



Propuesta de diseño de máquina lavadora de anilox.

Juan Pablo Ortega Ortiz.

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Carlos Alberto Mejía Blandón

Magíster (MSc) en Ingeniería Mecánica.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Ortega Ortiz, 2024)
Referencia	Ortega Ortiz, J. (2024). <i>Propuesta de diseño de máquina lavadora de anilox</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de documentación de ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina

Jefe departamento: Pedro León Simanca

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este gran logro a mi madre, Liliana, quien sacrificó mucho para que yo pudiera estudiar y formarme como ingeniero. Su apoyo incondicional y valores han sido fundamentales en mi vida.

También quiero agradecer a la familia Ortega Ortiz por su constante apoyo.

Agradezco profundamente a los profesores y compañeros de la Universidad de Antioquia, quienes han sido parte fundamental de mi formación académica y personal. Este logro no habría sido posible sin su guía y contribución.

Agradecimientos

Agradezco sinceramente a la Universidad de Antioquia por haberme brindado una educación de calidad y la oportunidad de crecer cada día más como persona. Me enorgullece profundamente ser parte de esta institución. También, expreso mi gratitud a la empresa ALICO S.A.S BIC por ofrecerme la oportunidad de realizar mis prácticas académicas en una organización de su magnitud. Durante este tiempo, estuve rodeado de personas que contribuyeron significativamente a mi formación como ingeniero.

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract.	12
Introducción	13
1 Planteamiento del problema	14
2 Justificación.....	15
3 Objetivos	16
3.1 Objetivo general	16
3.2 Objetivos específicos.....	16
4 Marco teórico	17
4.1 Anilox y su importancia en la industria de la impresión.....	17
4.2 Lavado convencional.....	18
5 Estado del arte.	19
6 Metodología	25
6.1 Recolección de datos de los rodillos anilox	25
6.2 Identificación de oportunidades de mejora	25
6.3 Diseño conceptual	25
6.4 Diseño preliminar	25
7 Resultados	27
7.1 Recolección de datos de rodillos anilox	27
7.2 Identificación de oportunidades de mejora	27
7.3 Diseño conceptual	28
7.3.1 Alternativas de diseño.....	28
7.3.2 Criterio de selección de alternativa.....	31

7.4 Diseño de detalle	36
7.4.1 Sistema de calentamiento de shampoo	36
7.4.2 Sistema de potencia para rotación de rodillos anilox.....	42
7.4.3 Sistema de adicción de shampoo	55
7.4.4 Sistema de drenaje	57
7.4.5 Sistema de enjuague con agua a presión.....	58
7.2.6 Sistema de secado	61
7.4.7 Estructura	61
7.5 Propuesta de diseño de maquina lavadora de anilox.....	64
8 Discusión	67
9 Conclusiones	68
Referencias	69
Anexos.....	70

Lista de tablas

Tabla 1. Estado del arte de lavadora Anilox.	20
Tabla 2 Tabulación de medidas de Anilox.	27
Tabla 3 Alternativas de resistencias para sistema de calentamiento de shampoo.....	29
Tabla 4 Alternativas de bombas para sistema de adicción de shampoo.....	29
Tabla 5 Alternativas de tipo de transmisión para sistema de potencia rotación de rodillos anilox	30
Tabla 6 Alternativas de movimiento lineal en sistema de enjuague con agua a alta presión.....	30
Tabla 7 Alternativas de bombas para sistema de enjuague con agua a alta presión	31
Tabla 8 Criterios de evaluación para alternativas de resistencias en el sistema de calentamiento de shampoo.....	32
Tabla 9 Criterios de evaluación para alternativas de bombas en el sistema de adicción de shampoo	32
Tabla 10 Criterios de evaluación para alternativas de transmisiones flexibles en el sistema de potencia para rotación de rodillos anilox	32
Tabla 11 Criterios de evaluación para alternativas de movimiento lineal en el sistema de enjuague con agua a presión.....	33
Tabla 12 Criterios de evaluación para alternativas de bombas en el sistema de enjuague con agua a alta presión.....	33
Tabla 13 Importancia de criterios de selección (pesos)	33
Tabla 14 Evaluación de alternativas en sistema de calentamiento de shampoo.	34
Tabla 15 Evaluación de alternativas en sistema de potencia para rotacion de rodillos anilox.....	34
Tabla 16. Evaluación de alternativas en sistema de adicción de shampoo.	34
Tabla 17 Evaluación de alternativas en sistema de enjuague con agua a alta presión	35
Tabla 18 Evaluación de alternativas en sistema de enjuague con agua a alta presión	35
Tabla 19 Alternativas seleccionadas para cada uno de los sistemas	35
Tabla 20 Especificaciones técnicas de resistencia 4041N142.....	38

Tabla 21 Especificaciones técnicas de termocupla 6147N67.39

Tabla 22 Especificaciones filtro de tanque 5190K74.....40

Tabla 23. Cálculo de potencia requerida.46

Tabla 24. Eficiencias según tipo de transmisión.46

Tabla 25 Datos calculados para los sprockets.55

Lista de figuras

Figura 1 Rodillo anilox	17
Figura 2 Proceso de lavado convencional en el que se inyecta agua a presión.	18
Figura 3 Ensamble de rodillos a anilox a acoples	21
Figura 4 Montaje para la rotación del anilox	22
Figura 5 Ciclo de adición de shampoo	22
Figura 6 Proceso de drenaje de shampoo	23
Figura 7 Proceso de enjuague.	24
Figura 8 Proceso de secado.	24
Figura 9 Gráficos de rendimiento de bombas.	37
Figura 10 Resistencia de 3000 W seleccionada para calentar shampoo. Ref 4041N142.	38
Figura 11 Termopar seleccionado para medición de temperatura en tanque. Ref 6147N67.	39
Figura 12 Filtro seleccionado para tanque Ref 5190K74.....	40
Figura 13 Esquema de sistema de calentamiento de shampoo.	41
Figura 14 Diagrama de cuerpo libre sistema de transmisión de rodillos anilox.	42
Figura 15 Configuraciones de carga con rodillos anilox FL 15, FL16, FL 18 o FL21.....	44
Figura 16 Condiciones de carga con rodillos anilox de impresora FL 19.	44
Figura 17 Condiciones de carga con rodillos anilox de impresora FL 22.	45
Figura 18. Designación de ejes y número de dientes de los engranajes.	47
Figura 19. Especificaciones motor seleccionado WEG 0,25 kW.	50
Figura 20. Factor de servicio recomendado según diseño.	50
Figura 21. Selección de cadena para transmisión.	51
Figura 22. Resultados obtenidos para la selección de cadena en Autodesk Inventor.	52
Figura 23. Sistema de potencia para rotación de rodillos anilox.	53

Figura 24. Sistema de potencia para rotación de rodillos anilox en vista frontal.	53
Figura 25. Medidas para los sprockets.	54
Figura 26. Datos técnicos de la bomba Husky 515.	56
Figura 27. Sistema de adicción de shampoo.	56
Figura 28. Sistema de drenaje con válvula de 3 vías.	57
Figura 29. Sistema de drenaje acoplado a tanque de lavado.	58
Figura 30. Cabezote de hidrolavadora seleccionado.	58
Figura 31. Motor seleccionado a coplar en cabezote de hidrolavadora.	59
Figura 32. Sistema de enjuague con agua alta presión.	59
Figura 33. Portacables/mangueras seleccionado ref 4409T51.	60
Figura 34. Boquillas de chorro plano WashJet seleccionadas.	60
Figura 35. Boquillas de abanico seleccionadas para el sistema de secado.	61
Figura 36. Condiciones de carga y apoyos para la estructura.	62
Figura 37. Desplazamientos de la estructura debido a las cargas.	62
Figura 38. Tensión normal máxima	63
Figura 39. Soporte de nivelación giratorio ref 6111K652.	64
Figura 40. Propuesta de diseño máquina lavadora de anilox.	65
Figura 41. Integración de subsistemas en el diseño general	65
Figura 42. Capacidad de lavar 4 rodillos anilox en simultaneo.	66
Figura 43. Vista superior de propuesta de diseño de maquina lavadora de anilox.	66

Siglas, acrónimos y abreviaturas

°F	Fahrenheit.
μ	Coefficiente de fricción.
A	Amperios.
CA	Corriente alterna.
F.S	Factor de seguridad.
Ff	Fuerza de fricción.
FL	Flexográficas.
ft	Pie.
gpm	Galones por minuto.
HP	Horsepower.
I	Momento de inercia.
in	Pulgadas.
J	Joule.
kg	Kilogramo.
L	Litros.
lb	Libra
lpm	Litros por minuto.
m	Metro.
mA	Miliamperios.
min	Minuto.
N	Newton.
NPT	National Pipe Thread.
P	Potencia.
PLC	Controlador lógico programable.
Rad	Radianes.
rpm	Revoluciones por minuto.
SI	Sistema internacional.
V	Voltio.

Resumen

El proyecto propuesto se centra en la propuesta de diseño de una lavadora de rodillos anilox de tipo convencional, una pieza esencial en el proceso de limpieza de la impresión industrial. La necesidad de este proyecto surge en ALICO S.A.S BIC, empresa comprometida con la mejora continua de la calidad y la eficiencia en sus operaciones. Este informe recopila la información técnica necesaria para comprender el funcionamiento de esta maquinaria, así como los componentes y accesorios que la conforman.

El diseño propuesto se basa en una evaluación de oportunidades de mejora identificadas en la operación de una lavadora de anilox convencional actualmente en uso en la empresa. En el desarrollo del proyecto, se realizaron cálculos detallados de los elementos más críticos en cada uno de los sistemas mecánicos involucrados, tales como el sistema de transmisión y el sistema de lavado.

Se seleccionaron componentes mecánicos específicos, asegurando su compatibilidad y eficiencia en el contexto del diseño general. Entre estos componentes se incluyen hidrolavadoras, motores, entre otros. Cada selección fue respaldada por análisis de carga, estudio de materiales y evaluación de durabilidad, con el fin de garantizar la robustez y fiabilidad del equipo en condiciones de operación intensiva.

El informe también aborda aspectos relacionados con la ergonomía y la seguridad operativa, proponiendo reducir el esfuerzo físico requerido por los operarios minimizando el riesgo de accidentes laborales, contribuyendo así a un entorno de trabajo más seguro y eficiente.

Palabras clave: Diseño conceptual, Producción de lavado, Limpieza de impresión industrial, Empaques, Rodillos anilox, Ergonomía y Optimización.

Abstract.

The proposed project focuses on the design of a conventional type anilox roller washer, an essential piece in the industrial printing process. The need for this project arises at ALICO SAS, a company committed to continuous improvement in quality and efficiency in its operations. This report compiles the technical information necessary to understand the operation of this machinery, as well as the components and accessories that comprise it.

The proposed design is based on an evaluation of improvement opportunities identified in the operation of a conventional anilox washer currently in use at the company. In the project development, detailed calculations were performed for the most critical elements in each of the mechanical systems involved, such as the transmission system and the washing system.

Specific mechanical components were selected, ensuring their compatibility and efficiency within the overall design context. These components include pressure washers, motors, among others. Each selection was supported by load analysis, material studies, and durability evaluations, aiming to guarantee the robustness and reliability of the equipment under intensive operating conditions.

The report also addresses aspects related to ergonomics and operational safety, proposing to reduce the physical effort required by operators, minimizing the risk of occupational accidents, thus contributing to a safer and more efficient work environment.

Keywords: *Conceptual design, washing production, industrial printing cleaning, packaging, anilox rollers, ergonomics, optimization.*

Introducción

El diseño de una máquina lavadora de rodillos anilox representa un avance significativo en la industria de la impresión flexográfica, donde la limpieza eficiente de los rodillos es crucial para mantener la calidad y consistencia en los procesos de impresión. Este proyecto se enfoca en desarrollar un equipo basado en las oportunidades de mejora recopiladas del funcionamiento de una máquina de este tipo que está actualmente en uso en la empresa. El objetivo es que este nuevo diseño optimice el proceso de lavado y mejore las condiciones de trabajo de los operarios, a través de un diseño ergonómico y eficiente.

La metodología empleada se divide en cuatro etapas fundamentales:

En la primera etapa, se recopilan datos acerca de los anilox existentes en la empresa y que por lo tanto brindan requerimientos necesarios para el diseño de la máquina.

En la segunda etapa, se centra en identificar oportunidades de mejora a partir de los hallazgos obtenidos del proceso de lavado y del estado del arte en tecnologías de lavado de anilox. Se propone la capacidad para lavar múltiples anilox simultáneamente como una medida para aumentar la eficiencia del proceso y reducir la dependencia de lavados manuales.

En la tercera etapa, se realiza la selección de alternativas y se desarrollan los conceptos iniciales del diseño de la máquina, integrando las mejoras identificadas en etapas anteriores. Esto implica el diseño conceptual de sistemas que integran la máquina.

Finalmente, la cuarta etapa aborda el diseño detallado de la máquina, incluyendo la elaboración de modelos 3D, la selección de componentes mecánicos y la generación de planos de fabricación. Cada fase del proceso está diseñada para garantizar que la máquina no solo cumpla con los requisitos técnicos y de producción, sino que también mejore la experiencia operativa y la seguridad del personal involucrado.

1 Planteamiento del problema

Para optimizar el proceso de lavado de rodillos anilox en la empresa ALICO S.A.S BIC, se requiere el diseño de una nueva lavadora que incorpore mejoras basadas en el análisis del proceso de lavado actual. El objetivo es desarrollar un equipo que mejore la eficiencia del lavado y la ergonomía para los operarios.

Este proyecto implica la evaluación y selección de diversas alternativas de diseño para asegurar que la solución elegida ofrezca el mejor desempeño de sus componentes. La nueva máquina debe no solo optimizar el proceso de lavado, sino también mejorar las condiciones de trabajo a través de un diseño ergonómico y eficiente.

2 Justificación

En el contexto de la industria de impresión flexográfica, la limpieza efectiva de los rodillos anilox es fundamental para mantener la calidad y la consistencia en los procesos de impresión. Sin embargo, los métodos tradicionales de lavado pueden resultar laboriosos, consumir tiempo y no siempre garantizar la eliminación completa de residuos de tinta, afectando así la eficiencia operativa y la calidad del producto final.

El proyecto de diseño de una máquina lavadora de rodillos anilox tiene como objetivo principal de optimizar el proceso de lavado y mejorar las condiciones de trabajo para los operarios. Esta iniciativa busca no solo incrementar la eficiencia del lavado al permitir el procesamiento simultáneo de múltiples rodillos anilox, sino también reducir la intervención manual y minimizar el riesgo de errores humanos durante el proceso.

Este proyecto tiene en cuenta varios aspectos clave:

- **Optimización del proceso:** La capacidad para lavar varios rodillos anilox simultáneamente aumenta significativamente la productividad y reduce los tiempos de inactividad, permitiendo una operación más fluida y eficiente en el entorno de producción.
- **Mejora de la calidad:** Un lavado más efectivo y uniforme de los rodillos anilox asegura una transferencia de tinta consistente y precisa, mejorando la calidad de impresión y reduciendo los desperdicios de material.
- **Ergonomía y seguridad:** La implementación de un diseño ergonómico no solo facilita las tareas de mantenimiento y operación, sino que también contribuye a un ambiente laboral más seguro y confortable para los trabajadores.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta de diseño de una máquina lavadora de rodillos anilox en busca de optimizar la producción de lavado y la ergonomía del operario.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar el análisis y exploración del proceso de lavado de anilox, en busca de optimizar la producción de lavado y la ergonomía del operario.
- Diseñar los sistemas necesarios para cumplir la función de lavado, optimización del proceso de producción y ergonomía.
- Desarrollar el diseño 3D de los componentes que estructuran de sistema de lavado
- Seleccionar los diferentes componentes mecánicos que componen el equipo (motores, rodamientos, actuadores neumáticos, etc)
- Realizar planos de fabricación de cada una de las piezas que componen el equipo.

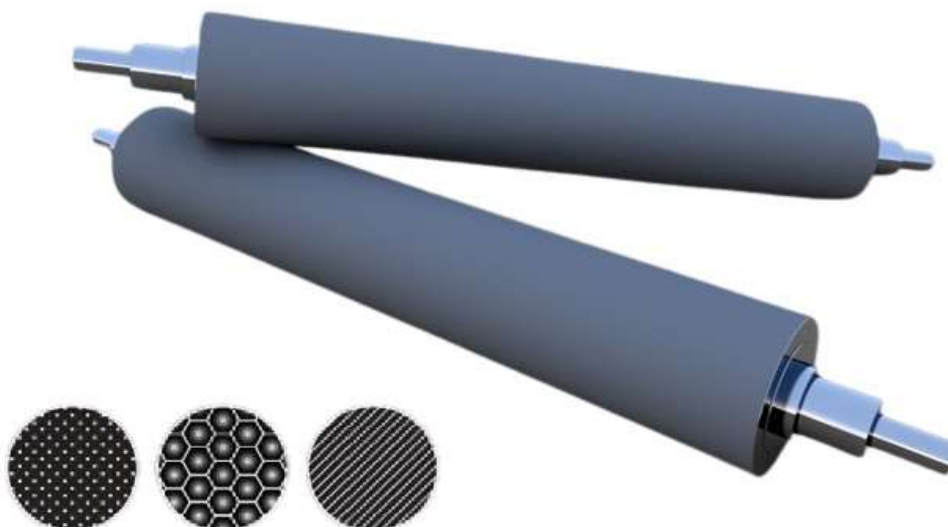
4 Marco teórico

4.1 Anilox y su importancia en la industria de la impresión

Un anilox es un cilindro utilizado en la impresión flexográfica cuya superficie contiene millones de pequeñas celdas grabadas. Su principal función es medir y transferir una cantidad precisa de tinta desde el rodillo de tinta hasta la placa de impresión, la cual luego transfiere la tinta al sustrato, como papel o film plástico. La calidad y consistencia de la impresión flexográfica dependen en gran medida del diseño y el mantenimiento del anilox.

La importancia del anilox en la industria de la impresión radica en su capacidad para controlar la cantidad de tinta que se aplica a la placa de impresión, lo que afecta directamente la calidad de la impresión. Las variables clave del anilox incluyen el volumen de celda (capacidad de tinta), el ángulo de grabado de las celdas y la lineatura (número de celdas por pulgada). Estas características determinan la cantidad de tinta que se transfiere y la finura de los detalles en la impresión. En la figura 1 se muestra un rodillo anilox.

Figura 1
Rodillo anilox



Nota. Tomado de Prevención de taponamiento en rodillos Anilox. <https://rollergrafics.com/tag/prevencion-de-taponamiento-en-rodillos-anilox/?v=267d696eab9e>

4.2 Lavado convencional

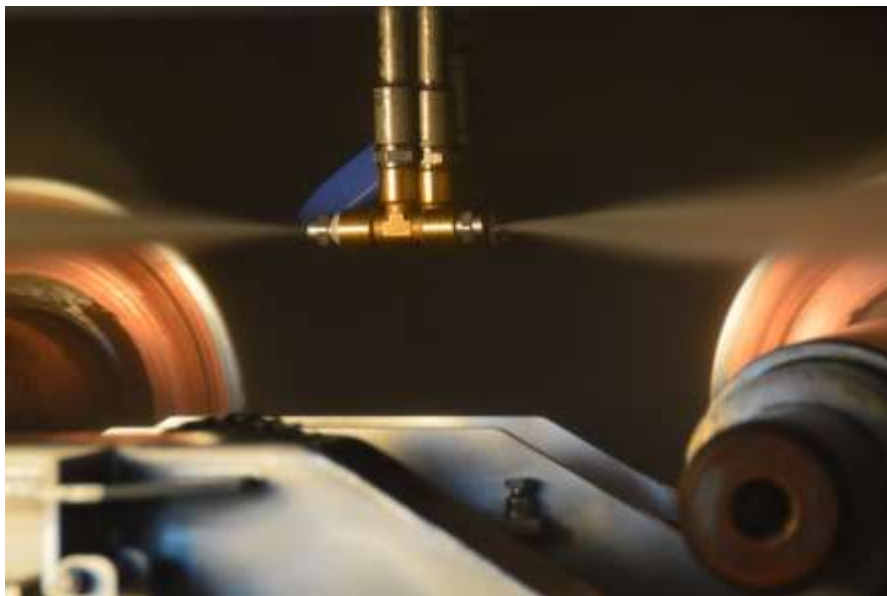
El lavado convencional que se realiza a los rodillos anilox implica el uso de agua a alta presión y un shampoo especial, comúnmente conocido como "limpiador líquido de anilox", para limpiar los alvéolos del rodillo anilox. Este proceso se lleva a cabo mediante el uso de equipos de lavado diseñados específicamente para este propósito.

Durante el lavado convencional, se aplica el shampoo caliente sobre la superficie del rodillo anilox, donde luego se utiliza agua a alta presión (como se puede identificar en la figura 2) para eliminar los residuos de tinta, barniz u otros contaminantes que se han acumulado en los alvéolos del rodillo anilox. La combinación de agua caliente y presión ayuda a disolver y eliminar eficazmente los residuos, restaurando así la capacidad del rodillo para transferir la tinta de manera uniforme durante el proceso de impresión.

El lavado convencional es una técnica efectiva y ampliamente utilizada en la industria de la impresión para mantener la eficiencia y la calidad de los rodillos anilox.

Figura 2

Proceso de lavado convencional en el que se inyecta agua a presión.



Nota. Tomada de Mejorando la calidad de la impresión en todo el mundo. <https://www.flexowash.com/es/>

5 Estado del arte.




Flexo Wash es una empresa líder en soluciones de limpieza para la industria de impresión flexográfica y otras aplicaciones de impresión. Fundada en 1991 en Dinamarca, la compañía ha revolucionado la limpieza de rodillos anilox, placas de impresión y otros componentes críticos en los procesos de impresión. Con más de tres décadas en el mercado, Flexo Wash se ha consolidado como un referente global, proveyendo equipos de limpieza de alta calidad y eficiencia a clientes en más de 100 países.

La importancia de mantener los rodillos anilox limpios no puede subestimarse, ya que la acumulación de tinta y residuos puede afectar significativamente la calidad de la impresión. Flexo Wash ha desarrollado tecnologías avanzadas que no solo aseguran una limpieza profunda y efectiva, sino que también prolongan la vida útil de los rodillos, optimizando el rendimiento y reduciendo costos operativos.

Flexo Wash ha estado a la vanguardia de la innovación en la limpieza de rodillos anilox y otros componentes de impresión. Sus productos se destacan por su combinación de eficiencia, sostenibilidad y facilidad de uso. A lo largo de sus más de 30 años de historia, Flexo Wash ha introducido soluciones que permiten a los impresores mantener sus equipos en óptimas condiciones con el mínimo esfuerzo, minimizando el tiempo de inactividad y maximizando la productividad.

Las características técnicas de tres modelos de máquinas para lavado de rodillos anilox desarrolladas por la empresa Flexowash se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.
Estado del arte de lavadora Anilox.

Maquina	Características	Especificaciones técnicas	Características de operación	Consumo	Ilustración				
FW 3000 NXT Liquid Anilox Cleaner	Longitud Max del Rodillo	3900 [mm]	Longitud	5000 [mm]	Potencia	230.400 [V, 3 fases]	Enjuague	25 [L / ciclo]	
	Estructura	Acero inox	Ancho	1200 [mm]	Panel de control	táctil HMI 7 pulgadas - Programas predefinidos y personalizables	Sistema de filtración	3 etapas: Filtración Preliminar, Intermedia y final.	
	Diámetro del rodillo	400 [mm]	Altura	1500 [mm]	Peso de la máquina	1800 [kg]	Ciclo de limpieza	10-20 [min]	
FW 992XL Liquid Anilox Cleaner	Longitud Max del Rodillo	1600 [mm]	Longitud	2500 [mm]	Potencia	230.400 [V, 3 fases]	Enjuague	20 [L / ciclo]	
	Estructura	Acero inox	Ancho	1100 [mm]	Panel de control	Interfaz de usuario - ajuste remoto y monitoreo en tiempo real.	Sistema de filtración	Filtración avanzada - Recirculación	
	Diámetro del rodillo	300 [mm]	Altura	1400 [mm]	Peso de la máquina	1400 [kg]	Ciclo de limpieza	<20 [min]	
FW Handy Mini Liquid Anilox Cleaner	Longitud Max del Rodillo	400 [mm]	Longitud	900 [mm]	Potencia	230.400 [V, 3 fases]	Enjuague	15 [L / ciclo]	
	Estructura	Acero inox	Ancho	800 [mm]	Panel de control	Panel de control sencillo y eficiente - Capacidad de ajuste manual y programación básica.	Sistema de filtración	Filtración integrada - limpieza efectiva del líquido y su reutilización	
	Diámetro del rodillo	300 [mm]	Altura	1100 [mm]	Peso de la máquina	300 [kg]	Ciclo de limpieza	≈ 15 [min]	

Nota: Fuente Elaboración propia. Imágenes y datos tomados de <https://www.flexowash.com/>

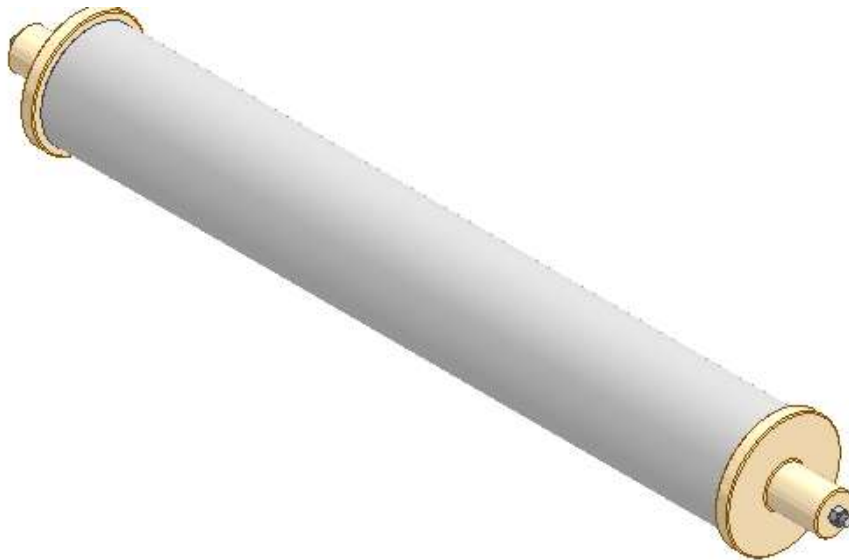
Las lavadoras convencionales de rodillos anilox realizan el siguiente ciclo lavado:

En primer lugar, el operario ensambla el rodillo anilox a dos acoples mediante un eje o varilla roscada. Estos acoples son esenciales para evitar que la transmisión de potencia se realice directamente sobre la superficie del rodillo, lo que podría causar deformaciones y afectar la correcta entrega de tinta durante el proceso de impresión. De este modo, se asegura una mayor durabilidad y precisión en el desempeño del rodillo.

El montaje realizado se ilustra en la figura 3, donde se puede observar claramente cómo los acoples protegen la integridad del rodillo anilox, garantizando una transmisión de potencia eficiente y sin riesgo de daños en la superficie del anilox.

Figura 3

Ensamble de rodillos a anilox a acoples



Nota. Elaboración propia.

Una vez que se ha realizado correctamente el ensamblaje mostrado en la figura 3, es posible montarlo sobre los apoyos que transmitirán la potencia para otorgar el giro al rodillo anilox. Dicho montaje se muestra en la figura 4.

Figura 4

Montaje para la rotación del anilox

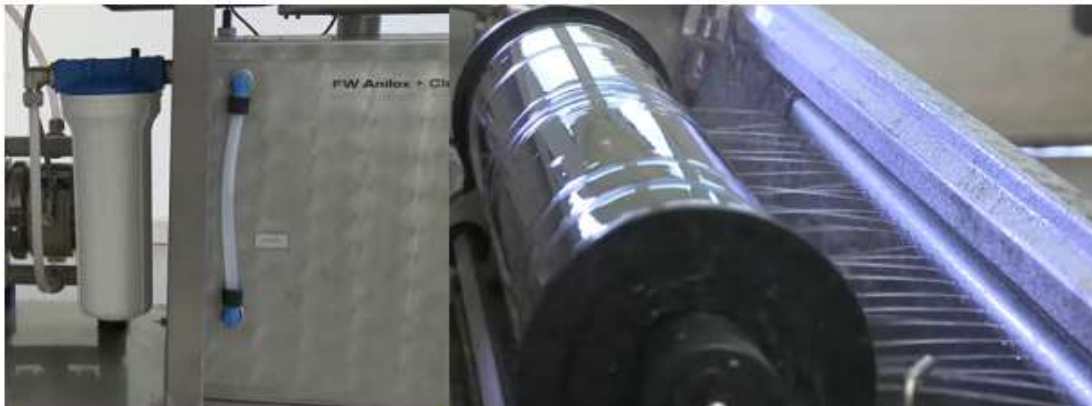


Nota. Tomado de Limpieza profunda diaria de sus aniloxes. Fuente: <https://www.flexowash.com/es/limpieza-anilox-con-1%C3%ADquido>

Con el montaje del rodillo anilox, se procede a calentar el shampoo almacenado en el tanque a una temperatura aproximada de 50°C, para asegurar su eficacia en la limpieza. Luego, el shampoo se distribuye de manera uniforme sobre la superficie del rodillo con la ayuda de una bomba, que lo envía a través de un tubo perforado denominado "flauta". Este proceso garantiza una cobertura completa y eficiente del shampoo sobre la superficie del rodillo, que está girando, facilitando así la remoción de residuos de tinta y suciedad acumulada. En la Figura 5 se muestra la adición del shampoo, con el tanque de almacenamiento y la flauta en funcionamiento.

Figura 5

Ciclo de adicción de shampoo



Nota. Tomado de Limpieza profunda diaria de sus aniloxes. Fuente: <https://www.flexowash.com/es/limpieza-anilox-con-1%C3%ADquido>

Con el fin de reutilizar el shampoo y maximizar su capacidad de limpieza, este es retornado al tanque para su almacenamiento y uso en futuros lavados. Para ello, la máquina está equipada con una válvula neumática de 3 vías que, dependiendo del ciclo de lavado, dirige el shampoo de vuelta al tanque o envía el agua al isotanque para su posterior tratamiento. El ciclo de drenaje se ilustra en la Figura 6.

Figura 6

Proceso de drenaje de shampoo



Nota. Tomado de Limpieza profunda diaria de sus aniloxes. Fuente: <https://www.flexowash.com/es/limpieza-anilox-con-1%C3%ADquido>

Una vez que todo el shampoo ha sido retornado al tanque, se inicia el ciclo de enjuague. En esta etapa, se aplica agua a presión (3000 psi) a lo largo del rodillo mediante una boquilla de abanico de alta presión, como se muestra en la Figura 7. Las boquillas se desplazan a lo largo del rodillo gracias al accionamiento de un tornillo sin fin que mueve el cabezote donde están ubicadas, garantizando una distribución homogénea del agua y una limpieza efectiva en toda la superficie del rodillo.

Figura 7

Proceso de enjuague.



Nota. Tomado de Limpieza profunda diaria de sus aniloxes. Fuente: <https://www.flexowash.com/es/limpieza-anilox-con-1%C3%ADquido>

El agua utilizada en el proceso de enjuague es drenada y enviada al isotanque de almacenamiento mediante la válvula de 3 vías previamente mencionada.

Finalmente, para llevar a cabo el proceso de secado, se inyecta aire a lo largo del cilindro utilizando un método similar al del enjuague. En esta etapa, una boquilla recorre la superficie del rodillo anilox en rotación, inyectando aire, como se muestra en la Figura 8. Este proceso ayuda a eliminar la humedad residual del rodillo, dejándolo limpio y seco, y listo para su próximo uso en el proceso de impresión.

Figura 8

Proceso de secado.



Nota. Tomado de Limpieza profunda diaria de sus aniloxes. Fuente: <https://www.flexowash.com/es/limpieza-anilox-con-1%C3%ADquido>

6 Metodología

Este proyecto se desarrolló utilizando una metodología estructurada en cuatro etapas, lo cual permitió que cada una de ellas aportara información esencial para comprender los requerimientos de diseño, recopilar datos para identificar oportunidades de mejora e implementar estas mejoras en el diseño final. A continuación, se explican las etapas desarrolladas:

6.1 Recolección de datos de los rodillos anilox

Se realizó un mapeo en el área de lavado de anilox y se recopiló información detallada sobre cada uno de los rodillos anilox que forman parte del proceso de lavado en la empresa. Esto permitió obtener datos fundamentales para el proceso de diseño, incluyendo las dimensiones generales y el peso de cada rodillo anilox.

6.2 Identificación de oportunidades de mejora

Con base en los criterios de diseño proporcionados por la empresa y en los hallazgos obtenidos del estudio del estado del arte, se identificaron oportunidades de mejora que pueden optimizar tanto el proceso de lavado como la ergonomía del operario.

6.3 Diseño conceptual

En esta etapa se llevó a cabo la selección de alternativas para los elementos clave en cada uno de los sistemas de la máquina. Este proceso permitió elegir los componentes que mejor cumplirían con su función, de acuerdo con los criterios de selección establecidos. Posteriormente, se desarrollaron los conceptos iniciales del diseño de la máquina lavadora de anilox, integrando las mejoras identificadas en la etapa anterior y los elementos seleccionados.

6.4 Diseño preliminar

En la última etapa, se realizó el diseño detallado de la máquina, consolidando todos los conceptos y especificaciones definidos en las etapas anteriores. Esta fase abarcó un proceso meticuloso en el que los conceptos iniciales se tradujeron en modelos tridimensionales precisos y en planos de fabricación detallados. Para ello, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Desarrollo del diseño 3D:** Se crearon modelos tridimensionales de todos los componentes del sistema de lavado utilizando el software Autodesk Inventor.
- **Selección de componentes mecánicos:** Se eligieron los elementos específicos como motores, rodamientos y actuadores neumáticos que integran el equipo.
- **Planos de fabricación:** Se realizaron los planos detallados necesarios para la fabricación de cada una de las piezas que componen la máquina.

7 Resultados

7.1 Recolección de datos de rodillos anilox

Dado que las medidas de los rodillos anilox condicionan las dimensiones generales del diseño, se realizó una visita al área de lavado para recopilar datos precisos. Durante esta visita, se tabularon medidas como el diámetro interior y exterior, la longitud y el peso de cada rodillo. Las especificaciones de los rodillos anilox que se lavan actualmente en la empresa se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2
Tabulación de medidas de Anilox.

Especificaciones dimensionales Anilox							
	FL 115	FL 116	FL 117	FL 118	FL 119	FL 121	FL 122
Diámetro interior [mm]	137,5	137,5	76,2	137,5	106	137,5	137
Diámetro exterior [mm]	159	159	96	159	127,3	159	159
Longitud [mm]	1077	1077	350	1077	900	1077	1346
Peso [kg]	10,9	10,9	1,9	10,9	7,3	10,9	13,3

Nota. * FL=Flexográfica. Elaboración propia.

7.2 Identificación de oportunidades de mejora

- **Capacidad de lavar 4 anilox simultáneamente**

De acuerdo con el requerimiento principal brindado por la empresa, que busca optimizar tanto la producción de lavado como la ergonomía del operario, se planteó la capacidad de lavar hasta 4 rodillos anilox simultáneamente. Esta medida tiene como objetivo aumentar la productividad del proceso de lavado y reducir la dependencia de los lavados manuales. La

implementación de esta capacidad de lavado es una mejora viable, ya que se encuentra en máquinas más avanzadas en el segmento, superando la Flexowash actualmente en uso en la empresa.

Esta propuesta presentó varios retos, ya que era necesario diseñar una máquina mucho más grande y robusta para cumplir con las nuevas condiciones de carga, además de reducir el tiempo de lavado.

- **Diseño totalmente aislado del sistema de control.**

Dado que la lavadora de anilox existente en la empresa ha presentado fallas debido a fugas de agua que dañaban componentes eléctricos, se decidió diseñar la nueva máquina sin integrar los componentes del sistema de control. Estos componentes se instalarán en un gabinete separado. Es importante señalar que el alcance de este diseño no incluye la programación de la máquina ni el desarrollo del sistema de control.

- **Implementación de soportes para ensamblar los anilox a los acoples.**

Considerando que la superficie de los rodillos anilox debe mantenerse en excelentes condiciones para asegurar una correcta entrega de tinta en el proceso de impresión, se decidió implementar en la estructura soportes que faciliten el ensamblaje de los rodillos con los acoples.

7.3 Diseño conceptual

7.3.1 Alternativas de diseño

Se plantearon diferentes alternativas de diseño para los sistemas que integran la máquina con el fin de explorar y evaluar diversos elementos que pudieran satisfacer los requisitos del sistema de manera efectiva. Este proceso permitió identificar la solución más adecuada en términos de funcionalidad, costos y viabilidad. Las alternativas de diseño para cada uno de los sistemas de la máquina se muestran a continuación en las Tablas 3, 4, 5, 6 y 7.

Tabla 3

Alternativas de resistencias para sistema de calentamiento de shampoo

Sistema de calentamiento de shampoo			
Alternativa	1	2	3
Opción	Resistencia de cartucho	Resistencia tubular	Resistencia de inmersión
Representación			
Descripción	El shampoo sera calentado por una resistencia sumergida desde la tapa del tanque	el shampoo se calienta con una resistencia de estas fijas en el interior el tanque	Gracias a su montaje roscado se montaria por un costado del tanque quedando sumergida

Nota.: Elaboración propia.

Tabla 4




Alternativas de bombas para sistema de adicción de shampoo

Sistema de adicción de shampoo			
Alternativa	1	2	3
Opción	Bombas peristalticas	Bomba de diafragma	Bomba centrifuga
Representación			
Descripción	Acoplada a un motor aumenta la presión del fluido que esta en el interior de las mangueras	Utilizan un diafragma flexible que se mueve hacia adelante y hacia atrás para crear succión y descarga.	Utilizan un impulsor giratorio para mover el líquido mediante fuerza centrífuga. Son conocidas por su alta capacidad de flujo y diseño robusto.

Nota.: Elaboración propia.

Tabla 5



Alternativas de tipo de transmisión para sistema de potencia rotación de rodillos anilox

Sistema de potencia para rotación de rodillos anilox			
Alternativa	1	2	3
Opción	Sprockets y cadena	Correas en V	Correas dentadas
Representación			
Descripción	La potencia se transmite a los anilox por medio de un motor acoplado a sprockets mediante cadena de rodillos	la potencia que requieren los anilox es transmitida por transmisión flexible de correa en V	Transmisión para rotación de rodillos anilox es realizada de manera precisa

Nota.: Elaboración propia.

Tabla 6

Alternativas de movimiento lineal en sistema de enjuague con agua a alta presión

Sistema de enjuague con agua a alta presión.			
Alternativa	1	2	3
Opción	Tornillo rosca trapecoidal	Actuador sin vástago	Tornillo de bolas recirculante
Representación			
Descripción	Al girar el tornillo con una fuente de rotación (como un motor), la tuerca se mueve de manera lineal a lo largo del tornillo	Movimiento lineal generado por la expansión del aire.	Al girar el tornillo, las bolas recirculan a través de caminos definidos, moviendo la tuerca linealmente a lo largo del tornillo.

Nota.: Elaboración propia.

Tabla 7

Alternativas de bombas para sistema de enjuague con agua a alta presión

Sistema de enjuague con agua a alta presión		
Alternativa	1	2
Opción	Bomba de alta presión	Compresor de agua
Representación		
Descripción	Al acoplarse a un motor puede aumentar considerablemente la presión del agua. Funcionamiento típico de las hidrolavadoras comerciales	funcionamiento muy similar a los compresores de aire. Permite alcanzar altas presiones de trabajo.

Nota.: Elaboración propia.

7.3.2 Criterio de selección de alternativa

A continuación, se presentan los criterios de selección y asignación de valores para determinar la alternativa más adecuada para cada sistema, con una calificación de 1, 2 y 3; donde 1 es insatisfactorio y 3 es el más adecuado. Estos criterios fueron evaluados en colaboración con el diseñador de la empresa y encargado de mantenimiento del área, para comprender la importancia que cada uno de ellos otorga a los criterios de evaluación descritos en las Tablas 8, 9, 10, 11 y 12. El nivel de importancia varía de 1 a 10, siendo 1 sin importancia y 10 de alta importancia (Tabla 13).

Después de que cada persona realizara su evaluación para cada criterio, se sumaron los valores obtenidos para determinar un valor total por criterio. Posteriormente, se sumaron todos los valores totales de cada criterio para obtener un valor global. Con esta información, se calculó el peso de cada criterio dividiendo el valor total del criterio entre la suma general.

Tabla 8

Criterios de evaluación para alternativas de resistencias en el sistema de calentamiento de shampoo

Criterios de evaluación	Definición	Evaluación X		
		Resistencia de cartucho	Resistencia tubular	Resistencia de inmersión
Costo del componente [COP]	Costo de adquisición	400.000>X>200.000	X< 300.000	X > 500.000
Tiempos de mantenimiento [h]	Tiempo de reparación	X< 1	X< 1	X< 1
Tiempo de montaje [h]	Tiempo necesario para inslacion	X< 1	X=1	X< 1
Confiabilidad del componente	Seguridad el componente	Media	Baja	Alta

Tabla 9

Criterios de evaluación para alternativas de bombas en el sistema de adicción de shampoo

Criterios de evaluación	Definición	Evaluación X		
		Bombas peristalticas	Bomba de diafragma	Bomba centrifguga
Costo del componente [COP]	Costo de adquisición	10 M>X>9M	4 M>X>6M	4 M>X>5M
Tiempos de mantenimiento [h]	Tiempo de reparación	X> 3	X<1	X> 3
Tiempo de montaje [h]	Tiempo necesario para inslacion	X> 3	X<1	X> 3
Confiabilidad del componente	Seguridad el componente	Alta	Alta	Alta

Tabla 10

Criterios de evaluación para alternativas de transmisiones flexibles en el sistema de potencia para rotación de rodillos anilox

Criterios de evaluación	Definición	Evaluación X		
		Sprockets y cadena	Correas en V	Correas dentadas
Costo del componente [COP]	Costo de adquisición	300.000>X>200.000	X> 300.000	X > 500.000
Tiempos de mantenimiento [h]	Tiempo de reparación	X< 1	X< 1	X< 1
Tiempo de montaje [h]	Tiempo necesario para inslacion	X< 1	X<1	X< 1
Confiabilidad del componente	Seguridad el componente	Alta	Media	Media

Tabla 11

Criterios de evaluación para alternativas de movimiento lineal en el sistema de enjuague con agua a presión

Criterios de evaluación	Definición	Evaluación X		
		Tornillo rosca trapezoidal	Actuador sin vástago	Tornillo de bolas recirculante
Costo del componente [COP]	Costo de adquisición	1.6M>X>1M	4M>X>4,8M	X > 4M
Tiempos de mantenimiento [h]	Tiempo de reparación	X < 1	X > 5	X > 3
Tiempo de montaje [h]	Tiempo necesario para inslacion	X < 1	X > 3	X > 2
Confiabilidad del componente	Seguridad el componente	Alta	Media	Media

Tabla 12

Criterios de evaluación para alternativas de bombas en el sistema de enjuague con agua a alta presión

Criterios de evaluación	Definición	Evaluación X	
		Bomba de alta presión	Compresor de agua
Costo del componente [COP]	Costo de adquisición	3M>X>10M	12M>X>15M
Tiempos de mantenimiento [h]	Tiempo de reparación	X < 3	X < 4
Tiempo de montaje [h]	Tiempo necesario para inslacion	X < 1	X > 2
Confiabilidad del componente	Seguridad el componente	Alta	Alta

Tabla 13

Importancia de criterios de selección (pesos)

Criterios de evaluación	Peso	Diseñador 1	Diseñador 2	Enc. Mtto	Total
Costo del componente [COP]	20%	5	6	6	17
Tiempos de mantenimiento [h]	21%	7	6	5	18
Tiempo de montaje [h]	26%	8	7	7	22
Confiabilidad del componente	34%	10	9	10	29
Total	100%	30	28	28	86

Tabla 14*Evaluación de alternativas en sistema de calentamiento de shampoo.*

Sistema de calentamiento de shampoo							
Criterios de evaluación	Peso	Resistencia de cartucho		Resistencia tubular		Resistencia de inmersión	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
Costo del componente [COP]	20%	2	0,40	2	0,40	2	0,40
Tiempos de mantenimiento [h]	21%	3	0,63	3	0,63	3	0,63
Tiempo de montaje [h]	26%	3	0,77	1	0,26	3	0,77
Confiabilidad del componente	34%	2	0,67	1	0,34	3	1,01
			2,47		1,62		2,80

Tabla 15*Evaluación de alternativas en sistema de potencia para rotación de rodillos anilox*

Sistema de potencia para rotación de rodillos anilox							
Criterios de evaluación	Peso	Sprockets y cadena		Correas en V		Correas dentadas	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
Costo del componente [COP]	20%	3	0,59	2	0,40	1	0,20
Tiempos de mantenimiento [h]	21%	3	0,63	3	0,63	3	0,63
Tiempo de montaje [h]	26%	3	0,77	3	0,77	3	0,77
Confiabilidad del componente	34%	3	1,01	2	0,67	2	0,67
			3,00		2,47		2,27

Tabla 16.*Evaluación de alternativas en sistema de adicción de shampoo.*

Sistema de adicción de shampoo							
Criterios de evaluación	Peso	Bombas peristálticas		Bomba de diafragma		Bomba centrífuga	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
Costo del componente [COP]	20%	1	0,20	2	0,40	3	0,59
Tiempos de mantenimiento [h]	21%	1	0,21	3	0,63	1	0,21
Tiempo de montaje [h]	26%	1	0,26	2	0,51	1	0,26
Confiabilidad del componente	34%	3	1,01	3	1,01	3	1,01
			1,67		2,55		2,07

Tabla 17*Evaluación de alternativas en sistema de enjuague con agua a alta presión*

Sistema de enjuague con agua a alta presión					
Criterios de evaluación	Peso	Bomba de alta presión		Compresor de agua	
		X	X*PESO	X	X*PESO
Costo del componente [COP]	20%	3	0,59	1	0,20
Tiempos de mantenimiento [h]	21%	3	0,63	2	0,42
Tiempo de montaje [h]	26%	3	0,77	1	0,26
Confiabilidad del componente	34%	3	1,01	3	1,01
			3,00		1,88

Tabla 18*Evaluación de alternativas en sistema de enjuague con agua a alta presión*

Sistema de enjuague con agua a alta presión.							
Criterios de evaluación	Peso	Tornillo rosca trapezoidal		Actuador sin vástago		Tornillo de bolas recirculante	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
Costo del componente [COP]	20%	3	0,59	1	0,20	1	0,20
Tiempos de mantenimiento [h]	21%	3	0,63	1	0,21	2	0,42
Tiempo de montaje [h]	26%	3	0,77	3	0,77	3	0,77
Confiabilidad del componente	34%	3	1,01	3	1,01	3	1,01
			3,00		2,19		2,40

Una vez se ha realizado la evaluación de cada una de las alternativas, se eligen las que han tenido una mejor ponderación. Las alternativas seleccionadas para cada uno de los sistemas se muestran a continuación.

Tabla 19*Alternativas seleccionadas para cada uno de los sistemas*

Sistema	Alternativa seleccionada
Sistema de calentamiento de shampoo	Resistencia de inmersión
Sistema de potencia para rotación de rodillos anilox	Sprockets y cadena
Sistema de adicción de shampoo	Bomba de diafragma
Sistema de enjuague con agua a alta presión	Bomba de alta presión
Sistema de enjuague con agua a alta presión.	Tornillo rosca trapezoidal

7.4 Diseño de detalle

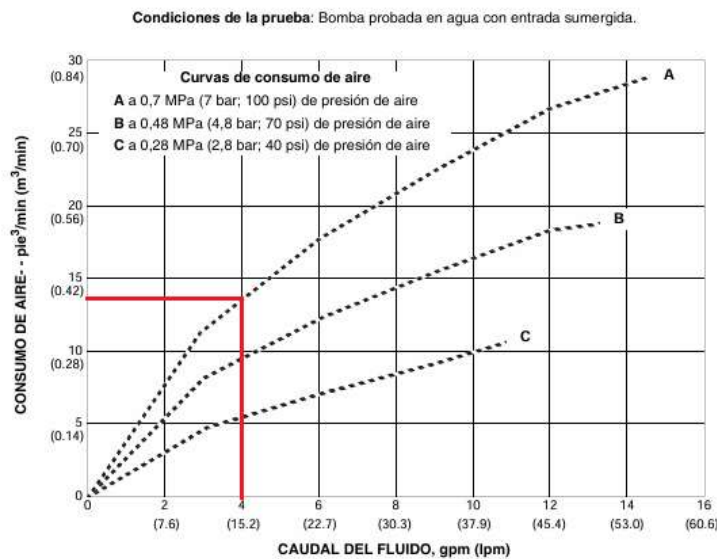
En la fase de diseño detallado se abordan todos los aspectos específicos necesarios para convertir el concepto inicial en una máquina funcional y eficiente. Esta etapa incluye la selección meticulosa de materiales y componentes mecánicos, y la generación de planos de fabricación precisos. Cada sistema, desde el calentamiento del shampoo hasta el sistema de secado, se diseña teniendo en cuenta los requisitos técnicos y operativos establecidos, asegurando así que la máquina cumpla con los estándares de calidad y rendimiento exigidos por la empresa.

7.4.1 Sistema de calentamiento de shampoo

- **Dimensionamiento de tanque.**

Inicialmente, es necesario determinar la cantidad de shampoo que se va a almacenar en el tanque para su posterior calentamiento. Esto es de vital importancia para asegurar que la resistencia esté siempre sumergida, evitando alcanzar temperaturas de trabajo muy altas que puedan afectar su funcionamiento.

Para lograr esto, se consultaron los gráficos de rendimiento de la bomba HUSKY 515. En estos gráficos se puede determinar el caudal de shampoo en función de un caudal de aire de alimentación de 0,4 m³/min y una presión de 7 bares. En la siguiente figura 9 se muestran las especificaciones encontradas.

Figura 9*Gráficos de rendimiento de bombas.***Gráficos de rendimiento de las bombas Husky 515 y 716**
Consumo de aire

Nota. Tomado de Bombas de diafragma accionadas por aire. Fuente: 3A1958ES-ZBB.pdf

Posteriormente, se midió el tiempo del ciclo de adición de shampoo que se tiene actualmente en la empresa, el cual es de 5 min. Por lo tanto, la cantidad de shampoo bombeada en este tiempo es de 76 L. Sin embargo, se decidió diseñar el tanque con capacidad para albergar 90 L con el fin asegurar que la resistencia no trabaje en vacío.

- **Resistencia de inmersión.**

Una vez conocida la cantidad de shampoo a calentar, es posible realizar el cálculo de la potencia requerida para la resistencia de inmersión. Teniendo en cuenta que la composición del shampoo es a base de agua y que al llenar el tanque se mezcla en iguales proporciones con agua, se decide usar las propiedades termodinámicas del agua. El cálculo se realizó mediante el software EES professional y se obtuvo una potencia eléctrica de 3156 W.

Al momento de seleccionar la resistencia de inmersión la opción más cercana a la potencia requerida es de 3000 W. Se decide seleccionar esta ya que se había sobredimensionado la masa de

agua en el tanque. La resistencia seleccionada para el sistema de calentamiento de shampoo se muestra en la siguiente figura 10 y sus especificaciones en la tabla 20.

Figura 10

Resistencia de 3000 W seleccionada para calentar shampoo. Ref 4041N142.



Nota. Tomado de Sanitary Screw-Plug Immersion Heater. Fuente: <https://www.mcmaster.com/4041N142/>

Tabla 20

Especificaciones técnicas de resistencia 4041N142

Especificaciones resistencia eléctrica 4041N142						
Potencia [W]	Corriente [A]	Largo [in]	Ancho [in]	Tamaño de la tubería [in]	Tipo de rosca	Conexión
3000	12,5	8	1 1/8	2	NPT	240V CA monofásico

Nota. Tomado de Sanitary Screw-Plug Immersion Heater. Fuente: <https://www.mcmaster.com/4041N142/>

- **Termocupla.**

Para medir la temperatura en el tanque del shampoo de lavado de anilox, se seleccionó un transmisor de sonda de termopar para líquidos y gases. Este dispositivo envía lecturas de

temperatura directamente a pantallas remotas y PLC, convirtiendo la temperatura en señales analógicas de 4-20 mA y utilizando el mismo cable para la señal y la alimentación. Esto garantiza una señal sin pérdidas en largas distancias y sin interferencias eléctricas. Un cabezal de conexión de aluminio con clasificación IP68 y NEMA 4X protege contra el polvo, lavados y corrosión, y su tapa removible facilita el acceso a las conexiones de los sensores. Las especificaciones y el termopar seleccionado se presentan en la figura 11 y la tabla 21.

Figura 11

Termopar seleccionado para medición de temperatura en tanque. Ref 6147N67.



Nota. Tomado de Threaded Thermocouple Probe Transmitter. Fuente: <https://www.mcmaster.com/6147N67/>

Tabla 21

Especificaciones técnicas de termocupla 6147N67.

Especificaciones Termocupla tipo K 6147N67							
Rango de temperatura [°F]	Longitud [in]	Diametro [in]	Exactitud [°F]	Para usar con	Tipo de montaje	Tipo de salida	Rango de corriente de salida [mA]
0-2150	12	1/4	±15,89	Gases, líquidos	Roscado	Analógico	(4 - 20)

Nota. Tomado de Threaded Thermocouple Probe Transmitter. Fuente: <https://www.mcmaster.com/6147N67/>

- **Filtro.**

Para seleccionar el filtro, se tuvieron en cuenta las condiciones de trabajo, especialmente las especificaciones de temperatura y caudal. El filtro seleccionado es el modelo 5190K74 de McMaster-Carr. Este filtro es ideal para aplicaciones en las que se requiere una alta capacidad de retención de suciedad y una operación confiable en ambientes con variaciones de temperatura y condiciones de flujo demandantes. Su construcción en polipropileno garantiza resistencia química y durabilidad. El filtro y sus especificaciones se muestran en la figura 12 y tabla 22 respectivamente.

Figura 12

Filtro seleccionado para tanque Ref 5190K74



Nota. Tomado de Plastic Filter Housing for Hot Water. Fuente: <https://www.mcmaster.com/5190K74/>

Tabla 22

Especificaciones filtro de tanque 5190K74.

Especificaciones Filtro tanque 5190K74							
Tipo de conexión	Tamaño de tubería [in]	Tipo de rosca	Género	Caudal máximo [gpm]	Presión máxima [psi]	Temperatura máxima [°C]	Tamaño de partícula [µm]
Roscado	3/4	NPT	Hembra	10	125	71,11	5

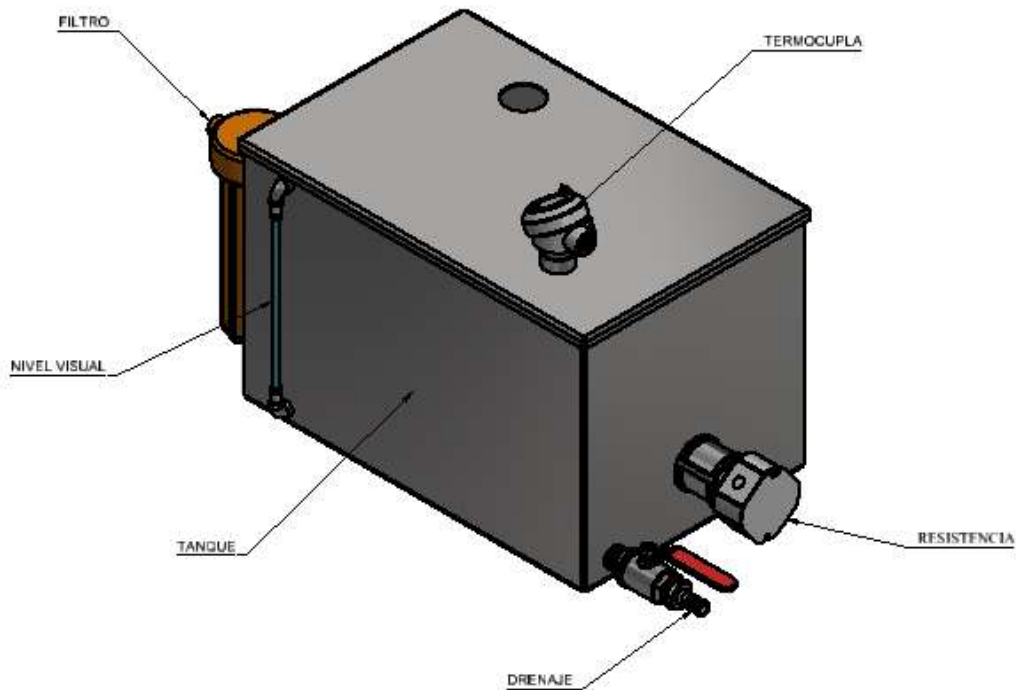
Nota. Tomado de Plastic Filter Housing for Hot Water. Fuente: <https://www.mcmaster.com/5190K74/>

Una vez seleccionados todos los componentes del sistema de calentamiento de shampoo, se procede a ensamblarlos de manera que conformen un sistema funcional. Este sistema debe ser capaz de almacenar el shampoo, aumentar y controlar su temperatura a un valor deseado de 50°C, y realizar el proceso de filtración de sedimentos y partículas no deseadas.

Además, se ha añadido al sistema un indicador visual de nivel de shampoo, para que el operario pueda conocer la cantidad de shampoo en el tanque, y una válvula de drenaje para vaciar el tanque cuando sea necesario realizar mantenimientos y limpiezas. Es importante destacar que el tanque está diseñado en acero inoxidable para evitar la corrosión y cuenta con las uniones necesarias para ensamblar cada uno de los componentes del sistema. Este sistema de calentamiento de shampoo se muestra en la figura 13.

Figura 13

Esquema de sistema de calentamiento de shampoo.



Nota. Elaboración propia.

7.4.2 Sistema de potencia para rotación de rodillos anilox

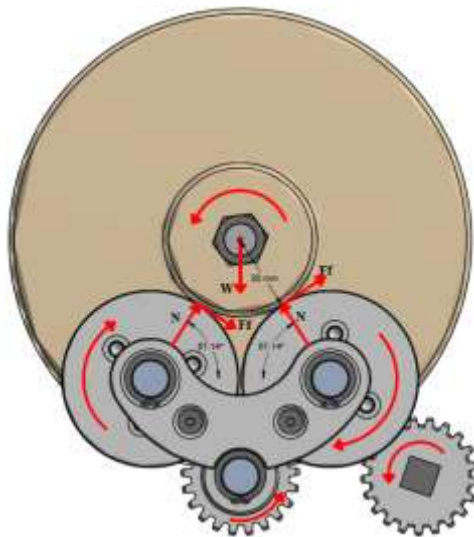
Para diseñar el sistema de potencia que impulsa la rotación de los rodillos anilox, es fundamental comprender su funcionamiento detalladamente. En primer lugar, el operario ensambla el rodillo anilox a dos acoples mediante un eje o varilla roscada como se muestra en la figura 3.

Una vez que se ha realizado correctamente el ensamble, es posible montarlo sobre los apoyos que transmitirán la potencia para otorgar el giro al rodillo anilox. El torque es generado por la fuerza de fricción que existe entre los acoples del rodillo anilox y los acoples sobre los que esta gira. El material de ambos componentes en contacto es polietileno de alta densidad, el cual tiene un coeficiente de fricción de 0.30 según la base de datos de materiales plásticos.

La fuerza de fricción se calculó para cada uno de los montajes a partir del diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 14. Es importante destacar que la correcta distribución de la fuerza de fricción es crucial para el funcionamiento óptimo del sistema, ya que garantiza la transmisión eficiente de potencia sin deslizamientos ni pérdidas. La precisión en el cálculo de esta fuerza y la adecuada configuración de los apoyos aseguran la estabilidad y el rendimiento del rodillo anilox durante el proceso de impresión.

Figura 14

Diagrama de cuerpo libre sistema de transmisión de rodillos anilox.



Nota. Elaboración propia.

El cálculo realizado para determinar la fuerza de fricción, el momento que esta genera sobre los rodillos anilox, y la potencia requerida para que estos giren a las rpm deseadas se presenta a continuación:

$$+ \uparrow F_y = 0 - W + 4 * N * \text{sen}(\alpha)$$

$$N = \frac{W}{4 * \text{sen}(\alpha)}$$

$$f_f = \mu N$$

$$\sum \tau = I * \alpha$$

$$\tau = f_f * r$$

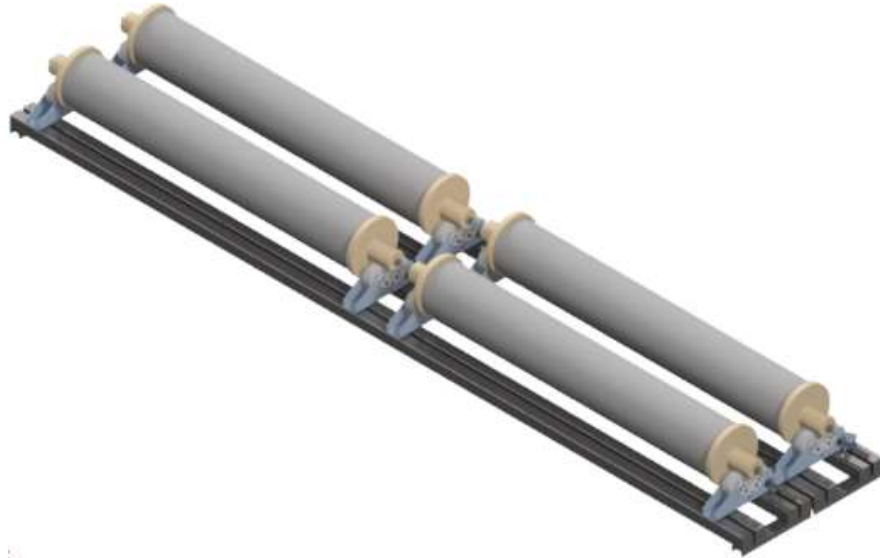
$$P = \tau * \omega$$

Para determinar la potencia requerida del sistema, es fundamental evaluar cuál es la condición de carga más crítica. Para ello, se parte de las condiciones de carga que presentaría el diseño de la lavadora de rodillos anilox. La propuesta de diseño de la lavadora de rodillos anilox está concebida para lavar simultáneamente 2 rodillos anilox de la FL 22 y 4 rodillos anilox de las demás impresoras, tal como se muestra en la Tabla 2. Esta configuración se debe a que los rodillos anilox de la FL 22 tienen una longitud de 1346 mm, lo cual haría impracticable incluir 4 unidades debido al aumento excesivo en la longitud de la máquina.

Las configuraciones de diseño del sistema de potencia para la rotación de rodillos anilox, considerando las diferentes dimensiones de los anilox, se presentan en las Figuras 15, 16 y 17.

Figura 15

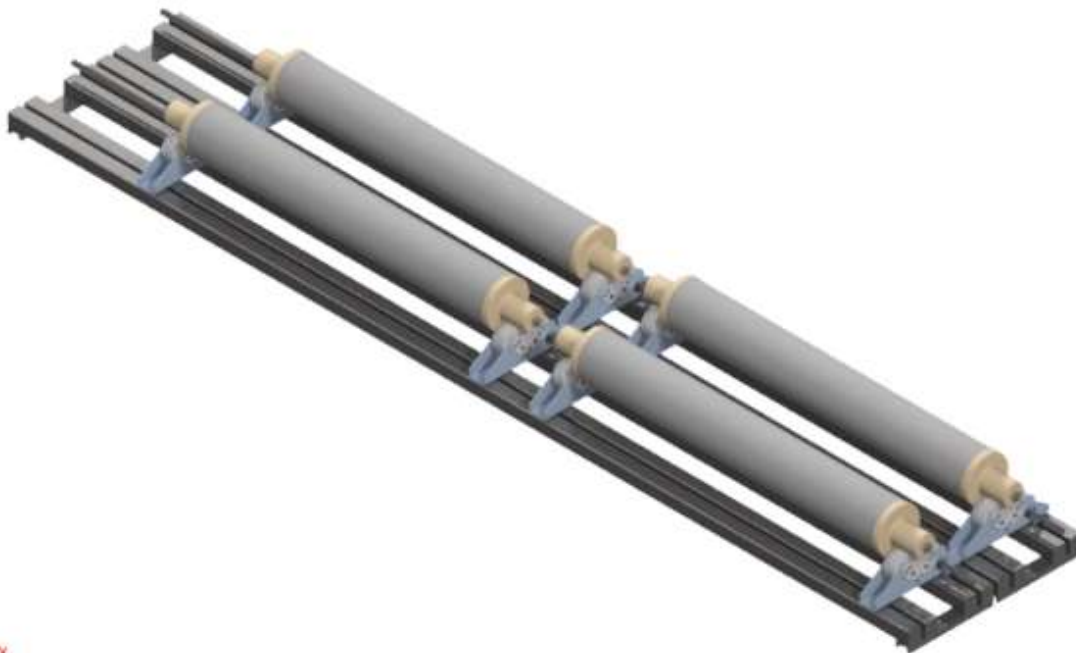
Configuraciones de carga con rodillos anilox FL 15, FL16, FL 18 o FL21.



Nota. Elaboración propia

Figura 16

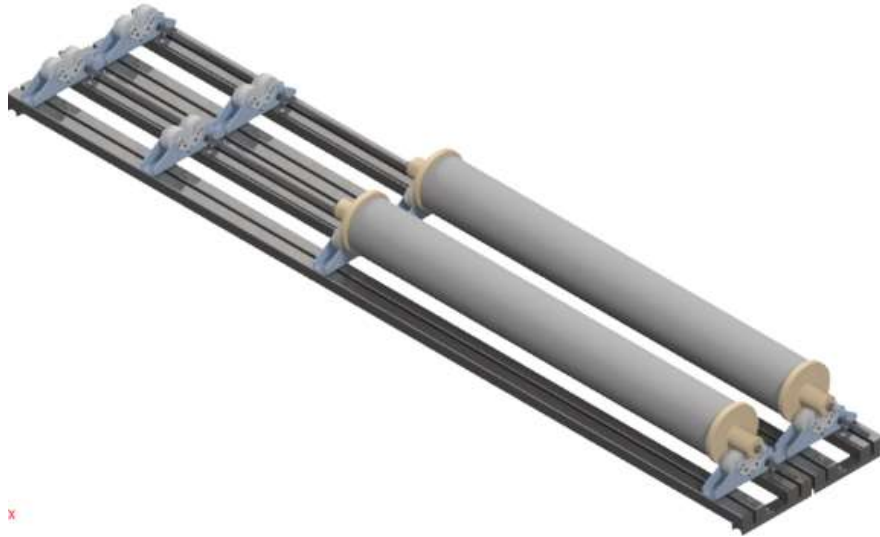
Condiciones de carga con rodillos anilox de impresora FL 19.



Nota. Elaboración propia.

Figura 17

Condiciones de carga con rodillos anilox de impresora FL 22.



Nota. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las condiciones de carga mostradas en las figuras 15, 16 y 17 anteriormente mencionadas, y los datos de masa obtenidos del software Autodesk Inventor, se realiza el cálculo de las potencias que deben transmitirse a cada uno de los anilox para que roten a las RPM deseadas. Es importante mencionar que la potencia que debe suministrar el motor debe ser diferente teniendo en cuenta que esta se transmite desde el mismo eje y ni por aparte como se está realizando el cálculo inicial. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 23, donde se puede observar que la mayor potencia requerida es de 57,79 W para la configuración de carga mostrada en la figura 15.

Tabla 23.*Cálculo de potencia requerida.*

Cálculo de potencia requerida											
Montaje	Unidades en montaje [-]	Masa unitaria [kg]	Peso unitario [N]	Fuerza normal [N]	Coe. Fricción [-]	Fuerza fricción [N]	Torque [Nm]	n [rev/min]	ω [rad/s]	Potencia [w]	Potencia total [w]
FL 15	4	13,13	128,76	38,32		9,58	1,15			14,45	57,79
FL 19	4	8,73	85,62	25,48	0,25	6,37	0,76	120,00	12,57	9,61	38,43
FL 22	2	85,62	152,63	45,43		11,36	1,36			17,13	34,25

Nota. Elaboración propia.

Una vez conocida la condición más crítica de diseño, es posible estimar la potencia requerida para mover el sistema. Para esto, se realiza un análisis de cargas, teniendo en cuenta que la potencia de 14,45 W necesaria para rotar un rodillo anilox a 120 rpm es generada por el momento de cuatro fuerzas de fricción por lo tanto cada apoyo debe transmitir un total de 3,115 kW. Ahora, se calcularán las potencias y relaciones de transmisión que debe tener cada uno de los engranes para asegurar los requerimientos.

- **Potencias.**

La eficiencia de la potencia transmitida depende del tipo de transmisión, en este caso se utilizarán los valores mostrados en la tabla 24 y la designación de cada eje según la figura 18.

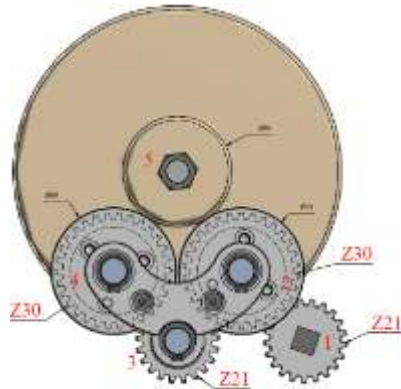
Tabla 24.*Eficiencias según tipo de transmisión.*

Eficiencias según tipo de transmisión.	
Tipo de transmisión	Eficiencias
Engranajes	97%
Fricción	80%
Cadenas	96%
Acoples	97%

Nota. Notas de clase diseño de máquinas.

Figura 18.

Designación de ejes y número de dientes de los engranajes.



Nota. Elaboración propia.

Potencia requerida en eje 4 (transmisión por fricción a eje 5)

$$P_4 = \frac{3,116 \text{ kW}}{0,80} = 3,895 \text{ kW}$$

Potencia requerida en eje 3 (transmisión por engranajes a eje 3).

$$P_3 = \frac{3,895 \text{ kW}}{0,97} = 4,015 \text{ kW}$$

Potencia requerida en eje 2 (transmisión por engranajes a eje 3 y por fricción a eje 5).

$$P_2 = \frac{4,015 \text{ kW}}{0,97 * 0,80} = 5,174 \text{ kW}$$

Potencia requerida en eje 1 (transmisión por engranajes a eje 2).

$$P_1 = \frac{5,174 \text{ kW}}{0,97} = 5,334 \text{ kW}$$

El valor de 5,334 kW es el que debe suministrar cada de uno de los apoyos. Teniendo en cuenta que son 2 apoyos por anilox en rotación y 4 anilox en total se obtiene un valor de potencia necesario para cada una de las varillas cuadradas de 21,336 kW.

Potencia requerida en eje motor (transmisión por cadena a 2 varillas cuadradas).

$$P_{ejemotor} = \frac{2 \times 21,336 \text{ kW}}{0,97} = 43,992 \text{ kW}$$

El valor de la potencia requerida es incluso menor que el de la Tabla 23. Esto se debe a que en ese cálculo inicial no se había considerado que la potencia suministrada por las fuerzas de fricción era proporcionada por la misma unidad motriz y se transmitía a través de un tren de engranajes.

- **Relación de transmisión.**

La relación de transmisión se calcula para determinar a qué RPM debe girar el eje 1 o varilla cuadrada. Los apoyos de este diseño fueron proporcionados por el área de ingeniería de la empresa Alico, por lo que se trabajarán con los mismos engranajes que utiliza actualmente la máquina lavadora de rodillos anilox de la empresa.

A continuación, se presenta la relación de transmisión para cada eje, según las especificaciones de número de dientes y medidas que se muestran en la figura 18.

Revoluciones Anilox: estas son las revoluciones requeridas por diseño, es decir 120 rpm

Revoluciones eje 4:

$$n_4 = \frac{60mm * 120rpm}{69mm} = 104,348 \text{ rpm}$$

Revoluciones eje 3:

$$n_3 = \frac{30 * 104,348 \text{ rpm}}{21} = 149,069 \text{ rpm}$$

Revoluciones eje 2:

$$n_2 = \frac{21 * 149,067 \text{ rpm}}{30} = 104,348 \text{ rpm}$$

Revoluciones eje 1 o varilla cuadrada:

$$n_1 = \frac{30 * 104,348 \text{ rpm}}{21} = 149,069$$

- **Selección de motor eléctrico.**

El motor que se seleccione debe ser capaz de suministrar la potencia necesaria para el sistema de rotación de los rodillos anilox y superar las fuerzas de fricción de todos los componentes. Teniendo en cuenta posibles situaciones desfavorables en sistemas mecánicos, como cadenas mal tensadas, anclaje deficiente del motor, vibraciones excesivas, largas horas de operación, frecuentes arranques y malas instalaciones eléctricas, se recomienda un factor de servicio de 1.5. Es decir, la potencia del motor será de mínimo:

$$P_{F.S \text{ motor}} = 43,992 \text{ kW} * 1,5$$

$$P_{F.S \text{ motor}} = 65,998 \text{ W}$$

Al analizar el valor de la potencia requerida, se observa que es bastante bajo para el entorno industrial en el que se utilizará, dado que los rodillos anilox no representan una carga significativa. Sin embargo, se opta por un motor de 0,25 kW debido a su disponibilidad comercial y stock en repuestos de la empresa. Esta decisión aumenta la confiabilidad y robustez del diseño, además de permitir en el futuro la posibilidad de lavar rodillos anilox que puedan requerir mayor potencia de giro, sin necesidad de realizar repotenciaciones. Las especificaciones del motor seleccionado se muestran en la figura 19.

Figura 19.
Especificaciones motor seleccionado WEG 0,25 kW.

Fabricante	Weg
Descripción	Motor eléctrico - IC411 Autoventilación - Hierro fundido - 0,25kW - 230/400 V-50Hz - 6 polos - IP55 - Con pila B3, Caja de terminales en la parte superior (1)
Número de pieza	WFP6-0.2524B3T
Número de omniclase	23.35.15.11.13

Nota. W22 general purpose Fuente: <https://www.traceparts.com/en/product/weg-electric-motor-ic411-autoventilation-iron-cast-025kw-230400-v50hz-6-poles-with-feet-b3-terminal-box-on-top-t?Product=10-07052014-081217&PartNumber=WFP6-0.2524B3T>

- **Selección de cadena.**

Para el cálculo de las cadenas y los sprockets, se parte de la potencia acordada para el sistema de rotación de los rodillos anilox, la cual es de 0,25 kW, y las rpm del eje 1, que se redondean a 150 rpm para facilitar los cálculos.

Con base en el catálogo "Transmission Chain Installation, Maintenance & Designer Guide" de Renold, se procede a seleccionar el factor de servicio recomendado según las características de la máquina accionada y el motor, que en este caso es un motor eléctrico con variador de frecuencia. Los factores de servicio recomendados se muestran en la figura 20 siguiente.

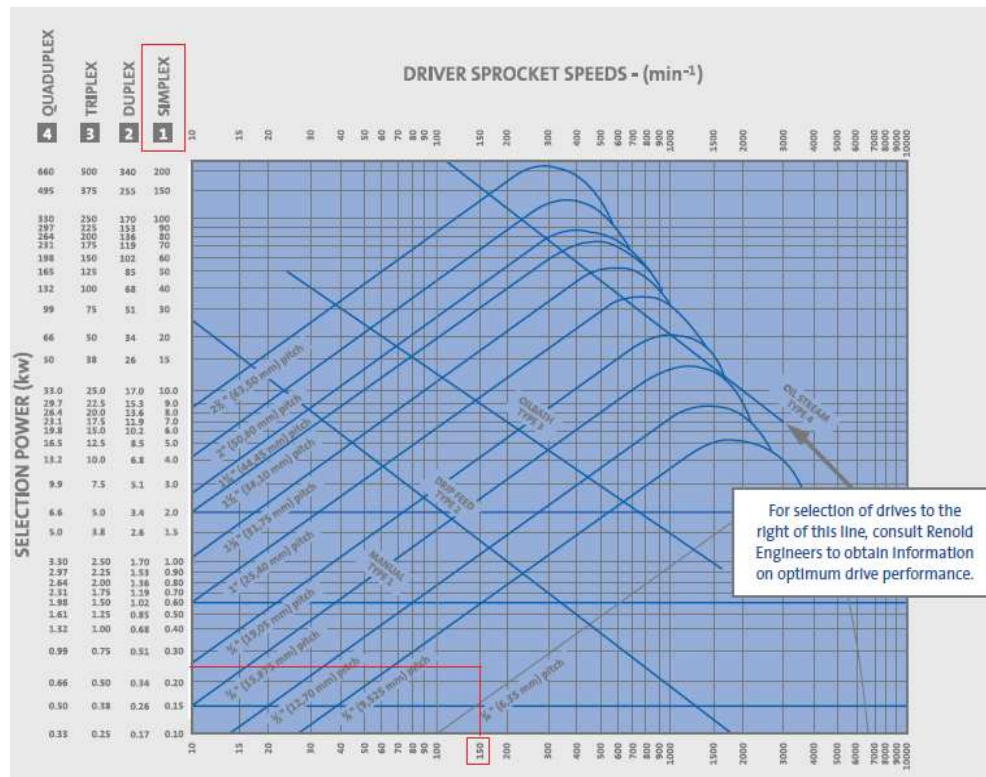
Figura 20.
Factor de servicio recomendado según diseño.

DRIVEN MACHINE CHARACTERISTICS		CHARACTERISTICS OF DRIVER		
		SMOOTH RUNNING Electric Motors, Steam and Gas Turbines, Internal Combustion Engines with Hydraulic coupling	TIGHT SHOCKS Internal Combustion Engines with 4 cyls or more with mechanical Coupling, Electric Motors with frequent starts	MODERATE SHOCKS Internal Combustion Engines with less than 4 cyls, with mechanical coupling
SMOOTH RUNNING	Centrifugal Pumps and Compressors, Printing Machines, Paper Calenders, Uniformly Loaded Conveyors, Escalators, Liquid Agitators and Mixers, Rotary Driers, Fans	1	1.1	1.3
MODERATE SHOCKS	Pumps and Compressors (3+ cyls), Concrete Mixing Machines, Non-uniformly Loaded Conveyors, Solid Agitators and Mixers	1.4	1.5	1.7
HEAVY SHOCKS	Planers, Excavators, Rm. and Rail Mills, Rubber Processing Machines, Presses and Shears 1 & 2 Cyl Pumps and Compressors, Oil Drilling Rigs	1.8	1.9	2.1

Nota. Tomado de *Transmission chain Installation, Maintenance & Designer Guide* (p. 28), por Renold, 2020. Recuperado de <https://www.renold.com/transmissionchain-guide>.

Según se muestra en la figura 20, se determinó un factor de servicio de 1. Posteriormente, se seleccionó el tipo de cadena en función de la potencia del motor de diseño y las 150 rpm. A continuación, se presenta la selección de la cadena en la figura 21.

Figura 21.
Selección de cadena para transmisión.



Nota. Tomado de *Transmission chain Installation, Maintenance & Designer Guide* (p. 32), por Renold, 2020. Recuperado de <https://www.renold.com/transmissionchain-guide>.

Como se puede ver en la gráfica 21, se seleccionó una cadena del estándar americano simplex con un paso de 3/8" o 9,525 mm.

Utilizando el software de diseño Autodesk Inventor y el módulo "Design Accelerator", se modeló el sistema de transmisión por cadena y se verificó la selección de la cadena según el catálogo, además de obtener las posiciones de montaje para el diseño. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la figura 22.

Figura 22.

Resultados obtenidos para la selección de cadena en Autodesk Inventor.

Working conditions

Power	P	0,250 kW
Torque	T	15,915 N m
Speed	n	150,000 rpm
Efficiency	η	0,980 ul
Required service life	L_h	15000,000 hr
Maximum chain elongation	ΔL_{max}	0,030 ul
Application	Smooth running	
Environment	Clean	
Lubrication	Recommended (see notes below)	

Results

Chain Speed	v	0,455 mps
Effective pull	F_p	550,048 N
Centrifugal force	F_C	0,215 N
Maximum tension in chain span	F_{Tmax}	550,263 N
Static safety factor	$S_S > S_{Smin}$	14,227 ul > 7,000 ul
Dynamic safety factor	$S_D > S_{Dmin}$	14,227 ul > 5,000 ul
Bearing pressure	$p_B < p_0 * \lambda$	20,803 MPa
Permissible bearing pressure	p_0	29,008 MPa
Specific friction factor	λ	0,896 ul
Design power	$P_D < P_R$	0,279 kW
Chain power rating	P_R	0,414 kW
Chain service life for specified elongation	$t_h > L_h$	160531 hr
Chain link plates service life	$t_{hl} > L_h$	610658 hr
Roller and bushing service life	$t_{hr} > L_h$	917959 hr

Summary of Messages

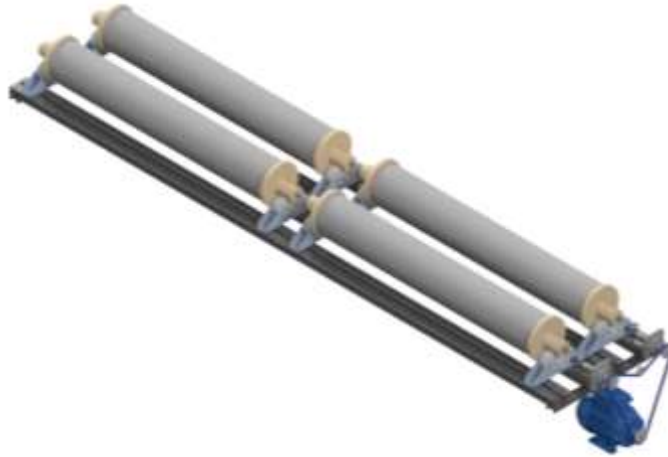
5:02:11 p. m. Calculation: Recommended lubrication : Manual lubrication
 5:02:11 p. m. Calculation: Maximum chain power rating is limited by link plate fatigue.
 5:02:11 p. m. Calculation: Calculation indicates design compliance!

Nota. Elaboración propia.

Esto demuestra que se logra compatibilidad en la selección de la cadena tanto desde el software como desde el catálogo, para las condiciones de carga especificadas. En las figuras 23 y 24 se muestra la disposición del sistema de potencia para la rotación de los rodillos anilox.

Figura 23.

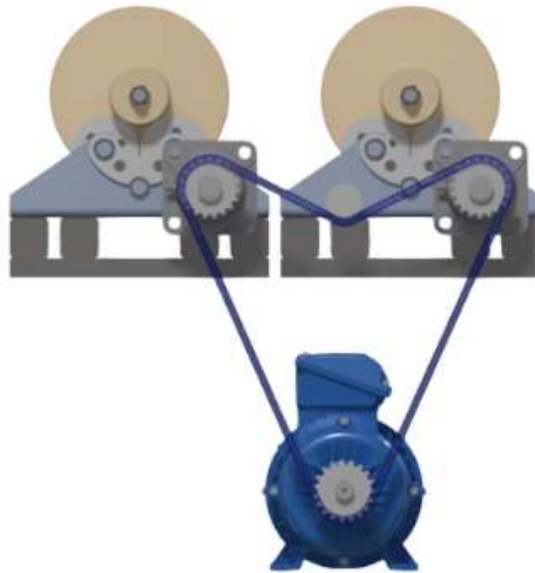
Sistema de potencia para rotación de rodillos anilox.



Nota. Elaboración propia.

Figura 24.

Sistema de potencia para rotación de rodillos anilox en vista frontal.



Nota. Elaboración propia.

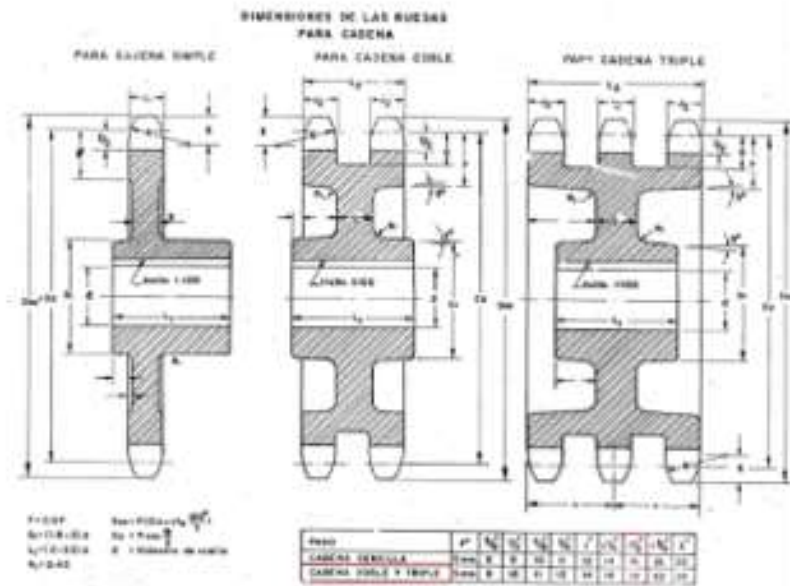
- **Calculo y selección de sprockets.**

Para el cálculo de los sprockets se utilizó el software Autodesk Inventor, donde se determinó que, para las condiciones de carga y la cadena seleccionada, se requieren sprockets con un total de 16 dientes para asegurar la compatibilidad de diseño. Los sprockets se eligen con la

misma cantidad de dientes debido a que, como se mencionó anteriormente, el motor será controlado con un variador de frecuencia.

Considerando que la cadena es sencilla, con un paso de 3/8", se consultó la figura 25 para determinar las dimensiones de los sprockets.

Figura 25.
Medidas para los sprockets.



Sprocket Menor

$$d_p = P \cdot \csc\left(\frac{\theta_p}{2}\right)$$

$$\theta_p = \frac{360^\circ}{N_p}$$

$$d_p = \frac{P}{\sin\left(\frac{180^\circ}{N_p}\right)}$$

$$d_{so} = P \left[0,6 + \cot\left(\frac{180^\circ}{N_p}\right) \right]$$

$$F = 0,9 \cdot P$$

$$d_i = d_p - 2F$$

$$d \approx 120 \cdot \sqrt{\frac{H(hp)}{n_p}}$$

$$D_1 \geq 1,4 d$$

$$L_1 = 1,5d$$

$$r_1 = 0,4 \cdot S$$

Sprocket Mayor

$$D_p = P \cdot \csc\left(\frac{\theta_D}{2}\right)$$

$$\theta_D = \frac{360^\circ}{N_D}$$

$$D_p = \frac{P}{\sin\left(\frac{180^\circ}{N_D}\right)}$$

$$D_{so} = P \left[0,6 + \cot\left(\frac{180^\circ}{N_D}\right) \right]$$

$$F = 0,9 \cdot P$$

$$D_i = D_p - 2F$$

$$d \approx 120 \cdot \sqrt{\frac{H(hp)}{n_D}}$$

$$D_2 \geq 1,4 d$$

$$L_2 = 2d$$

$$r_2 = 0,4 \cdot S$$

Nota: Fuente desconocida. La imagen fue obtenida de memorias de cálculo del curso diseño de elementos de maquina y su origen específico no pudo ser determinado.

Los cálculos resumidos con base en la información proporcionada en la figura 25 se presentan en la siguiente tabla 25.

Tabla 25

Datos calculados para los sprockets.

Datos sprockets	
Dimensión	Sprockets
Diámetro primitivo [mm]	48,824
Numero de dientes [-]	16
Diámetro exterior [mm]	53,6
F [mm]	8,573
Diámetro llanta [mm]	31,678
Ancho del alma [mm]	8
Diámetro mínimo del eje [mm]	18
Diámetro min del cubo [mm]	25,2
Longitud del cubo [mm]	27
Redondeos del alma [mm]	3,2
Altura del diente [mm]	4,979

Nota. Elaboración propia.

7.4.3 Sistema de adicción de shampoo

Dado que la propuesta de diseño actual tiene capacidad para lavar hasta cuatro anilox, fue necesario emplear dos flautas. Las flautas están diseñadas en tubería de acero inoxidable con perforaciones de 2 mm de diámetro, igualmente espaciadas de manera axial.

La bomba seleccionada para el diseño es una HUSKY 515, cuyas especificaciones se detallan en la figura 26.

Figura 26.

Datos técnicos de la bomba Husky 515.

Datos técnicos de la bomba Husky 515

Presión máxima de trabajo del fluido	0,7 MPa (7 bar; 100 psi)
Rango operativo de presión de aire	0,2 a 0,7 MPa (2,1 a 7 bar; 30 a 100 psi)
Intervalo de temperaturas de funcionamiento*	
Acetal:	32° a 180°F (0° a 82°C)
Polipropileno:	32° a 175°F (0° a 79°C)
PVDF:	32° a 200°F (0° a 93°C)
Aluminio, acero inoxidable:	32° a 225°F (0° a 107°C)
Volumen inundado	0,435 Litros (0,115 galones)
Consumo máximo de aire	0,672 m ³ /min (28 pies ³ /min)
Suministro de caudal libre máximo (lumbrreras de 1/2 pulg.)	57 lpm (15 gpm)
Velocidad máxima de la bomba	400 cpm
Litros (galones) por ciclo	0,15 (0,04)
Altura de aspiración máxima (agua con bolas de buna)	4,5 m (15 pies) seca, 7,6 m (25 pies) húmeda
Tamaño máximo de sólidos que se pueden bombear	2,5 mm (3/32 pulg.)
Nivel de potencia sonora (medido según la norma ISO 9614-2)	
A 0,48 MPa (4,8 bar; 70 psig) con 50 ciclos por minuto77 dBA
A 0,7 MPa (7 bar; 100 psig) con ciclos máximos por minuto95 dBA
Nivel de presión de sonido (medido a 1 metro de la bomba)	
A 0,48 MPa (4,8 bar; 70 psig) con 50 ciclos por minuto67 dBA
A 0,7 MPa (7 bar; 100 psig) con ciclos máximos por minuto85 dBA
Tamaño de entrada de aire	1/4 npt(f)
Tamaño del conector de evacuación del aire	3/8 npt(f)
Tamaño de entrada de fluido	1/2 y 3/4 pulg. npt(f) o bspt(f)
Tamaño de la salida de fluido	1/2 y 3/4 pulg. npt(f) o bspt(f)
Piezas húmedas (además de los materiales de construcción de la bola, del asiento y del diafragma, que pueden variar)	
Bombas de polipropileno	polipropileno, PTFE
Bombas de acetal	acetal que puede conectarse a tierra, PTFE
Bombas de PVDF	PVDF, PTFE
Piezas externas sin estar en contacto con el líquido	polipropileno, acero inoxidable, poliéster y aluminio (etiquetas) latón revestido con níquel
Peso (aproximado)	
Bomba de polipropileno	2,9 kg (6,5 lb)
Bomba de acetal	3,5 kg (7,8 lb)
Bomba de PVDF	3,9 kg (8,5 lb)

Nota: tomado de https://www.graco.com/content/dam/graco/tech_documents/manuals/308/308981/3A1958ES-ZBB.pdf

El diseño del sistema de adición de shampoo, donde se pueden observar las dos flautas con sus respectivas conexiones a la bomba mediante mangueras de 1”, se muestra en la figura 27.

Figura 27.

Sistema de adición de shampoo.



Nota: elaboración propia.

7.4.4 Sistema de drenaje

Considerando que en el proceso de lavado se deben drenar dos líquidos diferentes, se decide emplear una válvula de 3 vías accionada neumáticamente. Dependiendo del ciclo de lavado en curso, esta válvula puede retornar el shampoo al tanque de almacenamiento o enviar el agua al isotanque donde se almacenará para su posterior tratamiento.

Además, en el sistema de drenaje se diseñó un tanque de lavado donde se ensamblan todos los componentes. Este tanque cuenta con un niple de 2" para conectar con la válvula de 3 vías. El diseño del sistema de drenaje se muestra en las figuras 28 y 29.

Es importante destacar que el diseño de este sistema de drenaje se adapta del diseño actual de la lavadora de anilox existente en la empresa.

Figura 28.

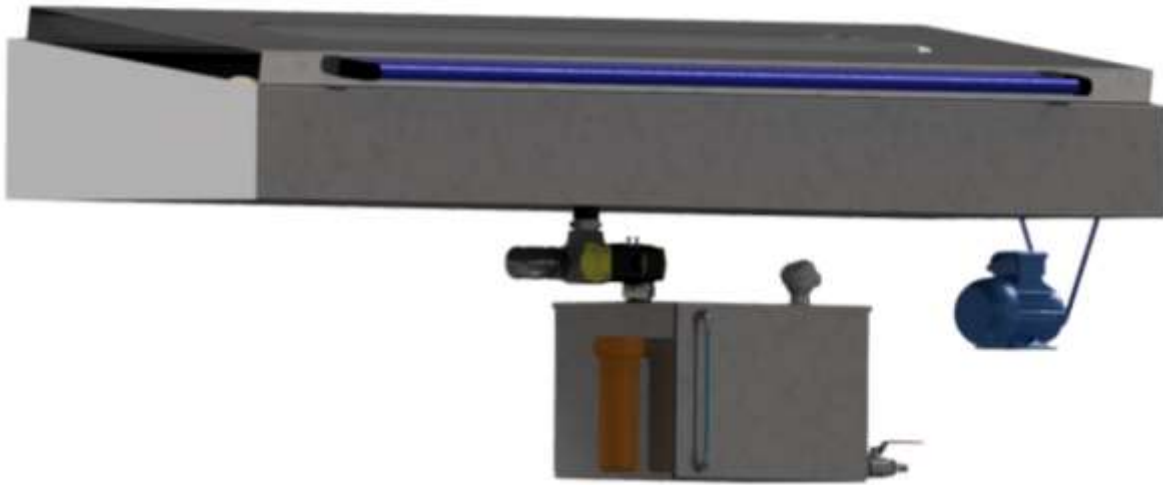
Sistema de drenaje con válvula de 3 vías.



Nota: elaboración propia.

Figura 29.

Sistema de drenaje acoplado a tanque de lavado.



Nota: elaboración propia.

7.4.5 Sistema de enjuague con agua a presión

Para el sistema de enjuague a alta presión, se parte del requerimiento de 3000 psi que actualmente se implementa en el proceso de lavado de los anilox en la empresa ALICO SAS. Esta presión será generada por el cabezote de una hidrolavadora que requiere estar acoplada a un motor de 5HP. Las especificaciones del cabezote de la hidrolavadora y del motor se muestran en las figuras 30 y 31, respectivamente.

Figura 30.

Cabezote de hidrolavadora seleccionado.

Potencia de entrada máx: Hasta 5.3 Hp
 Presión de salida: Hasta 3000 Psi
 Presión de entrada máx: 0 – 50 Psi
 Caudal máx: 15.5 Lpm / 4.09 Gpm
 Rpm máx de entrada: 2900 rpm/min
 Temperatura máx agua: 50°C
 Conector de entrada: 3/4" (BSP o NH)
 Conector de salida: 3/8" Acople Rápido
 Hueco para Eje: 1" (25.4 mm) o 28 mm (x 8mm)
 Dimensiones La x An x Al: 31.5 x 26.0 x 17.5 cm
 Peso: 8 Kg
 Flange: B34 C2 Para motor eléctrico



Nota: tomado de Estrada Tabares, "Diseño de máquinas industriales a manera de autoservicio, aspiradora, autolavado y punto de pago", Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, 2024.

Figura 31.

Motor seleccionado a coplar en cabezote de hidrolavadora.

Carcasa: L100L
Protección: TEFC (IP55)
Potencia: 5.0 Hp
Fases: 3F
rpm: 3.600
Frecuencia: 60 Hz
Tensión: 220/440 V
Peso: 37 kg



Estrada Tabares, “Diseño de máquinas industriales a manera de autoservicio, aspiradora, autolavado y punto de pago”, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, 2024.

Las boquillas que inyectan agua a presión estarán colocadas en un cabezote viajero que se desplaza a lo largo de un perfil UNI EN 10305-5 de 45x45x2,5. El cabezote se desplaza debido a que es roscado y esta acoplado al tornillo trapezoidal anteriormente seleccionado. El perfil seleccionado es un tubo calibrado de precisión, lo cual asegura un ajuste deslizante entre el cabezote y el interior del perfil para un movimiento sin problemas.

El motor actual de la lavadora de anilox de la empresa es de 50W DC, utilizado en limpiaparabrisas de automóviles, debido a que las condiciones de carga son muy bajas y solo necesita vencer la fuerza de fricción durante el desplazamiento. Para este diseño se realizó el cálculo y se determinó que este motor es suficiente para mover el cabezote. El diseño acoplado del sistema de enjuague con agua a presión se muestra en la figura 32.

Figura 32.

Sistema de enjuague con agua alta presión.



Nota: Elaboración propia.

Para evitar que las mangueras de alta presión, que estarán acopladas al cabezote, se desplacen, se implementa en el diseño un portacables que también sostiene las mangueras, ayudando así a prevenir enredos con los demás elementos del sistema. El portacables seleccionado se muestra en la figura 33.

Figura 33.

Portacables/mangueras seleccionado ref 4409T51.



Tipo de transportista	Abrir
Número de canales	1
Estilo de entrada de cables	Acostarse
Para un diámetro exterior máximo del cable	0.9"
Para el ancho total del cable	1.2"
Altura	1.4"
Ancho	2.1"
Radio de curvatura	2.2"

Nota: tomado de <https://www.mcmaster.com/4409T51>

Para distribuir el agua a presión sobre los rodillos, estarán acopladas al cabezote dos boquillas de abanico plano. Estas boquillas son ideales para aplicaciones de lavado a presión y están fabricadas en acero inoxidable endurecido, lo que les proporciona una larga vida útil y precisión en el control del flujo. Las boquillas seleccionadas se muestran en la figura 34, junto con sus respectivas especificaciones. Es importante destacar que la boquilla seleccionada tiene una rosca de 1/8 NPT.

Figura 34.

Boquillas de chorro plano WashJet seleccionadas.

- El patrón de abanico plano de borde uniforme asegura un alto impacto.
- Los ángulos de pulverización van de 0° a 65°.
- Las conexiones van desde 1/8" a 1/2" (NPT y BSPT macho y hembra).
- Caudales de 0,27 a 0,78 gpm (1,0 a 290 lpm).
- Las presiones de operación van desde 300 a 4000 psi (20 a 275 bar).
- Fabricadas en acero inoxidable de la serie 400.



Nota: tomado de: <https://www.spray.com/es-co/productos/marcas-de-boquillas-y-de-sistemas-de-pulverizaci%C3%B3n/boquillas-de-abanico-plano-washjet>

7.2.6 Sistema de secado

El aire para secar los rodillos anilox se inyecta a través de dos boquillas de abanico plano que están ensambladas al cabezote. Al igual que en el sistema anterior, estas boquillas pasan haciendo un barrido a lo largo del anilox. Esta implementación del secado permite reducir los tiempos de preparación del anilox. Las mangueras de aire están ubicadas dentro del portacables, que se muestra en la figura 33, con el fin de evitar atascos y posibles fugas de aire debido al deterioro de las mangueras.

Se seleccionaron boquillas de abanico plano para baja presión, las cuales se ensamblan con tuerca de retención. El tipo de boquillas seleccionadas y sus especificaciones se detallan en la figura 35.

Figura 35.

Boquillas de abanico seleccionadas para el sistema de secado.

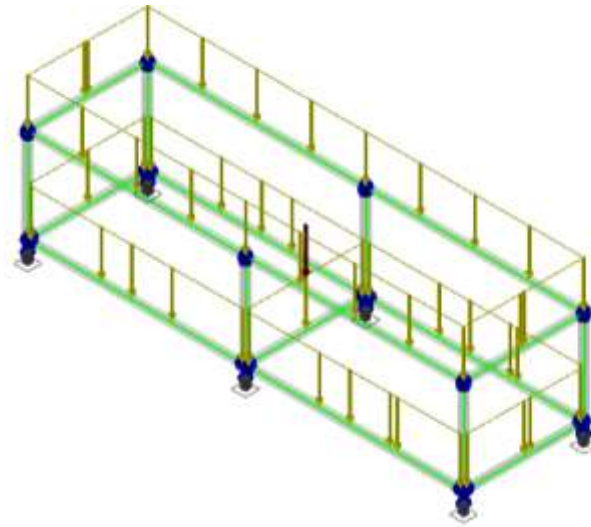


Nota: Tomado de <https://www.lechler.com/es/productos/gama-de-productos/industria-general/boquillas-de-aire>

7.4.7 Estructura

Para el cálculo de la estructura se utilizó el software Autodesk Inventor. La estructura está diseñada en acero inoxidable con perfiles cuadrados de 40x40x2 mm. debe soportar las cargas de todos los componentes, además de su propio peso. Para analizar la estructura, se empleó el módulo estructural de Autodesk. En la imagen 36, se muestran las condiciones de carga aplicadas a la estructura, incluyendo los pesos de todos los elementos que ésta debe soportar. Estos pesos son conocidos ya que, al asignar el material en Inventor, podemos obtenerlos a través de las propiedades físicas del componente.

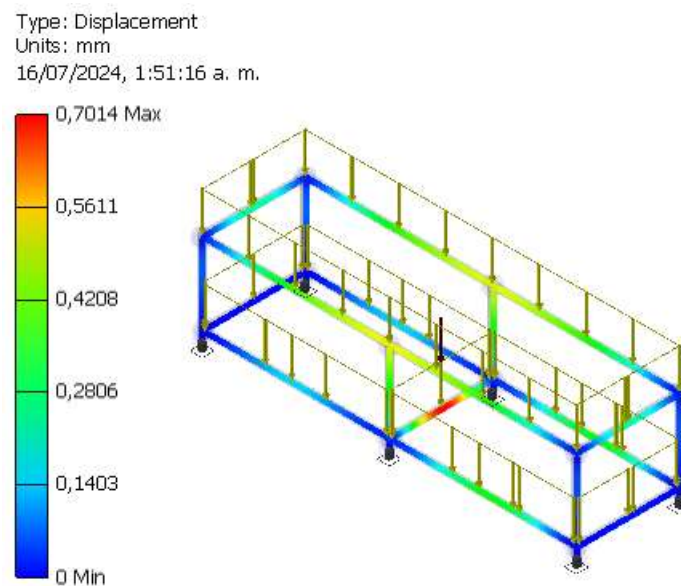
Figura 36.
Condiciones de carga y apoyos para la estructura.



Nota: elaboración propia

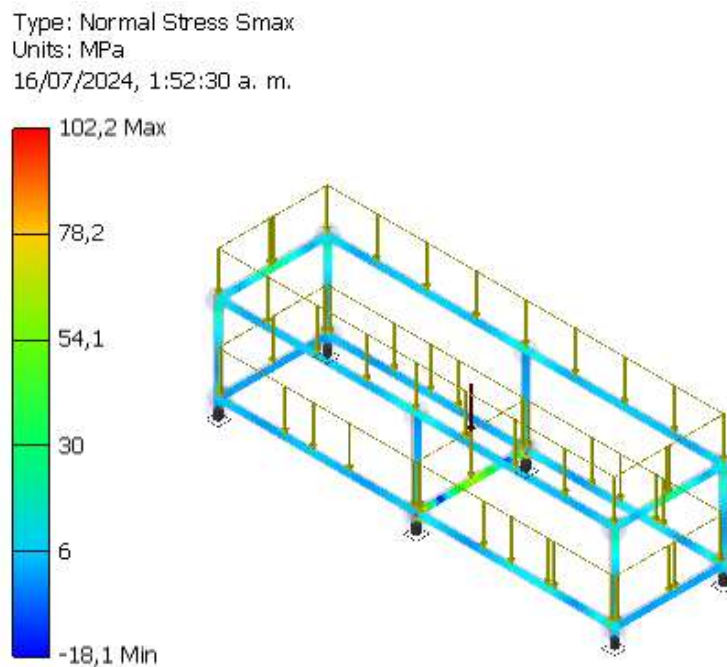
Una vez realizada la simulación, se obtienen los siguientes resultados mostrados en las figuras 37 y 38.

Figura 37.
Desplazamientos de la estructura debido a las cargas.



Nota: elaboración propia

Figura 38.
Tensión normal máxima



Nota: elaboración propia

Analizando los resultados mostrados en las figuras 37 y 38, donde se presenta una estructura de acero inoxidable austenítico 304 con un límite elástico aproximado de 215 MPa, se concluye que la estructura no falla bajo las condiciones de carga. El factor de seguridad para el diseño de esta estructura es de 2.09, lo cual es un valor razonable para una estructura de este tipo.

Para el sistema de nivelación de la estructura, se seleccionó un soporte de nivelación giratorio de acero niquelado con perno roscado M8 de 32 mm de largo, el cual tiene una capacidad de carga de hasta 990 lb. Teniendo en cuenta que el diseño pesa alrededor de 800 kg, la capacidad de carga de los seis soportes niveladores es suficiente. Los soportes niveladores seleccionados y sus especificaciones se muestran en la figura 39.

Figura 39.

Soporte de nivelación giratorio ref 6111K652.



Movimiento de montura	Eslabón giratorio
Tipo de montaje	Espárrago roscado
Tamaño de rosca	M8
Tipo de rosca	Métrico
Longitud del hilo	32 milímetros
Capacidad por montaje	990 libras
Rango de movimiento giratorio	7.5°
Diámetro de la base	25 mm
Altura total	49 mm
Ancho de tuerca hexagonal	12 mm
Forma de la base	Redondo
Base Material	Acero niquelado
Material de los pernos	Acero niquelado
Material de la tuerca	Acero niquelado

Nota: Tomado de: <https://www.mcmaster.com/6111K652/>

7.5 Propuesta de diseño de maquina lavadora de anilox.

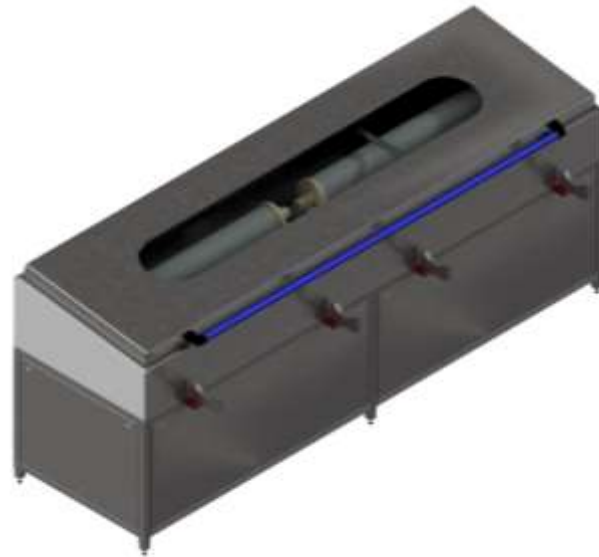
Una vez diseñados los sistemas que componen la propuesta de diseño de la máquina lavadora de anilox, se procede a ensamblarlos en un solo sistema que cumpla con los requerimientos de diseño. Esta propuesta permite lavar cuatro unidades de anilox de manera simultánea, optimizando así la producción de lavado y la ergonomía del operario, ya que se reducen los esfuerzos físicos, especialmente en situaciones de alta demanda en el proceso de lavado.

El modelo CAD cuenta con la mayoría de sus medidas parametrizadas, lo que significa que, al cambiar una medida, muchas otras se actualizarán automáticamente. Esto reduce considerablemente los tiempos de rediseño en caso de que sea necesario realizar modificaciones.

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras 40, 41, 42 y 43.

Figura 40.

Propuesta de diseño máquina lavadora de anilox.



Nota: Elaboración propia.

Figura 41.

Integración de subsistemas en el diseño general



Nota: Elaboración propia.

Figura 42.
Capacidad de lavar 4 rodillos anilox en simultaneo.



Nota: Elaboración propia.

Figura 43.
Vista superior de propuesta de diseño de maquina lavadora de anilox.



Nota: Elaboración propia.

8 Discusión

La propuesta de diseño de máquina lavadora de anilox podría tener resultados notables y abre espacio para que se dé una discusión crítica que aborda tanto éxitos como posibles oportunidades de mejora.

Optimización de la producción de lavado: La capacidad de lavar hasta 4 anilox simultáneamente promete mejorar significativamente la eficiencia del proceso de lavado, aumentando la disponibilidad de estos componentes clave para la impresión. Es esencial realizar una puesta a punto adecuada al ensamblar la máquina para determinar los tiempos óptimos de ciclo de lavado que aseguren resultados efectivos.

Versatilidad del diseño: Gracias a su parametrización, el diseño permite evaluar y aplicar modificaciones de manera más sencilla, como la posibilidad de lavar simultáneamente 4 unidades de los rodillos anilox más grandes, como los de la FL 22.

Ergonomía y seguridad: El diseño propuesto mejora la ergonomía del operario al reducir la necesidad de lavados manuales apresurados, que pueden causar cuellos de botella en el área de lavado de anilox. Además, al calcular cuidadosamente los componentes, se mejora la seguridad durante las operaciones.

- **Oportunidades de mejora:**

Implementar un sistema para recirculación del agua: Sería beneficioso diseñar un sistema que recircule el agua para reducir el desperdicio y hacer que la máquina sea más amigable con el medio ambiente, una práctica cada vez más valorada en el mercado actual.

Instalar doble cabezote: Integrar un doble cabezote podría reducir significativamente el tiempo necesario para el lavado, mejorando así la eficiencia de producción de la máquina.

9 Conclusiones

- La subdivisión de la máquina en subsistemas facilita una comprensión clara de su funcionamiento y la importancia de cada componente en el proceso global, reduciendo tiempos de desarrollo en un 30% aproximadamente.
- La selección adecuada de los componentes de la máquina es fundamental, considerando condiciones específicas como cargas, humedad y temperaturas, entre otros factores.
- La implementación de la parametrización en el software Autodesk Inventor se revela como una herramienta invaluable para el diseño, minimizando la necesidad de modificaciones individuales en cada componente ante cambios requeridos.
- El diseño propuesto demuestra ser ambicioso en cuanto a la optimización de la producción de lavado de anilox. Su correcta implementación podría significar un avance significativo para el área de lavado de anilox, potenciando la capacidad productiva en respuesta a aumentos en la demanda de la empresa.
- El diseño propuesto de la lavadora de rodillos anilox optimiza la producción de lavado y la ergonomía del operario debido a que puede lavar mas unidades por unidad de tiempo y evita que se realicen operaciones de lavado manuales en momentos de alta demanda.
- Es importante realizar la selección de alternativas en el diseño, este proceso permite evaluar otros componentes en función de los requerimientos y por lo tanto escoger la alternativa mas viable.

Referencias

Estrada Tabares. (2024). *Diseño de máquinas industriales a manera de autoservicio, aspiradora, autolavado y punto de pago*. Tesis de pregrado, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín.

Havenko, S., Ohirko, M., Ryvak, P., & Kotmalova, O. (2020). Determining the factors that affect the quality of test prints at flexographic printing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(5), 104.

Mott, R. L. (2016). *Diseño de elementos de máquinas*. Pearson Prentice Hall.

Renold. (s.f.). Transmission chain installation, maintenance & designer guide (Document No. REN12-ENG-10-10). Recuperado de <https://www.renold.com/media/165418/transmission-i-and-m-ren12-eng-10-10.pdf>

Sears, F. W., Zemansky, M. J., Young, H. D., & Freedman, R. A. (2014). *Física para universitarios*. Editorial Pearson.

Shapiro, F. (2002). Cleaning Anilox Rollers. *PNEAC Fact Sheet*.

Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2006). *Diseño en ingeniería mecánica*. McGraw-Hill.

Universidad politécnica de Valencia. (s.f.). *Diseño conceptual*. Recuperado de <https://dibujo.webs.upv.es/assignatura/disenio-conceptual/>

Anexos

Anexo 1

Cálculo de potencia eléctrica resistencia tanque

File: Potencia electrica resistencia.EES 11/07/2024 11:34:49 p. m. Page 1
 9.944: #4402: EASY ENGINEERING, <https://www.youtube.com/channel/UCjC8ulmve2QNRJXhDpk-L2A+> CN:\xJID_JLN\yNINGGBDE\CJH@NYX\...

$$L_{\text{tanque}} = 0,6 \text{ [m]}$$

$$a_{\text{tanque}} = 0,39 \text{ [m]}$$

$$h_{\text{tanque}} = 0,39 \text{ [m]}$$

$$V_{\text{tanque}} = L_{\text{tanque}} \cdot a_{\text{tanque}} \cdot h_{\text{tanque}}$$

$$P_{\text{atm}} = 101,325 \text{ [kPa]}$$

$$T_{\text{prom}} = 40 \text{ [C]}$$

$$T_{\text{promK}} = 313,15 \text{ [K]}$$

$$\rho = \rho[\text{water}; T = T_{\text{prom}}; P = P_{\text{atm}}]$$

$$\rho = \frac{m_{\text{agua}}}{V_{\text{tanque}}}$$

$$c_{p\text{agua}} = C_p[\text{water}; T = T_{\text{prom}}; P = P_{\text{atm}}]$$

$$T_{\text{final}} = 50 \text{ [C]}$$

$$T_{\text{inicial}} = 20 \text{ [C]}$$

$$\Delta T = T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}$$

$$Q = m_{\text{agua}} \cdot c_{p\text{agua}} \cdot [T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}]$$

$$t = 3600 \text{ [s]}$$

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t}$$

SOLUTION
 Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

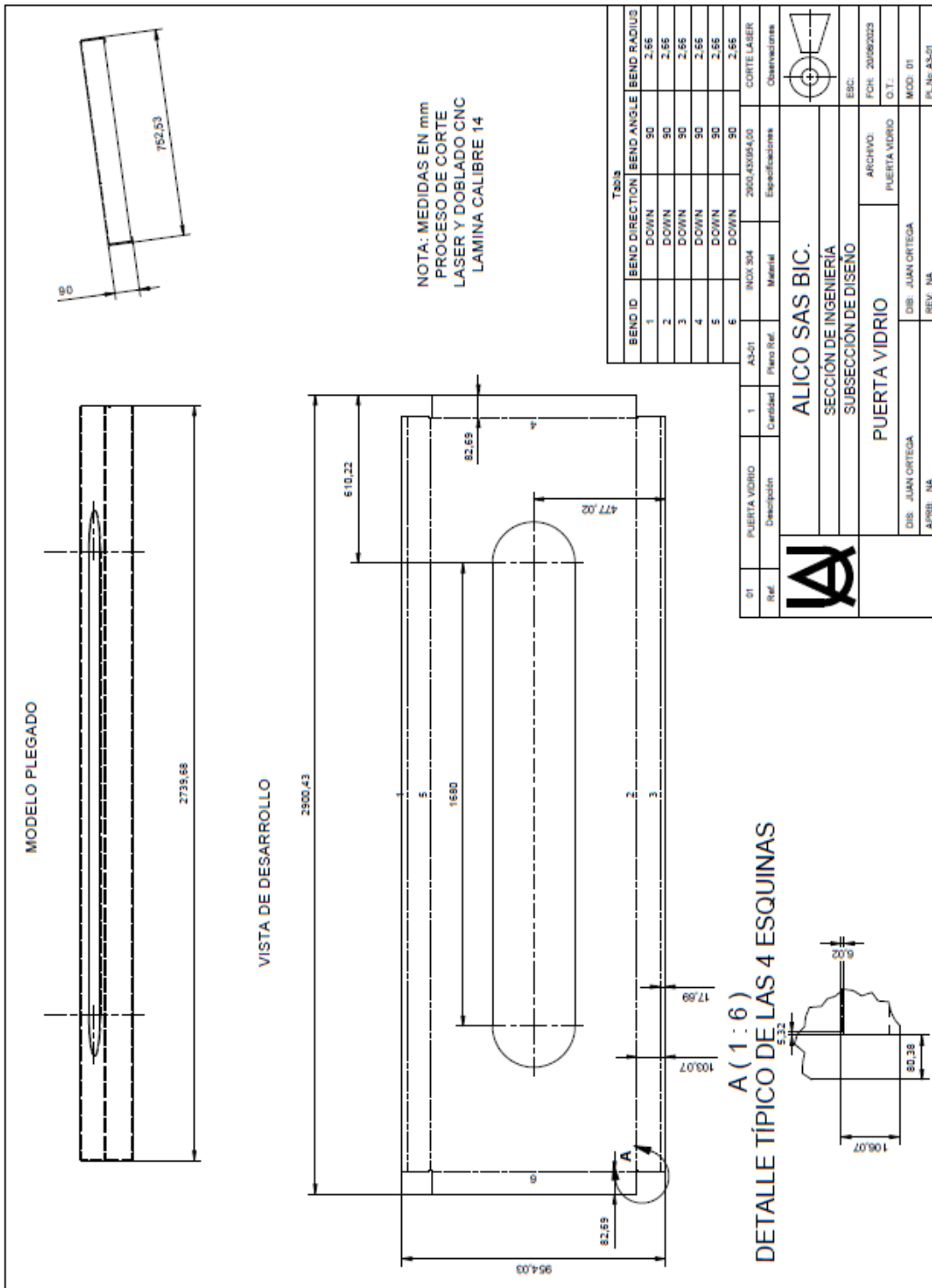
$a_{\text{tanque}} = 0,39 \text{ [m]}$	$c_{p\text{agua}} = 4,182 \text{ [kJ/kg-K]}$	$\Delta T = 30 \text{ [C]}$
$h_{\text{tanque}} = 0,39 \text{ [m]}$	$L_{\text{tanque}} = 0,6 \text{ [m]}$	$m_{\text{agua}} = 90,55 \text{ [kg]}$
$P_{\text{atm}} = 101,3 \text{ [kPa]}$	$Q = 11361 \text{ [kJ]}$	$\dot{Q} = 3,156 \text{ [kW]}$
$\rho = 992,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$	$t = 3600 \text{ [s]}$	$T_{\text{final}} = 50 \text{ [C]}$
$T_{\text{inicial}} = 20 \text{ [C]}$	$T_{\text{prom}} = 40 \text{ [C]}$	$T_{\text{promK}} = 313,2 \text{ [K]}$
$V_{\text{tanque}} = 0,09126 \text{ [m}^3\text{]}$		

No unit problems were detected.

Nota: Elaboración propia.

Anexo 2

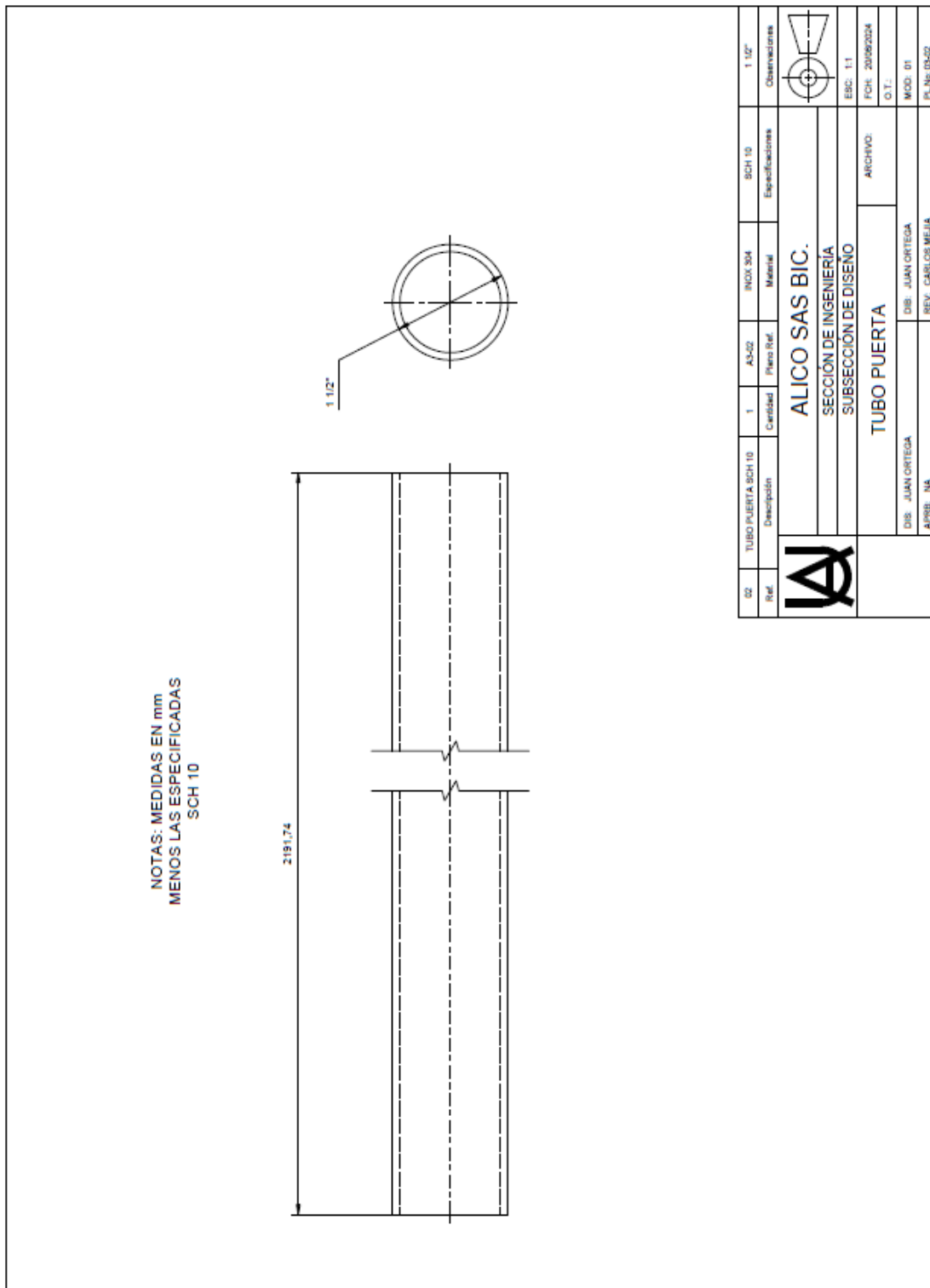
Plano puerta vidrio



Nota: Elaboración propia.

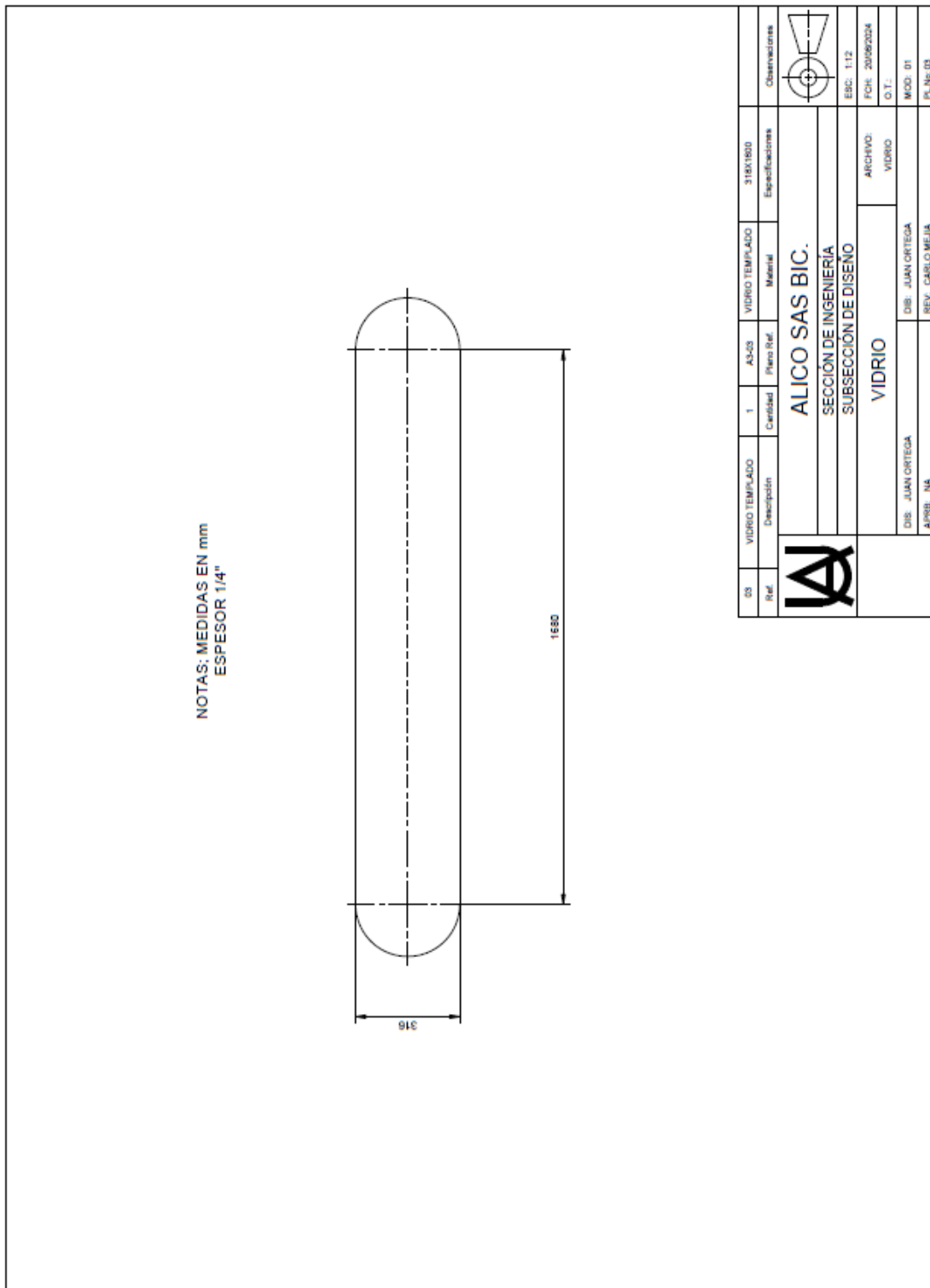
Anexo 3

Plano tubo puerta



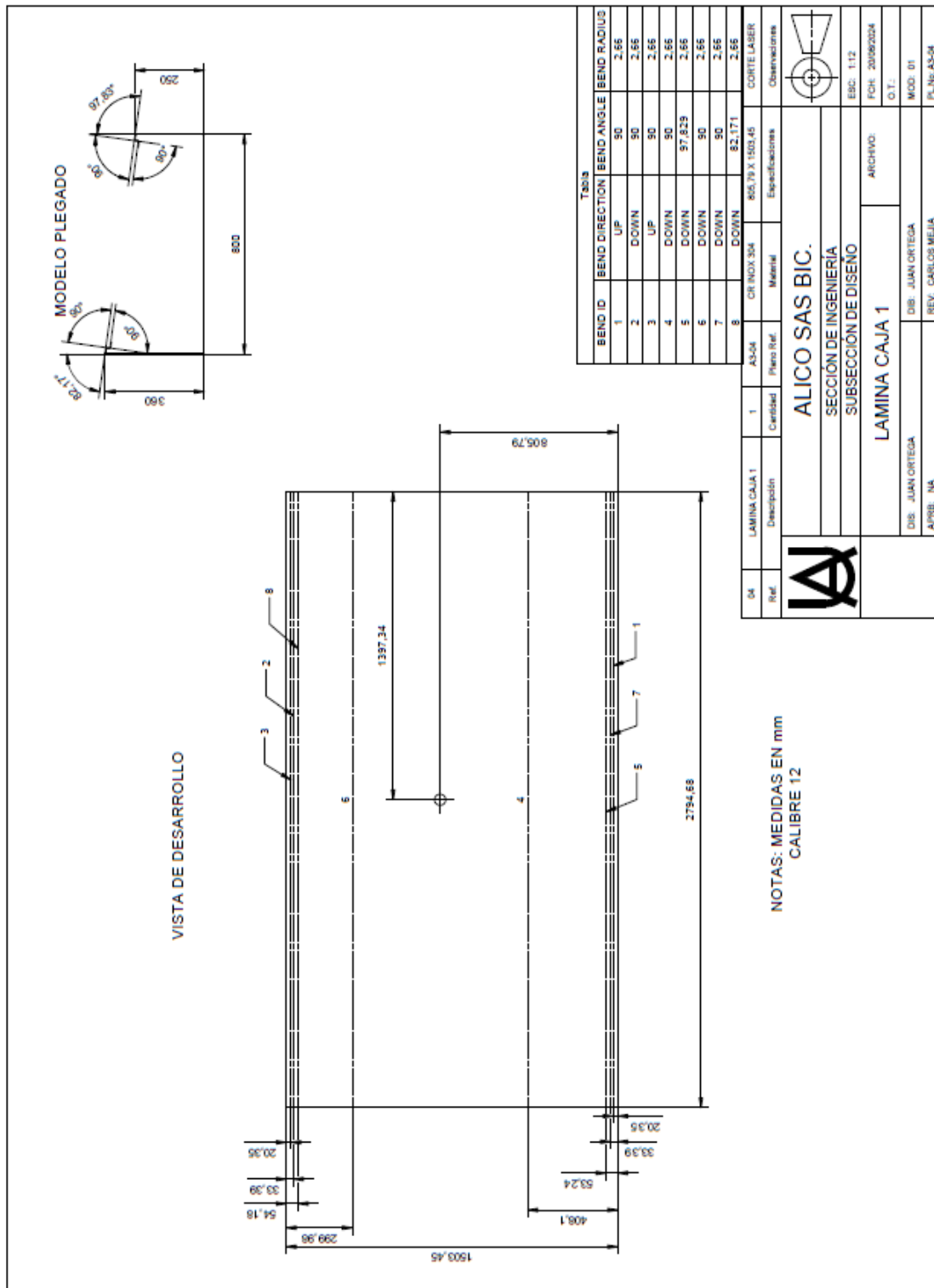
Nota: Elaboración propia.

Anexo 4
Plano vidrio



Nota: Elaboración propia.

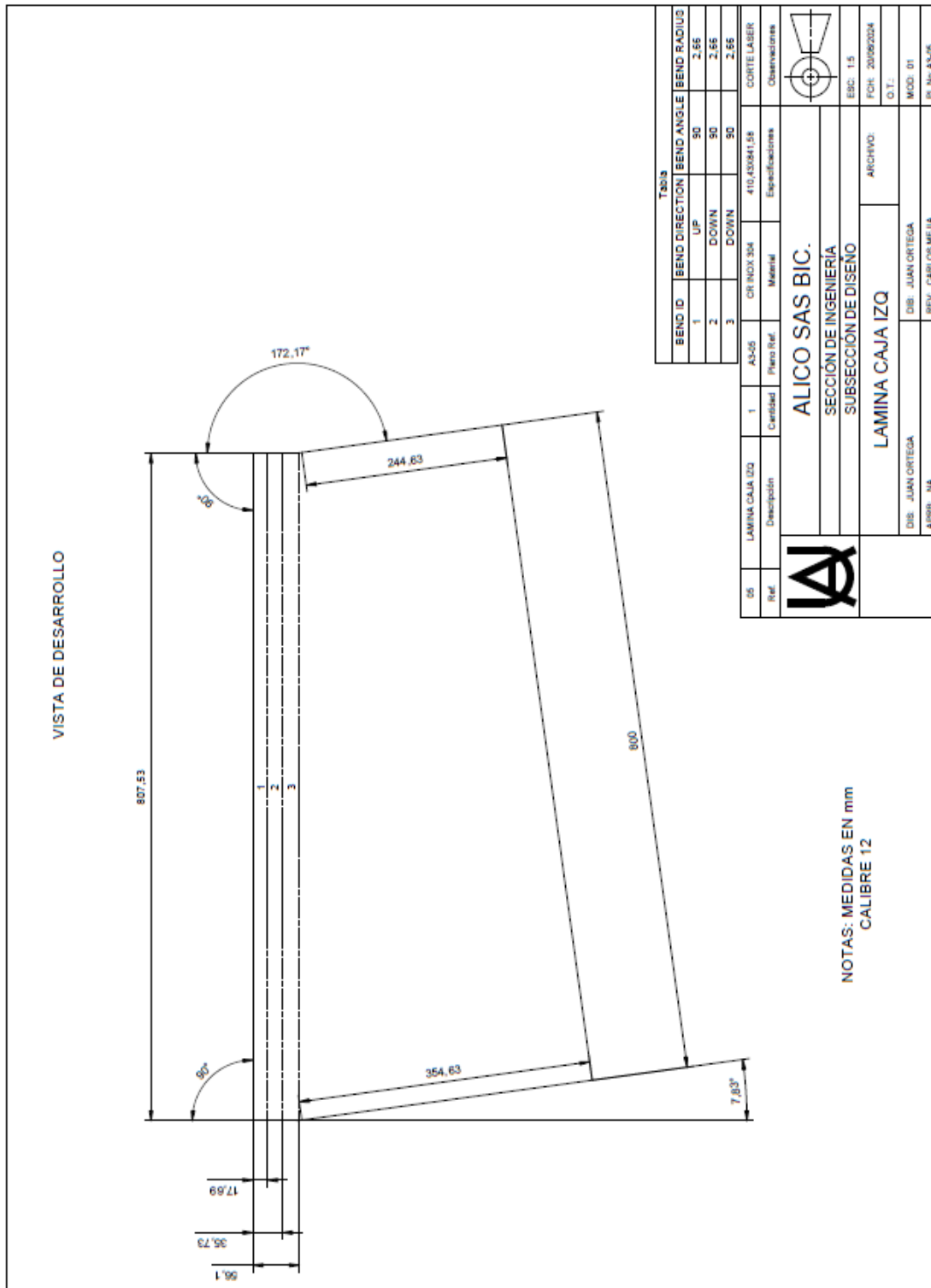
Anexo 5
Plano lamina caja 1.



Nota: Elaboración propia.

Anexo 6

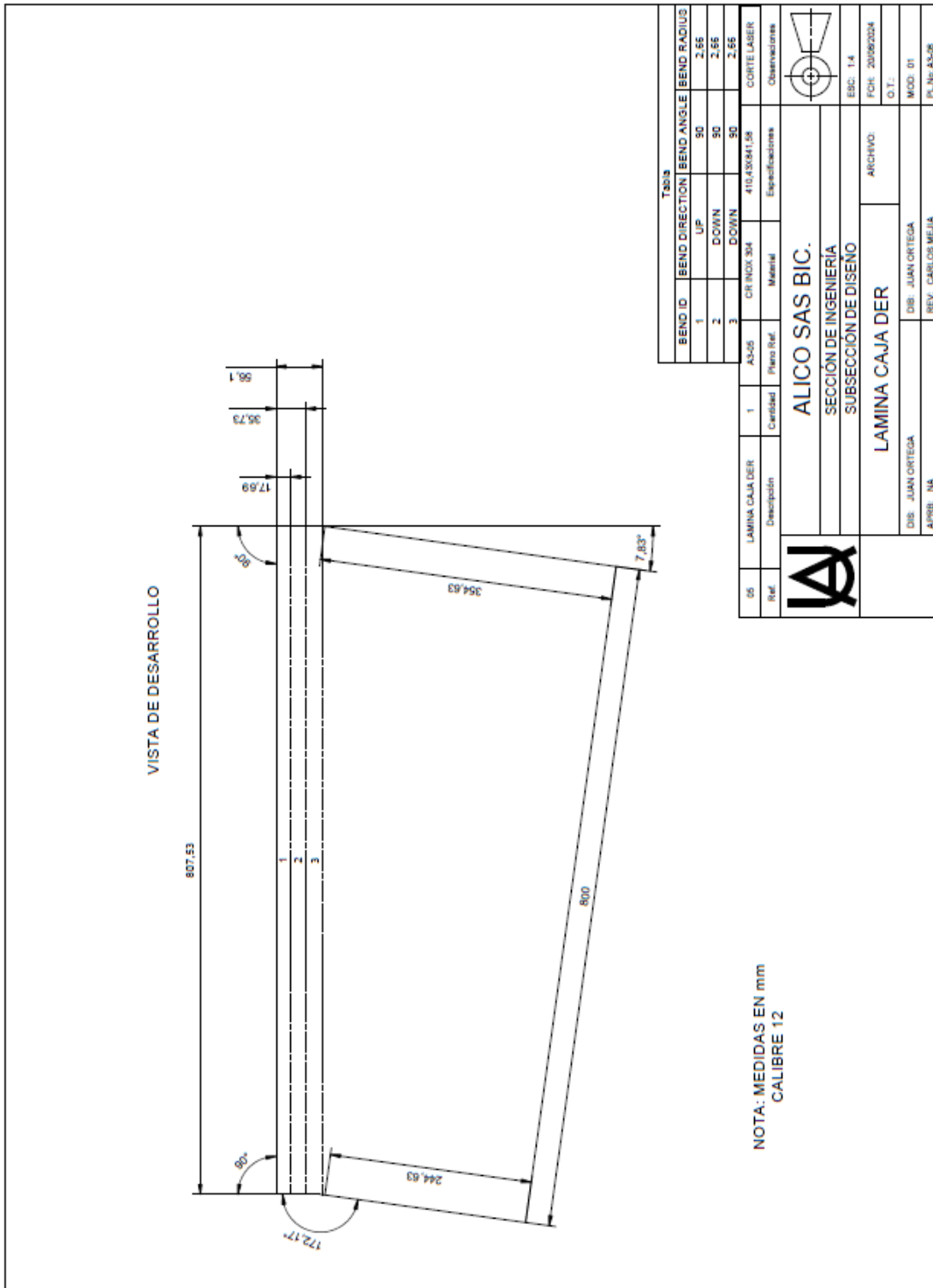
Plano lamina caja izquierda.



Nota: Elaboración propia.

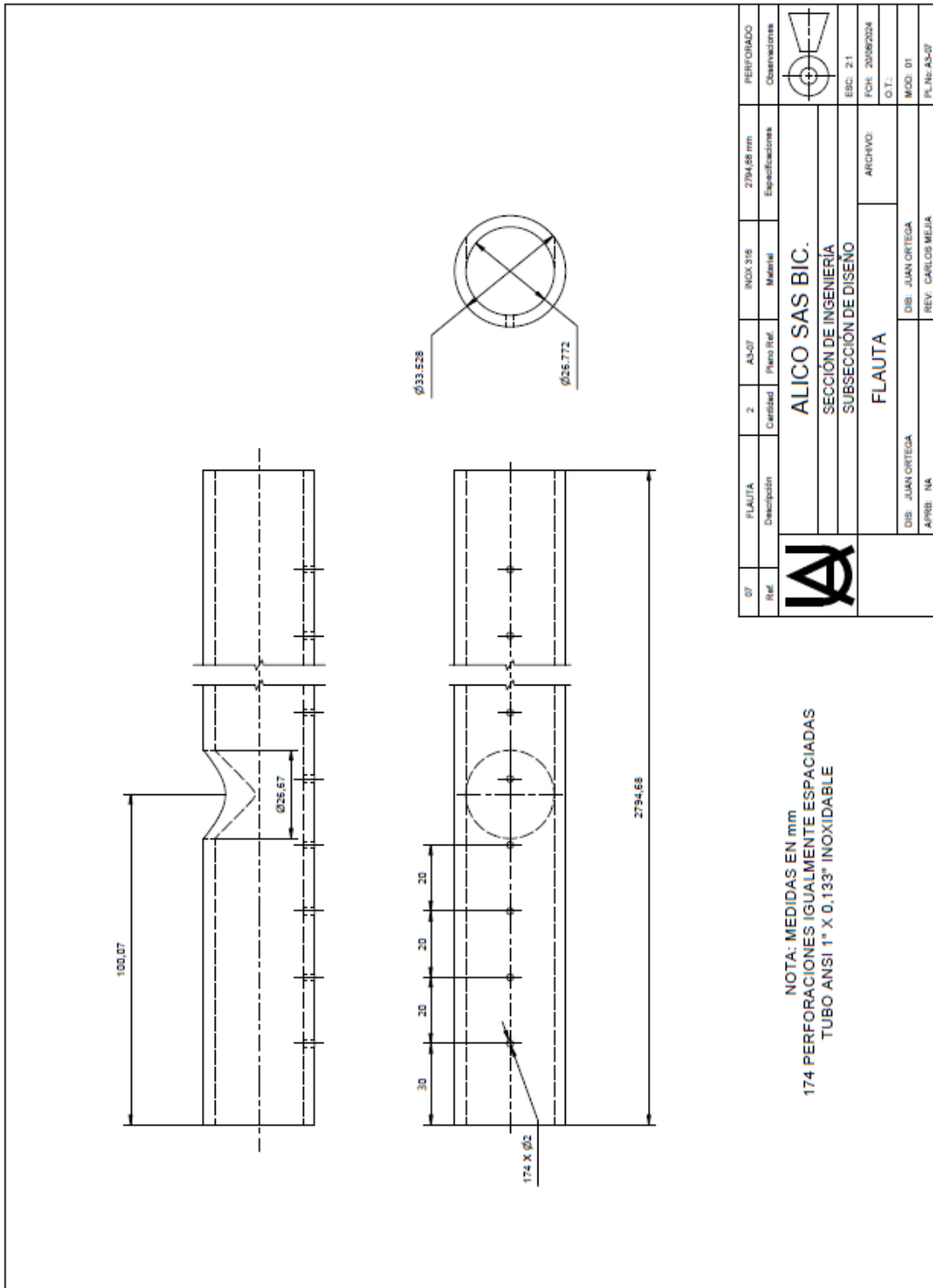
Anexo 7

Plano lamina caja derecha.



Nota: Elaboración propia.

Anexo 8
Plano flauta.

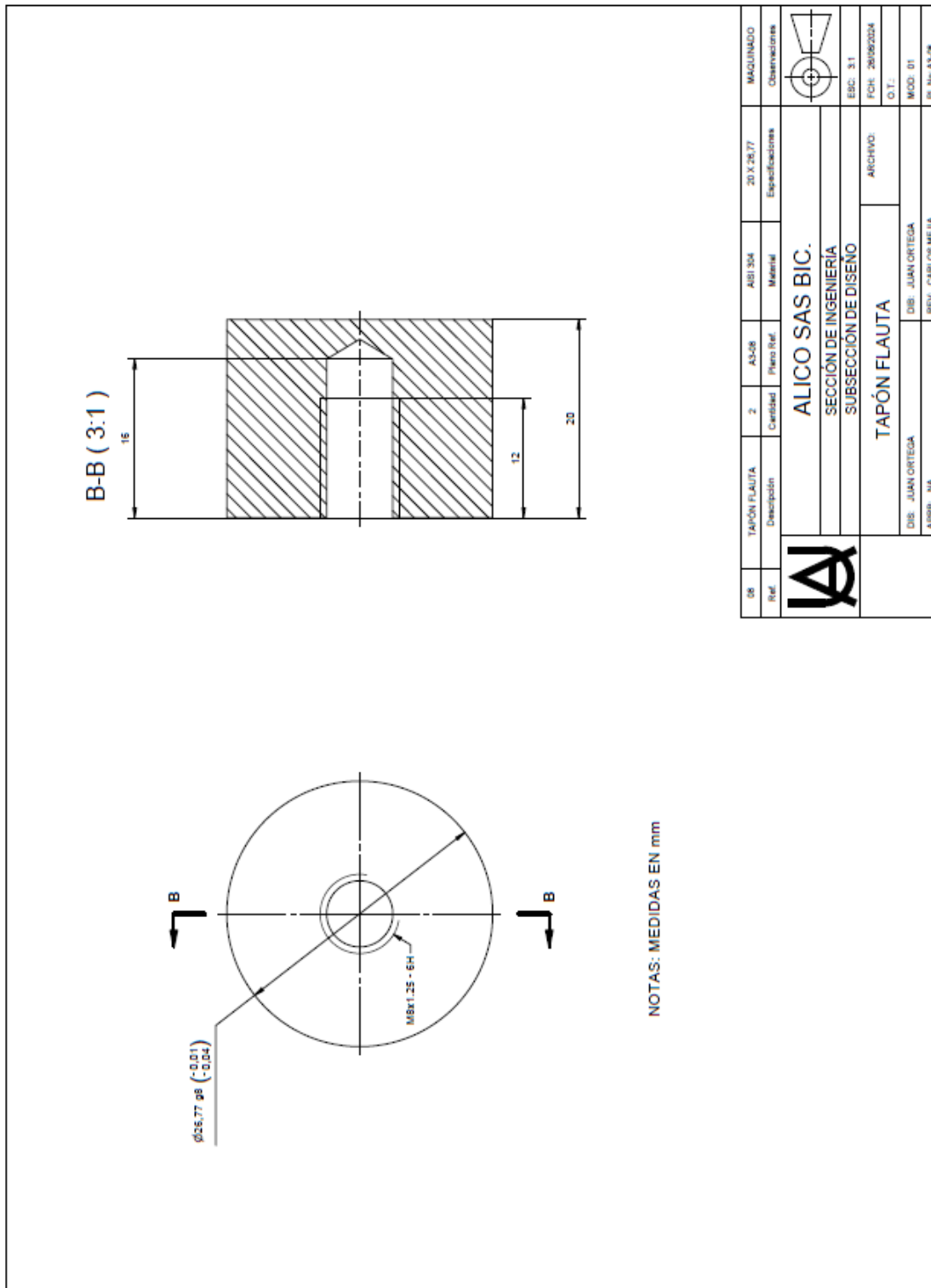


NOTA: MEDIDAS EN mm
174 PERFORACIONES IGUALMENTE ESPACIADAS
TUBO ANSI 1" X 0.133" INOXIDABLE

Q1	FLAUTA	2	AL-07	INDX.316	2794.68 mm	PERFORADO
Ref.	Descripción	Cantidad	Plano Ref.	Material	Especificaciones	Observaciones
	ALICO SAS BIC.					
	SECCION DE INGENIERIA					
	SUBSECCION DE DISENO					
	FLAUTA				ARCHIVO:	EBC: 21
	DIS: JUAN ORTEGA			DIS: JUAN ORTEGA	FOH: 20092204	FOR: 20092204
	A/RB: NA			REV: CARLOS MELIA		O.T.
						MOD: 01
						PL No: AL-07

Nota: Elaboración propia.

Anexo 9
Plano tapón flauta



Nota: Elaboración propia.

Anexo 10

Plano soporte perfil de precisión.

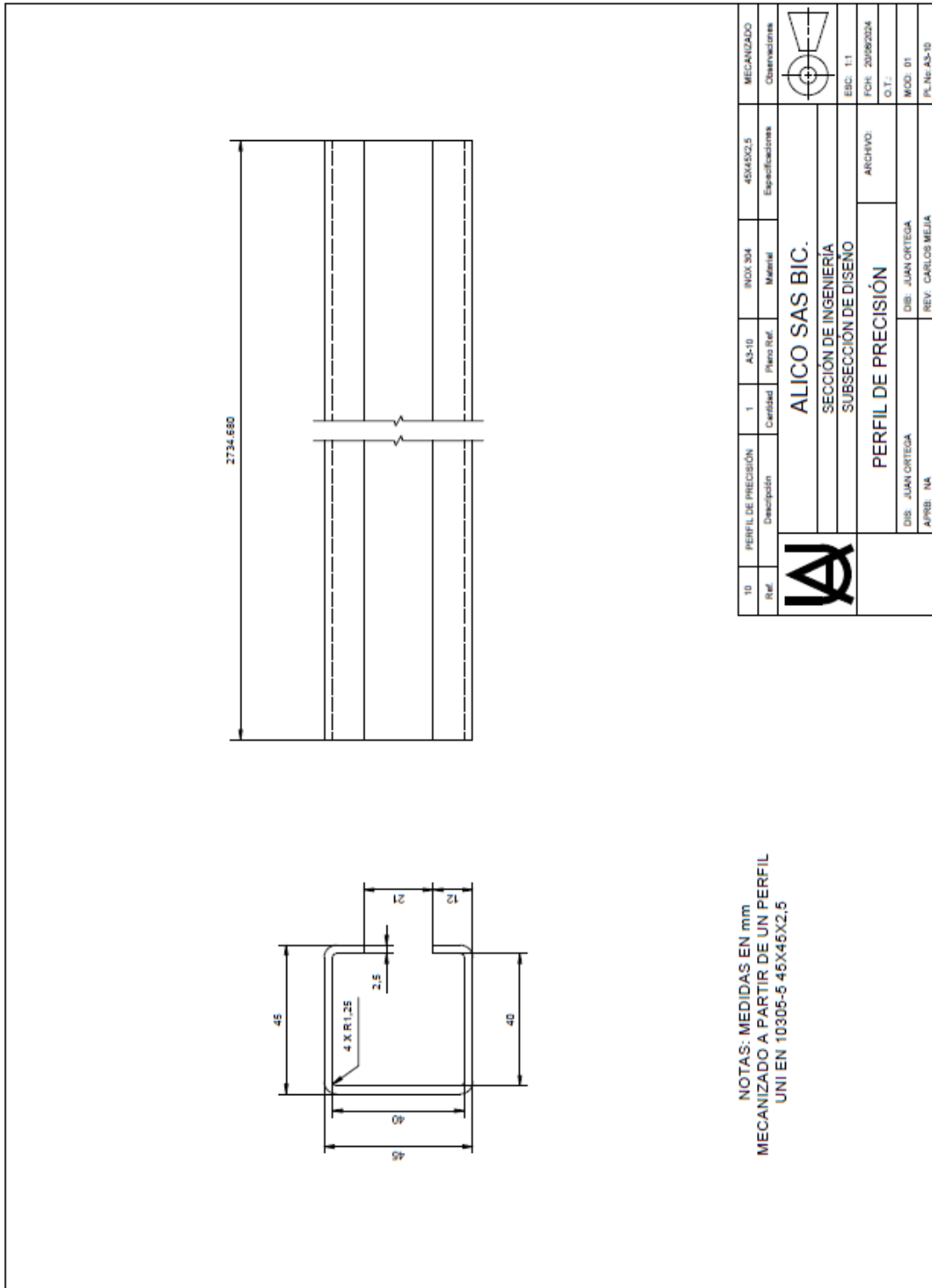
NOTAS: MEDIDAS EN mm
 MENOS LAS ESPECIFICADAS.
 MAQUINADO APARTIR DE
 UN PTR DE 1X1X0,083 INOX 304

09	SOPORTE TUBERIA PRECISION	3	A3-08	INDX 304	1X1X0,083	MAQUINADO
Ref.	Descripción	Cantidad	Plano Ref.	Material	Especificaciones	Observaciones
ALICO SAS BIC.						
SECCIÓN DE INGENIERÍA						
SUBSECCIÓN DE DISEÑO						
ARCHIVO:						
SOPORTE PERIL DE PRECIÓN						
EBC:						
FOR: 20/05/2024						
O.T.:						
MOD: 01						
PL.No A3_09						
DISE: JUAN ORTEGA						
APRO: NA						
REV: CARLOS MEJIA						

Nota: Elaboración propia.

Anexo 11

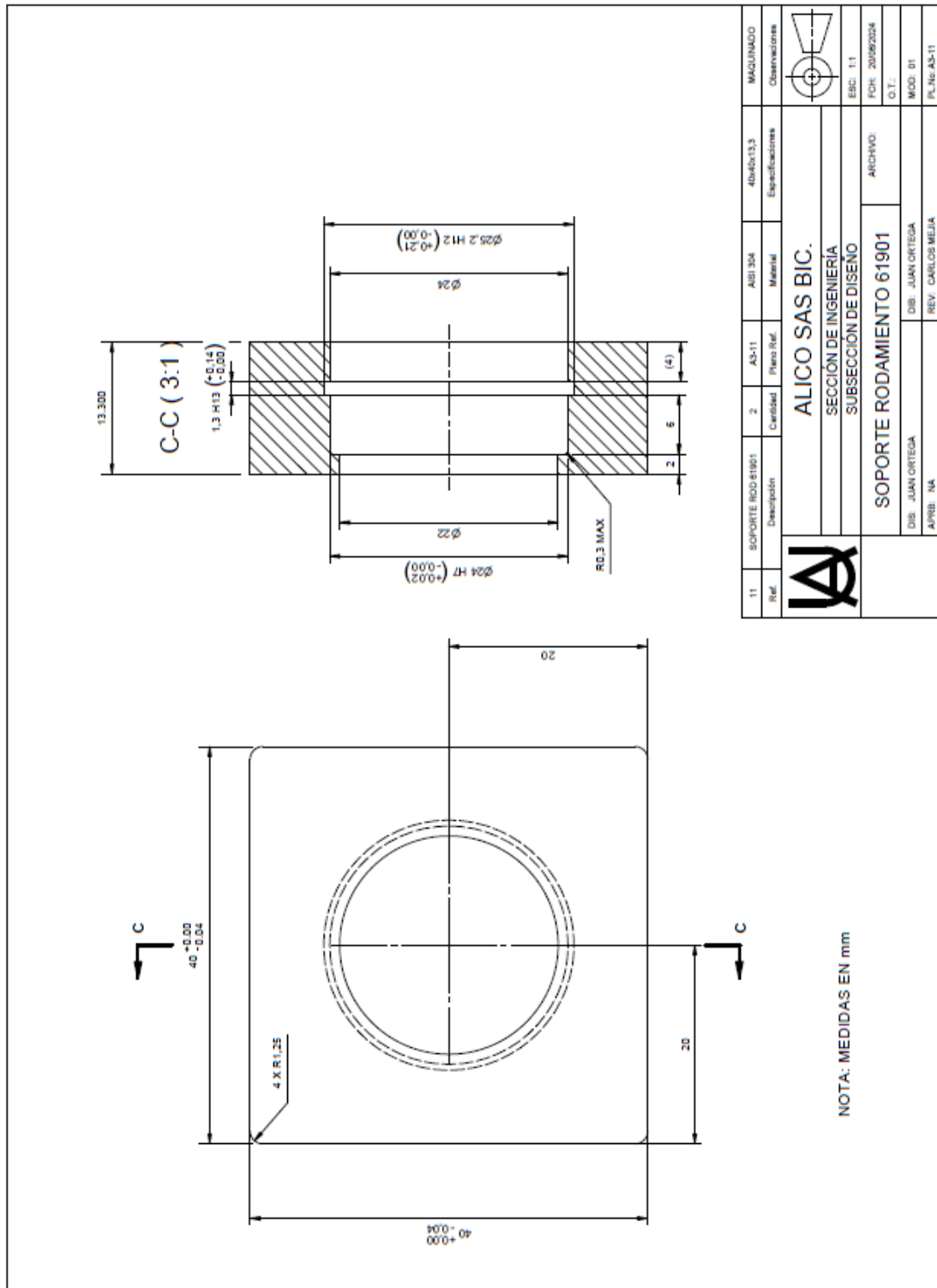
Plano perfil de precisión.



Nota: Elaboración propia.

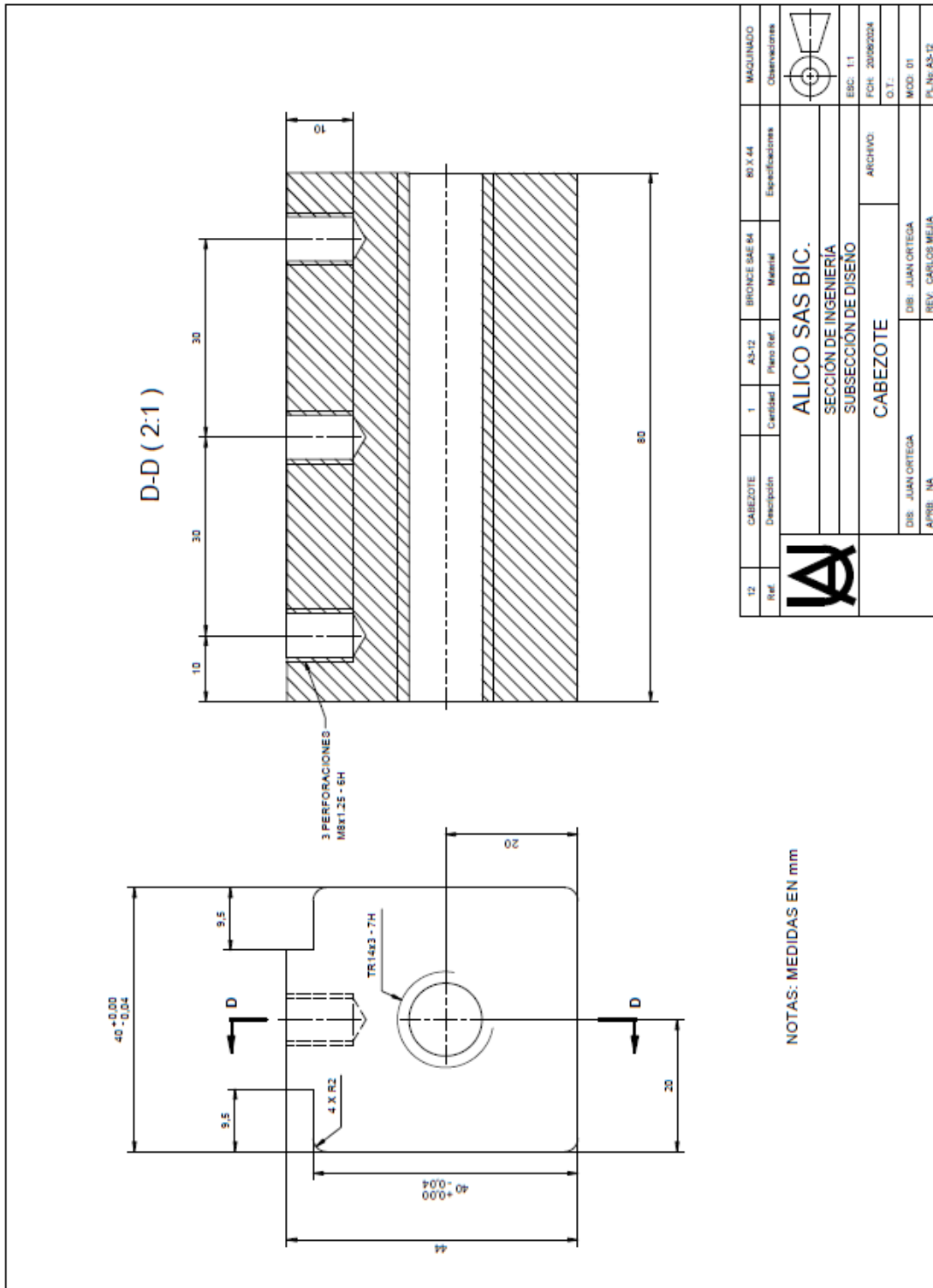
Anexo 12

Soporte rodamiento 61901.



Nota: Elaboración propia.

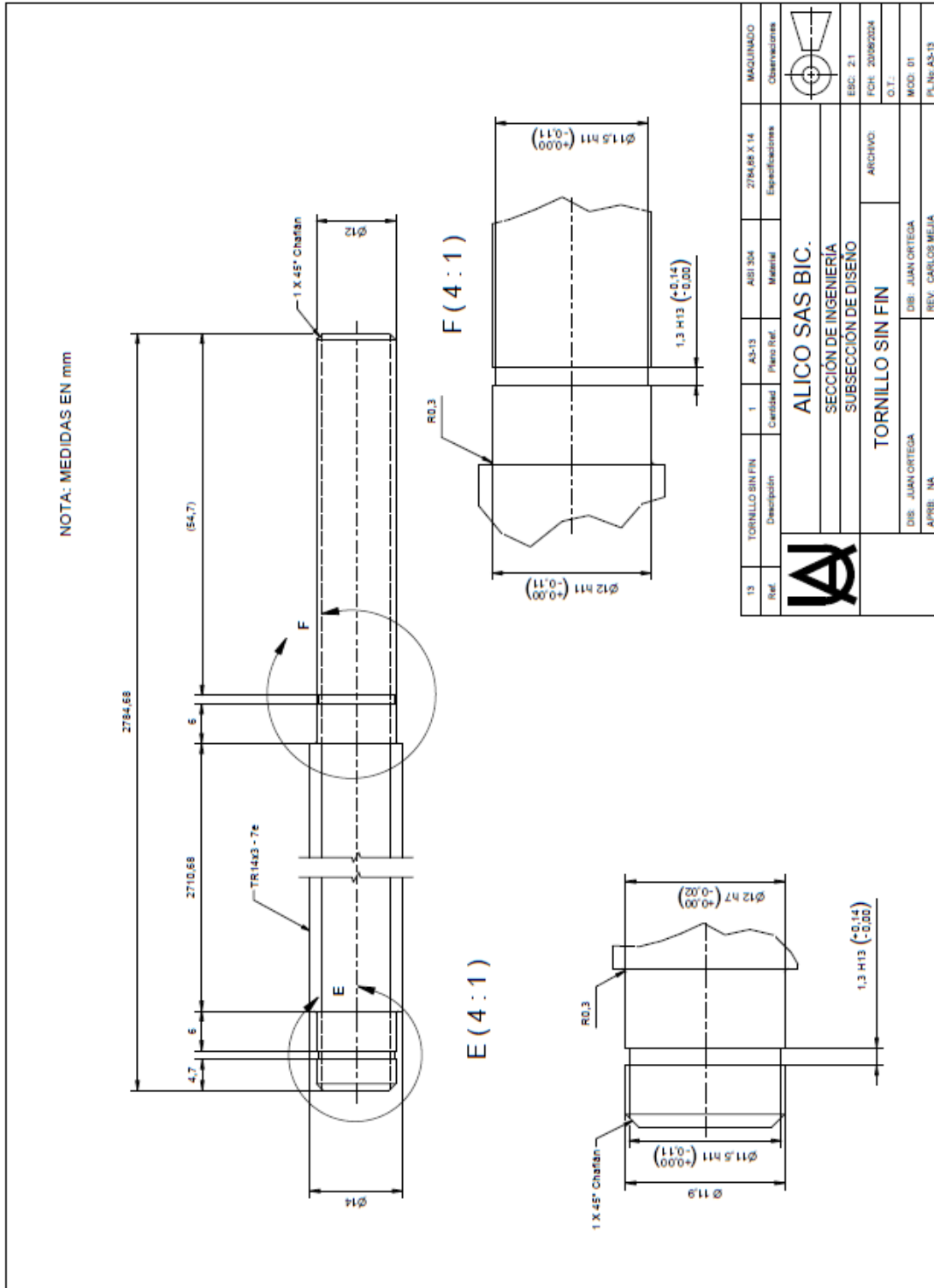
Anexo 13
Plano cabezote



T2	CABEZOTE	1	AS-12	BRONCE SAE 64	80 X 44	MAQUINADO
Ref.	Descripción	Cantidad	Plano Ref.	Materia	Especificaciones	Observaciones
	ALICO SAS BIC.					
	SECCION DE INGENIERIA					
	SUBSECCION DE DISENO					
	CABEZOTE					
	DIS: JUAN ORTEGA		ARCHIVO:		ERC: 1:1	FOR: 2006204
	APRB: NA		DIS: JUAN ORTEGA		O.T.	MOD: 01
			REV: CARLOS MELIA			PL: N° AS-12

Nota: Elaboración propia.

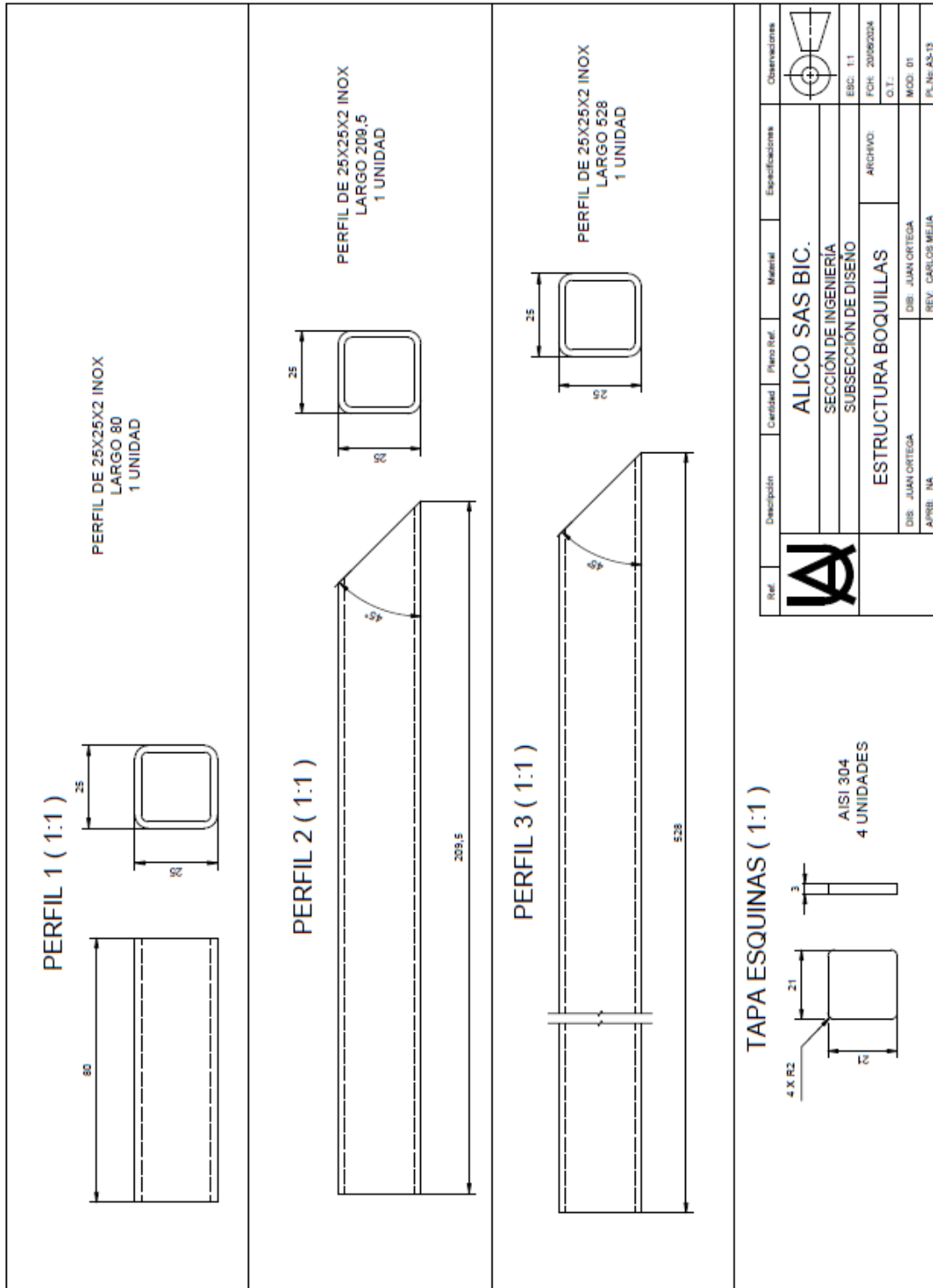
Anexo 14
Plano tornillo sin fin.



Nota: Elaboración propia.

Anexo 15

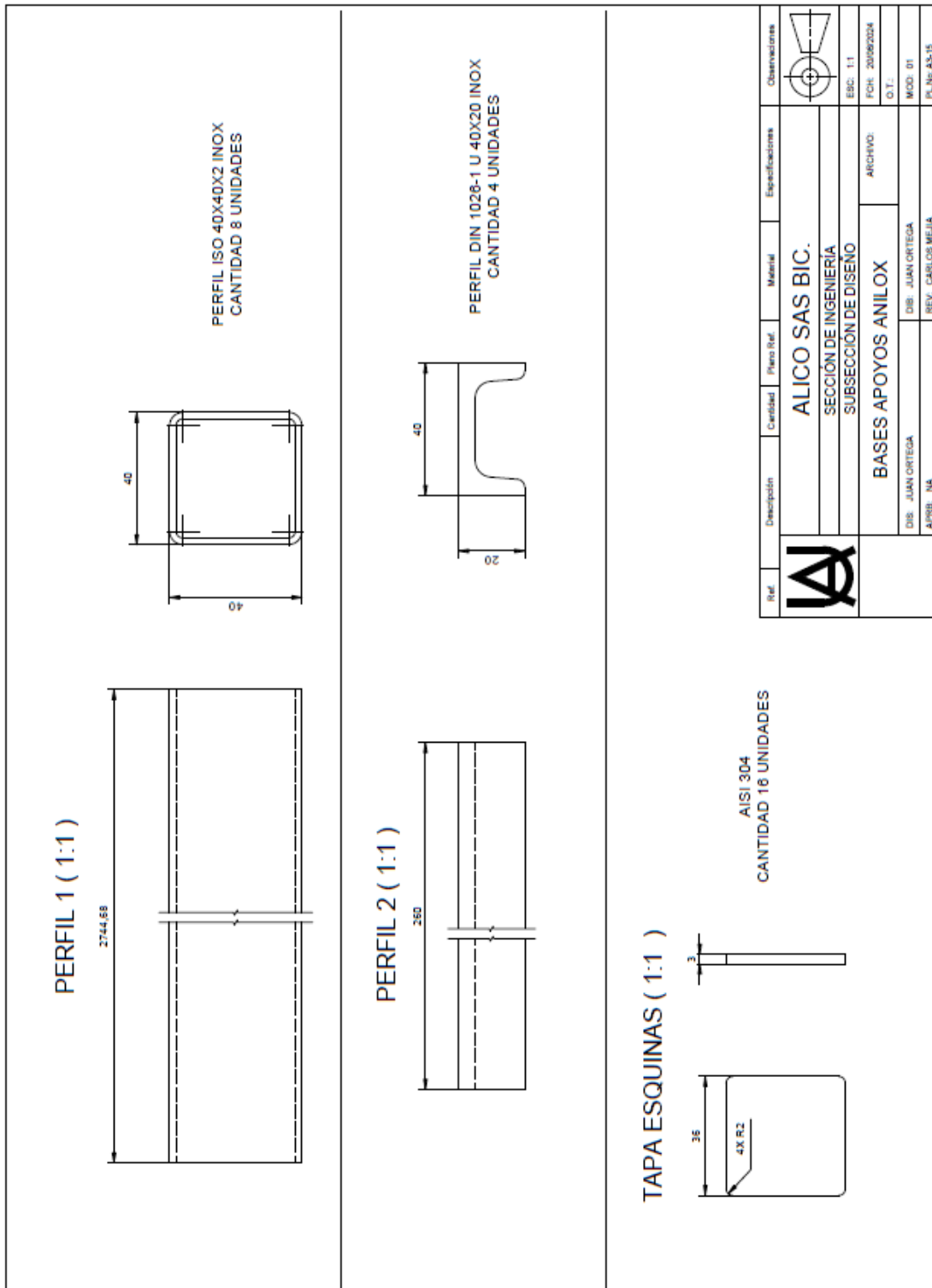
Plano estructura boquillas.



Nota: Elaboración propia.

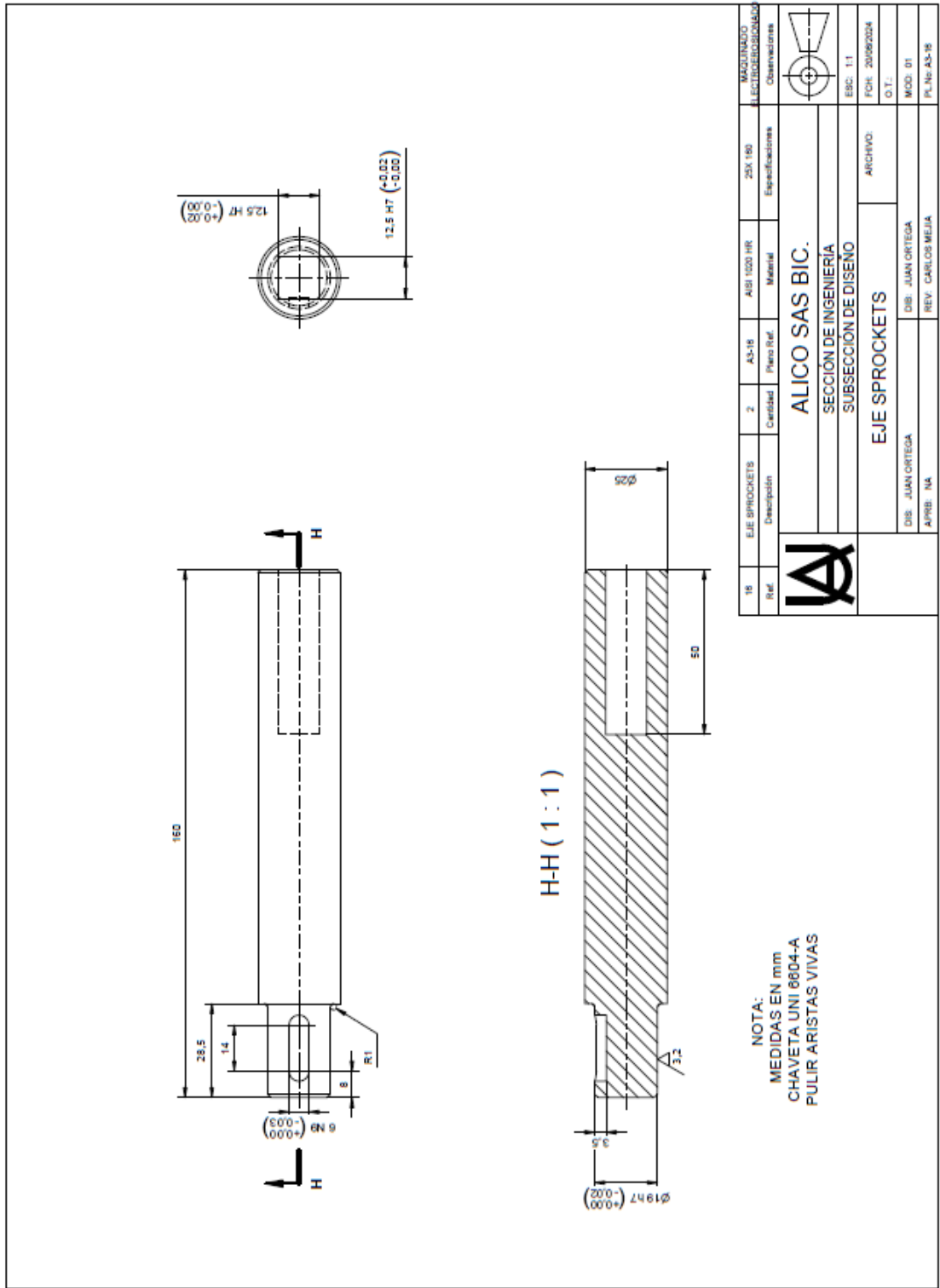
Anexo 16

Plano bases apoyos anilox.



Nota: Elaboración propia.

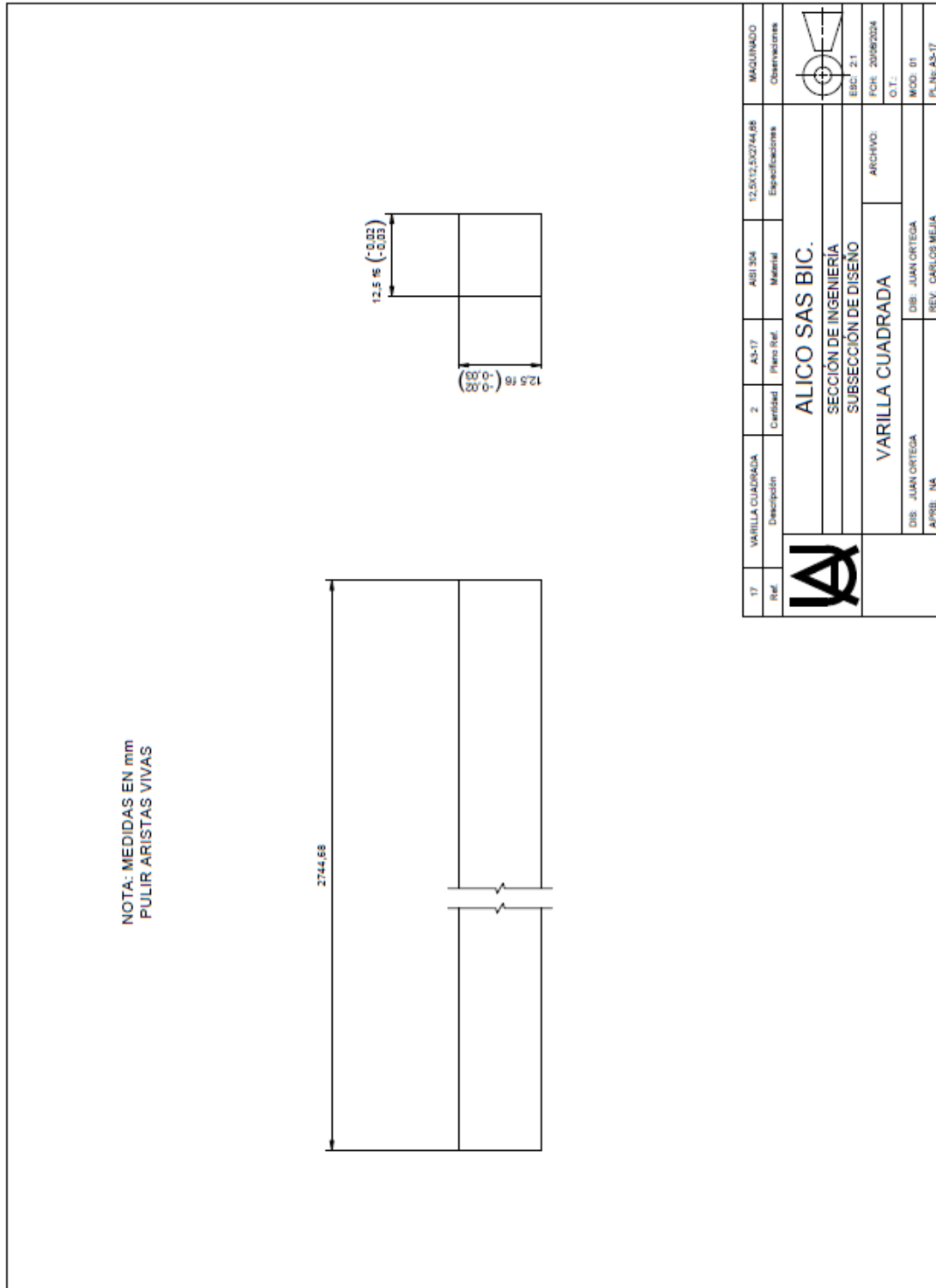
Anexo 17
Plano eje sprockets.



Nota: Elaboración propia.

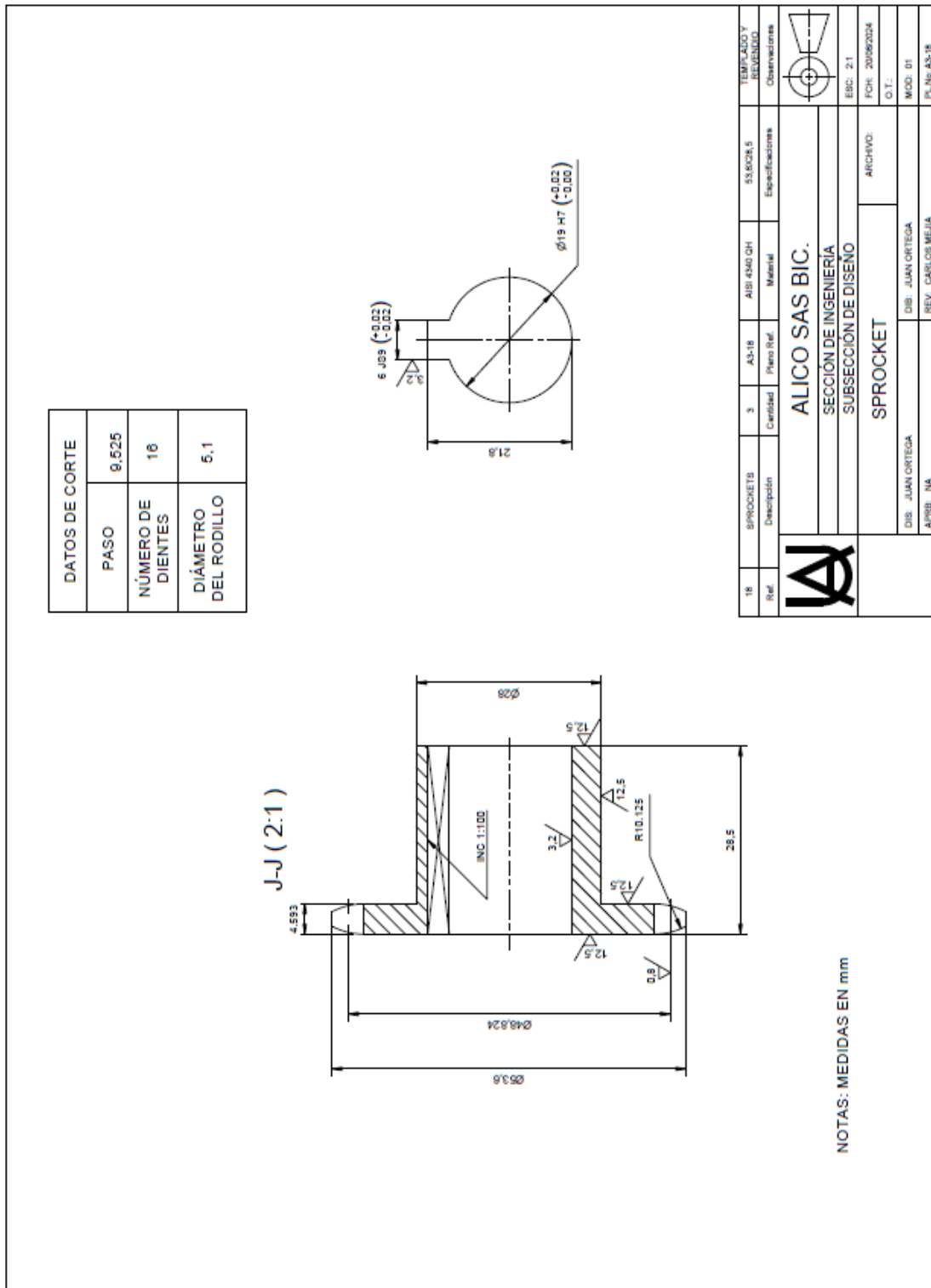
Anexo 18

Plano varilla cuadrada.



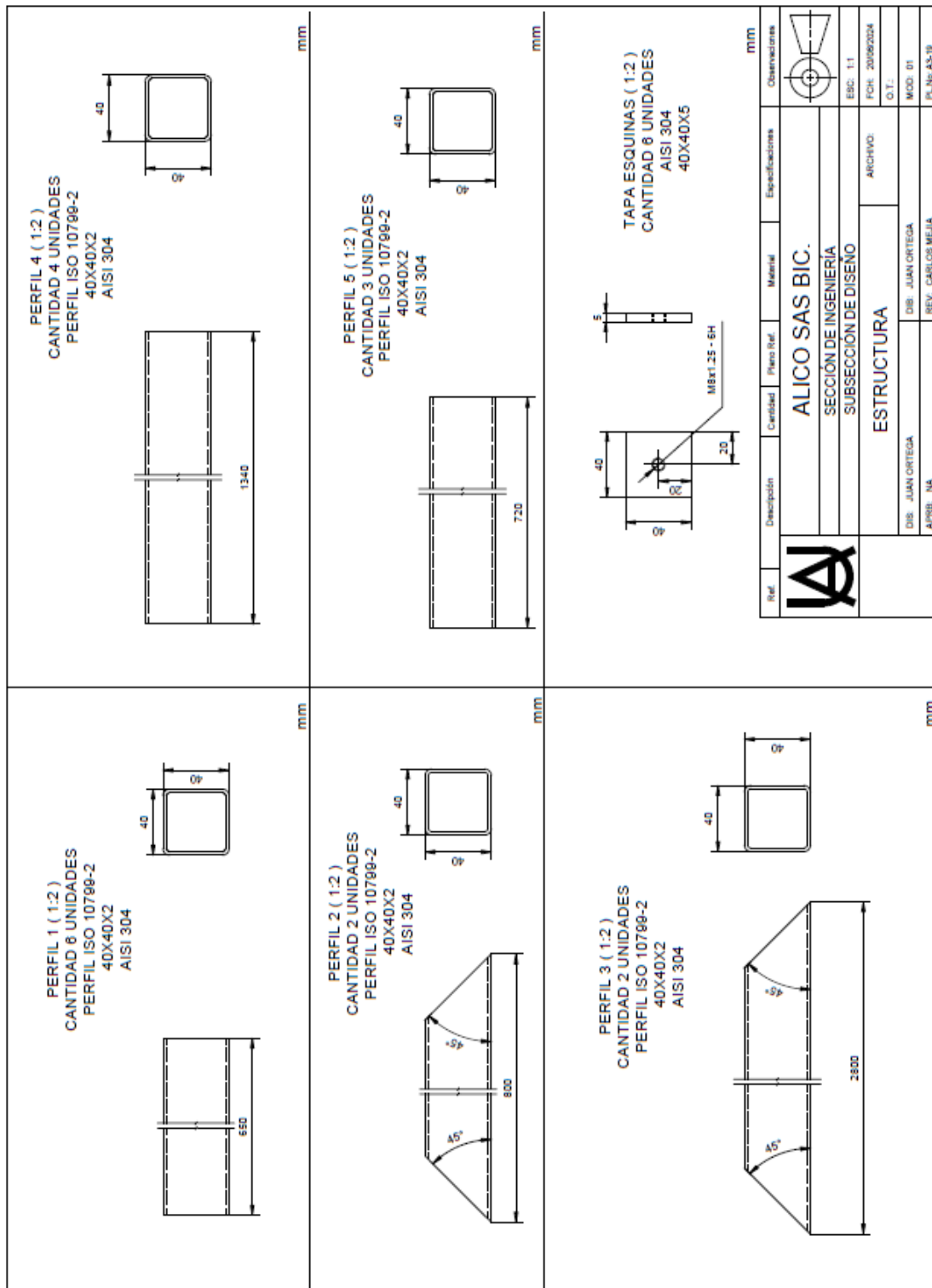
Nota: Elaboración propia.

Anexo 19
Plano sprocket.



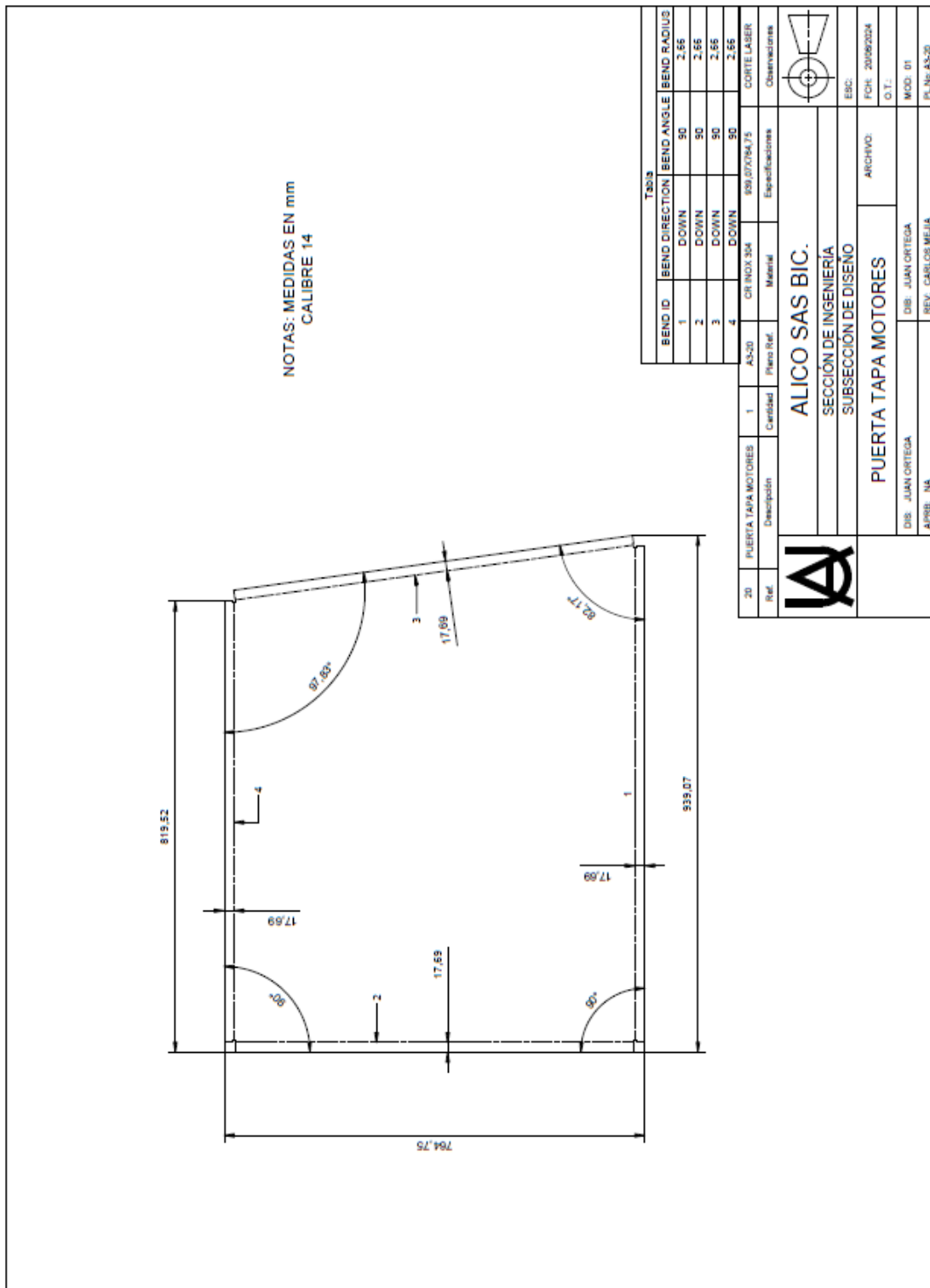
Nota: Elaboración propia.

Anexo 20
Plano estructura.



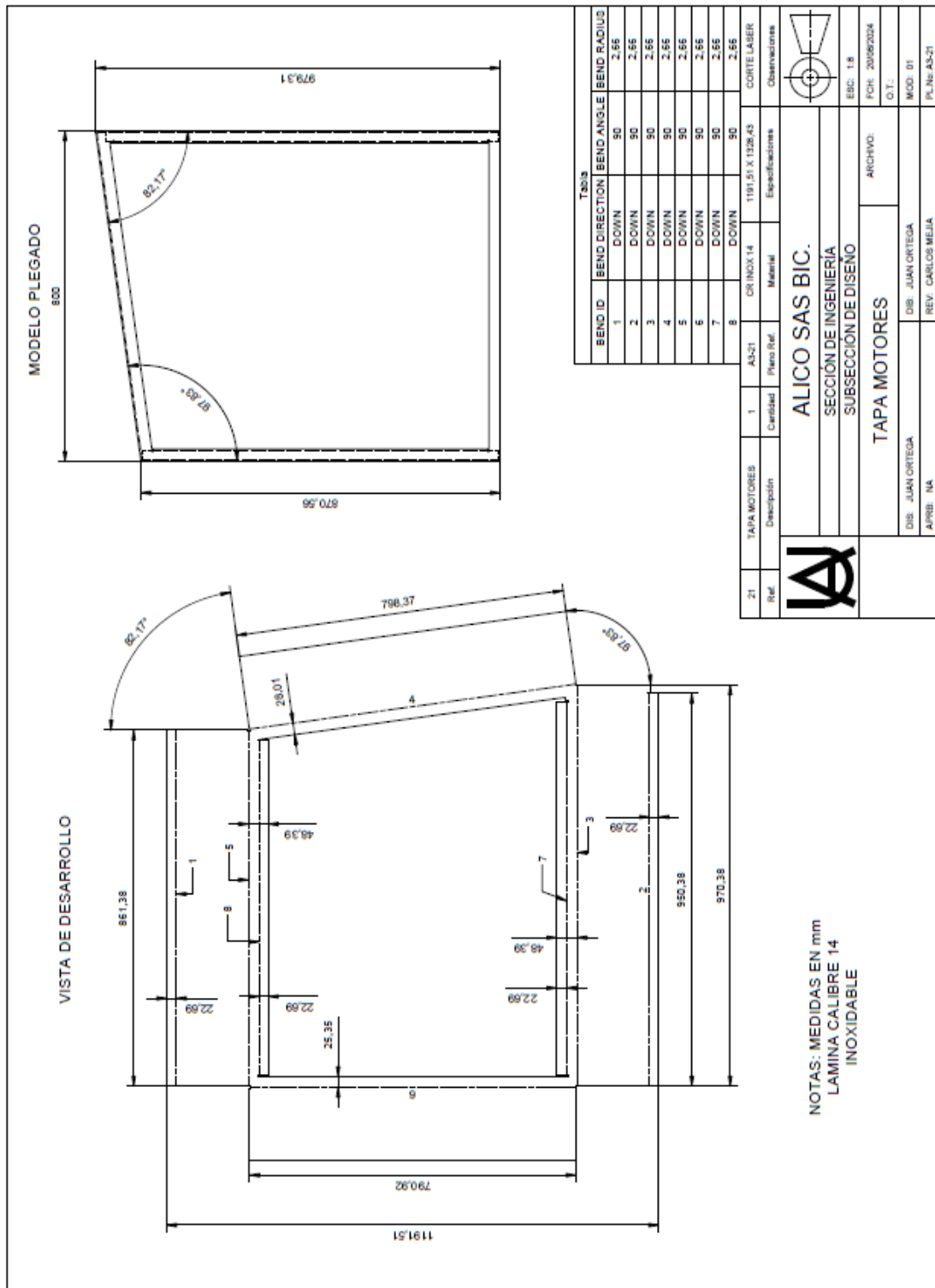
Nota: Elaboración propia.

Anexo 21
Puerta tapa motores.



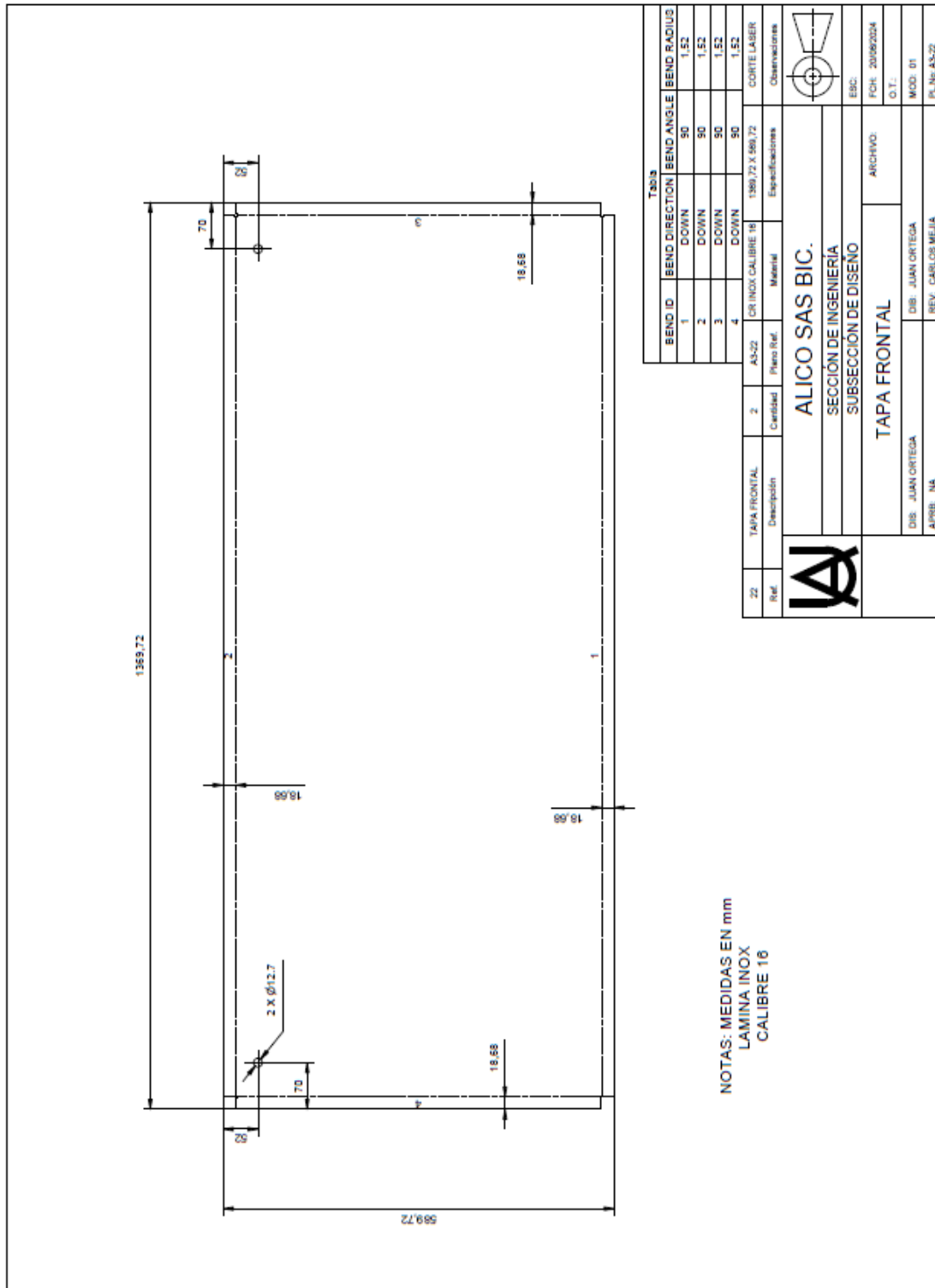
Nota: Elaboración propia.

Anexo 22
Tapa motores.



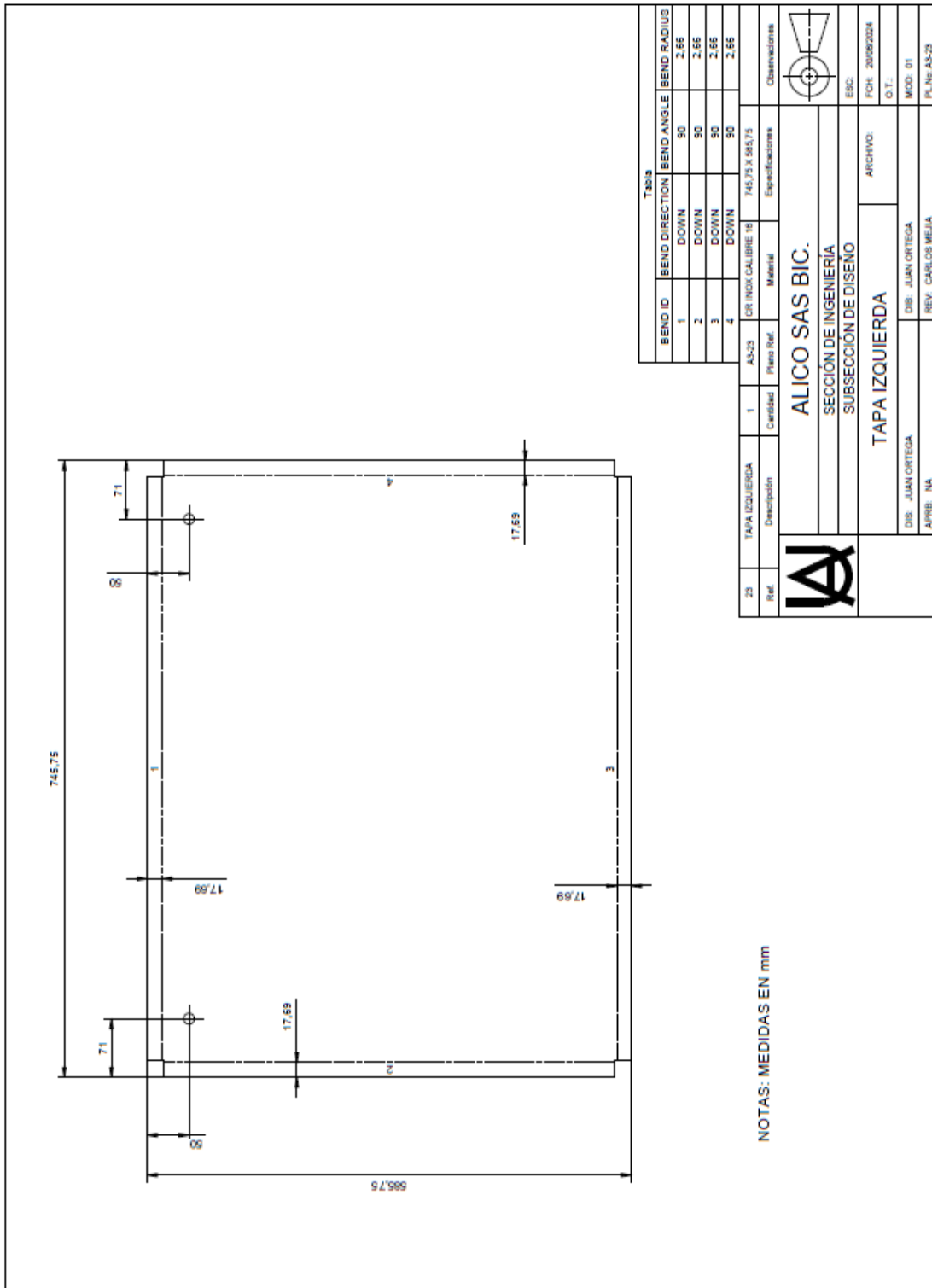
Nota: Elaboración propia.

Anexo 23
Tapa frontal.



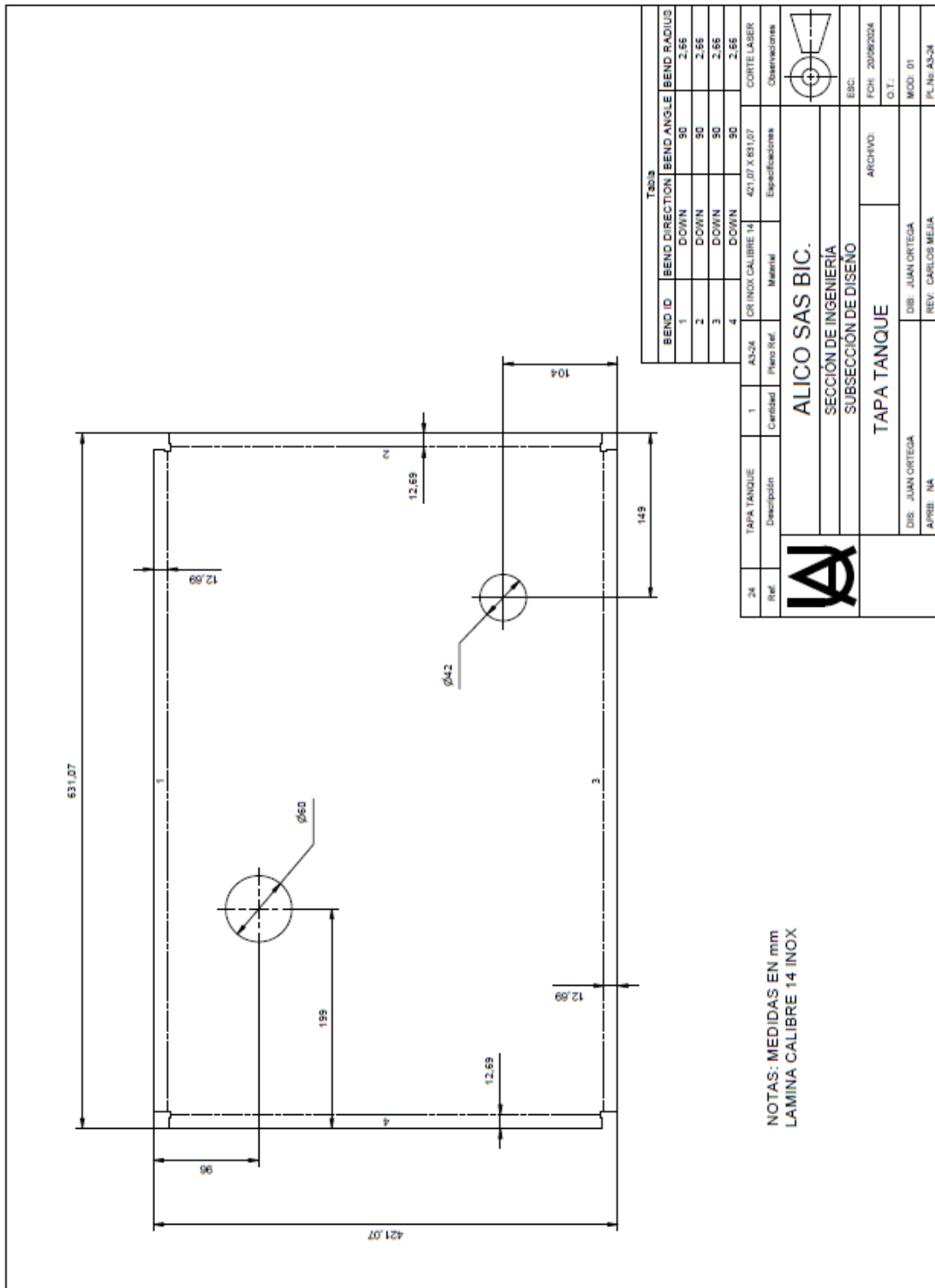
Nota: Elaboración propia.

Anexo 24
Tapa izquierda



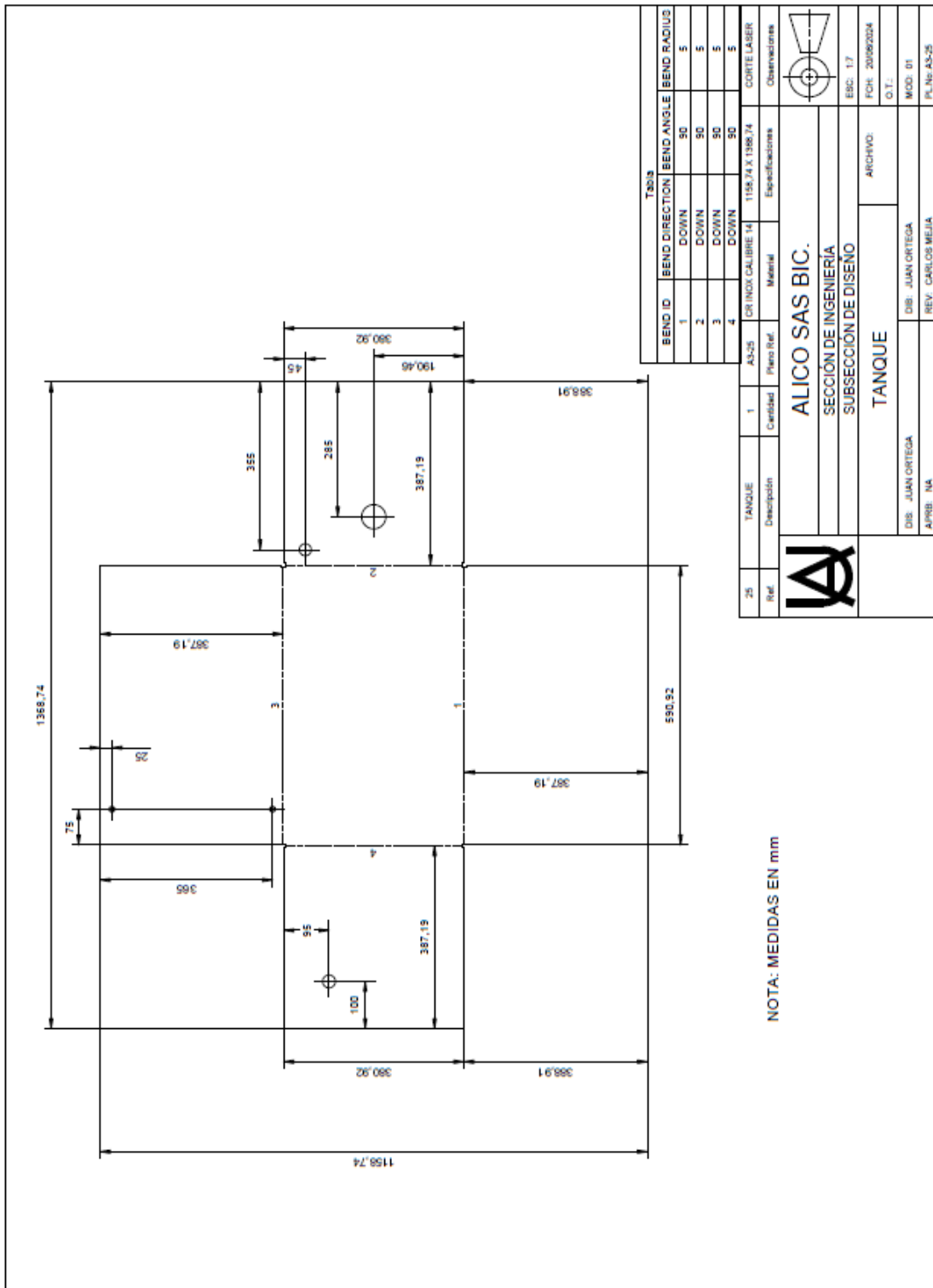
Nota: Elaboración propia.

Anexo 25
Tapa tanque.



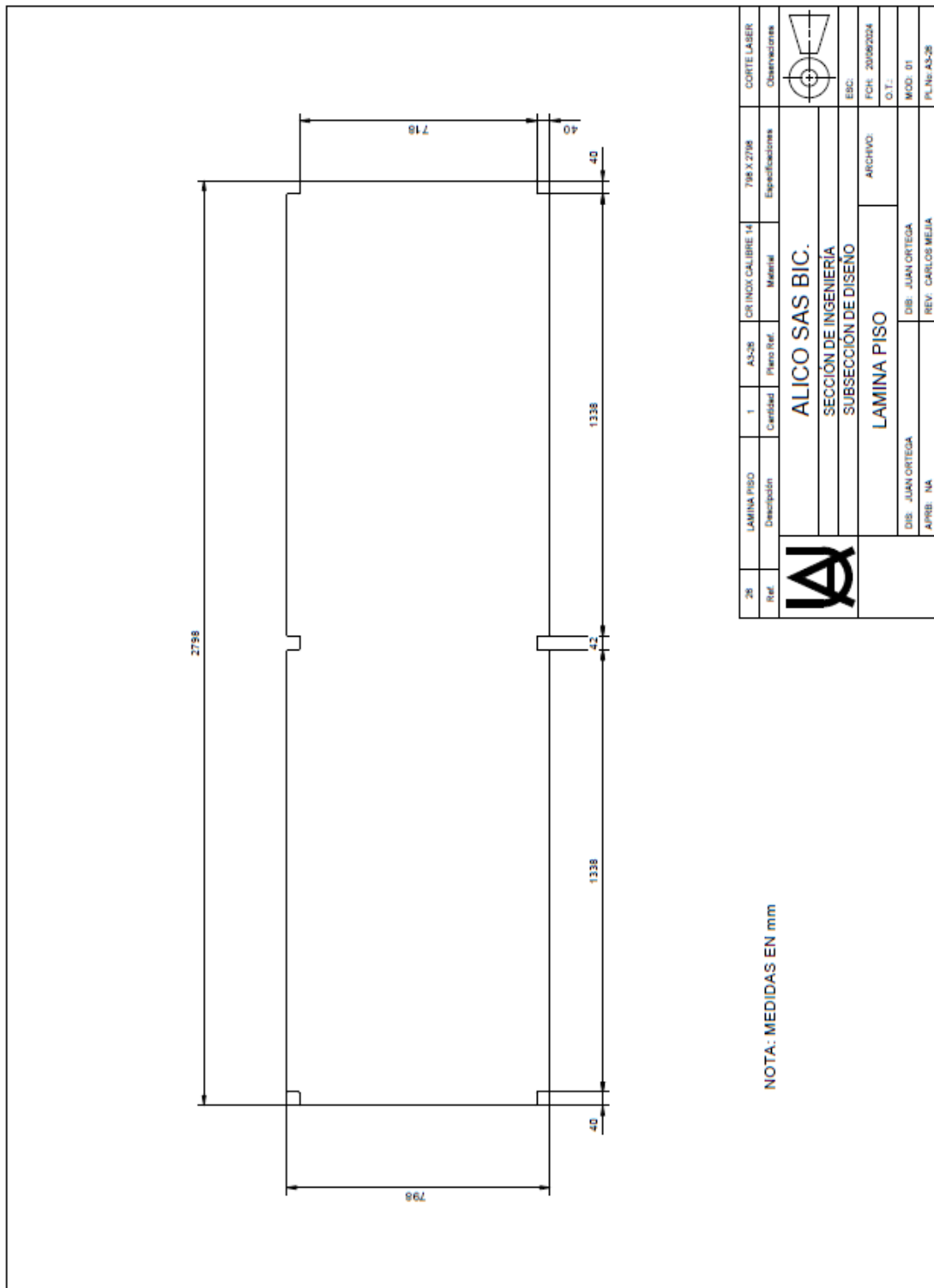
Nota: Elaboración propia.

Anexo 26
Plano tanque.



Nota: Elaboración propia.

Anexo 27
Plano lamina piso.



Nota: Elaboración propia.

