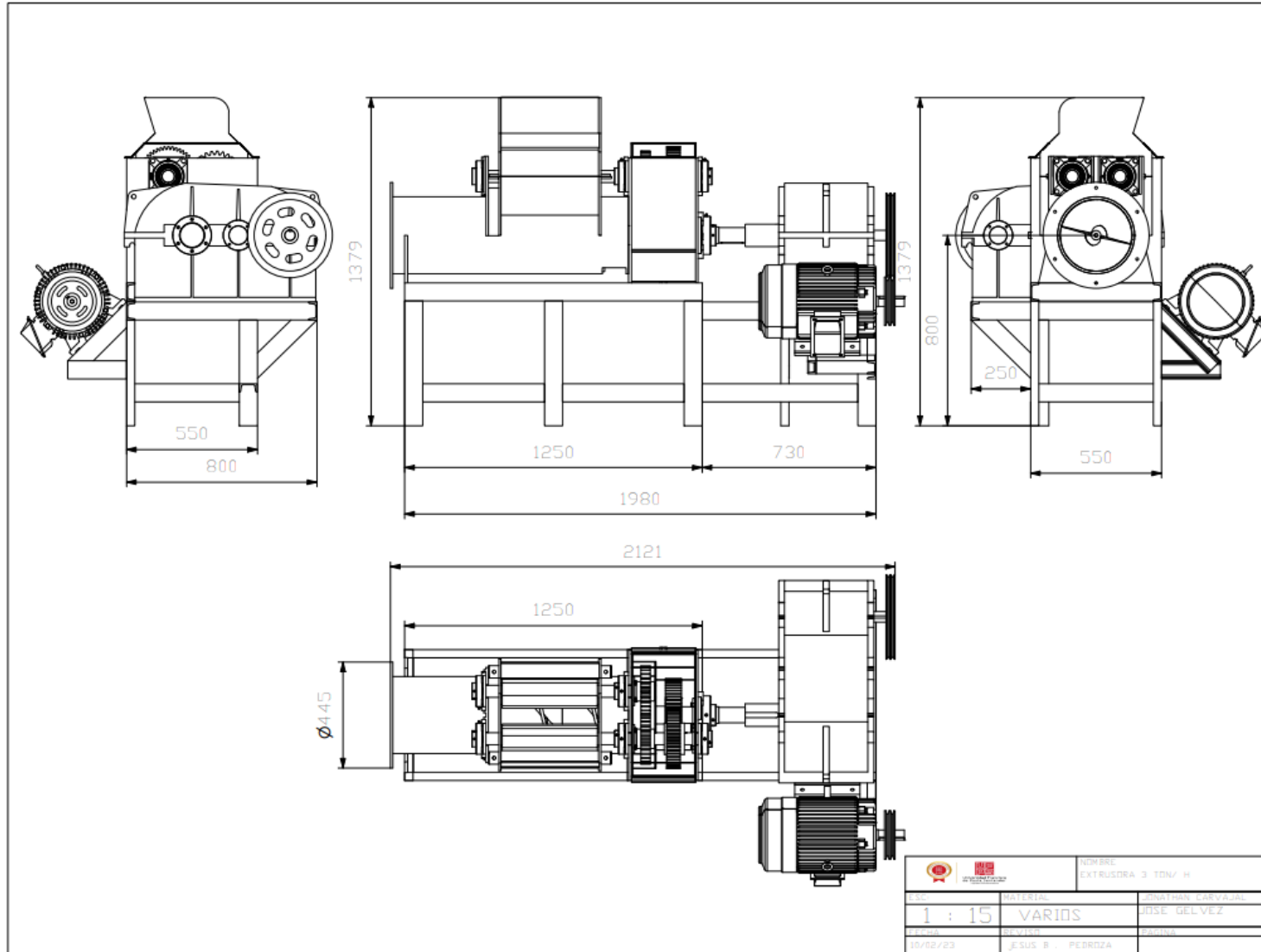


EXTRUSORA 3 TON/H

MATERIAL

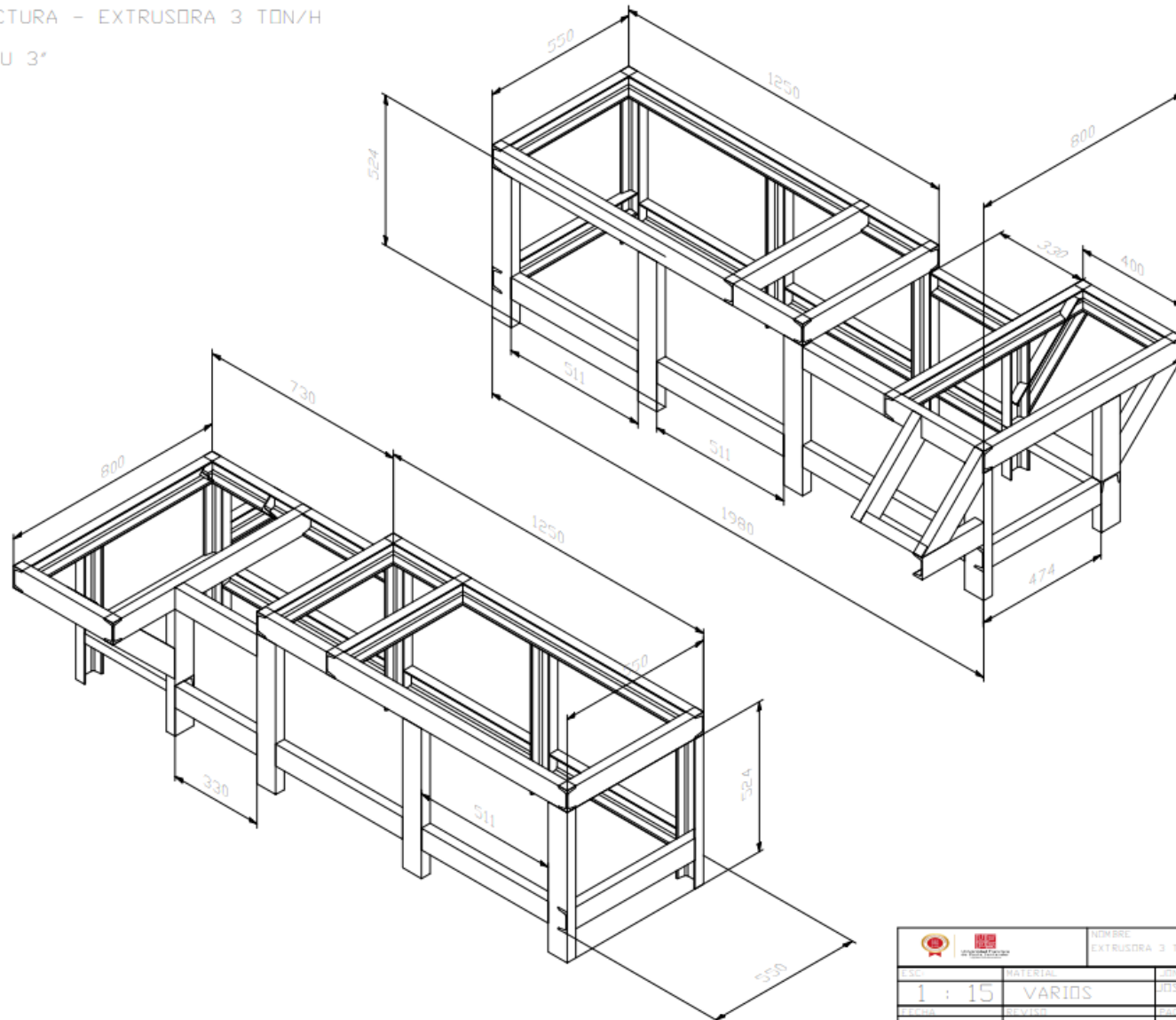
- 1-DISCO A36 Ø140mm
- 1-Retenedores 70X85X10
- 4-Tornillos 3/8x1-1/2"

		NOMBRE: EXTRUSORA 3 TON/ H	
ESCALA: 1 : 15	MATERIAL: VARIOS	DISEÑADOR: JOSE GELVEZ	
FECHA: 10/02/23	REVISOR: JESUS B. PEDROZA	PAGINA:	



ESTRUCTURA - EXTRUSORA 3 TON/H

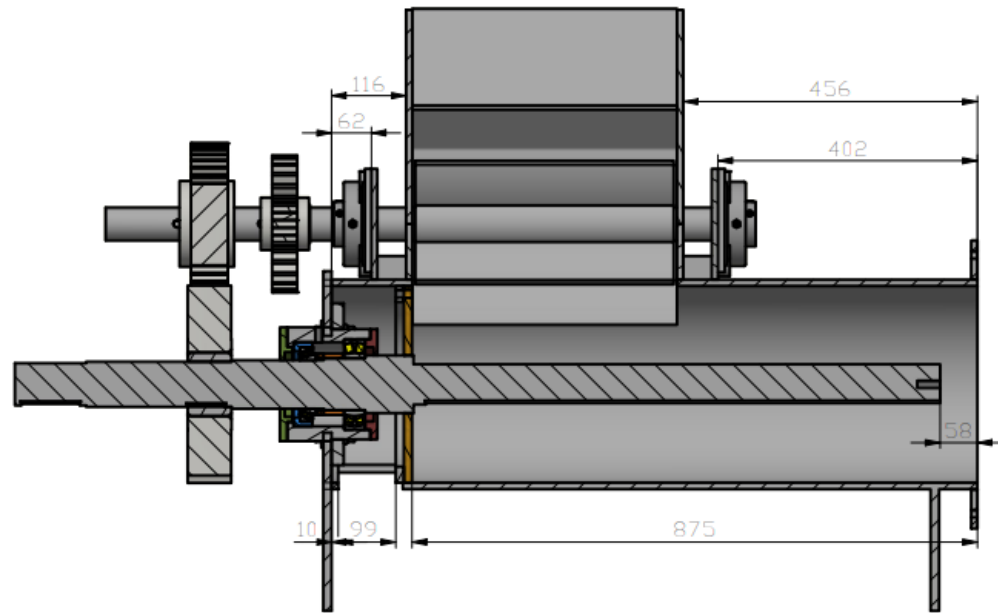
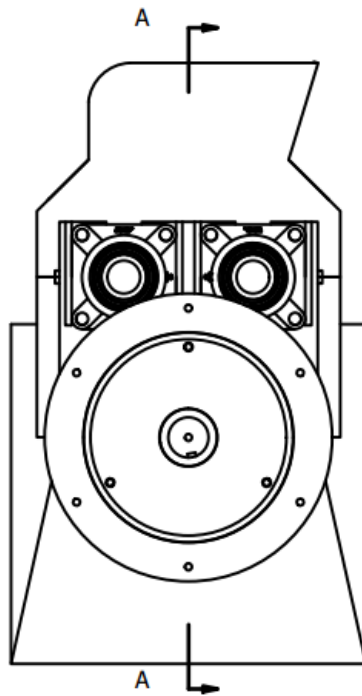
VIGA U 3"



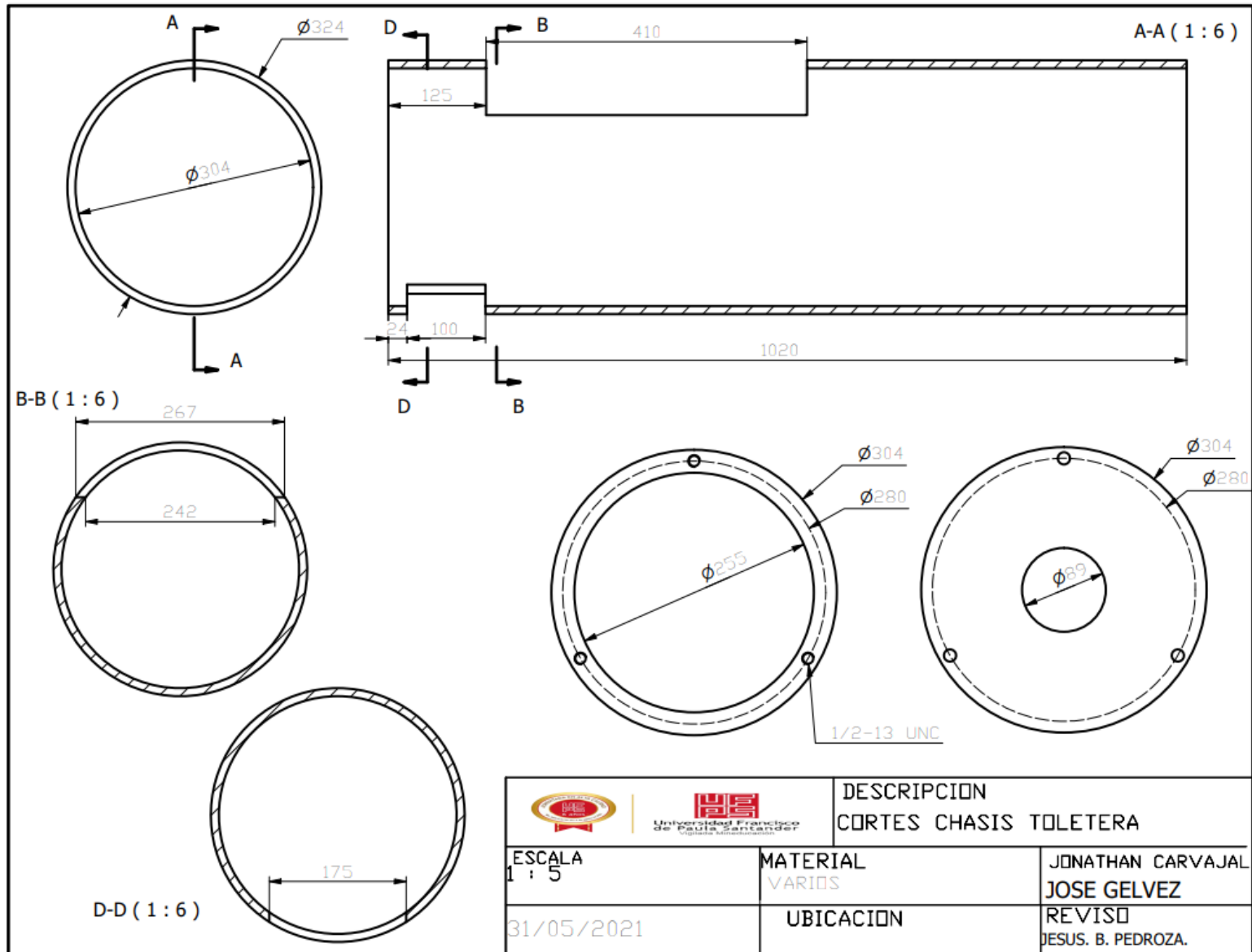
		NOMBRE EXTRUSORA 3 TON/ H
ESCALA 1 : 15	DISEÑADOR VARIDS	INSTALADO POR JOSE GELVEZ
FECHA 10/02/23	PROYECTO JESUS B . PEDROZA	OTRO

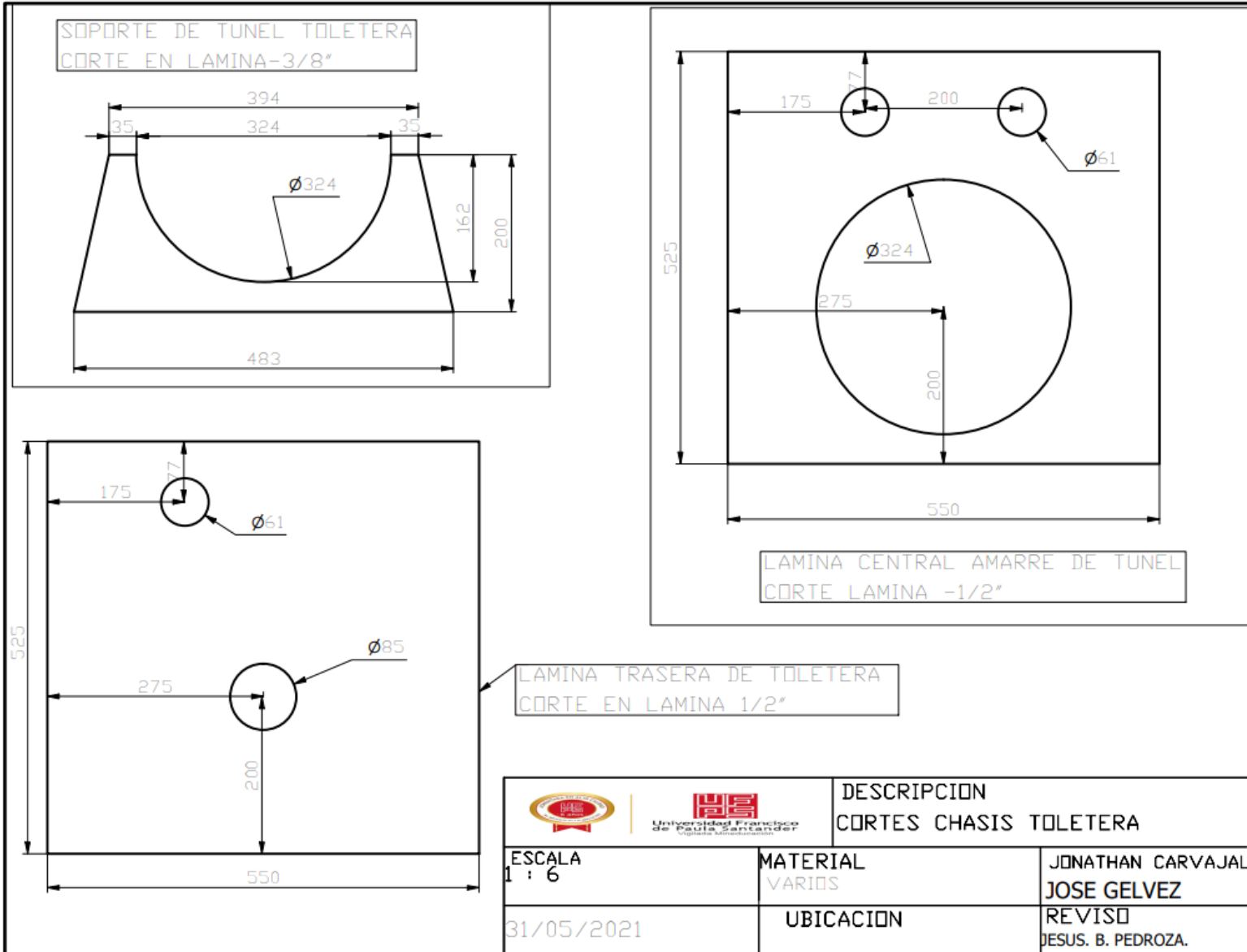
UBICACION DE PLATO Y ANILLO DE FONDO

A-A (1:9)

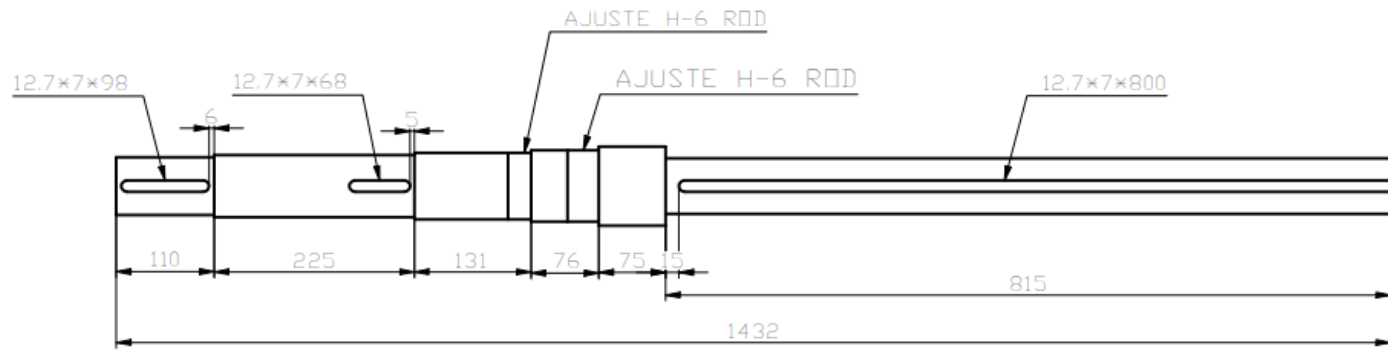
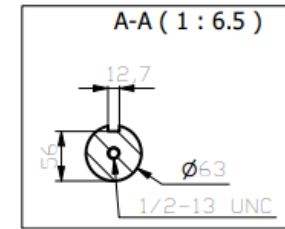
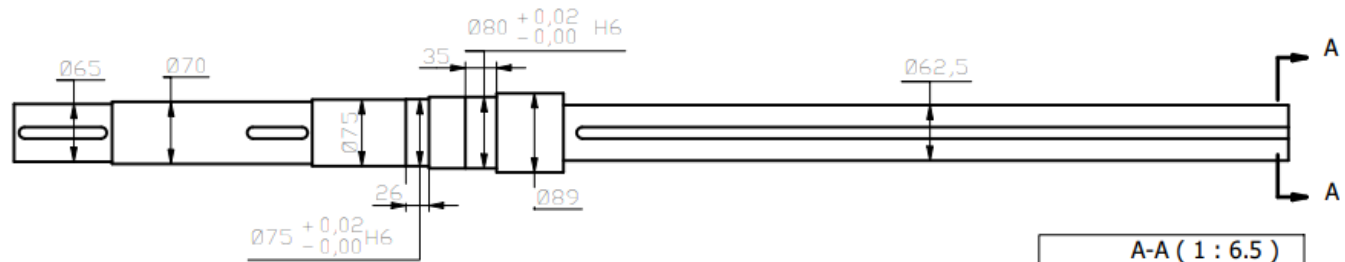




		DESCRIPCION ARMADO PLATO DE FONDO	
ESCALA 1 : 9	MATERIAL VARIOS	JONATHAN CARVAJAL JOSE GELVEZ	
13/02/2023	UBICACION	REVISO JESUS B. PEDROZA	

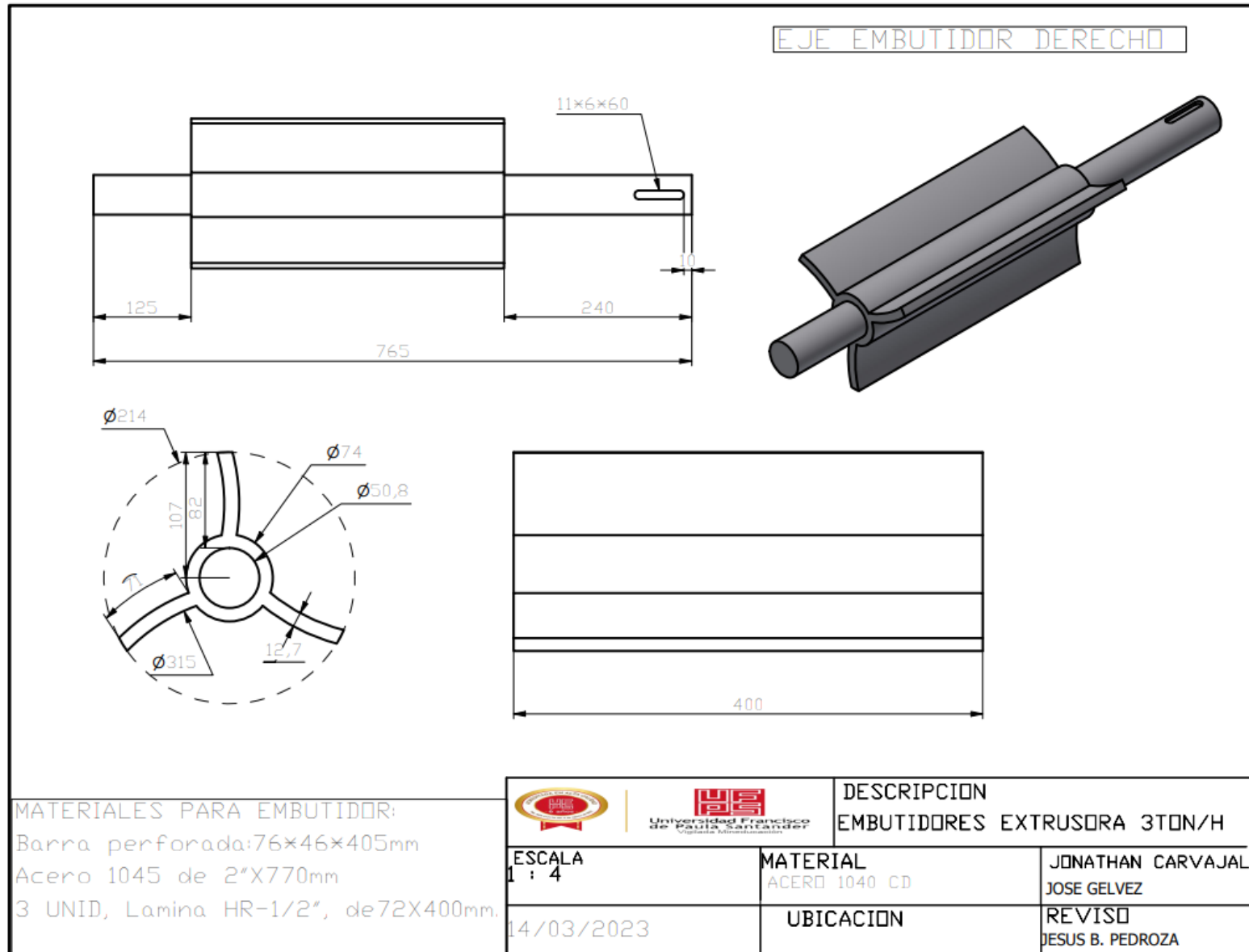


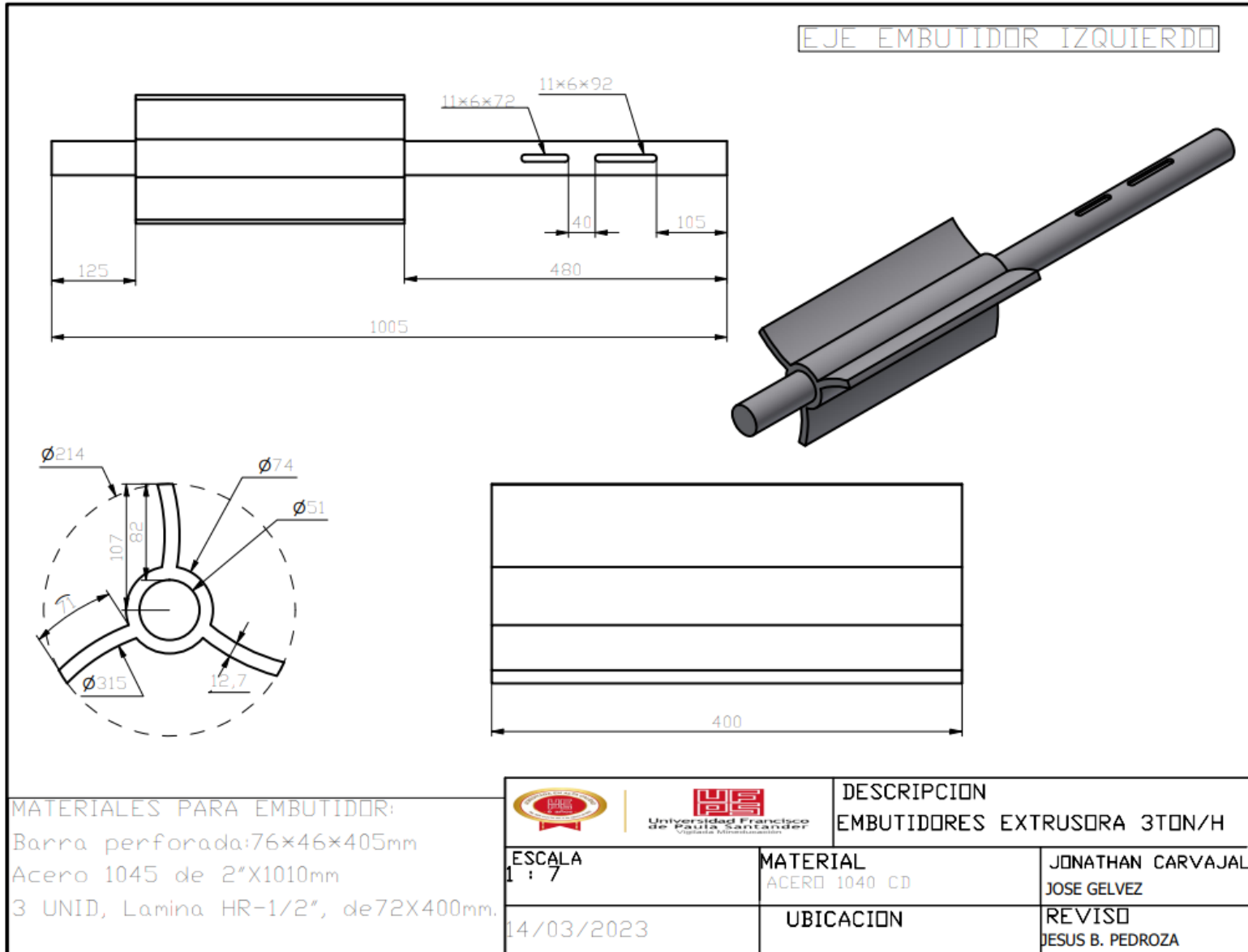


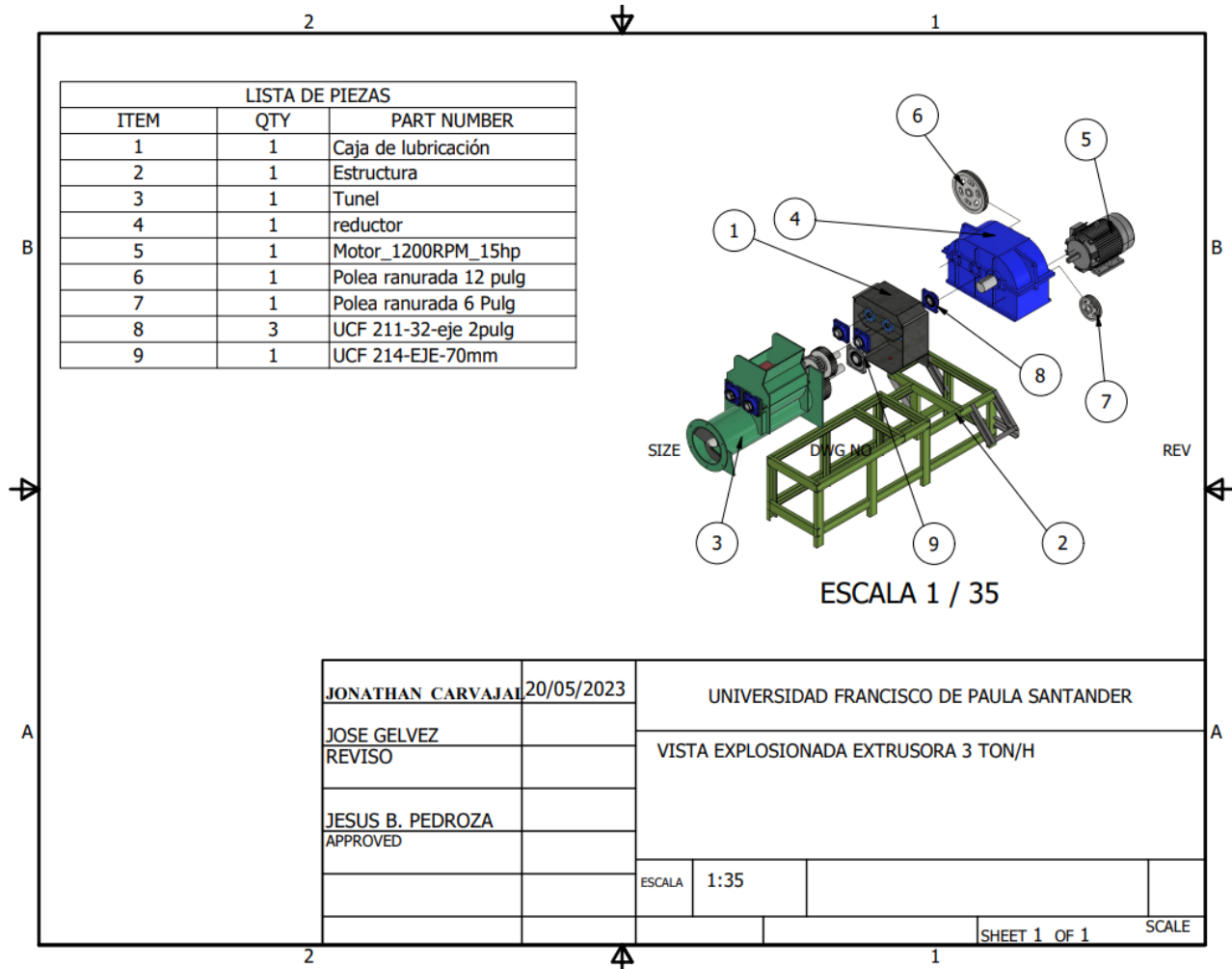
EJE CENTRAL EXTRUSORA 3 TON/H



 		DESCRIPCION	
		EMBUTIDORES EXTRUSORA 3TON/H	
ESCALA 1 : 6.5	MATERIAL ACERO 1040 CD	JONATHAN CARVAJAL JOSE GELVEZ	
14/03/2023	UBICACION	REVISO JESUS B. PEDROZA	







LISTA DE PIEZAS		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Caja de lubricación
2	1	Estructura
3	1	Tunel
4	1	reductor
5	1	Motor_1200RPM_15hp
6	1	Polea ranurada 12 pulg
7	1	Polea ranurada 6 Pulg
8	3	UCF 211-32-eje 2pulg
9	1	UCF 214-EJE-70mm

JONATHAN CARVAJAL	20/05/2023	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER	
JOSE GELVEZ		VISTA EXPLOSIONADA EXTRUSORA 3 TON/H	
REVISO			
JESUS B. PEDROZA			
APPROVED			
		ESCALA	1:35
		SHEET 1 OF 1	
		SCALE	

5. Conclusiones

- Mediante este modelo de extrusora se logró hacer uso de la ingeniería inversa, donde por medio de una máquina modelo se pudo dar inicio al análisis y rediseño de un modelo de extrusora con capacidad de 3 ton/h.
- Se pudo cotizar el precio promedio de los materiales que se requieren para su construcción, logrando de esta manera un precio bastante económico comparado con los equipos nuevos.
- Este equipo podrá ser utilizado en unidades productivas y pequeños empresarios que quieran iniciar en el sector arcillero, logrando adquirir una máquina económica y altamente productiva.
- Mediante el uso de los elementos finitos se analizó piezas fundamentales como el eje motriz que estará sometido al gran torque que recibe del reductor de velocidad y análisis del túnel de extrusión de acuerdo a las presiones establecidas por los grandes fabricantes de estas máquinas; logrando de esta manera resultados positivos y confiables, lo que garantizaría el buen funcionamiento de la máquina.
- Se logró diseñar el tren de engranes interno de la máquina mediante la aplicación de conceptos vistos durante la carrera universitaria logrando de esta manera aplicar los conceptos adquiridos.

6. Recomendaciones

Los autores realizan las siguientes recomendaciones.

- Infundir más a los estudiantes el aprovechamiento de los fuertes sectores económicos de la región, sectores como el calzado, la industria minero energético (sector coquizador), sector gres, textil y de alimentos; de esta manera centrar sus conocimientos en la solución de problemáticas presentadas en los diferentes sectores.
- Aprovechar más el uso de las herramientas de análisis computacional para el diseño y simulación de elementos de máquinas.
- Para futuros trabajos en base a este documento realizar análisis dinámicos para conocer más a fondo y con más certeza la confiabilidad del diseño presentado.
- Realizar un modelo en base a este diseño y poder aplicar completamente las demás ramas que se han experimentado en la carrera.

7. Referencias

ANDI. (21 de Junio de 2021). *Precios del acero en Colombia responden a dinámica de costos internacionales y de sus materias primas*. Obtenido de

<http://www.andi.com.co/Home/Noticia/15992-precios-del-acero-en-colombia-responden>

Arcasa. (2018). *PROCESOS*. Obtenido de <https://arcasa.com.co/>

Askeland, D. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales*.

Barbosa, P. (2017). *Diseño de una máquina extrusora de plástico para los productores de maguera de ocaña*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander- Sede Ocaña.

Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co/handle/123456789/2362>

Budynas, R. & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*. México, Mcgraw-hill.

Chapoñan, P. & Rojas, J. (2019). *Diseño de una máquina extrusora de ladrillos con una capacidad de 1000 unidades/hora para la fábrica “ladrillos lark” – lambayeque*.

Pimentel: Universidad Señor de Sipán.

DIPAC. (Enero de 2023). *DIPAC productos de acero*. Obtenido de Tubo cédula 40:

<https://dipacmanta.com/producto/tuberia-sin-costura/tubo-cedula-40/tubo-cedula-40/>

Guemes, G. & Martin, N. (2012). *Ciencia de materiales para Ingenieros*, (pág. 432). Madrid

Pearson education s.a.

Henan double elephants. (2005). *henan double elephants machinery*. Obtenido de JZ300-

extruDER:

https://holyphant.en.alibaba.com/es_ES/minisiteentrance.html?spm=a2700.wholesale.cor

[dpanyb.2.7ceb3627KSCY5h&from=detail&productId=60812497517](https://holyphant.en.alibaba.com/es_ES/minisiteentrance.html?spm=a2700.wholesale.corpanyb.2.7ceb3627KSCY5h&from=detail&productId=60812497517)

- Ibarra, F. (2004). *Diseño de una máquina semiautomática moldeadora de ladrillo de barro de 5.5×13×24 cm de dimensiones, con una capacidad de 500 ladrillos por hora, utilizable en la industria ladrillera*. Puebla: Universidad de las Americas Puebla.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de maquinas. Cuarta edición*. México D.F: Pearso Education.
- Natreb Máquinas. (2019). *Maromba a Vácuo NTB- 4 / Estrusora Al Vacío NTB- 4 / Vacuum Extruder NTB- 4. Archivo de video*. Morro da Fumaça. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=TCnecxJ-kSA>
- Peréz, F. & Barcos, S. (2004). *Optimización de una maquina extrusora de arcilla para la construcción de ladrillos en la industria ladrillera de la costa ltda. cartagena de indias: universidad tecnologica de bolivar*. Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0030330.pdf>
- Schmid, R. Hamrock, B. & Jacobson, B. (2014). *Fundamentals of Machine Elements*. Boca Raton: Taylor & Francis Group,.
- Smith, W. (2004). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. En W. F. Smith, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* (pág. 588). Mexico: Mc Graw Hill.