

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Diseño de un horno crematorio privado por combustión para
mascotas con una capacidad máxima de 30 kg**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

Xavier André Ezequiel Enríquez Paredes

ASESOR:

Ronald Eduardo Mas Bautista

Lima, agosto, 2024

Informe de Similitud

Yo, Ronald Eduardo Mas Bautista,

docente de la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Pontificia

Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado

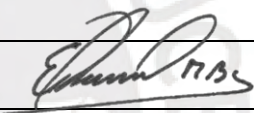
Diseño de un horno crematorio privado por combustión para mascotas con una capacidad máxima de 30 kg

del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as) Xavier André Ezequiel Enríquez Paredes,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 16%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 05/08/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, agosto de 2024

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Mas Bautista, Ronald Eduardo</u>	
DNI:41092359	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1507-462X	

RESUMEN

En el territorio peruano, viven una gran cantidad de animales domésticos, principalmente felinos y canes, y se requiere la intervención humana en la eventualidad de la muerte de este. Esta situación genera complicaciones ambientales, logísticas y sanitarias que afectan a la comunidad. Una de las alternativas para cubrir dicha necesidad es mediante la cremación, proceso que involucra la descomposición de la materia orgánica mediante combustión. Se propone un horno crematorio que realice la cremación del cuerpo de una mascota con capacidad máxima de 30 kg con unas medidas de 1.9 m de ancho, 2.03 m de largo, y 2.2 m de alto. Esta contiene una mesa de rodillos para el ingreso de mascotas con una velocidad de 0.03 m/min, que tenga 2 dos espacios, uno para la combustión con una temperatura de operación de 600 °C y otra para la postcombustión con una temperatura de 900 °C. En la primera se aloja la mascota para la incineración y en la segunda para realizar una filtración inicial del gas realizando una segunda combustión a una mayor temperatura. La combustión dura de 1 hora después del procedimiento de encendido del *burner*. Asimismo, se selecciona una torre de lavado a contraflujo considerando un flujo de gas de combustión de 1.25m³/h cuya composición se asume que consiste en CO₂ y H₂O. Cuenta con el subsistema de trituración, en donde realiza la pulverización de los huesos generados luego de la cremación, con una duración de 15 segundos, y se deposita en un contenedor para ser retirado por el operario encargado de la máquina. El incinerador está acondicionado con un panel de control para observar los estados y variables del proceso de cremación como las de temperatura y relación aire/combustible en las cámaras y cuenta con botones para iniciar o finalizar el funcionamiento del sistema, el desarrollo de la incineración es automatizado, no obstante, ha de ser necesaria la acción de un ser humano para eliminar el producto obtenido, se adicionan botones de emergencia para realizar la parada de la máquina cuando sea necesario. Se simulan los esfuerzos mediante el software INVENTOR la estructura, las cuchillas, los rodillos. Para la simulación del lazo de control de temperatura y relación aire/oxígeno en las cámaras se hace uso del software Matlab. Se finaliza el proyecto realizando un análisis de costos del sistema.



Dedico este trabajo a Dios, mis padres Claudia y Gonzalo, abuelos, y hermano Mathías; con su apoyo y cariño incondicional me da las fuerzas para seguir adelante en cada objetivo que me propongo, ahora y siempre. Muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente la ayuda y apoyo de los ingenieros Jhon Portella y Elizabeth Villota, de mi asesor el ing. Ronald Mas, y mis jurados Luis Chirinos y Jose Balbuena, sin su apoyo y guía no hubiera podido conseguir este objetivo.

A Dios, por darnos unión y salud.



ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
INTRODUCCIÓN	01
1.1 Breve historia de los animales de compañía	01
1.2 Planteamiento de la problemática: Inadecuada gestión del fallecimiento de una mascota	05
1.3 Propuesta de solución	06
1.4 Funcionamiento general del sistema	06
1.5 Objetivos	06
1.5.1 Objetivo general	06
1.5.2 Objetivos específicos	06
1.6 Alcance del proyecto	07
1.7 Metodología	07
ANTECEDENTES	11
2.1 Marco teórico	11
2.1.1 Proceso de cremación	13
2.1.2 Consideraciones para elección del tamaño	13
2.1.3 Suministro de combustible	15
2.1.4 Aspectos relevantes en el diseño de hornos crematorios	17
2.1.5 Trituración de material residuo: Cremulación	19
2.1.6 Emisiones y proceso de lavado de gases	20
2.2 Revisión del estado de la tecnología	23
2.3 Lista de requerimientos	26
DISEÑO CONCEPTUAL	29
3.1 Estructura de funciones	29
3.2 Concepto de solución óptimo	32
DISEÑO MECATRÓNICO	39
4.1 Diseño del subsistema de cremación	39
4.1.1 Cálculo estequiométrico para temperatura de llama	39
4.1.2 Selección de quemadores para cámaras de combustión y postcombustión	42
4.1.3 Dimensionamiento de cámaras	44
4.1.4 Cálculo de transferencia de calor en las cámaras	47
4.1.5 Selección de sensores de temperatura y de oxígeno para cámaras	52
4.2 Diseño de estructura	53
4.2.1 Simulación de resistencia mecánica de estructura	56

4.3	Diseño de subsistema de tratamiento de gases : Selección de lavador de gases	57
4.3.1	Selección del lavador de gases	57
4.4	Diseño del subsistema de ingreso	61
4.4.1	Selección de mecanismo de ingreso	61
4.4.2	Diseño de rodillos transportadores	62
4.4.3	Selección de rodamientos en rodillos	63
4.4.4	Selección componentes electrónicos para el ingreso	64
4.5	Diseño del subsistema de suministro de combustible	64
4.5.1	Determinación de diagrama de conexiones para gas natural	64
4.5.2	Uniones del quemador hacia las cámaras	65
4.6	Diseño del subsistema de disposición de cenizas	66
4.6.1	Diseño de mecanismo de traslado de mascota a cremulador	66
4.6.2	Diseño de la cuchilla de trituración	67
4.6.3	Diseño del eje de triturado: Análisis de cargas combinadas	71
4.6.4	Selección de motor	73
4.6.5	Selección de rodamientos para el eje de trituración	74
4.6.6	Simulación de resistencia mecánica de cuchilla	75
4.6.7	Simulación de resistencia mecánica de eje de triturado	76
4.7	Lógica de funcionamiento general del sistema	77
4.7.1	Sistema de control del horno crematorio	77
4.7.2	Comparación de estrategias de control para quemadores	78
4.7.3	Selección de controladores	79
4.8	Diseño del panel de control	80
4.9	Integración del sistema	82
4.9.1	Presentación de modelo 3D	82
4.9.2	Planos	87
4.9.3	Simulación de lazo de control en Matlab	91
EVALUACIÓN DE COSTOS		94
5.1	Estimación de costos	94
5.1.1	Costo de diseño	94
5.1.2	Costo de componentes	94
5.1.3	Costo de fabricación	95
5.1.4	Costo total	96
5.2	Estimación de tasa de retorno	96
CONCLUSIONES		98
RECOMENDACIONES		101
BIBLIOGRAFÍA		102
ANEXOS		118
	Anexo A: Descripción de cremación por combustión e hidrólisis alcalina	118

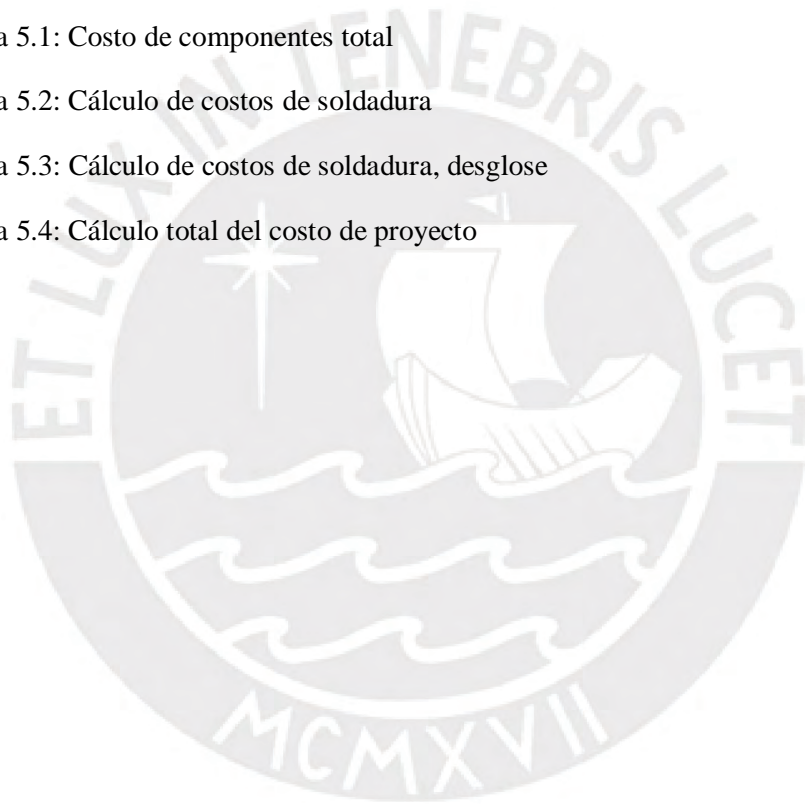
Anexo B: Características de la materia de ingreso en crematorio	121
Anexo C: Documentación de la estructura de funciones	123
Anexo D: Aspectos relevantes al diseño de hornos industriales(crematorios)	126
Anexo E: Revisión de estado de la tecnología	131
Anexo F: Matriz morfológica, conceptos de solución y evaluación técnica-económica	148
Anexo G: Diagrama de bloques del horno crematorio	164
Anexo H: Gráficos de emisividad	165
Anexo I: Gráficos catálogo de rodamientos SKF	167
Anexo J: Método de cálculo para soldadura	170
Anexo K: Diagrama de esquema eléctrico	171
Anexo L: Análisis de costos	172
Anexo M: Catálogos de lavadores comerciales evaluados	177
Anexo N: Presentación de planos mecánicos	179



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Comparación de características de combustibles para hornos	15.
Tabla 2.2: Comparación de tipos de revestimientos para hornos	18
Tabla 2.3: Límites máximos permitidos en calderas de uso industrial	21
Tabla 2.4: Comparación entre modelos comerciales integrales	24
Tabla 2.5: Comparación entre modelos patentes integrales	25
Tabla 2.6: Lista de exigencias	26
Tabla 3.1 Evaluación técnica	33
Tabla 3.2 Evaluación económica	34
Tabla 4.1: Tabla de composición química del gas natural	39
Tabla 4.2: Tabla de composición química del aire	40
Tabla 4.3: Tabla de entalpías de formación de los productos de la combustión	41
Tabla 4.4: Tabla de entalpías de formación de los reactivos de la combustión	41
Tabla 4.5: Tabla de masa atómica de los reactivos y productos de la combustión	42
Tabla 4.6: Modelos de quemadores	43
Tabla 4.7 Datos para el cálculo de desarrollo de llama	45
Tabla 4.8 Consideraciones para dimensionamiento	46
Tabla 4.9: Nomenclatura para de la ecuación para calcular la altura de la chimenea	48
Tabla 4.10: Conductividades de los materiales de la cámara de combustión	51
Tabla 4.11: Comparativa entre sensores de temperatura	52
Tabla 4.12: Comparativa entre sensores de oxígeno	53
Tabla 4.13: Comparativa de estructuras metálicas	55
Tabla 4.14: Comparativa entre lavadores de gases a contraflujo	58
Tabla 4.15: Tabla de comparación de materiales para rodillos	61
Tabla 4.16: Tabla comparativa de actuadores lineales para el ingreso	64
Tabla 4.17: Tabla de accesorios de gas	65
Tabla 4.18: Comparación de actuadores lineales para el traslado a la trituración	67

Tabla 4.19: Tabla de selección de cuchillas	68
Tabla 4.20: Tabla de selección de motores DC	73
Tabla 4.21: Definición de variables a controlar y/o monitorear	77
Tabla 4.22: Comparación entre controladores	79
Tabla 4.23: Comparación entre LEDS	81
Tabla 4.24: Comparación entre botones	81
Tabla 4.25: Comparación entre pantallas HMI	82
Tabla 4.26: Potencia total consumida	87
Tabla 5.1: Costo de componentes total	94
Tabla 5.2: Cálculo de costos de soldadura	95
Tabla 5.3: Cálculo de costos de soldadura, desglose	95
Tabla 5.4: Cálculo total del costo de proyecto	96



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Este primer capítulo enmarca el contexto del proceso de cremación, en particular, en el caso de los animales de compañía; se hace una recapitulación de la historia de ambos conceptos. Luego de conocer el entorno que envuelve el trabajo, se plantea la problemática que envuelve al proyecto, con justificaciones en investigaciones desarrolladas anteriormente en diversas materias como la ingeniería, psicología y la legislación vigente en el territorio peruano; que relacionan de manera integral con diferente enfoque el asunto a resolver. Se orienta el proyecto en las leyes actuales, tanto hacia las emisiones del horno como a la disposición segura del residuo sólido generado por la mascota. Se realiza una presentación general del proceso de cremación y su comparación con otros procesos, como elección diferente ante la complicación. En este sentido, se establece el objetivo general y los objetivos específicos que tiene el trabajo y se identifica los elementos a ser automatizados; se realiza la exposición de la propuesta de solución siguiendo lo indicado en las normas VDI 2221 y 2206. Finalmente, se describe la metodología seguida durante el desarrollo del presente proyecto.

1.1. Breve historia de los animales de compañía

Tal como menciona el diccionario inglés *Britannica*, la existencia de las mascotas está conectada íntimamente con el proceso de domesticación, los roles que estos cumplían a lo largo de la historia han sido muy variados, en las etapas más tempranas se utilizaban como recurso con fines económicos, como animales de caza, de protección de plagas, de guardianes, entre otras funciones (*Britannica*, 2020). Asimismo, las mascotas cumplían, un rol de compañía, tal como se menciona en el portal de *National Geographic*, los egipcios eran representados junto a sus mascotas, ya sea en esculturas o pinturas en los muros de sus tumbas y sarcófagos (*Historia Nacional Geographic*, 2016), tal como se muestra en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Representación artística de un egipcio regando su jardín junto a su perro. Fuente: National Geographic-Los animales de compañía en el antiguo Egipto (https://historia.nationalgeographic.com.es/a/animales-compania-antiguo-egipto_6319)

En la Edad Media, el poseer una mascota era popular entre la aristocracia y el clero, eran utilizados para las cacerías. La naturaleza protectora del perro lo vincula al ideal cristiano de lo divino, mientras que en civilizaciones anteriores lo asociaba con deidades como Gula (en Mesopotamia) o Anubis (Egipto) y se le consideraba un guía que se movía con facilidad entre el más allá y el mundo mortal (China, Mesoamérica y otros lugares) , denotando la gran relación que la humanidad ha tenido con sus mascotas a lo largo de la historia.

Actualmente, el contexto es similar, el portal enciclopédico *Britannica* establece una diferencia entre los seres vivos domésticos conformados por los perros, gatos, etc, que tienen una finalidad de compañía, y los animales de granja tales como vacas, ovejas, cerdos que tienen una finalidad económica y de mantenimiento del humano sirviendo como ganado y esencialmente como un medio de producción (2020). En este sentido, los animales domésticos han cobrado una mayor importancia pudiendo ser considerados miembros de la familia, con una comunidad que los rodea (Grier, 2015, p. 8), dando roles como ayudantes y compañeros o incluso animales de soporte como lazarillos o animales terapéuticos (*Pedigree*, 2017)

En resumen, los autores citados dan noción de la existencia a lo largo de la historia de los animales de compañía, especialmente perros y gatos; con mayor relevancia recientemente; estos tienen funciones de acompañamiento y de asistencia en casos de

discapacidad. Gracias a este contexto, se toma dimensión de la importancia del rol de las mascotas en la sociedad actual y el valor del presente proyecto, en el aspecto social, económico y de innovación tecnológica.

1.2. Planteamiento de la problemática

En cuanto a la cantidad de mascotas que existen en nuestro país, son presentados las conclusiones de una encuesta realizada en agosto del 2018, con un conjunto de 1531 familias encuestadas. Esta, cómo se muestra en la Figura 1.2, reveló que el 46.1% tienen 1 mascota, 25.6% poseen 2 mascotas, 11.7% tiene 3, 7.8% tiene 4 y 8.8% poseen 5 mascotas. El promedio es de 2.2 mascotas, y al realizar una división por estratos en el AB hay un promedio de 1.8 y en el CDE un 2.4 promedio de mascotas (CPI, 2018).

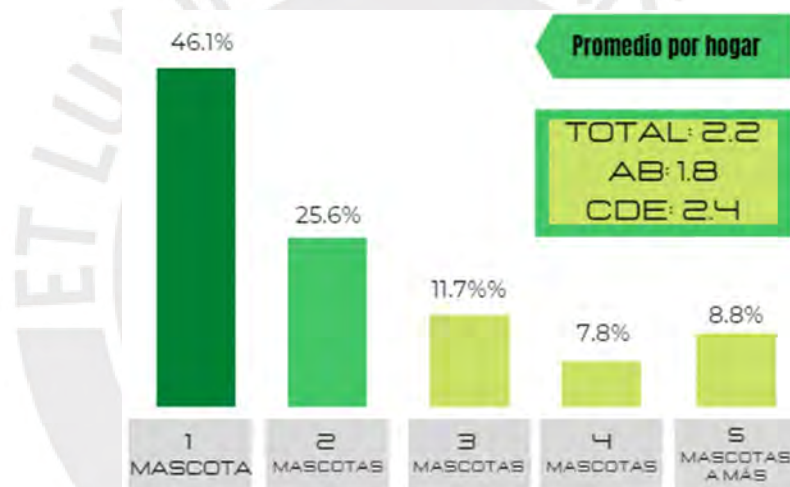


Figura 1.2. Resultados de encuesta “Cantidad de mascotas por hogar”. Fuente: Elaboración propia en base a encuesta de CPI.

En cuanto al tipo de mascota de esta misma encuesta, tal como se muestra en la Figura 1.3, los perros y gatos son las mascotas predilectas en los hogares urbanos de nuestro país, con un valor de 78.4% y 42.4%, respectivamente. En último lugar, se encuentran los conejos con un valor de 3.6%. En cuanto a los niveles socioeconómicos, 86.6% del A/B tiene al menos un perro, el C 80.8% y en D/E donde la tendencia se mueve más a la tenencia de los gatos con un 50.4% (CPI, 2018).

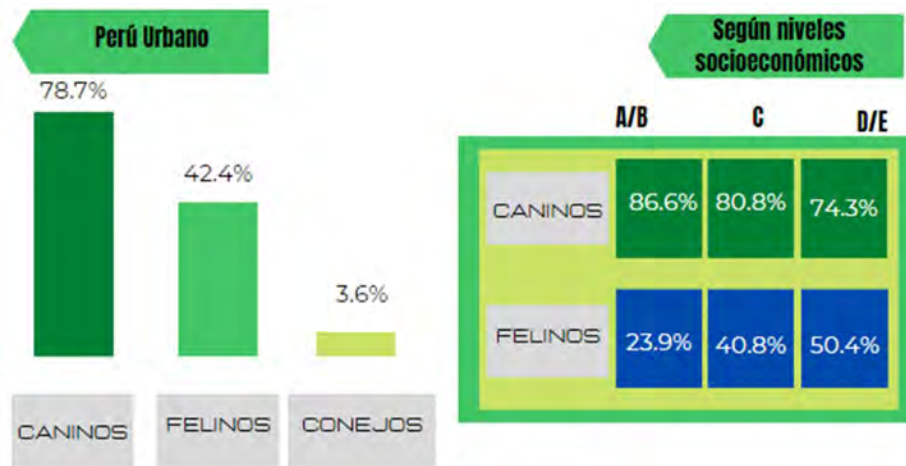


Figura 1.3: Resultados de encuesta “Tipos de mascota en el hogar”. Fuente: Elaboración propia basado en encuesta de CPI.

En cuanto a la cantidad de mascotas en Perú, se puede recurrir a la encuesta ejecutada por Ipsos, llamada “Mascotas 2016”. Esta encuesta muestra que, tal como se observa en la Figura 1.4, existen en la actualidad una cantidad aproximada de 1.37 millones de hogares de Lima Metropolitana tienen alguna mascota en casa con una predicción de crecimiento en los próximos años (Ipsos, 2017).

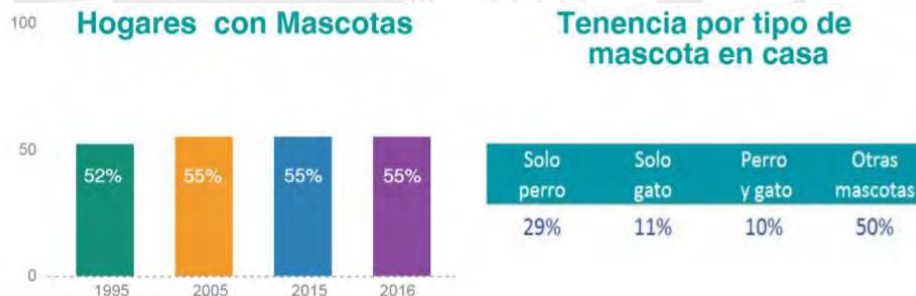


Figura 1.4: Gráfico de Ipsos respecto a los hogares con mascotas y su tipo. Fuente: CPI.

Perú tiene una cantidad de mascotas considerable, especialmente perros. Como se analiza en el sondeo y está arraigado en los diferentes estratos socioeconómicos. Esta situación plantea una serie de consecuencias llegado el momento del fallecimiento de una mascota.

Inadecuada gestión del fallecimiento de una mascota

Es el conjunto de problemas ocasionados ante el fallecimiento de una mascota, tanto el problema físico generado del residuo material proveniente del cuerpo, como la

contaminación provocada por la incorrecta gestión de la disposición de este. El conjunto de estadísticas mostradas anteriormente muestra una cantidad no menor de mascotas en nuestro país que, cuando fallecen, hace necesaria la intervención humana para la gestión correcta y respetuosa de los residuos generados por los mismos. Por ejemplo, en la cremación de humanos, existen una serie de buenas prácticas que han de seguirse para todo procedimiento de cremación. Que incluye un reconocimiento de la persona a incinerar, una preparación, proceso de cremación, el cremulado y la disposición final que es el emplazamiento de las cenizas en una urna para ser devuelta a los familiares (*Funeralwise*, 2021), de la misma manera se recomienda proceder en el caso de las mascotas.

La manera más tradicional de situar los residuos de los animales es por el procedimiento de entierro, no obstante, esta tiene peligros a tener en cuenta si es realizado de manera incorrecta o si las condiciones geográficas no son las adecuadas. Tal como afirma el portal *Animal's Health*, sepultar a una mascota en el exterior del hogar representa un peligro para la salud porque sus restos podrían representar un riesgo para la salud en enfermedades contagiosas como el parvovirus, toxoplasmosis y salmonelosis (*Animal's Health*, 2019).

Respecto al procedimiento de sepelio, hay camposantos exclusivos para mascotas como lo es el Bosque del Amigo Fiel en Chosica, cuenta con más de 270 mascotas enterradas en él (Redacción Perú 21, 2015). La amenaza de tener un espacio designado para las mascotas es que inevitablemente, este tiene un límite, lo que lleva a un problema de espacio, de la misma manera que se está generando en los cementerios para personas. La agencia de noticias EFE, afirma, respecto al cementerio de un municipio brasileño llamado Victoria de Santo Antao, que los cadáveres son amontonados por falta de espacio (EFE, 2021). Es evidente, que esta situación se ha agravado en años recientes, presentando un riesgo considerable para la salud pública.

1.3. Propuesta de Solución

El presente proyecto propone la realización del diseño de un horno crematorio para mascotas que satisfaga los requerimientos ambientales tanto en términos de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera como en olores y ruidos al exterior, según

estándares internacionales, de manera verificable en alguna parte del proceso. El proceso de automatización se realiza, tanto en la cremación del cadáver como en la disposición de los residuos generados. Además, este tiene una capacidad máxima para albergar a una mascota de 30 kg.

1.4. Funcionamiento general del sistema

El proceso inicia con el ingreso del cadáver de la mascota, luego se aloja en la cámara principal, donde se crema el cadáver en su totalidad dejando, por un lado, los huesos y por otro los gases de combustión. En el caso de los gases de combustión, pasa por la segunda cámara denominada cámara de postcombustión, y los huesos son triturados mediante un proceso de cremulado para luego ser entregados al operario. Luego, los gases pasan por un proceso de tratamiento para reducir las emisiones de los gases de combustión generados por el sistema. Se toma un modelo de cremación privada, una mascota por proceso. Se utiliza el proceso de cremación por combustión debido a que es un proceso ampliamente usado en la industria que cuenta con adecuada información disponible y legislación vigente. Esta tiene un sistema de tratamiento de gases para la reducción de emisiones de gases potencialmente contaminantes.

1.5. Objetivos:

1.5.1. Objetivo General:

Diseñar un horno crematorio, mediante combustión para mascotas medianas con máximo de 30 kg, que cuente con un sistema de tratamiento de gases y proceso de cremulado.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- Revisar el estado de la tecnología de los procesos involucrados como la cremación, tratamiento de gases y cremulado, así como los procedimientos de seguridad involucrados en el sistema respecto a la interacción con el operario en los procesos de cremación.
- Obtener el diseño conceptual óptimo del sistema.
- Dimensionar y diseñar las cámaras de combustión y postcombustión en las que se aloja la mascota durante todo el proceso de cremación,

mediante el análisis de la transferencia de calor en el sistema para que se realice la cremación completa del cuerpo.

- Seleccionar los componentes del subsistema de tratamiento de gases procedentes del proceso de combustión.
- Diseñar el subsistema de cremulación, encargado de triturar los residuos sólidos generados en la cremación.
- Definir la estrategia del sistema de control de temperatura de las cámaras de combustión y relación aire/combustible necesaria para la operación de los quemadores.
- Evaluar técnica y económicamente el diseño del horno.

1.6. Alcance del proyecto

Luego de la revisión de la problemática se establece el alcance del proyecto en materia de cómo recibe a la mascota y de qué manera se dispone luego de todo el proceso. Se recibe a la mascota en un estado que el operario pueda introducir sin mayor modificación a la máquina. El horno recibe a una mascota con un máximo de 30 kg. La mascota pasa durante 1 hora y 8 minutos en el horno crematorio y los gases expedidos son sometidos a un sistema de tratamiento utilizando agua. Posteriormente, el resto sólido de huesos remanentes de la cremación son sometidos a un proceso de triturado durante 20 segundos para luego ser colocados en un envase para ser retirado por el operario. Se indica una capacidad de cremación de 6 animales por día. Respecto a la simulación, se propone una simulación estructural mediante el programa INVENTOR, para validar los cálculos realizados. Se realiza una simulación del proceso de control de temperatura de la cámara de combustión mediante MATLAB, para observar cómo varía la temperatura de operación de ambas cámaras durante toda la duración del proceso de cremación.

Los entregables que el proyecto incluye son los planos de despiece de las piezas a fabricar, así como los planos de ensamble de los subsistemas, los planos eléctricos, los planos P&ID, las simulaciones anteriormente mencionadas, expresadas en gráficos de esfuerzos y desplazamientos.

1.7. Metodología

Para la presente investigación se utiliza la metodología de diseño VDI 2221, la cual consiste en la definición de un problema, para el desarrollo de una serie de resultados como lo son la generación de una lista de exigencias, estructura de funciones, conceptos de solución, proyecto preliminar. Según la Figura 1.5, este se divide en fases (Jansch, J., & Birkhofer, H.,2006).

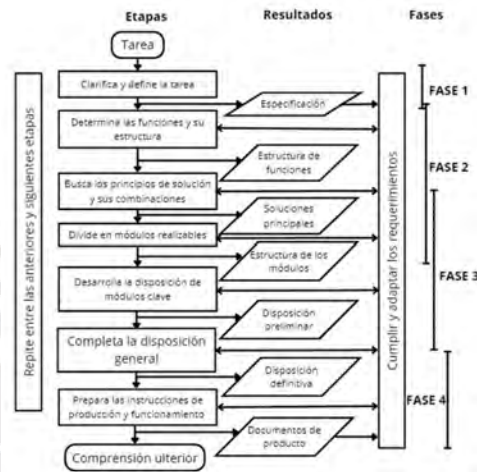


Figura 1.5. Proceso de metodología de diseño VDI 2221. Fuente: Beuth Verlag (https://www.researchgate.net/figure/The-VDI-guideline-2221-in-a-graphic-form-4_fig1_284508785)

El trabajo se distribuye en las siguientes etapas según la norma descrita anteriormente:

1. Precisión del problema.
2. Determinación de funciones y estructura.
3. Búsqueda de conceptos de soluciones y su estructura.
4. Subdivisión en módulos realizables.
5. Configurar los módulos apropiados.
6. Configurar el producto total.
7. Elaboración de la documentación de operación.

Asimismo, se sigue la metodología de diseño VDI 2206 en cuanto a la estructura V en nivel macro para la solución de problemas (Gausemeier y Moehring 2003), se describe de la siguiente manera:

1. Requisitos
2. Diseño del sistema
3. Diseño específico por dominios

4. Integración del sistema
5. Validación
6. Análisis de modelo
7. Producto

El proceso mencionado se hace referencia en la Figura 1.6, en donde se puede apreciar gráficamente dicho proceso, siguiendo una estructura en forma de V.

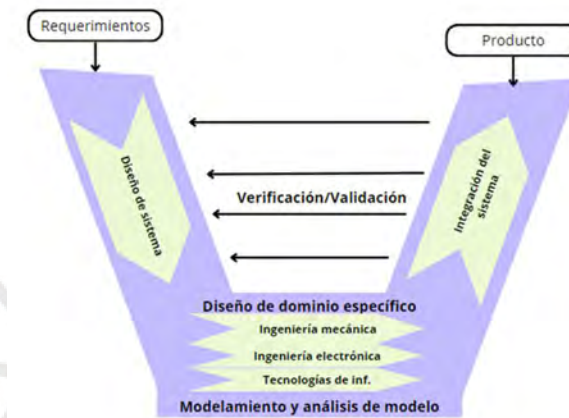


Figura 1.6: Metodología de diseño VDI 2206 macro-nivel en V. Fuente: The Design Society.

Se divide en subsistemas en cumplimiento de la norma VDI mencionada, para el ingreso de la mascota, la cremación de esta mediante la combustión; luego el procedimiento de triturado, luego el proceso de eliminación de vapores generados mediante lavador a contraflujo. Se selecciona materiales, accesorios, sensores y actuadores para cada tarea. En el caso del subsistema de cremación se hace la fórmula para la combustión, calculando los coeficientes de llama adiabática y las temperaturas de funcionamiento de las cámaras para calcular la transferencia de calor con el objetivo de conseguir los espesores de los ladrillos refractarios y material aislante necesarios para el correcto aislamiento térmico en base a normas o recomendaciones internacionales. En cuanto al diseño de la torre de lavado, se elige entre modelos de torre comerciales considerando el caudal de gas de combustión del sistema. Asimismo, para el subsistema de triturado y disposición final de cenizas se plantea el diseño del mecanismo de traslado hacia el cremulador, así como el diseño de las cuchillas y con un análisis de cargas combinadas plantean esfuerzos máximos en las zonas más críticas y mediante la simulación 3D, validar su diseño. Cabe mencionar que se tomarán algunas consideraciones ideales para la resolución de ecuaciones para todos los subsistemas, por ejemplo, la temperatura y presiones atmosféricas se toman como 20

grados Celsius y 1 atm; se toma la combustión en el quemador como completa y se toman aproximaciones en las características de dureza de los huesos como similar a las humanas.

Se recolectan distintos métodos para la simulación, diseño asistido por computadora, diseño de circuitos eléctricos/electrónicos, simulación de sistemas embebidos, simulación de sistemas de control, entre otros, realizados en un dominio único, que plantea la abstracción del concepto para su división en diferentes dominios como lo son el mecánico, eléctrico, de control, informático, hidráulico, entre otros (Sinha et al., 2001).

Esta metodología es similar a la expresada en la norma VDI 2206, sin embargo, la realizada por Sinha y colaboradores incorpora herramientas computacionales concretas para la generación de simulaciones en los distintos dominios relacionados al presente proyecto. Para el dominio mecánico se plantea la simulación mediante el uso de programas como INVENTOR, para obtener el modelo computacional 3D del proyecto y la simulación de las cargas mecánicas a las cuales está sometida el horno crematorio, con el objetivo de verificar el comportamiento y sus puntos críticos. En el ámbito de control se presenta la simulación mediante la herramienta MATLAB que sirve para diseñar y analizar los diferentes parámetros relacionados al sistema de control del proyecto y verificar que su comportamiento sea el deseado.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

Se indaga los principios que subyacen al procedimiento de cremación, al diseño y uso de hornos crematorios, mostrando cuál es la secuencia de procedimientos usados para incinerar a un humano, y de manera similar, a una mascota. Se enuncia cuál es el flujo de materia del sistema y se selecciona algunas patentes o productos comerciales similares del sistema, tanto en el mercado extranjero como en el peruano. Según la norma VDI 2221, mencionada anteriormente, se realiza una división por subsistemas que describen el funcionamiento completo de la propuesta de solución planteada.

2.1 Marco teórico

2.1.1 Proceso de cremación

Las cremaciones modernas, son realizadas de manera muy diferente comparadas al siglo pasado, no existen fuegos abiertos, en su lugar, el cuerpo se coloca en una cámara donde un intenso calor lo transforma en un conjunto de ceniza (Britannica,2020). Este proceso ha sido utilizado por mucho tiempo y las técnicas han sido modificadas acorde al avance tecnológico y las demandas ambientales.

Existe una falta de exclusividad en los emplazamientos crematorios en el Perú, generando un poco aprovechamiento del espacio y de combustible, así como la poca idoneidad del proceso, como prueba se tiene que solamente se tienen 7 espacios crematorios en Lima, y 22 a nivel nacional, distribuidos en varios distritos para cubrir la demanda local, ya sea para humanos o para mascotas, o mixtos; en el caso de las funerarias exclusivas para mascotas a parte del servicio de veterinaria se tiene el servicio de velación, transporte y venta de urnas (Cremación de Mascotas San Martín de Porres, 2018).

Siguiendo el procedimiento expuesto en la norma VDI 2221, el proyecto se divide en diferentes subsistemas que expliquen el proceso y que su integración cumpla el objetivo general planteado. Las funciones específicas se muestran en el Anexo C mediante la estructura de funciones relacionadas a los subsistemas a continuación. En

este sentido, son planteados los siguientes subsistemas tal como se muestra en la Figura 2.1:

- A. Subsistema de ingreso. Permite la entrada segura de la mascota al sistema y es el espacio designado para la introducción por parte del operario. El aislamiento al exterior en términos de temperatura y materia para la operación segura. Empieza con la entrada de la mascota y culmina cuando la mascota se encuentra en la posición adecuada para la cremación.
- B. Subsistema de suministro de combustible: Conjunto de tuberías y accesorios necesarios para proporcionarle combustible al quemador y así generar el calor necesario para el proceso de cremación. Dentro de estas posibilidades se tiene el GLP (gas licuado de petróleo) o GNC (gas natural comprimido). Inicia en el proceso de cremación ya que requiere el ingreso de combustible y culmina cuando se crema por completo a la mascota.
- C. Subsistema de cremación: Es el encargado de alojar al cadáver durante todo el proceso, está acondicionado térmicamente para mantener la temperatura deseada tanto en la cámara de combustión como en la de postcombustión. Es donde quedan las cenizas resultantes del procedimiento de cremación.
- D. Subsistema de disposición: Es el encargado de trasladar el resultado de la cremación al proceso de cremulado, que es el triturado de huesos para terminar en cenizas y luego ser depositado en un recipiente para ser retirado por el operario de la máquina.
- E. Subsistema de lavado: Es el proceso de lavado de gases, mediante diversos métodos, para reducir las emisiones de contaminantes al medio ambiente cuenta con una chimenea, tuberías y ductos en donde por medio de procesos como enfriado y lavado que reduce la expulsión de dichas emisiones, así como equipos como extractores, bombas y similares. Empieza cuando se prenden los quemadores y culmina cuando los quemadores se apagan.



Figura 2.1. Descripción de proceso general del horno crematorio. Fuente Elaboración Propia.

El proceso general se muestra gráficamente en la Figura 2.2 en donde en la parte derecha ingresa al sistema, conectado a la cámara principal en la parte superior y luego la secundaria de postcombustión en la parte inferior, la chimenea y el sistema de suministro de este ejemplo mediante gas natural. Adicionalmente se considera un subsistema de disposición, encargado de la trituración de los huesos generados. Una descripción más extensa se desarrolla en el Anexo A del presente trabajo

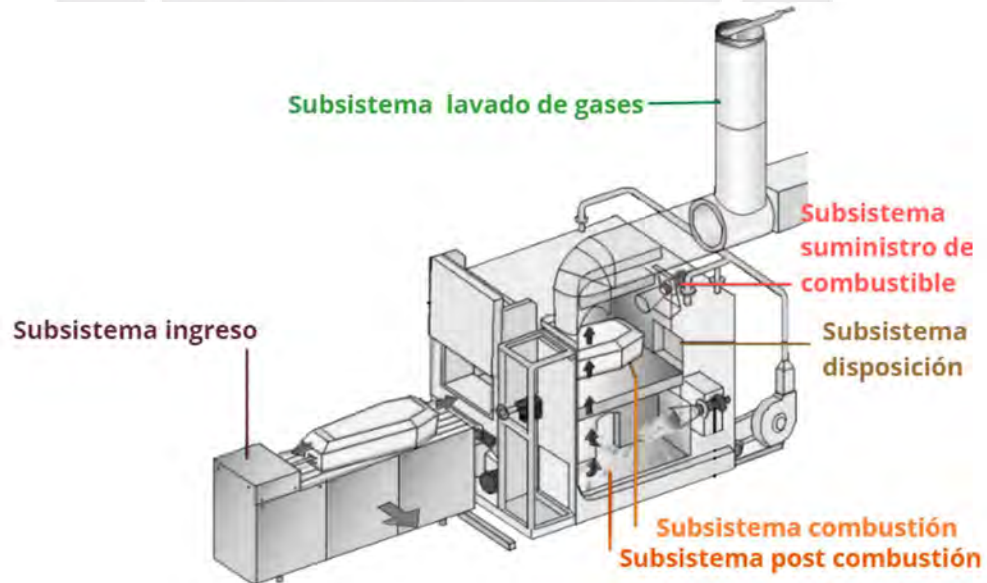


Figura 2.2. Distribución espacial del proceso de cremación. Fuente Elaboración Propia basado en Cremation Systems (<https://www.cremsys.com/services/inspection-preventative-maintenance/>)

2.1.2 Consideraciones para elección de tamaño

La elección de la capacidad es una variable fundamental para los futuros dimensionamientos y consideraciones de sensores y actuadores, y el establecimiento de tiempos de proceso. Para determinar el valor nominal del tamaño del cuerpo a considerar basado en el estudio realizado por La Patria, el cual afirma que las razas de mascotas preferidas son el Yorkshire Terrier, pastor alemán, French Poodle y el Golden Retriever (La Patria, 2020). Asimismo, el portal Perú-Retail reporta un cuadro de la tendencia del tamaño más popular de perros en Perú, tiene un 38% de mascotas muy pequeñas, 34% mascotas pequeñas, 21% mascotas medianas y 6% de mascotas grandes (Perú-Retail, 2019). Estos valores son mostrados en la Figura 2.3 a continuación:

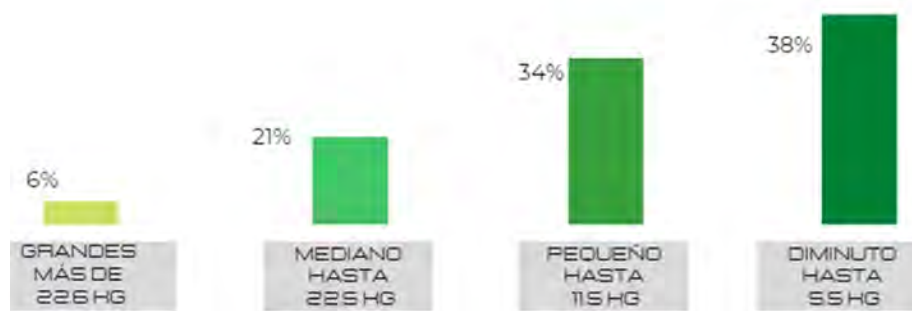


Figura 2.3: Tendencia de la tenencia de mascotas en el Perú. Fuente: Elaboración propia a partir de Perú-Retail. (<https://www.peru-retail.com/peru-valor-e-impacto-mascotas-la-mitad-hogares-peruanos/>)

Purina Latinoamérica menciona que las razas pequeñas comprenden el rango de 1-6 kg, las pequeñas 5-25 kg, las medianas de 14-27 kg, las grandes de 21-39 kg y las gigantes de 34-82 kg (2020).

En cuánto a la altura de los canes de tamaño mediano, el portal *SprucePets* afirma que el tamaño medio de los animales ronda las 20 pulgadas (Stregowski, 2021), lo que equivale a 0.5 m, aproximadamente. En este sentido, se propone este tamaño como referencial para el dimensionamiento del proyecto. Para las características mecánicas de los huesos de la mascota se hace explicación detallada en el anexo B.

Considerando la encuesta consultada anteriormente, tal como muestra en la Figura 2.3, se elige el rango de mascotas hasta medianas para ser aceptadas en el diseño del horno

crematorio, considerando un porcentaje de 93% del mercado de la tenencia de mascotas que considera a la mayoría de las razas populares en nuestro país.

2.1.3 Suministro de combustible

Debido a que el proceso de combustión se da en altas temperaturas, aproximadamente entre 600 y 1000 °C (*Cremation Resource*, 2019) dependiendo de la cámara de combustión y postcombustión, este tendrá que ser alimentado con grandes cantidades de energía. Se realiza una comparación entre los principales combustibles disponibles en nuestro país, entre sus principales características físicas y químicas, tal como se muestra en la Tabla 2.1, a continuación:

Tabla 2.1: Comparación de características de combustibles para hornos. Fuente: Elaboración propia basado en portales RECOPE y Repsol.

Combustible	GLP(Propano+Butano)		GNC	Diesel
Fórmula Química	C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀		C ₁ H ₄	C ₁₂ H ₂₆
Norma	ASTM D1838		ASTM WK40094	ASTM PS121
Densidad (a 15°C kg/L)	0.82-0.86		0.61	0.85
Punto de autoignición(°C)	493-549	482-538	537	254-285
Presión de vapor(kPa)	950.43	220	133.3	0.4
Calor de combustión (MJ/kg)	46-50		53.6	42.6-43.2
Nivel de contaminación	Medio	Medio	Bajo	Medio

Como se observa en la Tabla 2.1, existen variedad de tipos de combustible fósil como opción de alimentar al sistema para el proceso de combustión. Es importante también, considerar cómo se tiene que realizar la instalación para un horno, en especial cuando es un horno crematorio. Para efectos de este proyecto se evaluará el GLP y el GNC, considerando la comparación de los niveles de contaminación aérea y emisión de gases de efecto invernadero y ponderando los factores de riesgo como volatilidad y peligrosidad en su traslado.

Respecto a instalaciones de gas natural y de gas licuado de petróleo existen normas que rigen su procedimiento y estándares, en nuestro país es el caso de la norma técnica peruana (NTP) y concretamente la número 111.010, llamada “Sistema de tuberías para instalaciones internas industriales”. La mencionada norma establece los requisitos mínimos que debe cumplir el sistema de tuberías para el suministro de gas natural para una operación segura (INDECOPI, 2003).

A. Instalación de un sistema de gas licuado de petróleo

En el caso de una instalación de GLP una de las posibles configuraciones para una instalación de un sistema de suministro de este tipo de combustible se muestra en la Figura 2.4 en la cual se tiene un tanque GLP (A), junto a sus distintos accesorios como válvulas manuales y reguladores (Calla & Argandoña, 2020). Tal como menciona el reporte para la seguridad de instalaciones con GLP del MINEM en su decreto supremo número 052-94, existen limitaciones de distancia para la colocación de los tanques a hornos o quemadores, esta tiene un mínimo de 30 m, además, establecen temperaturas, presiones y materiales para la construcción e instalación del sistema de tuberías y tanques, y su correcta conexión con el horno o quemador (OSINERGMIN, 1993).

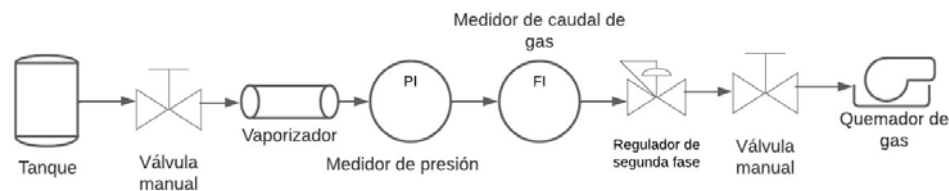


Figura 2.4: Instalación de tuberías mediante GLP. Fuente: Elaboración propia en plataforma Canva basado en Calla & Argandoña.

B. Instalación de un sistema de gas natural

En la situación en donde se tiene un sistema de gas natural, se trata de manera distinta, tal como se muestra en la Figura 2.5, no se cuenta con un tanque en la instalación, sin embargo, es necesario que el lugar cuente con distribución del suministro. El sistema está conformado por una válvula manual, uniones y juntas, un filtro de gas, indicadores de presión, válvulas solenoides y de motor, adaptador y finalmente el quemador que da al horno (Gutiérrez et al., 2016). En este caso se ha de seguir la normativa mencionada anteriormente, NTP 111.010.

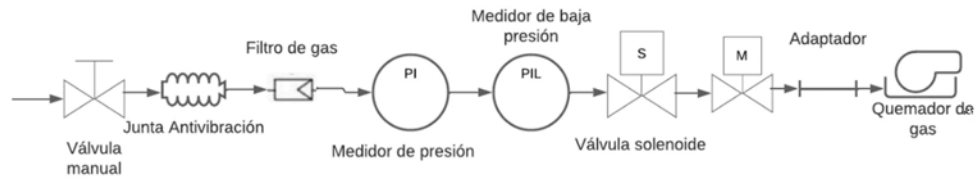


Figura 2.5: Instalación de tuberías mediante gas natural. Fuente: Elaboración propia en plataforma Canva basado en Gutiérrez et al.

2.1.4 Aspectos relevantes en el diseño de hornos crematorios

El primer aspecto importante por analizar en cuanto al diseño de un horno crematorio es la configuración estructural de las cámaras, es importante tener un aprovechamiento energético eficiente brindado por el quemador para que el calor que ingresa al sistema permanezca allí y no escape generando pérdidas excesivas. Tal como se menciona en el capítulo 11 del texto *Industrial and Process Furnaces*, actualmente, la mayoría de los hornos constan de una estructura exterior de acero con un revestimiento resistente al calor (Mullinger, 2013).

En la Tabla 2.2, se exhibe una comparativa entre las protecciones más usados en hornos y chimeneas. Un mejor análisis se desarrolla en el anexo D titulado “Aspectos relevantes en el diseño de hornos industriales”, donde se muestra algunos esquemas de cómo son construidos dichos revestimientos y sus principales características.

Tabla 2.2: Comparación de tipos de revestimiento para hornos. Fuente: Elaboración propia basado en RS *Refractory Materials*

Revestimiento	Ladrillos refractarios	Monolítico	Fibra cerámica
Material típico	Sílice, Alúmina	Hormigones, plásticos	Óxido de silicio, Alúmina, Óxido de hierro
Resistencia al calor	Alta	Media	Alta
Absorción de ruido	Media	Baja	Media
Resistencia a vibraciones	Baja	Baja	Media
Resistencia a la corrosión química	Alta	n/a	Alta
Conductividad térmica	Baja	Media	Baja
Dificultad de instalación	Alta	Baja	Baja

También es importante analizar el proceso de la combustión que se realiza en el horno crematorio. Al ser el caso de una flama expuesta, se realiza la combustión que puede ser completa, que genera dióxido de carbono, agua y calor; en el caso de la combustión incompleta genera monóxido de carbono, dióxido de carbono, agua y calor. Por ello, la combustión debe ser lo más completa posible para evitar la generación del monóxido de carbono que es un gas altamente contaminante del aire y un peligro para la salud en concentraciones elevadas. Relacionado al diseño de un horno crematorio, existen consideraciones respecto de los mecanismos de transferencia de calor presentes en las cámaras de combustión y su interacción con el exterior, en este caso existe convección y radiación en el interior de la cámara, conducción en el revestimiento utilizado y las placas metálicas que rodean la cámara y finalmente, nuevamente convección y radiación en el exterior de la cámara. Un análisis más extenso de la estequiometría de la combustión y la naturaleza de los mecanismos de transferencia de calor se puede encontrar en el anexo D del presente trabajo.

Otro de los aspectos importantes para el diseño de hornos industriales y similares, específicamente hornos crematorios, es el control necesario para la operación correcta de la máquina durante todo el proceso. Las variables que usualmente son controladas en hornos industriales y similares es la temperatura, velocidad y/o flujo en el lavado

de gases y la relación combustible/aire en los *burners*. En las fuentes investigadas, las principales estrategias de control que existen en el diseño de hornos pueden ser en lazo abierto o lazo cerrado, en el caso de lazo cerrado algunas de las alternativas son el control ON-OFF, PID y PID, entre otras. Para mayores alcances se recomienda acceder al anexo D que explica más detalladamente las diferentes estrategias de control mencionadas.

2.1.5 Trituración de material residuo: Cremulado

La dureza y la densidad del hueso es un parámetro útil en la combustión debido a que brinda una noción para el diseño del mecanismo de trituración. Están detalladas en el anexo B, de las cuales extrae los valores que se quiere conocer para el diseño del cremulador. Estos valores son entre 2 y 2.5 para la dureza en la escala de Mohs y 3.1 g/cm^3 para la densidad. Existen diversos tipos de trituradores para materiales en general, existe el molino de martillos, tambor rotatorio, trituradora de mandíbula, eje de impacto vertical, discos rotativos y barras rompedoras (Carriel & Martínez, n.d.). Tal como se exhibe en la Figura 2.6, se tiene un bosquejo general de un molino de martillos de acero, que al girar con una velocidad dada por el motor tritura el material de descarga, que en este caso sería huesos.

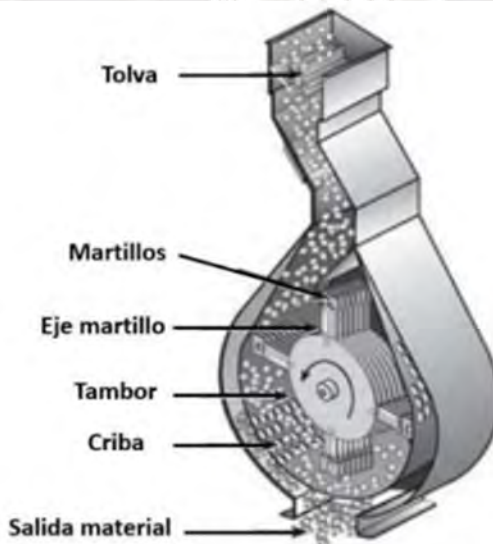


Figura 2.6: Esquema general de un molino de martillos. Fuente: Carriel

Asimismo, existen los discos rotativos, los discos pueden ser lisos o dentados, tal como se exhibe en la Figura 2.7, en los discos dentados acoplados a un eje para el diseño de una máquina trituradora de plástico (Angélica et al., 2011).

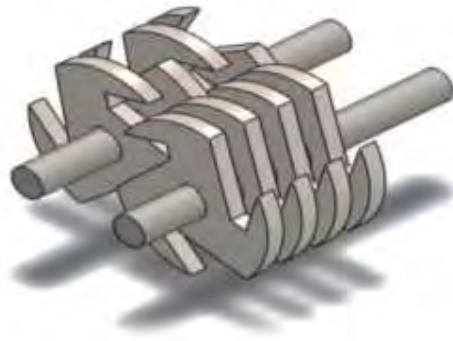


Figura 2.7: Discos dentados para el diseño de una trituradora de plástico. Fuente: Angélica y colaboradores

2.1.6 Emisiones y proceso de lavado de gases

Las emisiones en cremación y similares es un aspecto para tener en cuenta debido a la enorme importancia en cuánto a la responsabilidad para el medio ambiente. Según normativa investigada, esta incluye óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), compuestos orgánicos volátiles (COV), trazas de dióxido de azufre (SO_2) y partículas (US EPA, 2020).

Es importante plantear los límites máximos permitidos para las emisiones de los mencionados gases según normativa vigente peruana. En tal caso, la norma NTP 350.301 menciona estándares que establecen el rango de eficiencia térmica para calderas con una nomenclatura de letras, A corresponde una eficiencia mayor a 82%, B entre 80 y 82% y C entre 78 y 80 %. Asimismo, da directrices para el diseño y colocación de una etiqueta con las características principales de ubicación, información, dimensiones y color. Además, tal cómo se muestra en la Tabla 2.3 la norma establece los límites máximos permisibles para calderas industriales dependiendo del combustible que se use (*Ministerio de Energía y Minas - Normas Técnicas Peruanas - Eficiencia Energética*, 2017).

Tabla 2.3: Límites máximos permitidos en calderas de uso industrial. Fuente: Elaboración propia basado en NTP 350.301

Parámetro	Límite de Emisión (mg/Nm ³)		
	Combustible		
	Gas	Líquido	Sólido
Partículas Sólidas	-	150	150
SO ₂	300	1500	500
NO _X	320	600	750
CO	100	350	500
Opacidad	0	4	-

El lavado de gases es imprescindible en la consideración de un horno industrial, especialmente uno crematorio, deseando reducir las emisiones de vapores potencialmente nocivos mencionados anteriormente. Este proceso normalmente está compuesto por un sistema de lavado húmedo, que consiste en una carcasa de lavado, un sistema de ventilador, conductos, tratamiento del líquido de lavado, separador de arrastre, chimenea y sistema de bombeo. Algunos ejemplos de lavadores húmedos son la torre de pulverización, el lavador Venturi, el lavador de lecho compacto, lavador de ciclón húmedo, lavador de placas y otros (Lee, 2005). El proceso de extracción de gases permite la remoción de gases y olores, con procedimientos moleculares o biológicos. Tal como lo menciona el estudio de Sanetti, son necesarios procesos de abatimiento químico por absorbentes para los compuestos tóxicos mencionados. Para ello son utilizadas diferentes tecnologías como cámaras de sedimentación, *scrubbers*, cámaras de postcombustión o la unión de una o más tecnologías mencionadas, tal como se muestra en la Figura 2.8 a continuación (Sanetti, 2016):

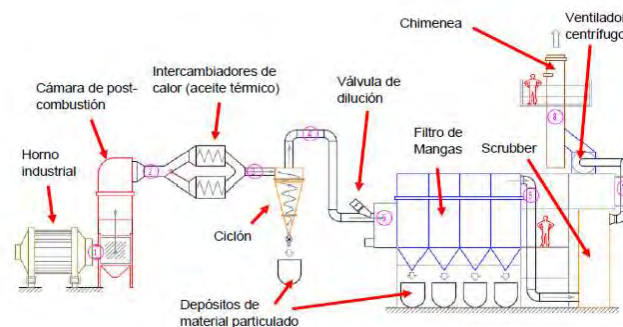


Figura 2.8: Componentes de sistema de lavado de gases. Fuente: Sanetti

El lavador tipo lecho húmedo implica una operación de transferencia de masa Tal como se exhibe en la Figura 2.9, un lavador de lecho húmedo en contracorriente, esto debido a que el ingreso del gas es por la parte inferior y el ingreso del líquido de lavado es por la parte superior.

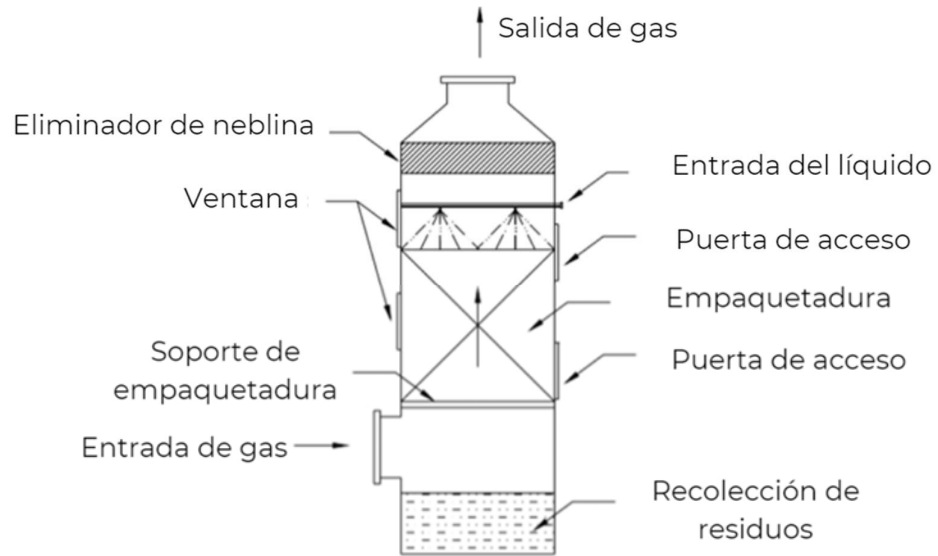
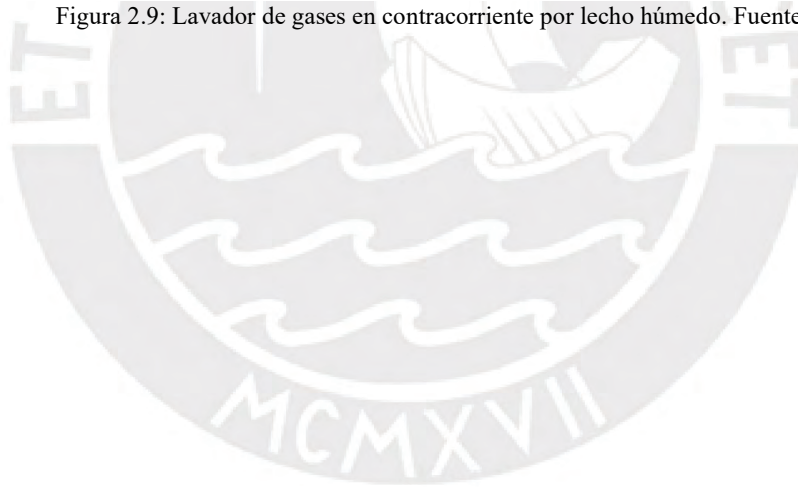


Figura 2.9: Lavador de gases en contracorriente por lecho húmedo. Fuente: Lee



2.2 Revisión del estado de tecnología

En cuanto a las tecnologías existentes para el proceso de cremación y triturado se tienen alternativas tanto en el mercado nacional e internacional, ya sean integrales, es decir equipos crematorios completos ya sea de personas o de mascotas y parciales, es decir, que diseñan, al menos conceptualmente subsistemas del proyecto. Se realiza, para mantener una longitud breve del documento, una comparación cualitativa y/o cuantitativa entre ellos de manera sucinta. Para una observación más detallada y un análisis de *know-how* por subsistemas se puede acceder al anexo E.

En cuanto a las tecnologías comerciales integrales se presenta la Tabla 2.4 en la cual compara las características de los principales modelos investigados, poniendo especial enfoque en el combustible utilizado y la tecnología de cremación utilizada. Destacan de los modelos investigados que en los modelos nacionales no se tiene como prioridad la característica de exclusividad para animales, solamente en el modelo HINSA y en el modelo internacional de la marca Addfield. Asimismo, tienen un rango de temperaturas de operación para las cámaras principales y secundarias que son tomadas como referencia para los posteriores cálculos.

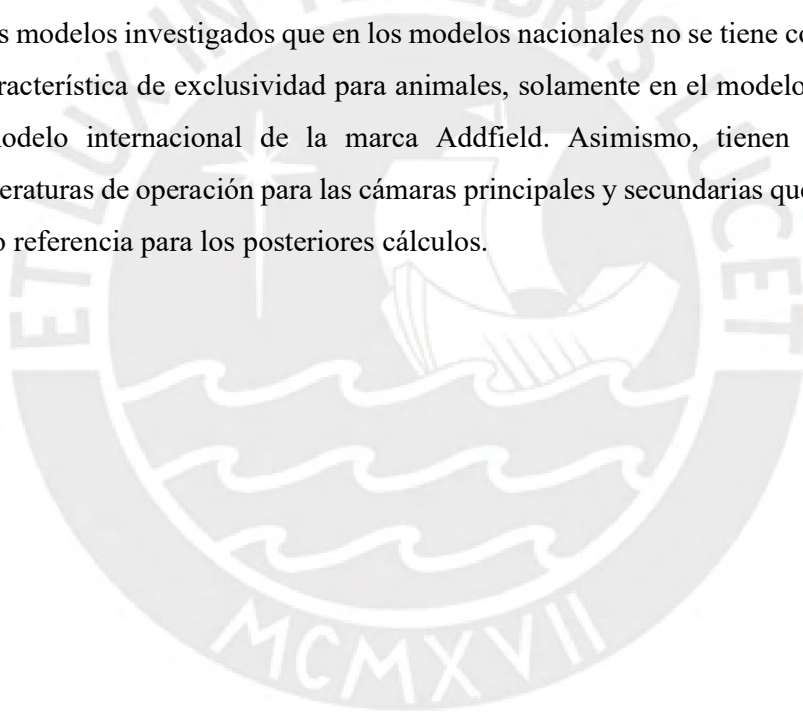


Tabla 2.4: Comparación entre modelos comerciales integrales. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Horno para personas Félix	Horno crematorio HCH-900-1200	Horno crematorio para personas	Horno crematorio para mascotas	PET-200 Maquina de Cremación
Fabricante	Hornos Félix	Hornos HINRA PERU	Hornos HINSA	Hornos HINSA	Addfield
Exclusividad mascotas	No	No	No	Sí	Sí
Mercado nacional	Sí	Sí	Sí	Sí	No (Importación)
Dimensiones (ancho, alto, fondo en m)	0.8x0.9x2.5	-	1.5x2.4x4.5	0.6x0.6x1.6	1.15x1.95x2.81
Temperatura cámara principal(oC)	-	900	650-850	650-850	-
Temperatura cámara secundaria(oC)	-	1200	1000-1200	1000-1200	850
Potencia (kW)	5	10	-	-	216
Quemadores (cant. y potencia BTU)	2x700 000	-x950 000	2x-	2x-	-
Combustible	GLP	Gas Natural	Propano	Propano	Diesel, GLP, gas natural
Cámaras	Combustión Postcombustión	Combustión Postcombustión Filtros/Lavador de gases Cabina anti-olor	Combustión Postcombustión Filtros/Lavador de gases	Combustión Postcombustión Filtros/Lavador de gases	Combustión Postcombustión
Estructura Interior	Ladrillos refractarios	Ladrillos refractarios	Ladrillo aislante K-23	Ladrillo aislante K-23	Ladrillo refractante E23
Estructura Exterior	ASTM A36	ASTM A36	Acero Inoxidable	Acero Estructural	Acero dulce
Precio(S/.)	-	-	-	-	100 000

Para las patentes estudiadas, se presenta en la Tabla 2.5 un cotejo de sus particularidades, destacando la particularidad de los animales de compañía, concepto utilizado y los subsistemas que son identificados según la descripción en la patente.

Tabla 2.5: Comparación entre modelos patentes integrales. Fuente: Elaboración propia.

Patente	EP2045525 A2	US672924 7B2	EP0636838A2	JP3229455U	KR2012008841 4A
Jurisdicción	Europea	Americana	Europea	Japonesa	Coreana
Exclusividad mascotas	No	No	No	Sí	No
Concepto	Sistema de cremación móvil	Crematorio móvil	Horno con calefactor eléctrico	Crematorio para mascotas	Sistema de hornos crematorios de alta eficiencia
Fecha	2007	2001	1993	2020	2011
Cantidad de subsistemas	Cremación Postcombustión Intercambiador de humos/aire Ventilador	Incinerador Chimenea	Cremación Postcombustión	Cremación Postcombustión	Cremación Postcombustión Chimenea

Es interesante resaltar los elementos que conforman los subsistemas de los modelos, encontrándose en común el subsistema de cremación y postcombustión; solamente tres modelos cuentan con chimenea y un modelo está planteado con convección forzada, de allí el hecho de la existencia del ventilador.

En cuanto a la consideración del estado de la tecnología de los subsistemas planteados se tiene una explicación y comparación extensa en el anexo E. Se menciona de manera breve los principales mecanismos que se utilizan para los diferentes subsistemas. En el ingreso tiene rodillos transportadores o una mesa hidráulica encargada del traslado vertical y/o horizontal del cuerpo de la mascota. En el caso de suministro se comparan los diferentes tipos de boquilla de llama del quemador. En el de cremación se comparan distintos tipos de sensores de temperatura, encargados de medir las temperaturas en las cámaras principales y de postcombustión. En el de trituración se

menciona algunos modelos comerciales que se usan en dispositivos externos al horno comercial correlativo. Asimismo, se menciona algunos mecanismos complementarios como lo es el del traslado hacia el triturador que se puede utilizar mediante mecanismos de piñón-cremallera, actuadores lineales y biela-manivela; además de mecanismos de cierre para la cámara principal.

2.3 Lista de requerimientos

Es presentada a continuación la lista de requerimientos del sistema, identificando una función principal y mostrando exigencias en distintos aspectos del desarrollo del proyecto. Esta se exhibe en la Tabla 2.6 a continuación:

Tabla 2.6: Lista de exigencias. Fuente: Elaboración propia.

Sistema: Horno crematorio privado por combustión para mascotas con una capacidad máxima de 30 kg	
Función principal	
E	El sistema deberá cremar el cuerpo de una mascota de una capacidad máxima de 30 kg mediante combustión para luego triturar los huesos generados para obtener cenizas
E	El sistema contará con una cámara de combustión, de postcombustión, una cámara de lavado de gases y un dispositivo para el triturado y posterior almacenamiento de las cenizas.
Geometría	
E	Las cámaras de combustión tendrán unas dimensiones máximas de 2 m de alto, 2 m de ancho por 2 m de largo en total
E	El sistema tendrá unas dimensiones máximas de 2.5 m de alto, 2 m de ancho por 3 m de largo sin contar la chimenea ni ductos.
Fuerzas	
E	El peso máximo del sistema será de 6 toneladas.
Funcionamiento	
E	Debe conectarse a la red eléctrica monofásica de 220 VAC a 60 Hz, cumpliendo con el Código Nacional de Electricidad y normativa vigente.
E	En el caso de las emisiones cumplirá los límites dados por la normativa vigente nacional o internacional (NTP 350.301)
E	Se seguirán los procedimientos de control de emisiones tal como lo establece las directrices de organismos gubernamentales nacionales o internacionales (EPA AP 42 1.4)
E	Se utilizarán quemadores cuyo combustible sea amigable para el medio ambiente para las cámaras de combustión y postcombustión.
E	La temperatura de trabajo de la cámara será la cual garantice el proceso de cremación y la de postcombustión realizará correctamente el proceso de primera limpieza.
E	Las presiones y temperaturas de trabajo serán las correspondientes a la ciudad de Lima, que tienen un valor promedio anual aproximado de 25 °C y 1 atm, respectivamente.
E	El tiempo necesario para realizar el proceso de cremación será del suficiente para garantizar la completa cremación del cadáver de aproximadamente 1 hora.

Sistema: Horno crematorio privado por combustión para mascotas con una capacidad máxima de 30 kg	
E	El tiempo de triturado se dará en 15 segundos aproximadamente para conseguir la textura de ceniza
Material	
E	El material por usar debe ser capaz de soportar los esfuerzos de carga y deberá ser resistente a la corrosión, tanto para el subsistema de cremación como para el lavado de gases y triturado.
E	Se usará material aislante al interior las cámaras.
Materia	
E	El sistema no aceptará otra materia aparte de orgánica.
E	La materia de ingreso al sistema será de un cadáver de mascota y la de salida serán cenizas.
Control	
E	El sistema controlará la temperatura de las cámaras, así como la relación del combustible/aire. El sistema controlará la posición de los motores para el ingreso y el de disposición de cenizas en el traslado al cremulador.
Electrónica	
E	La máquina contará con un sistema de alerta sonora y visual en caso de falla o emergencia, según la norma ISO 8201:2017.:
Comunicaciones	
E	Se hará uso de un controlador y una interfaz HMI para relacionar la información brindada por el sistema y la información más importante al usuario, según la norma ISA 77.60.
Seguridad	
E	Se tendrá un sistema de seguridad de flama en caso de falla, según la norma UL1500. Se tendrá un sistema de emergencia accionado por el operario, según la norma ISO 13850 Se tendrá un mecanismo de bloqueo de la puerta de ingreso que impida su apertura durante el proceso de cremación. Se seguirá normativa vigente en cuanto a seguridad y salud ocupacional, según la ley peruana 26298 en los casos que aplique.
Ergonomía	
E	Se tendrá un manejo seguro del operario, según la resolución ministerial 375-2008.
E	El sistema se manejará mediante un panel de control por el operario, según la norma internacional UL60947-4-1
E	Se deberá cumplir la normas nacionales o internacionales para el manejo de hornos.
Fabricación	
E	La fabricación deberá considerar los aspectos térmicos tanto para la operación como el mantenimiento del horno
E	Se tendrá tolerancias dimensionales acuerdo a la normativa ISO 2768.
Transporte	
E	El sistema se encontrará y realizará sus operaciones en un lugar fijo.

Sistema: Horno crematorio privado por combustión para mascotas con una capacidad máxima de 30 kg	
Control de calidad	
E	Se seguirá la normativa vigente nacional para instalación de calderas o similares. (NTP 350.302)
E	Se seguirá la norma vigente nacional o internacional para el muestreo de olores a la salida de la chimenea. (NCH 3190:2010)
E	Se seguirá la norma nacional vigente para instalaciones de tuberías en sistemas industriales a GLP y/o gas natural. (NTP 111.010)
Uso	
E	El sistema se desempeñará en lugares urbanos con condiciones atmosféricas normales, es decir, presión atmosférica de 1 atm.
E	El sistema tendrá una vida útil máxima de 10 años.
Costos	
E	Se establece que el costo total de fabricación y piezas será de S/. 200 000.



CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL

Se explica los métodos que son necesarios para la generación del concepto de solución óptimo respecto al diseño del horno crematorio con todas sus funcionalidades. Comienza con el planteamiento de la estructura de funciones del sistema, tomando la perspectiva de los dominios según la norma VDI 2206, y cohesionándolo con los subsistemas planteados de ingreso, suministro de combustible, cremación, lavado de gases y disposición de residuos sólidos. Luego se plantea la matriz morfológica en base a la estructura de funciones, usando principios tecnológicos concretos, estableciendo alternativas de solución, conceptualizarlas y realizar una valoración técnica-económica sobre las mismas para obtener la solución óptima.

3.1 Estructura de funciones

Es el diagrama que divide las funciones principales en subprocesos agrupados en dominios como el mecánico, sensores, actuadores, energía, control e interfaz. Esta descomposición permite mostrar el flujo de señales, materia y energía a lo largo de todo el sistema, según la norma VDI 2206.

En el caso de la materia de ingreso, está la mascota, que es el objetivo de la cremación; esta genera gases de combustión y residuos sólidos tales como huesos. En el caso de los gases, serán emitidos por las cámaras de combustión y pasarán por el subsistema de lavado para ser tratados antes de ser liberados al medio ambiente. En el caso de los huesos, pasarán por el subsistema de disposición que tritura dichos residuos para conseguir ceniza que serán retirados. En tal sentido, la materia que ingresa es el combustible para las cámaras y un líquido neutralizador. La materia de salida del

sistema serán gases lavados al medio ambiente, cenizas y el líquido usado para la neutralización. También será necesario el ingreso de energía eléctrica para alimentar el sistema y energía mecánica para accionar manualmente los botones o puertas por parte del operario. En la Figura 3.1 se exhibe la estructura de funciones general, a continuación:

Se tiene la energía, de entrada, como la eléctrica para activar los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema, como son los sensores, actuadores y reguladores necesarios. Asimismo, es necesaria la energía mecánica (manual) necesaria para accionar tanto la puerta de ingreso como la de disposición final por parte del operario y la conexión de la fuente de poder necesaria para energizar todo el sistema. En el caso de la energía de salida, los principales tipos de energía son, el ruido y vibraciones generadas por el movimiento de motores y ventiladores, el calor generado por la combustión en las cámaras y de la fricción de las cuchillas en cremación y la energía radiante y auditiva generada por las alarmas de falla y la de conclusión de proceso.

Se resalta la importancia del dominio energético, que es el encargado de acondicionar la energía para los diferentes componentes, que probablemente trabajen con distintos voltajes y corrientes, y como se muestra en la Figura 3.1, se traslada a los demás dominios.

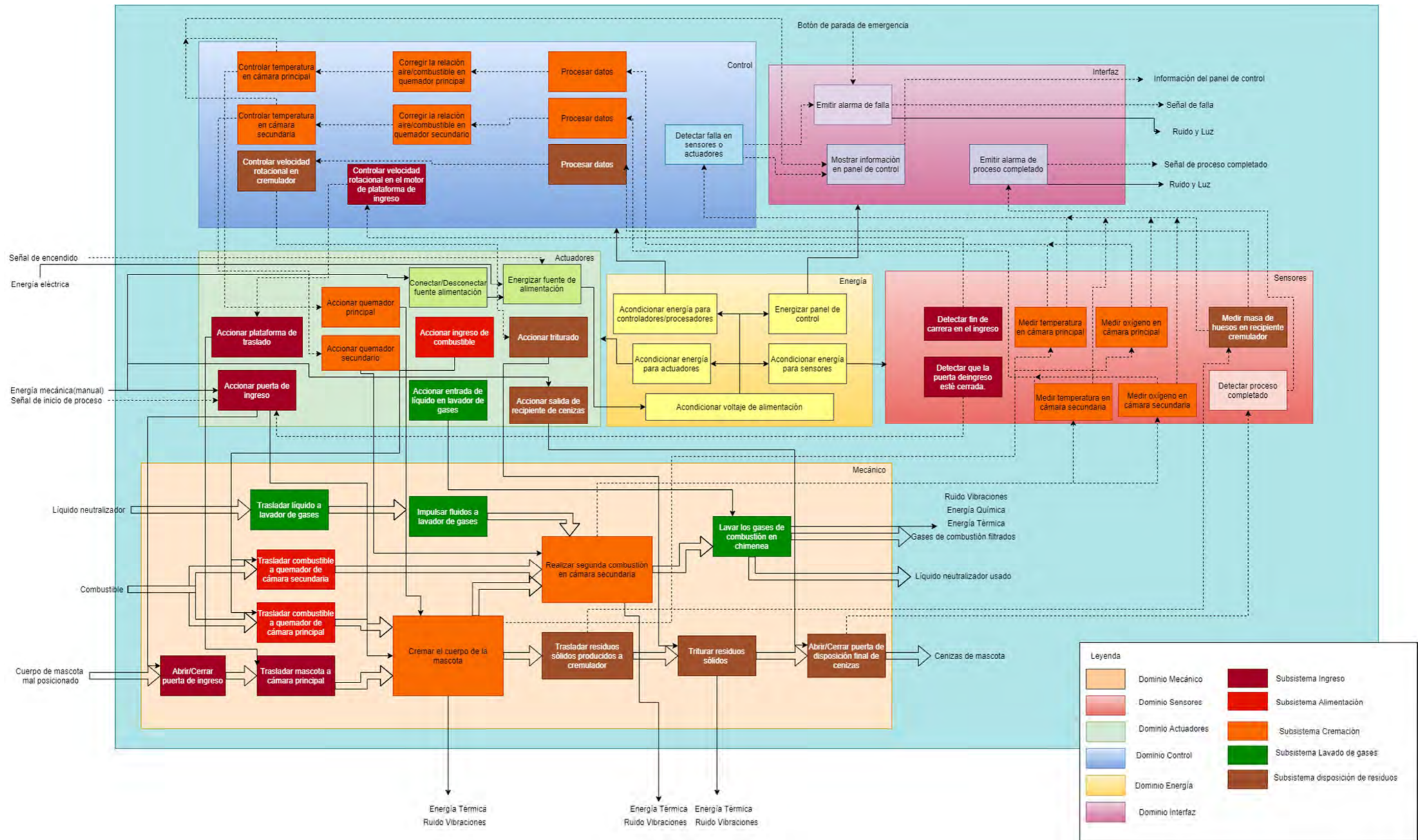


Figura 3.1: Estructura de funciones general. Fuente: Elaboración propia

El resumen de las funciones en la Tabla C.1, que se encuentra en el anexo C.

3.2 Presentación de concepto de solución óptimo

La valoración de la propuesta óptima se hace en base a la metodología citada en capítulos anteriores, valorando la elaboración de una matriz morfológica, la elaboración de tres conjuntos de alternativas tomando las opciones expresadas en la matriz, se realiza una evaluación técnica-económica y se presenta a la ganadora de esta. La evaluación completa se puede observar en el anexo F en donde se detalla los criterios y decisiones tomadas para la asignación de puntajes de todas las alternativas, se presenta los diagramas de la opción ganadora.

Evaluación técnica-económica

Se realiza la evaluación mediante criterios técnicos y económicos con el objetivo de encontrar a la mejor solución, llamada concepto de solución conceptual óptimo. Se refiere los criterios utilizados.

Evaluación técnica

En la Tabla 3.1 se muestra la evaluación técnica realizada de los conceptos planteados. Se resalta los motivos de la consideración de dichos aspectos y su jerarquía en la decisión.

- **Función principal:** Refiere el objetivo principal de la máquina que es el de realizar la cremación del cadáver de una mascota con el uso de diferentes clases de tecnología.
- **Seguridad:** Se refiere a los aspectos relacionados al riesgo intrínseco de trabajar con una máquina a altas temperaturas, y de los componentes.
- **Nivel de interacción con el operario:** Toma en cuenta el nivel de participación que tendrá el operario en el funcionamiento de la máquina implica si habrá o no movimiento de mecanismos o si solamente lo va a operar del panel de control.
- **Complejidad de operación :** Se refiere a la complejidad de construcción y de flujo de materia respecto a la forma volumétrica de la máquina.
- **Impacto antrópico:** Refiere al tipo de depurador que se usa para lavar los vapores formados.

Se procede a compararlas mediante el diagrama de evaluación técnico–económica según la VDI 2221, el cual se exhibe en la Figura 3.4. Posteriormente, para ver la solución óptima, se traza la línea de equilibrio de azul. Finalmente, el concepto de solución óptimo será aquel que esté más cerca de la línea de equilibrio. Las opciones aceptables son todas las que se encuentren fuera del recuadro rojo.

Tabla 3.1: Evaluación técnica Fuente: Elaboración propia

Variantes del concepto de solución		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Nr	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función principal	8	4	32	4	32	4	32	4	32
2	Seguridad	8	2	16	2	16	3	24	4	32
3	Nivel de interacción con operario	5	2	10	3	15	3	15	4	20
4	Complejidad de operación	6	4	24	3	18	3	18	4	24
5	Impacto ambiental	6	3	18	3	18	4	24	4	24
	Puntaje máximo Σp o Σgp	33	15	100	15	99	17	113	20	132
	Valor técnico xi		0.75	0.76	0.75	0.75	0.85	0.86	1	1
	Orden			2		3		1		
<p>p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación</p>										

Evaluación económica

En la Tabla 3.2 se tiene los aspectos económicos evaluados para conseguir la solución óptima. Se considera que el aspecto más resaltante es la facilidad de adquisición de los componentes porque se plantea el diseño para un mercado nacional. En el caso del costo de tecnología, su peso no es tan alto porque de la investigación de modelos comerciales, estos tienen un costo moderado por lo que cualquiera de las opciones planteadas estará alrededor de un costo similar. Se resalta el razonamiento de dicha valoración económica.

- Costo de tecnología: Reseña al costo de los componentes utilizados en la máquina, considerando su disponibilidad.
- Costo de fabricación: Refiere al costo de fabricación de las piezas diseñadas, como lo son las cámaras, se relaciona a la complejidad de forma.
- Costos operativos: Son los costos obligatorios para mantener el funcionamiento correcto de la máquina, considera el número de repuestos necesarios y debido al tipo de tecnología utilizada y su disponibilidad.
- Mantenimiento: Refiere la dificultad y costo en el que se tiene que realizar mantenimiento al sistema.

Tabla 3.2: Evaluación económica Fuente: Elaboración propia

Variantes del concepto de solución			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Nr	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Costo de tecnología	6	3	18	3	18	3	18	4	24
2	Costo de fabricación	6	3	18	3	18	2	12	4	24
3	Costos operativos	8	4	32	2	16	3	24	4	32
4	Mantenimiento	7	3	21	2	14	2	14	4	28
	Puntaje máximo Σp o Σgp	27	13	89	10	66	10	68	16	108
	Valor económico y_i		0.8	0.82	0.63	0.61	0.63	0.63	1	1
	Orden			1		3		2		

p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)
 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien
 g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación

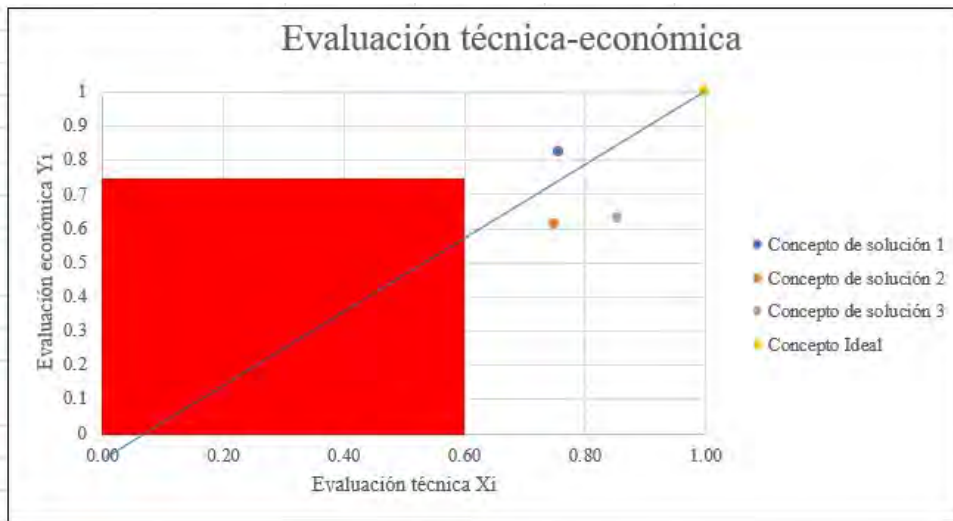


Figura 3.4: Resultado de evaluación técnica-económica. Fuente: Elaboración propia

Analizando dicho diagrama, la solución más cercana a la línea de equilibrio corresponde al concepto de solución 1. Por ello, el diseño del horno crematorio está basado en la opción elegida. Son mostradas en las Figuras 3.5 y 3.6, pertenecientes a sus vistas externas e internas. El diseño mecatrónico puede variar ligeramente de la disposición mostrada, pero mantiene coherencia con la matriz morfológica realizada.

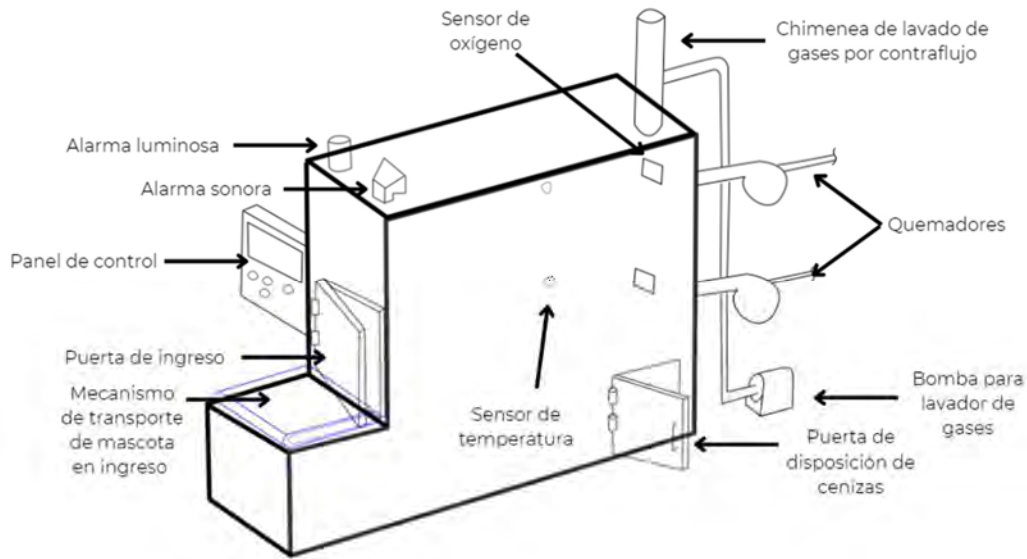


Figura 3.5: Componentes externos de solución 1. Fuente: Elaboración propia

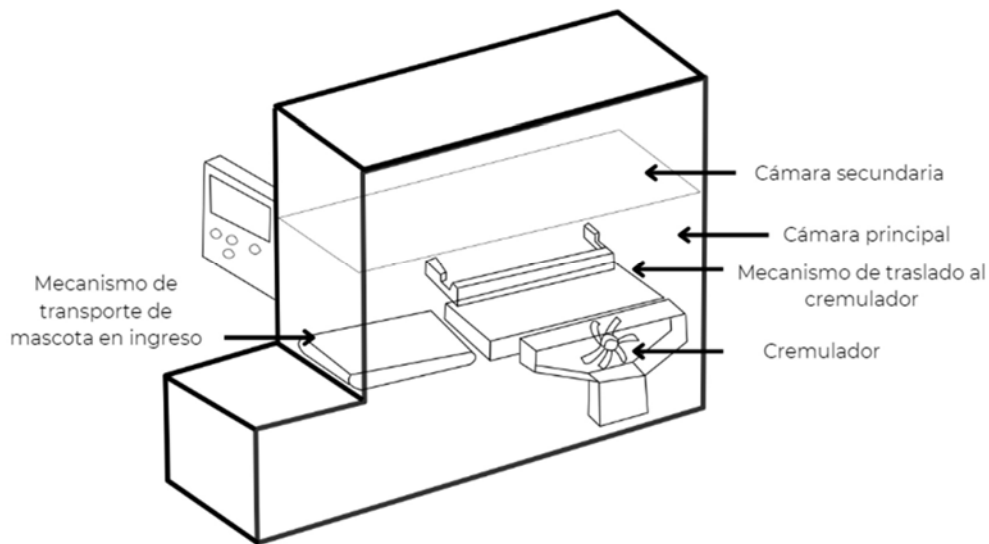


Figura 3.6: Componentes internos de solución 1. Fuente: Elaboración propia

Diagrama de bloques y operaciones

Describe las acciones que el trabajador deberá realizar buscando la óptima operación de la de la máquina para cumplir su cometido principal. Se inicia con la inspección visual del operario. Luego, se hacen las acciones necesarias para el inicio del proceso como es el vincular al tomacorriente, apagar el botón de emergencia y ubicar el receptáculo en la salida de disposición de residuo sólido, para luego realizar la energización mediante un *switch*. Luego, se introduce al cuerpo de la mascota en la

plataforma y se cierra la compuerta para el inicio del proceso de cremado, y al lavado de gases. Se procede al encendido de ambas cámaras de combustión, dando inicio al proceso de cremación y a su vez, el proceso de lavado de gases, mientras dure la cremación. Al terminar se procede al proceso de cremulado de los huesos generados para su posterior disposición por parte del operario. Si en alguna parte del proceso ocurriese una falla el personal usa el pulsador de emergencia y la máquina pausará hasta que se solucione el inconveniente. En el caso de la detección de llama y baja presión el quemador internamente puede realizar una parada de seguridad.

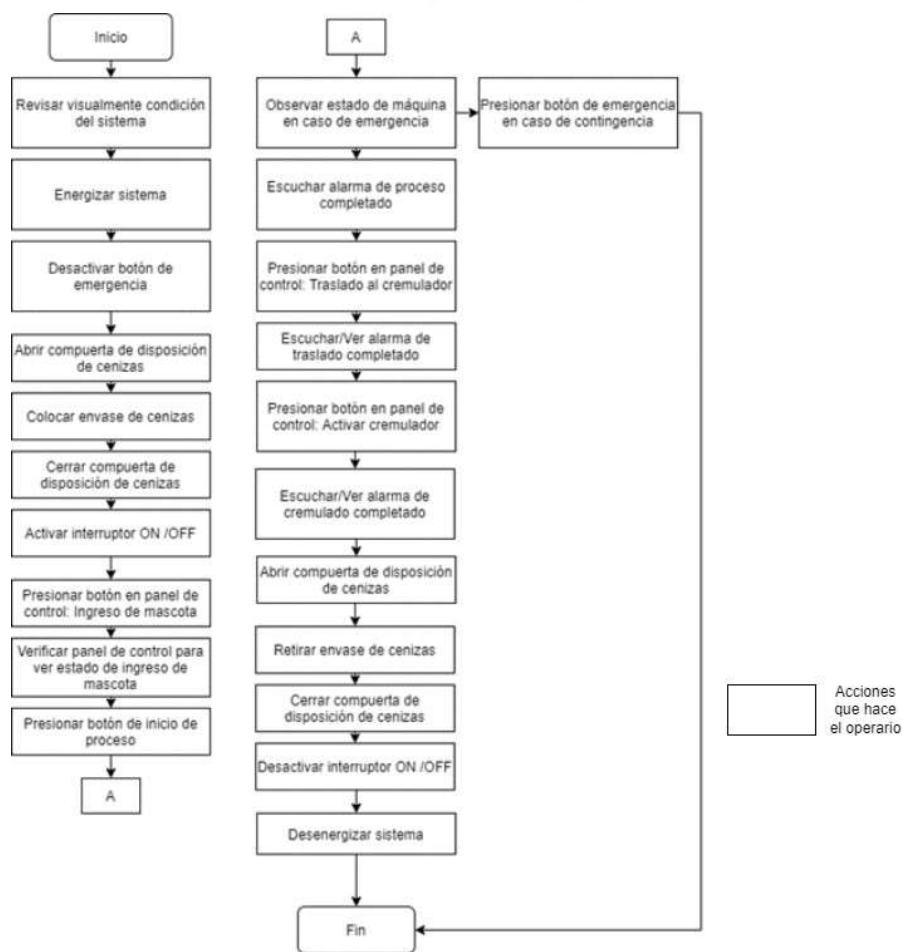


Figura 3.7: Diagrama de operaciones. Fuente: Elaboración propia

En cuanto al diagrama de bloques, esta muestra como interactúan eléctricamente los componentes planteados. En este caso se parte de la energía eléctrica 220VAC 60 Hz que es la que se encuentra en el país, luego se adecúa mediante una fuente *switching* a

los valores deseados de los sensores y actuadores. Tanto para la etapa del movimiento de la mascota. Adicionalmente, se considera un dispositivo especial para la detección y encendido de ambas chispas en las cámaras, llamado fotocelda, para tener un aspecto de seguridad en el funcionamiento de los quemadores, este se encuentra internamente en el quemador que se selecciona . En el caso de los elementos que no son de potencia, se utiliza un controlador para su adecuación de señales y voltaje, debido a que requiere una operación adecuada. Se considera actuadores para la operación del cuadro de mando, sensores y actuadores para cada subsistema. Se presenta en la Figura 3.8 a continuación el diagrama de bloques del sistema. Para mejor apreciación de dicho bosquejo se puede ver detenidamente en el anexo G.



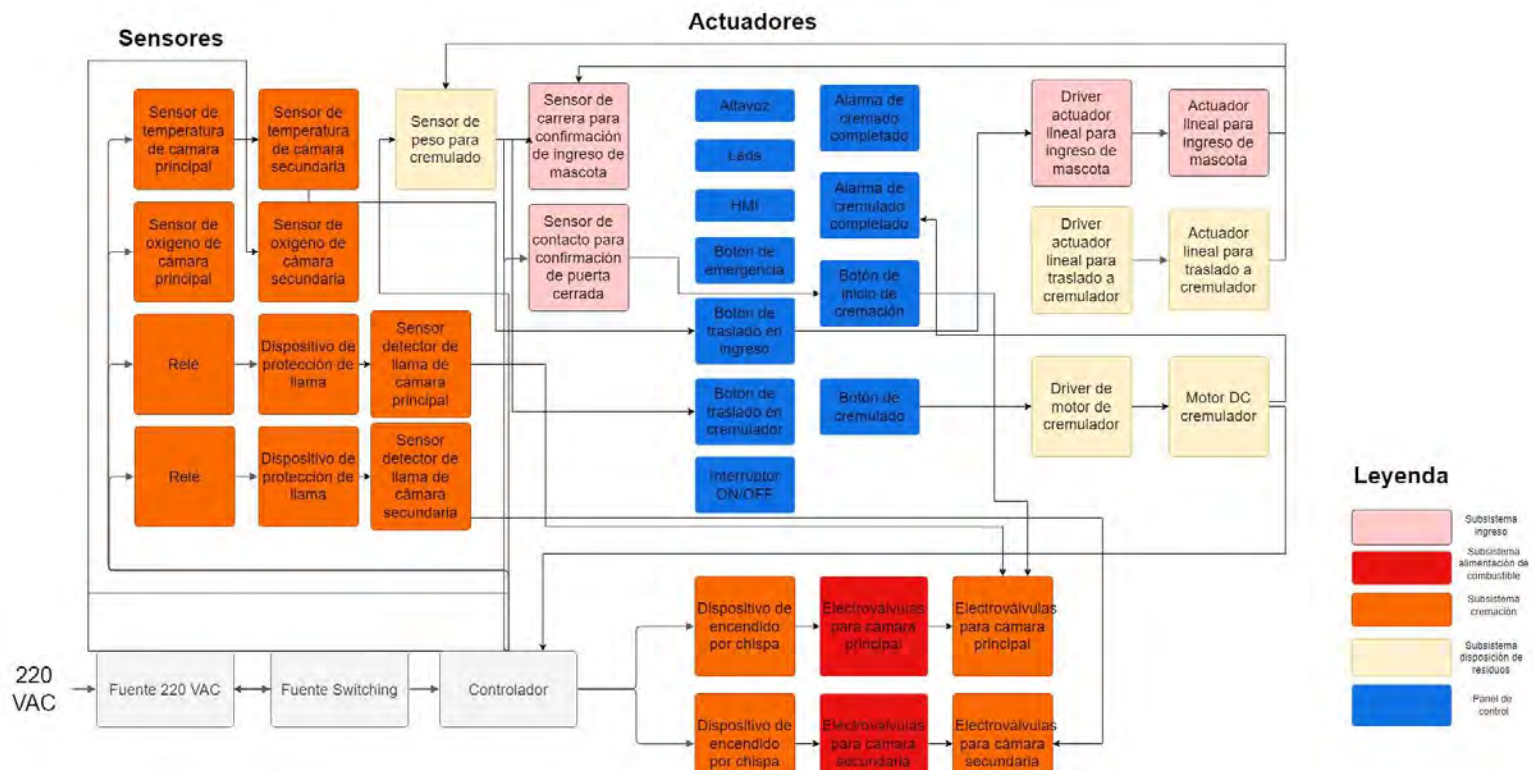


Figura 3.8: Diagrama de bloques. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

DISEÑO MECATRÓNICO

Se realiza los cálculos necesarios para el diseño de cada subsistema, así como la selección de componentes eléctricos y electrónicos, que corresponden, que cumplen con las características de funcionamiento definidas. Luego se presenta simulaciones correspondientes para validar el correcto criterio de diseño, principalmente orientadas al dominio mecánico y de control de los subsistemas, según corresponda.

4.1 Diseño del subsistema de cremación

4.1.1 Cálculo estequiométrico para temperatura de llama

La composición química del combustible a utilizar, en este caso, gas natural, según los requerimientos del MINEM (2021), tiene la siguiente composición detallada en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1: Tabla de composición química de gas natural Fuente: Elaboración propia basado en MINEM

Componente	Formula Química	Porcentaje (%)
Metano	CH_4	95.1
Etano	C_2H_6	2.1
Propano	C_3H_8	0.3
Butano	C_4H_{10}	0.1
Pentano	C_5H_{12}	0.05
Hexano	C_6H_{14}	0.05
Nitrógeno	N_2	1.9
Dióxido de carbono	CO_2	0.4

Se asume que, como la mayoría del gas natural está compuesta por metano, se trabaja con ese gas para el trabajo de la reacción de combustión en su totalidad.

Asimismo, la constitución del aire se detala en la Tabla 4.2(Moran y Shapiro, 2004).

Se asume que se trabaja con solamente el nitrógeno y el oxígeno en el caso del aire ya que representa la mayoría de la composición.

Tabla 4.2: Tabla de composición química del aire. Fuente: Elaboración propia basado en Moran y Shapiro

Componente	Fórmula química	Porcentaje (%)
Nitrógeno	N_2	79
Oxígeno	O_2	21

Según las composiciones se resuelve la ecuación estequiométrica de combustión, se toma como base 1 mol con un exceso de aire recomendado por estándares de funcionamiento de hornos a combustible gaseoso de 15% (API, 2014) , tal como lo muestra la Ecuación 1:



Como el combustible es una mezcla entre gas natural y aire con un exceso del 15%, hay 2.3 moles de oxígeno en la mezcla y el nitrógeno presente es, siguiendo la Tabla 2, de 8.65 moles de nitrógeno.

La temperatura de llama del sistema se calcula utilizando la primera ley de la termodinámica para sistemas abiertos descrita por la Ecuación 4.2, a continuación

$$\Delta[H + E_c + E_p] = \dot{Q} - \dot{W} . \quad (2)$$

En la cámara de combustión, se aproxima la energía cinética y potencial, así como el trabajo generado como 0, queda finalmente; $\Delta H = \dot{Q}$

Se sigue como referencia el libro de Moran y Shapiro correspondiente al capítulo 13. Mezclas reactivas y combustión. Donde H representa las entalpías de reacción, generando la Ecuación 3, a continuación:

$$\Delta H = \Delta H_{reacción} + \sum \int_{298}^{T_{llama}} n_{i,salidas} (c_p dT) \quad (3)$$

Esta ecuación será útil para calcular la entalpía en la temperatura 2 que es la temperatura de la llama adiabática en la ecuación de combustión.

Tabla 4.3: Tabla de entalpías de formación de los productos y reactivos de la combustión. Fuente: Elaboración propia basado en Moran y Shapiro, y Sandler.

Compuesto	N (moles)	Δh_{form} (kJ/mol)
H_2O	2	-241.83
CO_2	1	-393.51
O_2	2.3	0
N_2	8.65	0
CH_4	1	-74.8

La entalpía de reacción se obtiene con en la Ecuación 4 a continuación:

$$\Delta H_{reacción} = 1H_{f,CO_2} + 2H_{f,H_2O} - 3H_{f,O_2} - 1H_{f,CH_4} \quad (4)$$

$$\Delta H_{reacción} = 1(-393.51) + 2(-241.83) - 3(0) - 1(-74.8) \text{ kJ} \quad (4)$$

$$\Delta H_{reacción} = -802.37 \text{ kJ} \quad (4)$$

Lo calores específicos se hallan con la ecuación planteada por Sandler en su texto *Chemical, Biochemical, and Engineering Thermodynamics* para los factores de los calores específicos dependientes de la temperatura como se muestra en la Tabla 4.4 (2019).

Tabla 4.4: Tabla de coeficientes de calores específicos en la combustión. Fuente: Elaboración propia basado en Sandler

Componente	A	B	C	D
H2O	29.16	0.0145	-0.000202	0
O2	25.46	0.014	-0.00000715	1.31E-09
N2	28.88	-0.0016	0.00000808	-2.87E-09
CO2	22.24	0.0598	-0.0000035	7.46E-09

Resolviendo la Ecuación 3 y 4, se tiene la Ecuación 5 que contiene la temperatura de llama adiabática, a continuación.

$$\Delta H = \Delta H_{reacción} + \sum n_i A_i (T - 298) + \frac{\sum n_i B_i}{2} (T^2 - 298^2) + \frac{\sum n_i C_i}{3} (T^3 - 298^3) + \frac{\sum n_i D_i}{4} (T^4 - 298^4) \quad (5)$$

$$0 = -802.37 + 389(T - 298) + \frac{0.1101}{2} (T^2 - 298^2) + \frac{1.4(10^{-5})}{3} (T^3 - 298^3) + \frac{-1.4(10^{-8})}{4} (T^4 - 298^4) \quad (5)$$

$$T = 1898.73 \text{ K} \quad (5)$$

4.1.2 Selección de quemador principal y secundario para las cámaras de combustión y postcombustión

Es útil conocer también la masa molar de los compuestos, para hallar el flujo másico de combustible, como se presenta en la Tabla 4.5, basado en la información brindada por una Tabla periódica (Lenntech, 2021).

Tabla 4.5: Tabla de masa atómica de los reactivos y productos de la combustión. Fuente: Elaboración propia basado en Lenntech

Compuesto	M(g/mol)
CH_4	16
C_2H_6	30
C_3H_8	44
C_4H_{10}	58
C_5H_{12}	72
C_6H_{14}	86
N_2	28
CO_2	44
O_2	32

Se asume combustión completa de gas natural, utilizando un exceso de aire del 15%, recomendado para trabajos con combustibles gaseosos según el instituto americano del petróleo (API,2014). Con ello conocemos la masa molar promedio del gas natural es 16.823 kg/kmol y la del aire es 28.9 kg/kmol.

Para calcular la potencia necesaria para la cremación completa en el tiempo planteado del proceso de 1 hora se calcula mediante la ecuación de la calorimetría para el cuerpo de la mascota de 30 kg o 66.14 lb. Se toma el valor medio de calor específico para el cuerpo humano que es 3470 J/kg*°C (*The Engineering Toolbox*,2003). El calor necesario queda definido en las Ecuaciones 6 y7.




$$Q = m C_p \Delta T = 30 \text{ kg} \left(3470 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (900 - 25)^\circ\text{C} = 91087500 \text{ J} = 91087.5 \text{ kJ} \quad (6)$$

Donde m es la masa a cremar, C_p es el calor específico aproximado del cuerpo humano y ΔT es la variación de temperatura desde la ambiental hasta la mayor de la cámara de combustión secundaria. De manera que, tomando la referencia de 1 hora de cremación queda una potencia necesaria de:

$$\dot{Q} = \frac{91087.5 \text{ kJ}}{3600 \text{ s}} = 25.3 \text{ kW} . \quad (7)$$

Fueron analizados algunos modelos de quemadores, a manera de tener un rango amplio para realizar el cálculo del flujo másico del quemador. Tal como se observa en la Tabla 4.6, se escoge un valor de 26 kW, del modelo de Baltur.

Tabla 4.6: Modelos de quemadores. Fuente: Elaboración propia.

Modelo	GAS X0 CE	BTG 3,6 P	CX 5/2
Fabricante	FBR	Baltur	Cremax
Figura			
Potencia Nominal (kW)	11.6 – 34.3	16-42	23-58
Corriente	220V – 50 Hz	230V – 60 Hz	230V – 50 Hz
Tolerancia de voltaje	+5%	+10%	+8%
Diámetro de salida (mm)	90	90	70

Debido al requerimiento de potencia térmica hallada, y de la frecuencia de la corriente alterna para nuestro país, se selecciona el modelo resaltado de la marca Baltur BTG 3,6P. Además, en el quemador seleccionado cuenta con los dispositivos de seguridad necesarios para la correcta operación como el termostato, el dispositivo de encendido por chispa y el detector de flama.

El caudal se halla conociendo la la potencia calorífica del combustible, del gas natural, que tiene un valor de 39900 kJ/kg (Solarweb, 2020), tal como describe la Ecuación 8:

$$\dot{m}_{combustible} = \frac{Potencia}{PCI} \quad (8)$$

$$\dot{m}_{combustible} = \frac{26 \text{ kW}}{39900 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \quad (8)$$

$$\dot{m}_{combustible} = 0.0006 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (8)$$

Del cálculo estequiométrico se tomaron 100 moles de combustible y como se toma un exceso del 15% de aire, suficiente para realizar la cremación, se tiene 115 moles de aire, ello da un flujo másico de aire descrito en la Ecuación 9:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{m_{combustible}(m_{aire})}{m_{aire+combu}} = \frac{0.0006 \frac{kg}{s} 3.317 kg}{1.15 kg} = 0.0144 \frac{kg}{s}. \quad (9)$$

De ello, el flujo másico total, es decir de combustible y aire, en el proceso es $\dot{m}_{total} = 0.0006 + 0.0144 = 0.015 \frac{kg}{s} = 2.16 + 51.84 = 54 \frac{kg}{h}$. Tomando el tiempo del proceso completo de 1 hora el combustible utilizado es 2.16 kg.

4.1.3 Dimensionamiento cámaras de combustión.

Se realiza el diseño de las cámaras de combustión por dos razones principales, la primera que la llama que está expuesta directamente al cuerpo de la mascota se desarrolle correctamente y la segunda para que la mascota entre completamente en la cámara.

En el caso del primer criterio es necesario calcular la distancia de flama con el número de Froude, la velocidad de salida de boquilla y la fracción de mezcla estequiométrica (Xi et al, 2018), mediante el siguiente procedimiento, según las Ecuaciones 10, 11, 12 13.

$$Fr_f = \frac{v_e f_s^{3/2}}{\left(\frac{\rho_e}{\rho_\infty}\right)^{1/4} \left[\frac{T_f - T_\infty}{T_\infty} g d_j\right]^{1/2}} \quad (10)$$

$$v_e = \frac{\dot{m}_{gas}}{\rho_e \pi d_j^2 / 4} \frac{m}{s} \quad (11)$$

$$f_s = \frac{1}{\left(\frac{m_{aire}}{m_{gas}}\right) + 1} \quad (12)$$

$$L_f = 13.5 \frac{Fr_f^{2/5} \left(\frac{\rho_e}{\rho_\infty}\right)^{1/2} d_j}{(1 + 0.07 Fr_f^2)^{1/5} f_s} m \quad (13)$$

Donde v_e es la velocidad del fluido calculada, f_s es la mezcla estequiométrica basada en los flujos de aire y combustible utilizados, ρ_e , ρ_∞ son las densidades del combustible y del ambiente, respectivamente. g es la gravedad y d_j es el diámetro de la boquilla del quemador, que es 90 mm del manual del modelo escogido. Con estas fórmulas es posible calcular la longitud de llama desarrollada, L_f . Tal como se muestra en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Datos para el cálculo de desarrollo de llama. Fuente: Elaboración propia.

Datos	Nombre	Valor	Unidad
Fr_f	Número de Froude	A hallar	Adimensional
f_s	Mezcla estequiométrica	A hallar	Adimensional
v_e	Velocidad de salida de fluido	A hallar	m/s
L_f	Longitud de flama desarrollada	A hallar	m
ρ_e	Densidad de combustible	0.737	kg/m ³
ρ_∞	Densidad del ambiente	1.225	kg/m ³
g	Gravedad	9.8	m/s ²
T_f	Temperatura de la llama	900	°C
T_∞	Temperatura del ambiente	25	°C
\dot{m}_T	Flujo másico total (aire+combustible)	0.015	kg/s
\dot{m}_{aire}	Caudal másico de aire	0.0144	kg/s
\dot{m}_{gas}	Caudal másico de combustible	0.0006	kg/s
d_j	Diámetro de boquilla del quemador	90	mm

$$v_e = \frac{0.015}{0.737\pi(0.09)^2/4} = 3.19 \frac{m}{s} \quad (11)$$

$$f_s = \frac{1}{\left(\frac{0.0006}{0.0144}\right)+1} = 0.96 \quad (12)$$

$$Fr_f = \frac{(3.19)0.96^{3/2}}{\left(\frac{0.737}{1.225}\right)^{1/4} \left[\frac{900-25}{25} - 9.8(0.09)\right]^{1/2}} = 0.615 \quad (10)$$

$$L_f = 13.5 \frac{0.615^{2/5} \left(\frac{0.737}{1.225}\right)^{1/2} 0.09}{(1+0.07(0.615)^2)^{1/5} 0.96} = 0.77 \text{ m} \quad (13)$$

Para realizar el correcto dimensionamiento de la cámara principal de combustión, se debe tener la dimensión que tiene el cuerpo de la mascota a ingresar de forma horizontal a la cámara, de acuerdo con el inciso 2.1.2 de este documento, es un largo de 0.75 m para mascotas medianas, que es el objeto de ingreso del sistema. De acuerdo con dicho tamaño referencial, se toman los siguientes valores como los representativos para el tamaño del cuerpo de la mascota a ingresar; para el largo fue tomado un valor de 1 m, para el alto 0.3 m y para el ancho 0.75 m. Para que la mascota ingrese de manera correcta y se tenga un espacio adecuado para la adecuación de los elementos electrónicos correspondientes al resto de subsistemas, fue tomado un margen de 0.125 m a cada lado, tanto para el largo como el ancho. Las dimensiones interiores de la

cámara principal quedan con unas medidas de 1.25 m de largo, 1m de ancho y 0.5m de alto. Con ambas consideraciones el largo de la cámara queda de 1.25 m, cumpliendo el mínimo para que la llama se desarrolle y para que la mascota entre en su totalidad.

Adicionalmente, se plantea el dimensionamiento de la cámara secundaria de postcombustión, que se ubica en la parte superior respecto a la cámara principal, esta tendrá las mismas medidas de la cámara principal. dando un total de 1.25m de largo, 1m de ancho y 1 m de alto entre las dos cámaras. Esto se debe a que la cámara debe tener el espacio para mantenerse turbulenta durante el proceso y así asegurar que pueda entrar de manera correcta al lavador de gases.

El dimensionamiento de la mesa en la que se posiciona la mascota del subsistema de ingreso, en concordancia con la lista de exigencias planteada, sus dimensiones son de 0.75m de ancho, 0.5m de alto y 1.25 m de largo. Estas corresponden a las dimensiones internas para el ingreso de la mascota, estas se resumen en la Tabla 4.8. El cálculo de las dimensiones externas proviene del espesor de los ladrillos refractarios en el siguiente inciso .

Tabla 4.8: Consideraciones para dimensionamiento. Fuente: Elaboración propia.

Ítem	Consideración	Valor
1	Largo de mascota	1 m
2	Ancho de mascota	0.75 m
3	Alto de mascota	0.3 m
4	Largo de la cámara principal	1.25 m
5	Ancho de la cámara principal	1 m
6	Alto de la cámara principal	0.5 m
7	Largo de la cámara secundaria	1.25 m
8	Ancho de la cámara secundaria	1 m
9	Alto de la cámara secundaria	0.5 m
10	Largo de la mesa de traslado	1.25
11	Ancho de la mesa de traslado	0.75 m
12	Alto de la mesa de traslado	0.5 m

4.1.4 Cálculo de transferencia de calor.

El objetivo al realizar el cálculo de transferencia de calor del sistema hacia el exterior es el de poder calcular el espesor de los materiales refractarios necesarios para asegurar una temperatura superficial segura para la manipulación de la máquina. Se presenta el arreglo de resistencias descrito de según la Figura 4.1.



Figura 4.1: Modelo de resistencias para transferencia de calor en la cámara de combustión. Fuente: Elaboración propia, con elementos gráficos de Canva

Las temperaturas en las que trabaja tanto la cámara de combustión y postcombustión según lo comentado en la lista de requerimientos del proyecto, de tal manera que en la cámara primaria se tiene una temperatura de 600 °C y en la cámara de postcombustión, ha de ser mayor a 900 °C (ACREMATIION, 2012), que según la literatura investigada son suficientes para un óptimo desempeño del procedimiento de cremación y de postcombustión.

En el cálculo se tomará la condición más crítica del sistema, la de la cámara secundaria que es 900 °C, que es posible debido a que es inferior a la temperatura adiabática de llama hallada en el inciso 3.1.1 del presente capítulo.

La comunidad de Madrid, con uno de sus recientes Decretos del Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios, la temperatura máxima superficial para contacto accidental es de 60 °C, a pesar de ello se decide un valor cercano a la referencia, se toma en la temperatura en la cual la piel empieza a sentir dolor (WHNT, 2015). Este

valor es de 40 °C para la temperatura superficial exterior ($T_{sup,ext}$). Para la temperatura del ambiente se elige un valor de 20 °C. De tal manera, según la Figura 4.2, quedan como incógnitas la temperatura superficial interior de la cámara y los coeficientes de transferencia de calor tanto en conducción, convección y radiación.

Con los datos, correspondientes a la naturaleza del combustible o del material, se puede proceder al cálculo de las temperaturas faltantes, . Tal como se muestra en la Tabla 4.9

Tabla 4.9: Datos para el cálculo de altura de chimenea. Fuente: Elaboración propia.

Datos	Nombre	Valor	Unidad
A	Área de la cámara	0.625	m^2
ρ_g	Densidad de combustible	0.737	kg/m^3
E_a	Energía de activación del metano	81	$\frac{kJ}{mol}$
R	Constante universal de los gases	8.311	$\frac{J}{molK}$
μ	Viscosidad dinámica del gas natural a 900 °C	$2.556 * 10^{-5}$	$\frac{kg}{m \cdot s}$
L_c	Longitud característica	0.214	m
T_{ad}	Temperatura adiabática	1898.73	K

Para hallar el coeficiente convectivo interno es necesario hacer uso de algunos números adimensionales como lo son los números de Reynolds, Nusselt, Prandtl y la ecuación de Mallard y Le Chatelier para el cálculo aproximado de la velocidad a la salida del quemador, según un trabajo consultado que muestra el procedimiento basado en las Ecuaciones 14 y 15 (Bisso Carrasco, 2015).

$$v = \sqrt{e^{-\frac{E_a}{RT_{ad}}}} = \sqrt{e^{-\frac{81 \frac{kJ}{mol}}{8.314472 \frac{J}{mol \cdot K} 1898.73 K}}} = 0.9974 \text{ m/s.} \quad (14)$$

Se calcula el número de Reynolds para analizar el régimen que tiene el fluido, que en este caso es el combustible utilizado, tal como se muestra en la Ecuación 15

$$Re = \frac{\rho v L_c}{\mu} = \frac{0.737 \frac{kg}{m^3} 0.9974 \frac{m}{s} 0.214 m}{2.556 * 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}} = 6154.46 > 4000 \quad . \quad (15)$$

El número de Nusselt tiene varias expresiones a calcular dependiendo del régimen que tiene el fluido. Como tiene un valor mayor a 4000, está en régimen turbulento, por lo que se calcula el número de Nusselt, de acuerdo con lo mostrado en la Ecuación 4.16.

El número de Prandtl se toma como aproximadamente 0.7 para el gas metano que es el mayor componente del gas natural utilizado.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} . \quad (16)$$

$$Nu = 0.023 (6154)^{0.8} 0.7^{0.4} = 21.43 . \quad (16)$$

En las Ecuaciones 17 y 18 se muestra la fórmula para calcular el coeficiente convectivo en base al número de Nusselt hallado.

$$h = k \frac{Nu}{L_c} . \quad (17)$$

donde k es el coeficiente conductividad térmica del fluido y para el metano de 0.220 W/m*K, de acuerdo con resultados experimentales (Afshar et al , 1980).

$$h_{conv,int} = 21.43 \frac{(0.220 \frac{W}{mK})}{0.214 m} = 22.03 \frac{W}{m^2K} . \quad (18)$$

En el coeficiente de convección externo se toma el del aire en convección natural que es de un rango entre 5-25 W/m²K según la publicación del portal (Ayuda de SOLIDWORKS, 2011), se tomó un valor de 20 W/m²K, para los cálculos posteriores.

Para calcular E que es la potencia emisiva total de radiación, basada en la ley de Stefan-Boltzmann , tanto para los cálculos de los coeficientes radiantes internos y externos son realizados utilizando la fórmula conocida para radiación explicada en la Ecuación 19.

$$E = \sigma \varepsilon (T_i^4 - T_\infty^4) . \quad (19)$$

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann. En la Ecuación 20 se despeja E en base al coeficiente radiante y las temperaturas

$$E = h_{rad} (T_i - T_\infty) . \quad (20)$$

En el caso de la radiación externa en donde el coeficiente de emisividad $\varepsilon \approx 0.7$ debido a que es acero el material de la placa, y considerando las temperaturas mencionadas anteriormente de 40 °C superficialmente y 20 grados ambientalmente.

$$h_{rad,ext} = 0.7 (5.67)(10^{-8}) \left(\frac{313^4 - 293^4}{313 - 293} \right) . \quad (20)$$

$$h_{rad,ext} = 4.422 \frac{W}{m^2K} . \quad (20)$$

En el caso interno se utiliza la ecuación de Hottel, descrita en la Ecuación 21.

$$\varepsilon_{gas} = \varepsilon_{vapor\ de\ agua} + \varepsilon_{dióxido\ de\ carbono} - \Delta\varepsilon \quad (21)$$

Donde:

$\Delta\varepsilon$ es un factor de corrección con mezclas de vapor de agua y dióxido de carbono

ε_{gas} es la constante de emisividad del gas en una mezcla de gases no radiantes

$\varepsilon_{vapor\ de\ agua}$ es la constante de emisividad del vapor en una mezcla de gases no radiantes.

Estos datos se sacan de la gráfica recogida del libro Transmisión de calor de Ishachenko (2000), mostradas en el anexo H, en donde toma una presión total de 1 atm y se calcula las presiones parciales y, en el gráfico, intersecarlas con las temperaturas de trabajo y con la magnitud geométrica $L_c = 3.6 \frac{V}{A}$. Se toma el tamaño de la cámara como magnitudes referenciales.

$L_c = 3.6 \left(\frac{1.25(0.5)1}{1.25(0.5)^2 + 1(0.5)^2 + 2(1)1.25} \right) = 3.6 \frac{0.63}{4.75} = 0.483\ m = 1.585\ pies.$

Se calculan las fracciones parciales en las Ecuaciones 22, 23, 24, 25 y 26.

$$P_{agua} = 0.12\ atm . \quad (22)$$

$$P_{diox} = 0.06\ atm . \quad (23)$$

De los gráficos:

$$\varepsilon_{vapor\ de\ agua} = 0.08 . \quad (24)$$

$$\varepsilon_{diox} = 0.08 . \quad (25)$$

$$\Delta\varepsilon = 0.005 . \quad (26)$$

Finalmente:

$$\varepsilon_{gas} = 0.08 + 0.08 - 0.005 = 0.155 . \quad (21)$$

Luego, se plantea la ecuación de flujo de calor por unidad de área, tanto en la zona externa de convección y radiación como la interna, dicho flujo tiene que ser igual y se toma como dato las temperaturas ya expuestas, tal como describe el procedimiento las Ecuaciones 27, 28, 29, 30 y 31.

Externo:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = h_{conv,ext} + h_{rad,ext} = 24.42 \frac{m^2W}{K} . \quad (27)$$

$$R_{t,ext} = 0.041 \frac{m^2W}{K} . \quad (28)$$

$$\frac{Q}{A} = \left(\frac{313-293}{0.041} \right) = 487.80\ W/m^2 . \quad (29)$$

En el caso de la zona interna:

$$487.80 = \left(\frac{1173 - x^4}{0.155(5.67)(10^{-8}) \left(\frac{1173^4 - x^4}{1173 - x^4} \right) + 22.02} \right) . \quad (30)$$

Resolviendo la ecuación:

$$T_{superfical,interior} = 1167.77 K . \quad (30)$$

Luego:

$$R_{t,int} = \frac{1167.77 - 31}{487.80} = 1.748 \frac{m^2W}{K} . \quad (31)$$

Se halla los espesores de los elementos refractarios del sistema, considerando lo hallado. $R_{Tminima} = 0.041 + 1.748 = 1.789$

Considerando que la resistencia térmica de los elementos aislantes, ladrillos, placa aislante y placa de acero es igual al espesor entre los valores de conductividad. Los valores de conductividad se pueden sacar de catálogos y Tablas, se presenta el resumen de los principales materiales comerciales para el sistema en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Conductividades de los materiales de la cámara de combustión. Fuente: Elaboración propia.

Material	Conductividad	Espesor comercial	Densidad (kg/ m ³)	Proveedor
Acero	50.2	> 2 mm	7850	COMASA
Ladrillo, de aislamiento	0.15	228 mm (si se coloca de costado)	600	ANPER
Manta de fibra cerámica	0.16	50.8 mm	128	AAISLACORP

Con ello se puede armar un arreglo, el valor mínimo es el dado por R_T , es decir que los 3 espesores deben ser mayores o iguales a $1.789 \frac{m^2W}{K}$, para hallar la resistencia del sistema que se coloca en el sistema se usa múltiplos del espesor comercial y se suma para hallar el valor total.

En base dicha consideración y a la Tabla se genera el siguiente arreglo de espesores, sumando sus valores, descrito en la Ecuación 32:

$$R_{T,calculada} = \frac{0.228}{0.15} + \frac{0.0508}{0.16} + \frac{0.003}{50.2} = 1.838 \geq 1.789 \quad (32)$$

Con una fila de briquetas ignífugas, una manta y una plancha de metal aleado, rodeando el sistema se consigue un valor mayor al establecido.

El espesor total de pared queda de la siguiente manera, sumando los valores hallados, en la Ecuación 33:

$$Longitud_{pared} = 0.228 + 0.0508 + 0.002 = 0.2808 \text{ m} = 28.1 \text{ cm} \quad (33)$$




El espesor total de la cámara queda de la siguiente manera, según la Ecuación 34:

$$Ancho_{total} = 0.2808(2 \text{ m}) + 1 \text{ m} = 1.56 \text{ m} \approx 1.6 \text{ m} \quad (34)$$

4.1.5 Selección de sensores de temperatura y oxígeno para las cámaras.

Para poder realizar la medición de las variables y así poder controlarlas es necesario realizar una comparación cualitativa y cuantitativa de los modelos disponibles en el mercado internacional. En la Tabla 4.11 son comparados algunos modelos de sensores industriales usados para la industria de hornos y similares, a continuación:

Tabla 4.11 Comparativa entre sensores de temperatura. Fuente: Elaboración propia.

Modelo	TCG51	TC80	CDH-WRN-130-6
Imagen			
Fabricante	Chauvin Arnaud	WIKA	CHAUDI
Tipo	K	K-Clase 2	K-Clase 2
Material	Inconel 600	Inconel 600	Nichrome-Nickel
Diámetro de punta	6mm	8mm	6 mm
Temperatura de operación	Hasta 1000 °C	Hasta 1700 °C	Hasta 1300 °C
Margen de error (°C)	0.004*temperatura	0.0075*temperatura	0.008*temperatura
Conexión	Simple	Simple/Doble	Simple
Precio (\$- s/e)	130.00	228.00	25
País	Francia	Alemania	China

El principal criterio de decisión para escoger un modelo es su capacidad técnica para cumplir con la temperatura planteada en el proceso de mayor temperatura como lo es el de postcombustión a 900 °C, como todos los modelos mostrados cumplen con dicha especificación se escoge el de menor precio que cumpla con la temperatura de operación requerida.

En los sensores, se realiza una comparativa análoga. Tal como se muestra en la Tabla 4.12, a continuación:

Tabla 4.12 Comparativa entre sensores de oxígeno. Fuente: Elaboración propia.

Modelo	ZGP2	OXYFIRE	ZR22G
Imagen			
Fabricante	ABB	NITREX	Yokogawa
Tipo	Zirconio	Zirconio	Zirconio
Temperatura de operación	De 600 °C hasta 1250 °C	De 550 °C hasta 1600 °C	De 600 °C hasta 1400 °C
Rango de salida	De 0 a 1400 mV	De 0 a 220 mV	De 0 a 1600 mV
Margen de error (%)	0.25%	1.5%	1%
Diámetro	10 mm	15 mm	18 mm
País	Canadá	USA	Malasia
Precio (\$ s/e)	3000	En cotización	5980

El criterio definitorio para seleccionar el modelo ZR22G es el rango de temperatura de operación ya que es el modelo que tiene un rango aceptable y cuenta con un precio conocido de 5980 dólares, lo que permite su correcta presupuestación.

4.2. Diseño de estructura.

Se tiene en cuenta el requerimiento que soporte todas las cargas de las cámaras y torre de lavado y aprovisionar un ambiente apropiado para el cuadro de mando. Considerado en el inciso 4.1.3 y los espesores 4.1.4 tenemos las dimensiones que debe cubrir la estructura del proyecto, considerando un espesor total de 0.8 m para ambos lados de la cámara y considerando la mesa de ingreso, se tiene 3.3 m de largo, 2.2 m de alto sin considerar la chimenea y 1.8 m de ancho, las principales dimensiones de la estructura se muestran en la Figura 4.2, a continuación:

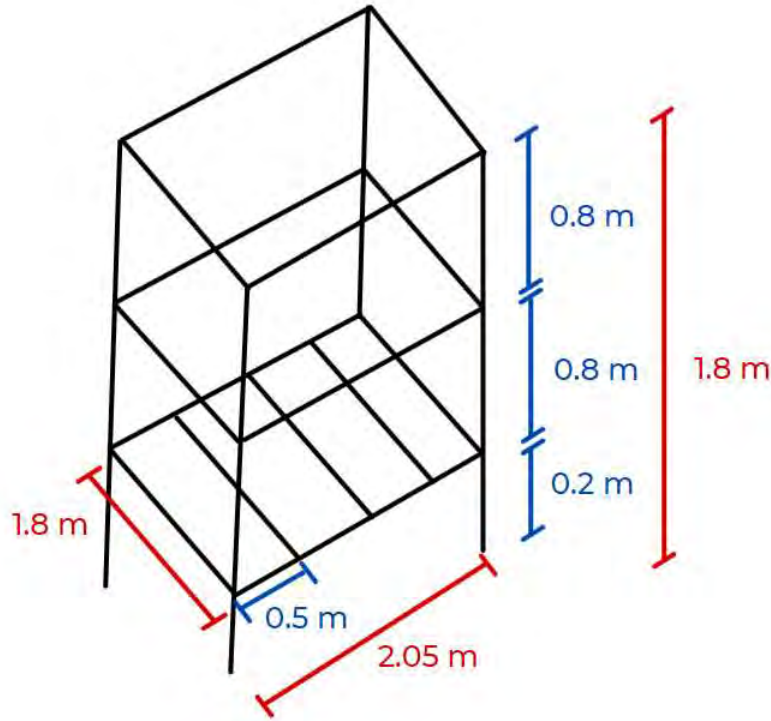


Figura 4.2: Distribución de la estructura para el horno crematorio de mascotas. Fuente: Elaboración propia

Estas medidas resultan de la consideración del cálculo de ancho de pared para que la temperatura superficial esté debajo del rango de dolor humano y se halla el espesor de la estructura metálica con tamaño suficiente para alojar ambas cámaras. Se tiene además una estructura metálica al costado izquierdo correspondiente a la zona donde irá el panel de control del sistema.

Es conveniente analizar el cordón de soldadura necesario para la unión de la estructura, se toma una Tabla comparativa de los principales materiales para seleccionar y realizar el posterior cálculo, se toman perfiles cuadrados para la selección según se exhibe en la Tabla 4.13, a continuación

Tabla 4.13 Comparativa de estructuras metálicas. Fuente: Elaboración propia

Modelo	LAC	LAF	GALV
Material	Acero al carbono	Acero al carbono	Acero al carbono
Fabricante	Aceros Arequipa	TUPEMESA	Aceros Arequipa
Norma	ASTM A500	ASTM 513	ASTM A500
Forma	Cuadrado	Cuadrado	Cuadrado
Resistencia a la tracción (MPa)	269	275	269
Dimensiones (mm)	140	76.2	100
Diámetro interno(mm)	6	2	4.5
Longitud(m)	6	6	6

Se selecciona para el cálculo el modelo LAC de Aceros Arequipa, debido a que tiene un correcto diámetro para una correcta soldadura. Se determina para dicho cálculo un valor de longitud de cordón de 5 mm, que es el mínimo aceptable para aceros al carbono de espesor 6 mm. La zona más crítica de la soldadura es la que soportará las cámaras de combustión y la chimenea.

Para ello es necesario hacer un cálculo aproximado del peso de las cámaras y de la chimenea. Hallamos el volumen del espacio necesario a cubrir con los ladrillos y lo dividimos entre el volumen de los ladrillos para calcular la cantidad de ladrillos en una cámara y tomando la densidad de la Tabla 4.7 de 600 kg/m^3 , se calcula los ladrillos usados, en las Ecuaciones 35, 36 y 37.

$$n_{lad} = \frac{1.85(1.6)0.8 - 1.25(0.5)1}{0.2286(0.1143)0.0635} = 1050.6 \approx 1051 \text{ ladrillos} . \quad (35)$$

$$m_{lad} = 2 \text{ cámaras} * 1051 * (600 * 0.2286 * 0.1143 * 0.0635) \text{ kg} = 2080.9 \text{ kg} . \quad (36)$$

Sumando el peso de la mascota y aplicando un factor de seguridad 1.2, para asegurar la integridad estructural del sistema queda:

$$m_{tapprox} = 2497.08 \text{ kg} = 2.49 \text{ ton} . \quad (37)$$

Planteando que la carga se divide uniformemente en las 3 vigas se tiene que la carga a calcular es de 5080.5 N. Utilizando el manual del curso Introducción al diseño de máquinas, que plantea la resolución del caso 8 del euro código, tal como se muestra en el anexo J, cómo describen las Ecuaciones 38, 39, 40 y 41. Se plantea los esfuerzos característicos del sistema para hallar el espesor del cordón de soldadura, donde a es la incógnita

$$\sigma_n = \tau_n = \frac{3Fe}{\sqrt{2}aL^2} = \frac{3(4233.8 N)800 mm}{\sqrt{2}(a mm)140^2 mm^2} = \frac{366.6}{a} MPa . \quad (38)$$

$$\tau_a = \frac{F}{2aL} = \frac{4233.8}{2(a)140} = \frac{15.12}{a} MPa . \quad (39)$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_n^2 + \tau_a^2)} \leq \frac{\sigma_B}{wfs} . \quad (40)$$

$$\frac{733.67}{a} \leq \frac{\sigma_B}{wfs} . \quad (40)$$

$$\frac{733.67}{a} \leq 179.33 MPa \quad (40)$$

$$a \geq \frac{733.67}{179.33} = 4.09 mm \quad (41)$$

Con lo cual, se calcula el espesor del cordón de 5 mm, que a su vez es el mínimo aceptable para perfiles del espesor seleccionado, con lo que el cálculo queda verificado. Del cálculo realizado, habiendo considerado la norma Eurocódigo caso 8, donde la primera opción cumple el requerimiento de resistencia a la tracción. Este procedimiento se puede acceder en el anexo J para mayores alcances del método de cálculo. Se cumple el cálculo de esfuerzos para la soldadura de la estructura para la zona más crítica, se utiliza cordones de 5 mm para el resto de las soldaduras en la estructura. Este análisis se verifica en la simulación mecánica de la estructura. Se muestra la estructura planteada en la Figura 4.3.



Figura 4.3: DCL de la estructura del sistema. Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Simulación mecánica de la estructura

El objetivo de la presente simulación es la verificación de los cálculos realizados y del perfil, mostrado en la Figura 4.4, los desplazamientos de la estructura.

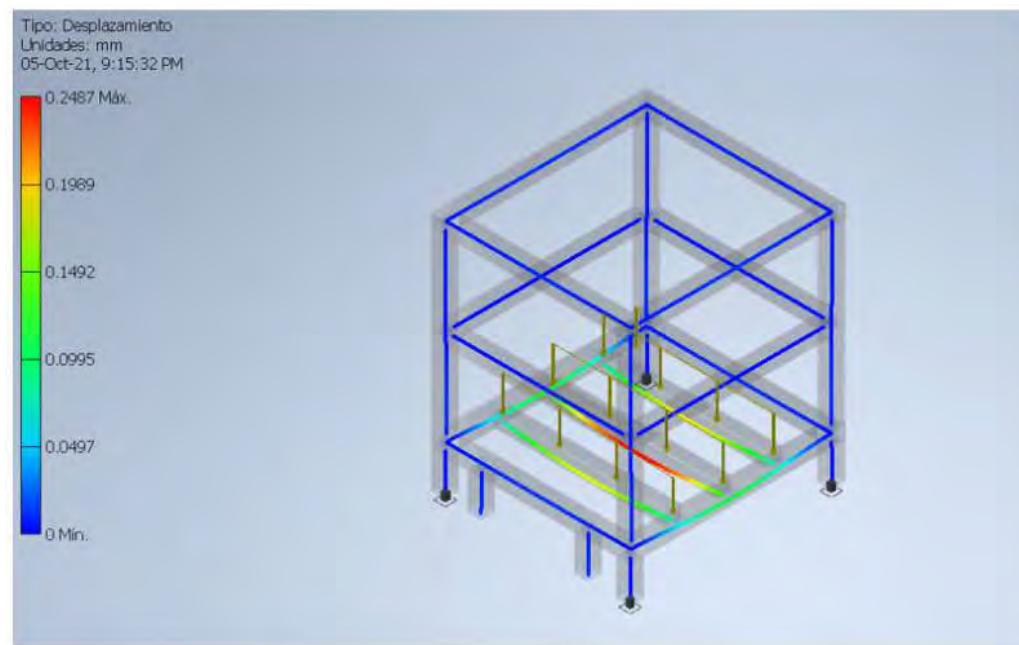


Figura 4.4. Simulación mecánica de la estructura. Fuente: Elaboración propia

Se toma el peso de la estructura y se divide entre los perfiles. Se tiene un desplazamiento crítico de 0.24 mm en el perfil del medio, en la zona central, destacado por el color rojos de la Figura 4.4 por lo que se verifica la selección realizada.

4.3 Diseño del subsistema de tratamiento: Selección de lavador de gases




4.3.1 Selección del lavador de gases

Debido al alcance del presente proyecto, se procede a seleccionar alternativas comerciales para la torre de lavado de gases, que se encarga de la limpieza de los gases de combustión generados durante todo su funcionamiento. Los criterios de elección se basan en el flujo de gas, la naturaleza del gas a lavar y el tipo de lavador de gases. En base a las condiciones operacionales se hace una recopilación de algunos modelos disponibles en el mercado mundial, para proceder a su selección.

Se tiene un caudal 146.54 m³/h o de 86.24 pies³/min para ambas cámaras, unidad mejor conocida como CFM. La naturaleza de tipo de gases de ingreso es en su mayoría CO₂, cabe resaltar que el elemento a cremar no contiene SO_x, ni ácidos ni metales que pueden ser más corrosivos y necesitan una consideración especial en el uso de lavadores de gases. Asimismo, el tipo de lavador a seleccionar es de contracorriente y se desprecia para la selección los demás tipos de lavadores de gases en lecho húmedo.

Se presenta en la Tabla 4.14 las diferentes opciones de lavadores de gases comerciales encontrados disponibles en el mercado mundial, considerando sus características operacionales y lugar de procedencia.

Tabla 4.14 Comparativa de torres de lavado de gases . Fuente: Elaboración propia

Característica	JY800-2	DER-T500	XICHENG 800
Foto			
Fabricante	Botou Ever Lucky Environmental Protection Machinery	Qingdao DEER Environmental Protection Technology	XICHENG
Garantía	1 año	1 año	1 año
Caudal de gas (m ³ /h)	3000	2000	3000
Diámetro de torre (mm)	800	500	800
Diámetro de entrada/salida	320/250	200/200	315/315
Altura(mm)	3500	1500	5000
Peso(kg)	200	500	-
Potencia de bomba de agua (kW)	0.75	1.5	0.75
Lugar de procedencia	China	China	China
Precio(USD)	1,500.00	1,900.00	1,150.00

Se escoge un modelo que más se acerque al caudal necesario por lo tanto se escoge el modelo de Qingdao DEER. Cabe resaltar, que el modelo elegido contiene los siguientes componentes: lavador de gases, *packing*, bomba de agua y tuberías de recirculación. Más información disponible sobre el modelo escogido se encuentra en el Anexo M .Para fines comprobatorios se plantea una desigualdad para asegurar el cumplimiento del correcto ascenso de los gases, según la Ecuación 42 para que no regresen por la chimenea, considerando la fuerza de ascenso del gas y restando la pérdida de tuberías y accesorios.

$$gH \left(1 - \frac{T_{chim}}{T_a} \right) \geq \frac{8}{\pi^2} \left(\frac{1}{D_s^4} + \frac{fL}{D_m^5} + \frac{\sum k_{tub} + k_{aspersor} + k_{packing}}{D_t^4} \right) Q^2 . \quad (42)$$

$$\frac{9.8m}{s^2} 1.97 m \left(1 - \frac{25}{900} \right) \geq \frac{8}{\pi^2} \left(\frac{1}{0.548^4 m} + \frac{0.04(1.97)}{0.287^5} + \frac{6.67}{0.2^4} \right) 0.03^2 . \quad (42)$$

$$16.08 \geq 3.08$$

(42)

Sin embargo, para afirmar que los vapores de sean arrojados al exterior por el lavador se decide colocar un ventilador, usando ductos con diámetro 200 mm, la temperatura del gas es de 37 °C ya que el gas ya pasó por el lavador de gases, el material de los ductos es aluminio 6061 cuya rugosidad absoluta es 0.002 y se sigue las longitudes descritas en la Figura 4.5.

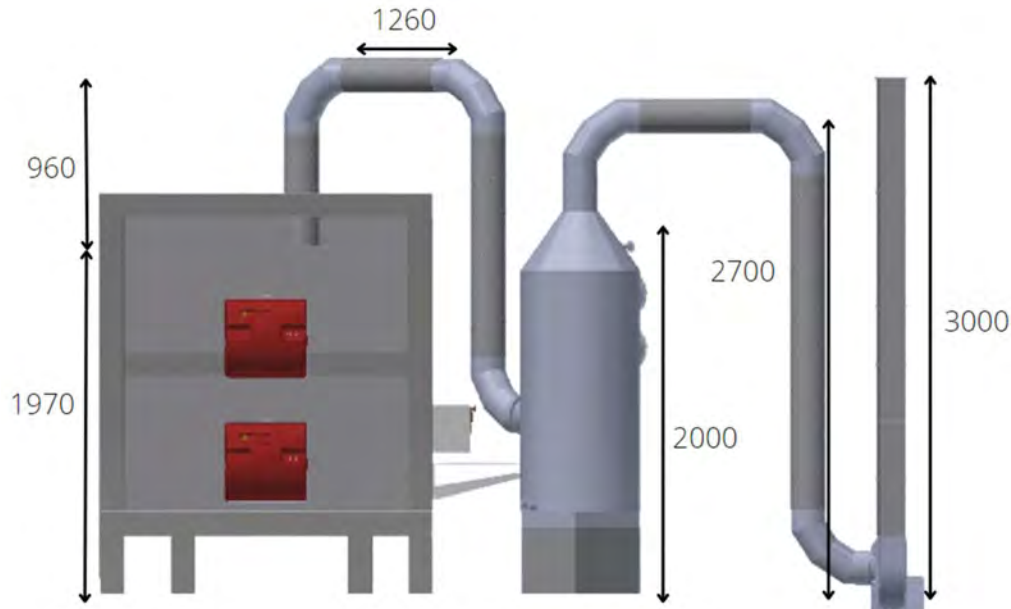


Figura 4.5: Longitudes del ducto correspondiente a la chimenea. Fuente: Elaboración propia

Se inicia calculando la longitud equivalente de los ductos de manera que se considere los tramos rectos y codos del sistema. Se considera que los codos tienen una longitud equivalente igual a $L_{codos} = \frac{nD}{1000} = \frac{30(20mm)}{1000} = 0.6 m$

De manera que la longitud total es, $L = L_{recto} + L_{codos} = (1.26 + 3.78 + 4.31) + 3(0.6) = 11.15 m$, Además, la rugosidad relativa es $\epsilon = \frac{0.002}{0.2} = 0.01$

Lo que se quiere es encontrar el punto de operación del sistema para la selección del extractor centrífugo. Se plantea la ecuación modificada de Bernoulli para la entrada y la salida de los ductos en la Ecuación 43.

$$\frac{\alpha}{2g}(v_2^2 - v_1^2) + \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g} = h_v - h_l \quad (43)$$

En donde, se cancelan las diferencias de presiones y las alturas debido a la configuración del sistema; y la velocidad en 1 es conocida porque es la salida del

lavador de gases 10.51 m/s. h_l es la acción de las pérdidas por la tubería y accesorios y h_v , es la carga del ventilador queda de la siguiente manera en la Ecuación 44.

$$\frac{\alpha}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + h_l = h_v \quad (44)$$

$$\frac{\alpha}{2g} (v_2^2) + \frac{v_2^2}{2g} \left(\frac{f_D L}{D} + \sum K_l \right) = h_v \quad (44)$$

Se hace uso de las fórmulas de flujo volumétrico $\dot{V} = vA = v \frac{\pi D^2}{4}$ Con la velocidad se puede calcular el número de Reynolds para así calcular el coeficiente f_D con la ecuación de Colebrook-White. El flujo volumétrico de operación es el que sale de la chimenea durante el proceso de cremación de 146.54 m³/h; según las Ecuaciones 45, 46, 47 y 48.

$$v = \frac{4\dot{V}}{\pi D^2} = \frac{4(146.64)}{\pi 0.2^2} = 4667.69 \frac{m}{h} = 1.29 \frac{m}{s} \quad (45)$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (46)$$

$$Re = \frac{0.737 \frac{kg}{m^3} 1.29 \frac{m}{s} 0.2 m}{(2.56) 10^{-5} \frac{kg}{m s}} = 7427.58 \rightarrow \text{Flujo Turbulento} \quad (47)$$

Utilizando el factor de fricción en flujo turbulento se tiene la siguiente ecuación:

$$f = \frac{0.25}{\log \left(\frac{\epsilon}{3.71D} + \frac{0.54}{Re^{0.9}} \right)^2} = 0.07 \quad (48)$$

$$\frac{2}{2(9.81)} (1.29^2) + \frac{1.29^2}{2(9.81)} \left(\frac{0.07(11.15)}{0.2} + 0.63 \right) = h_v \quad (44)$$

$$h_v = 554.1 Pa \quad (44)$$

Esta cantidad h_v es la que tiene que elevar el extractor centrífugo, se verifica con un modelo seleccionado cuya curva de operación se tabula en la Figura 4.6 a continuación. Se verifica la elección del extractor centrífugo Blauberg DL-F120C-EC-00 cuyo giro del motor incluido es de 2620 rpm.

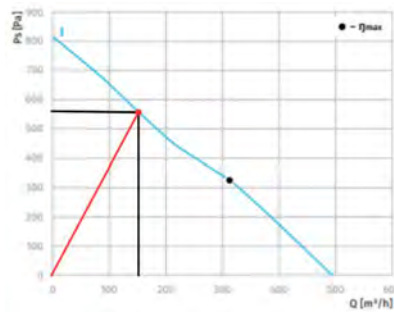


Figura 4.6: Curva de operación de extractor centrífugo. Fuente: Blauberg Motoren

Se elige los ductos comerciales de la marca COVACON S.L, de diámetro 200mm tanto para rectos como para codos de 90° de Calibre 18 para los circulares; utilizando 5.01 m y de 100x100 mm para los rectangulares utilizando 3 de ellos . Para las uniones se usa también 7 juntas tipo METU y 3 juntas bayonetas planas, fabricadas por el mismo proveedor mencionado.

4.4 Diseño de subsistema de ingreso

4.4.1 Selección del mecanismo de ingreso.

En el mecanismo en el ingreso, se tiene unos rodillos transportadores, que permiten el desplazamiento horizontal del cuerpo de la mascota del interior hacia la cámara. Debido a las altas temperaturas que se encuentran en la cámara se utiliza rodillos, el objetivo es elegir el material, tal como se ve en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15: Tabla de comparación de materiales para rodillos. Fuente: Elaboración propia

Material	Resistencia mecánica (MPa)	Temperatura de servicio (°C)
Acero inoxidable	481	820
Aluminio	360	500
Acero al carbono	570	510

4.4.2 Diseño de rodillos transportadores.

Se presenta en la Figura 4.7 el diagrama de cuerpo libre del rodillo , encargado de trasladar horizontalmente a la mascota hasta la cámara principal de combustión.

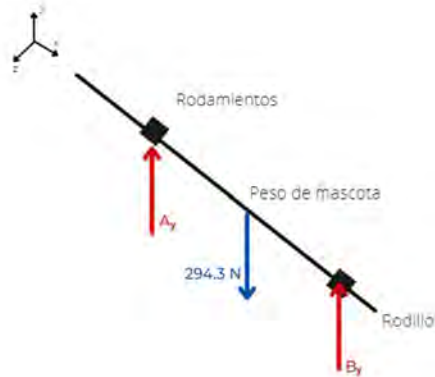


Figura 4.7: DCL del rodillo . Fuente: Elaboración propia

De dicha Tabla se escoge la alternativa acero inoxidable por la temperatura de trabajo. Luego, como se traslada horizontalmente el cuerpo de la mascota adentro de la cámara se tiene una disposición inclinada para que dicho cuerpo sea desplazado con la gravedad y con la ayuda de los rodillos. Se toma en cuenta el dimensionamiento de los rodillos para el traslado de la mascota hacia la cámara principal, tomando como una carga puntual del peso de la mascota, se muestra sus respectivos diagramas en las Figuras 4.8 y 4.9, tanto para la cortante como para el momento flector, respectivamente.

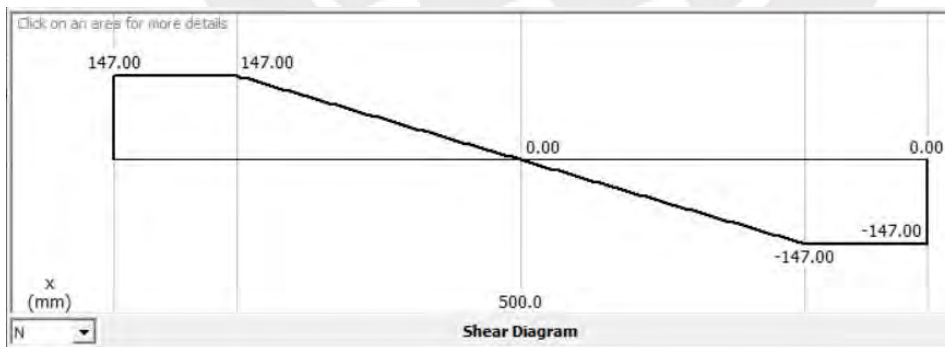


Figura 4.8: Fuerza cortante en el rodillo. Fuente: Elaboración propia

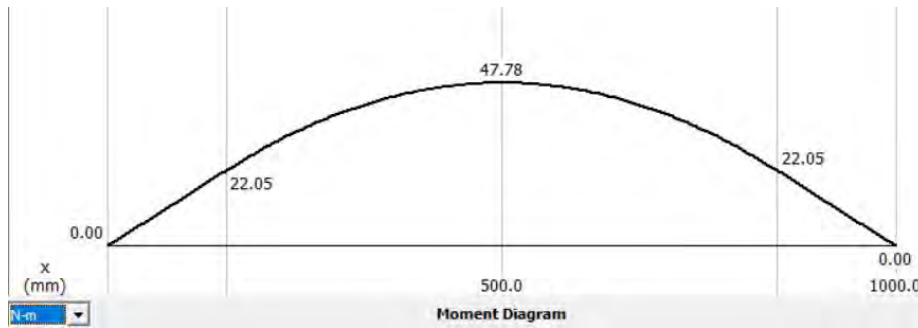


Figura 4.9: Momento flector del rodillo. Fuente: Elaboración propia

Del diagrama planteado se tiene que las reacciones en los apoyos son de $A_y = 147 \text{ N}$ y $B_y = 147 \text{ N}$

Tomando la zona donde existe un mayor momento que es la mitad del rodillo se halla los esfuerzos para compararlos con el crítico del material A-36, se muestra en la Ecuación 49.

$$\sigma_f = \frac{M c}{I} = \frac{47.78 \text{ N.m}(0.01 \text{ m})}{\frac{\pi 0.02^4}{4} \text{ m}^4} = 3.802 \text{ MPa} < 481 \text{ MPa} . \quad (49)$$

Como el esfuerzo de fluencia es mucho menor que el límite se confirma el cálculo del eje para el rodillo, se verifica el cálculo de diámetro de 10 mm.

4.4.3 Selección de rodamientos para los rodillos.

Se sigue las recomendaciones del catálogo del fabricante SKF para rodamientos de bolas, según la Ecuación 50, tomando una reducción a 8 mm que es el diámetro interno del rodamiento (SKF, 2021). Se toma para el cálculo inicial el modelo W 619/8, que tiene los siguientes datos $D= 19 \text{ mm}$ $C =1.25 \text{ kN}$. De ello se halla el diámetro medio que es 13.5 mm a una velocidad de 35 rpm, recurriendo al gráfico 1 del anexo I se tiene una viscosidad nominal de $750 \text{ mm}^2/\text{s}$. Del gráfico 2 del mismo anexo se encuentra el lubricante a utilizar para una temperatura ambiental de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Se encuentra que el lubricante a usar es el ISO VG 220 y se calcula la vida nominal básica con la siguiente fórmula, dada por el catálogo:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 v} \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \frac{10^6}{60 \cdot 35} \left(\frac{1.25}{0.147}\right)^3 = 1 \ 181 \ 375.42 \text{ h} . \quad (50)$$

Se procede a hallar el factor de lubricación $k = \frac{220}{750} = 0.2933$. Considerando un factor de contaminación típica por las condiciones de funcionamiento se coloca un valor de 0.2 por recomendaciones. De la página de SKF al buscar el modelo seleccionado se obtienen los datos necesarios para hallar el factor a_{SKF} , 0.02 kN, velocidad límite 24 000 rpm y factor de cálculo 0.025 de ello se obtiene el valor 0.122 para ir al tercer

gráfico del anexo I y hallar el factor mencionado; dando un valor de 0.25. Finalmente, la vida del rodamiento es de 295343.86 h

4.4.4 Selección de componentes electrónicos para el subsistema de ingreso.

Para generar la inclinación necesaria de los rodillos, se realiza una elevación de 0.2 m por parte del actuador lineal. Se compara de los principales modelos que cumplen esta necesidad de diseño según la lista de requerimientos, tal como se plantea en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16: Tabla comparativa de actuadores lineales para el ingreso. Fuente: Elaboración propia

Modelo	MMAC200	LA22	BHTGA
Fabricante		TECHLINE	XINHUANDUO
Carga Máxima (N)	1000	500	800
Longitud máxima de carrera (mm)	200	200	250
Corriente (A)	-	4.5	3
Voltaje (V)	12	12	12
Precio referencial (\$)	120	350	50

Por el precio mencionado y para una mayor seguridad al levantar la carga, evitando que se pueda inclinar la plataforma, se seleccionan 2 actuadores como los resaltados en la Tabla anterior. Se selecciona el modelo resaltado debido a que tiene un mayor rango de carrera y un menor precio.

4.5 Diseño del subsistema de suministro de combustible

4.5.1 Determinación del diagrama de conexiones para abastecimiento de combustible en horno crematorio.

En el subsistema de suministro, se toma como referencia lo investigado en el capítulo 2, en el trabajo realizado por Gutiérrez et al, que muestra una secuencia de accesorios para el suministro (2016), como se muestra en la Figura 2.5. Se realiza un resumen en la Tabla 4.17 de los elementos necesarios a seleccionar para dicho diagrama.

Tabla 4.17: Tabla de accesorios para gas. Fuente: Elaboración propia basado en Gutiérrez et al.

Ítem	Descripción
1	Tubería
2	Válvula manual
3	Filtro de gas
4	Indicador de presión
5	Interruptor de baja presión
6	Válvula solenoide
7	Válvula de motor

Cabe resaltar que la instalación donde se alojará el sistema debe de contar con un suministro de gas para el quemador, ya que escapa al diseño de la presente tesis.

4.5.2 Uniones del quemador hacia las cámaras.

Para poder asegurar la fijación de los elementos de temperatura y de medición en el sistema se plantea la unión de los quemadores tanto para la cámara principal y secundaria, que asegure la posición de la boca del quemador adentro de la cámara. Se esboza un diseño en base a una placa de apoyo afianzada por uniones atornilladas, tal como se plantea en la Figura 4.10, a continuación:

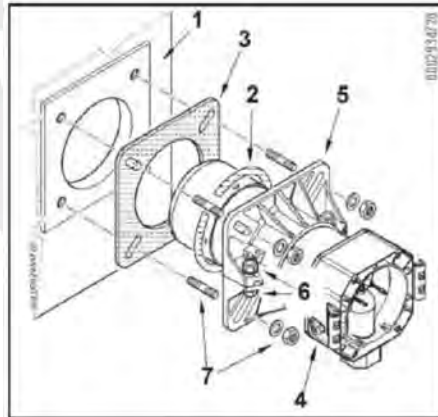


Figura 4.10: Diagrama de la unión. Fuente: Baltur

Este tipo de unión es beneficiosa para este propósito a comparación de una unión soldada porque se puede reemplazar el quemador simplemente desatornillando la unión en caso sea necesario realizar mantenimiento al quemador o exista algún fallo que amerite el desarme de la máquina. En el caso de algunos modelos de quemadores,

se tiene una placa rectangular de un espesor determinado por el fabricante para soportar las cargas del quemador.

4.6. Diseño de subsistema de disposición de cenizas

4.6.1 Diseño de mecanismo de traslado hacia el cremulador.

Según la matriz morfológica se utiliza un conjunto de actuadores lineales, el criterio de elección más importante el largo de extensión del vástago, ya que tiene que empujar los residuos generados hacia el cremulador. En el caso de la longitud, tomando como referencia lo dimensionado en el inciso 3.1.2 se tiene un ancho de 1m por lo que la longitud máxima a extender será ella. En cuanto a la carga que moverá el actuador, tomando como referencia la cantidad producida por el cuerpo humano de un adulto, que, según el portal Slate se reporta que del cuerpo de un adulto promedio se generan 5 libras (Melonyce McAfee, 2006), equivalente a 2.3 kg, aproximadamente. Tomando como referencia el valor de la mitad para el cuerpo de una mascota de 30 kg se tiene una cantidad de materia de 1.15 kg, y tomando un factor de seguridad de 1.5 para poder asegurar el traslado de la materia se tiene el valor de 1.75 kg.

Para hallar la fuerza a aplicar, se realiza el análisis de fuerzas, donde se considera un coeficiente de fricción de 0.905 respectivo a la bauxita que es un material muy común para la construcción de ladrillos refractarios (Li et al., 2017). Y se toma una aceleración pequeña de 0.05 m/s^2 para que el traslado del actuador se de en un tiempo de alrededor 12 segundos. Se muestra en la Ecuación 51 a continuación:




$$F = P (9.81 \mu + a) . \quad (51)$$

$$F = 1.75(9.81(0.905) + 0.05) \quad (51)$$

$$F = 15.62 \text{ N} \approx 20 \text{ N} . \quad (51)$$

Y aplicando un factor de seguridad de 2, para asegurar que la carga se mueva a la velocidad requerida, se tiene que la fuerza que mueve el actuador es de 40 N. Se realiza en la Tabla 4.18 una comparación entre algunos modelos de actuadores lineales para conocer sus especificaciones técnicas y elegir un modelo para el funcionamiento del presente proyecto.

Tabla 4.18: Comparación de actuadores lineales para el traslado a la trituración. Fuente: Elaboración propia

Modelo	Imagen	Voltaje(V)	Longitud máxima de vástago (mm)	Velocidad máxima (mm/s)	Máxima Carga (N)
LM80-H		12/24	1500	110	2000
Electrak		12/24	910	8	6670
DGR2000		-	2000	500	1000

4.6.2 Diseño de cuchilla de trituración

Usando el modelo de cuchilla giratoria empleada para el triturador. Se sabe que la carga a triturar es la resultante de la cremación de un cuerpo de 30 kg de mascota, tomando como referencia el porcentaje de residuos que afirma en el portal Cake, el residuo generado es 3.5% del peso total de la mascota (Oliveto, 2021). En este caso ese valor es de 1.05 kg y aplicando un factor de seguridad de 2, para asegurar que el subsistema pueda triturar la carga a plenitud, para asegurar la correcta trituración, se obtiene la masa a triturar que es de 2.1 kg.

En cuanto al diseño de la cuchilla se busca una configuración geométrica que minimice la deformación de la zona con filo de la cuchilla, maximizando el área de corte para que se realice de una manera óptima. Se toma como referencia los resultados del análisis de deformaciones de diferentes tipos de cuchillas de una reciente investigación, tal como se describe en la Tabla 4.19 (Moyano Arévalo et al., 2020).

Tabla 4.19: Tabla de selección de cuchillas. Fuente: Elaboración propia basado en Moyano Arévalo et al

Tipo de cuchilla	Imagen	Material	Carga Aplicada (N)	Deformación máxima (mm)
Flancos rectos		A-36	4879.98	0.132
Flancos 75 grados		A-36	4879.98	0.0275
Flancos curvos		A-36	4879.98	0.0209

En el caso del eje, se elige un eje hexagonal debido a una reciente investigación que afirma a que tiene una mejor capacidad de transmisión de la potencia, así como su deformación por deflexión es baja, lo que mejora su resistencia a la fatiga y su vida útil (Pei et al., 2021). Se selecciona el modelo con menor deformaciones. Tomando para los cálculos de resistencia un modelo análogo al de flancos curvos de material planteado en la mencionada investigación, con un espesor de 10 mm, según la Figura 4.11 sus dimensiones.

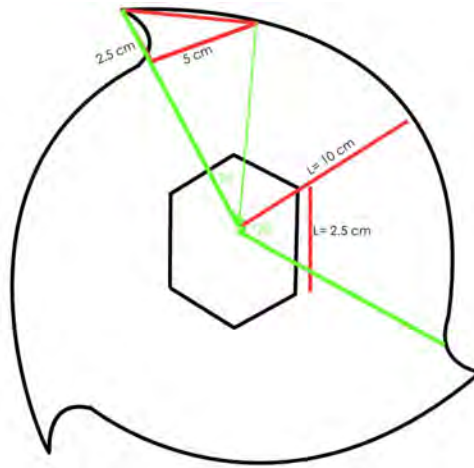


Figura 4.11: Dimensiones geométricas iniciales de cuchilla. Fuente: Elaboración propia

El radio 10 cm y un lado del hexágono regular 2.5 cm y haciendo una aproximación del área de las cuchillas como triángulos de lado 4.99 cm de base y 2.5 cm de altura se tiene la siguiente área, en la Ecuación 52.

$$A_{cuchilla} = \frac{3(4.99)(2.5)}{2} + \pi(10^2) - 6 \frac{2.5\sqrt{3}}{4} = 331.79 \text{ cm}^2. \quad (52)$$

En el análisis se toma el acero 1055 que posee una densidad de 7850 kg/m^3 (Material Mundial, 2019). Con ello se puede hallar el volumen y la masa aproximada de la cuchilla, tomando un ancho de cuchilla de 1 cm, según las Ecuaciones 53 y 54.

$$V_{cuchilla} = 331.79 \text{ cm}^3 \left(\frac{10^3 \text{ mm}^3}{\text{cm}^3} \right) = 331789.23 \text{ mm}^3. \quad (53)$$

$$m_{cuchilla} = 331789.23 \text{ mm}^3 \left(\frac{7850 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000^3 \text{ mm}^3} \right) = 2.60 \text{ kg}. \quad (54)$$

De igual manera se plantean las dimensiones del anillo separador entre cuchillas, con un radio de 8 cm y de mismo lado para el hexágono regular 5 cm. Las áreas, volúmenes y masas se calculan de manera análoga en las Ecuaciones 55, 56, 57 y 58

$$A_{anillo} = 8^2\pi - 6 \frac{2.5\sqrt{3}}{4} = 194.57 \text{ cm}^2. \quad (55)$$

$$V_{anillo} = 194566.74 \text{ mm}^3. \quad (56)$$

$$m_{anillo} = 194566.74 \text{ mm}^3 \frac{7850 \text{ kg}}{\text{m}^3} \frac{1 \text{ m}^3}{1000^3 \text{ mm}^3} = 1.53 \text{ kg}. \quad (57)$$

Asumiendo que su circunferencia generatriz es de 10 cm y el ángulo que cubre es 0.35 rad se tiene un área delimitada por la siguiente ecuación.

$$A_{corte} = 100 \text{ mm}(0.35 \text{ rad})10 \text{ mm} = 350 \text{ mm}^2. \quad (58)$$

Se calcula la cortante en la cuchilla, según la Ecuación 59:

$$\tau = \frac{20 N}{350 mm^2} = 0.0571 MPa . \quad (59)$$

Se plantea un tiempo referencial de funcionamiento del cremulador de 15 segundos, en ese tiempo el triturador debe ser capaz de tener una carga de 2.1 kg. Haciendo una regla de 3 simple para hallar la cantidad de kg por hora asumiendo un funcionamiento ininterrumpido queda de la siguiente manera, en la Ecuación 60:

$$C_h = \frac{60(2.1)}{0.25} = 504 \frac{kg}{h} . \quad (60)$$

Se desarrolla las Ecuaciones 61,62,63 y 64 para encontrar la capacidad de corte del triturador, se toma como base 2 filas de trituradores con una cantidad de 9 cuchillas por fila.

$$C_{t/r} = 3A_{corte\ cuchilla} n_{ejes} n_{cuchilla} t_{espesor\ cuchillas} \rho_{hues\ de\ mascota} \quad (61)$$

Tomando los datos planteados hasta este punto de la investigación y la densidad del hueso encontrada en el anexo B de $3100 kg/m^3$, se resuelve la ecuación de capacidad de corte por revolución, gracias a las Ecuaciones 66, 67 y 68 .

$$C_{t/r} = 3 (350 mm^2) (2) (9) (10 mm) 3100 \frac{kg}{m^3} = 0.5859 \frac{kg}{rev} . \quad (62)$$

Con base de trituración completa en 0.25 min se debe tener una velocidad en rpm suficiente para que se realice en el tiempo designado

$$C_{rev} = 0.5859 \frac{kg}{rev\ min} \frac{rev}{min} 60 \frac{min}{h} = (35.154) x \frac{kg}{h} . \quad (63)$$

Igualando con la cantidad mínima hallada se tiene:

$$x_{min} = \frac{504}{35.154} \frac{rev}{min} = 14.337 rpm \approx 15 rpm . \quad (64)$$

Se halla el torque producido por las cuchillas con la Ecuación 65 del triángulo de corte:

$$T_{cuchilla} = \tau V = 0.0571 MPa(350 mm^2)(100 mm) = 2 Nm . \quad (65)$$

Con 2 filas de 9 cuchillas por lado, se tienen 18 cuchillas con sus respectivos anillos separadores, se tiene un peso total de cuchillas en el eje de:

Adicionalmente se calcula los parámetros necesarios en cuanto a los engranajes para transmitir, desde el motor hacia los engranajes que finalmente hacen girar al eje de las cuchillas. Se quiere que la velocidad del motor se transmita sin reducción o aumento hacia los engranajes por lo que se tiene una velocidad de 35 rpm. Se plantea tentativamente engranajes de módulo 2 y de 24 dientes, de ello se halla el paso y el

diámetro primitivo, según las Ecuaciones 66, 67 y 68 . Se sigue el procedimiento del texto Elementos de máquinas de Faired (1998).

$$p = m\pi = 2\pi = 6.28 . \quad (66)$$

$$d_p = \frac{z_{num\ dientes} p}{\pi} = \frac{24(6.28)}{\pi} = 47.975\ mm \approx 48\ mm . \quad (67)$$

$$r_p = 23.988\ mm \approx 24\ mm . \quad (68)$$

Con el radio primitivo y el torque que otorga el motor se pueden hallar las fuerzas tangenciales y normales, en las Ecuaciones 69 y 70:

$$F_t = \frac{T}{r_p} = \frac{0.2\ Nm}{0.024\ m} = 83.33\ N . \quad (69)$$

$$F_n = F_t \tan(\alpha) = 8.33 \tan(20^\circ) = 30.3\ N . \quad (70)$$

4.6.3 Diseño de eje de trituración

Se toma una geometría análoga al agujero de la cuchilla para el diseño del eje, en este caso un hexágono regular de lado 2.5 cm. Con los datos obtenidos se puede hacer un análisis de resistencia en el eje que contendrá todos los elementos y así dimensionarlo en base a su zona crítica. El análisis se describe en la Figura 4.12.

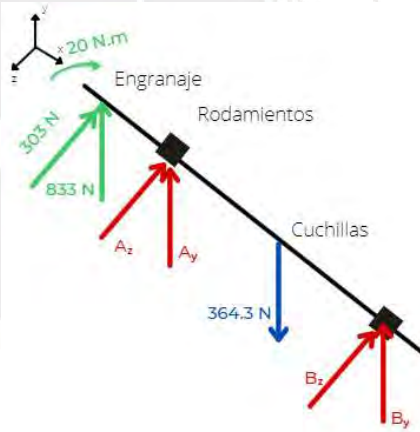


Figura 4.12. DCL en eje. Fuente: Elaboración propia

Haciendo sumatoria de fuerzas y momentos en los ejes y, z. se hallan las reacciones de los rodamientos en las Ecuaciones 71, 72 y 73.

$$\sum F_y: 833 + A_y + B_y = 364.3 . \quad (71)$$

$$\sum M_y : 0.02A_y - 0.09(364.3) + 0.18B_y - 20 = 0 \quad (72)$$

$$\sum F_z: 303 + A_z + B_z = 0 \quad (73)$$

De ello se calculan las reacciones en los rodamientos con los siguientes valores:

$$A_y = -857.2 \text{ N} \quad A_z = -465.8 \text{ N} \quad B_y = 388.5 \text{ N} \quad B_z = 162.8 \text{ N} .$$

Se plantea la gráfica de fuerza cortante y momento flector tal como se describe en las Figuras 4.13, 4.14, 4.15 y 4.16, las dos primeras corresponden a la vista respecto al eje x-y y las últimas dos al eje x-z.

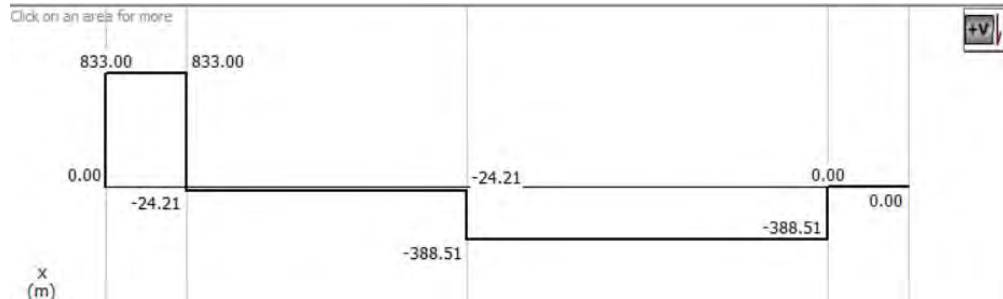


Figura 4.13. Análisis de fuerzas cortante en el eje x-y. Fuente: Elaboración propia

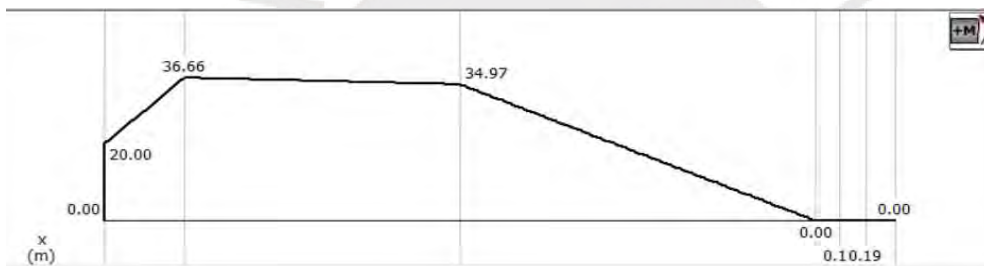


Figura 4.14. Análisis de momento flector en el eje x-y. Fuente: Elaboración propia

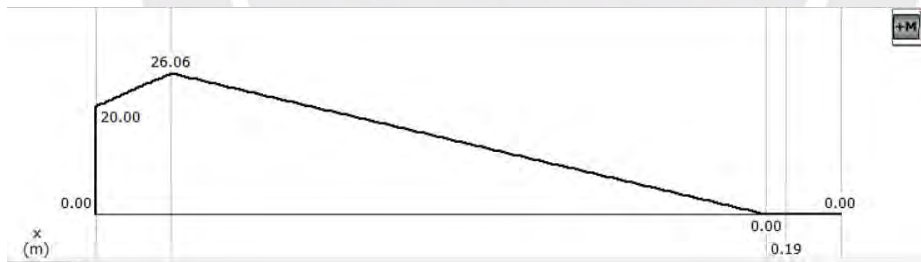


Figura 4.15. Análisis de momento flector en el eje x-z. Fuente: Elaboración propia

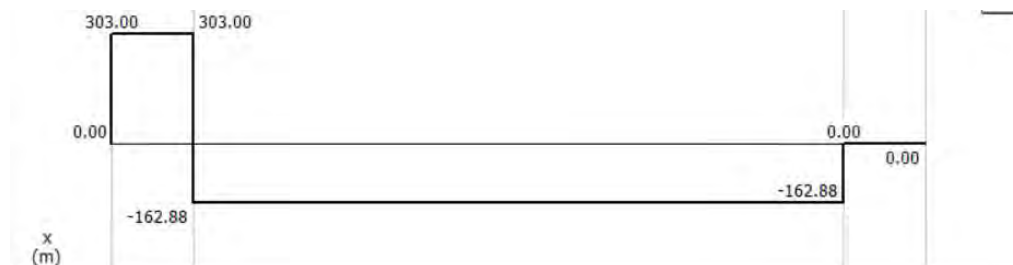


Figura 4.16. Análisis de fuerza cortante en el eje x-z. Fuente: Elaboración propia

Tomando el valor más crítico se puede hacer un análisis de fuerzas combinadas en el eje, este se da a los 0.1 m. En ese punto el esfuerzo por flexión presente es, según la Ecuación 74:

$$\sigma_f = \frac{Mc}{I} = \frac{\sqrt{36.66^2 + 26.06^2} \text{ N.m}(0.022 \text{ m})}{0.06(0.044^4)\text{m}^4} = 4.4 \text{ MPa} . \quad (74)$$

Se verifica que con un hexágono regular de lado 2.5 cm se verifica que los esfuerzos en la zona crítica son pequeños comparados con los esfuerzos de fluencia del material. Se calcula el peso del eje con las dimensiones establecidas según la siguiente fórmula, según la Ecuación 75:

$$m_{eje} = \frac{3\sqrt{3}(25^2)}{2} \text{ mm}^2 (200 \text{ mm}) \left(\frac{7850 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3}\right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000^3 \text{ mm}^3}\right) = 2.55 \text{ kg} . \quad (75)$$

4.6.4 Selección de motor

Del cálculo anterior, se puede seleccionar un motor que cumpla con los requerimientos deseados. Es necesario que el motor tenga un torque suficiente para mover las cenizas, cuchillas, anillos y eje para el trabajo de trituración, en el primer caso se tiene el cálculo de 2 N.m de la Ecuación 92, en el caso de las cenizas y en el caso de los componentes de corte se tiene el valor de 44.97 N.m, de la Ecuación 101 en base al cálculo del engranaje y las masas halladas anteriormente, tal que se tiene un valor aproximado de 47 N.m como torque con una velocidad mínima de 15 rpm. Se muestra en la Tabla 4.20 las principales opciones.

Tabla 4.20: Tabla de selección de motores DC. Fuente: Elaboración propia

Modelo	Proveedor	Imagen	Velocidad(rpm)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Torque (N.m)
BH86 SH120	BHOLANATH		30	200	120/60Hz	50
NCmaster BMM515M	Alibaba		580	300	24	5
22YH23	Dayton		1150	310	115/60Hz	19.1

Se selecciona el modelo resaltado debido a que cumple con el torque necesario cercano al calculado, las revoluciones por minuto cumplen con la trituración mínima necesaria y cuenta con una potencia intermedia.

4.6.5 Selección de rodamientos para el eje de trituración.

Usando el catálogo del fabricante SKF, como referencia para la selección del rodamiento se procede a calcular la vida útil con los siguientes pasos:

Se escoge un modelo para un cálculo inicial del rodamiento estableciendo un mínimo de horas de vida, se plantea un millón de horas y el modelo W 61804-2RS1 cuyos datos principales tienen como diámetro interno 20 mm, externo 32 mm, constante C 3.12, factor P_u de 0.09 y velocidad referencial de 13 000 rpm.

Se procede a hallar el diámetro medio $d_m = 0.5(D + d) = 0.5(32 + 20) = 26 \text{ mm}$, luego se ingresa a la Tabla 1 del anexo I en la cual se puede hallar la viscosidad nominal que sale un valor de $500 \text{ mm}^2/\text{s}$ y de la Tabla 2 se puede escoger el lubricante ISO VG 460 a una temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Luego se procede a hallar la vida nominal del rodamiento tomando la carga planteada anteriormente en el cálculo del eje para las reacciones, con la fórmula planteada de la Ecuación 76 y 77 en el catálogo SKF como lo muestra en la página 89 (2019).

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60v} \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \frac{10^6}{(60)35} \left(\frac{3.12}{0.229}\right)^3 = 1\,204\,309.30 \text{ h} . \quad (76)$$

Este valor hallado se multiplica por el factor a_{SKF} hallado en base a las condiciones de lubricación. Con el hallado se puede hallar el factor $k = \frac{v_{lub}}{v} = 0.92$. Además, de las recomendaciones del manual se tiene una contaminación típica en el triturador ya que pueden ingresar partículas durante el proceso por lo que se plantea un factor de contaminación de 0.2. Se procede al cálculo del factor SKF con los datos mencionados y su intersección con la gráfica 3 del anexo I. El valor de las abscisas de dicho gráfico es:

$$factor_{skf} = \frac{0.2(0.09)}{0.229} = 0.0786 . \quad (77)$$

E intersecándolo con las ordenadas cercano a la curva correspondiente a k se halla un valor de a_{SKF} de 1. Por lo que finalmente, la vida del rodamiento hallado es de $L_{10SKF} = 1\,204\,309.30 \text{ h}$

Finalmente, se comprueba el valor de carga mínima, con la fórmula del catálogo, que nos permite evitar el fallo por derrape de los rodamientos utilizados, el factor k_r y n_r se hallan del catálogo de SKF, según la Ecuación 78, para el modelo seleccionado, se usan unos valores de 0.02 y 13000 rpm respectivamente, la fórmula queda de la siguiente manera:

$$F_{rm} = k_r \left(6 + \frac{4n}{n_r}\right) \left(\frac{d_m}{100}\right)^2 = 0.02 \left(6 + \frac{4(35)}{13000}\right) \left(\frac{26}{100}\right)^2 = 0.0081 \text{ kN} \quad (78)$$

Como la carga mínima es menor de la que se tiene en el rodamiento no fallará por este motivo.

4.6.6 Simulación mecánica de la cuchilla

En el caso de la cuchilla se pretende simular las cargas provenientes de la trituración, con el peso de hueso calculado de 2 kg. En las Figuras 4.17 y 4.18 se ven los esfuerzos máximos y el desplazamiento con las fuerzas aplicadas, respectivamente.

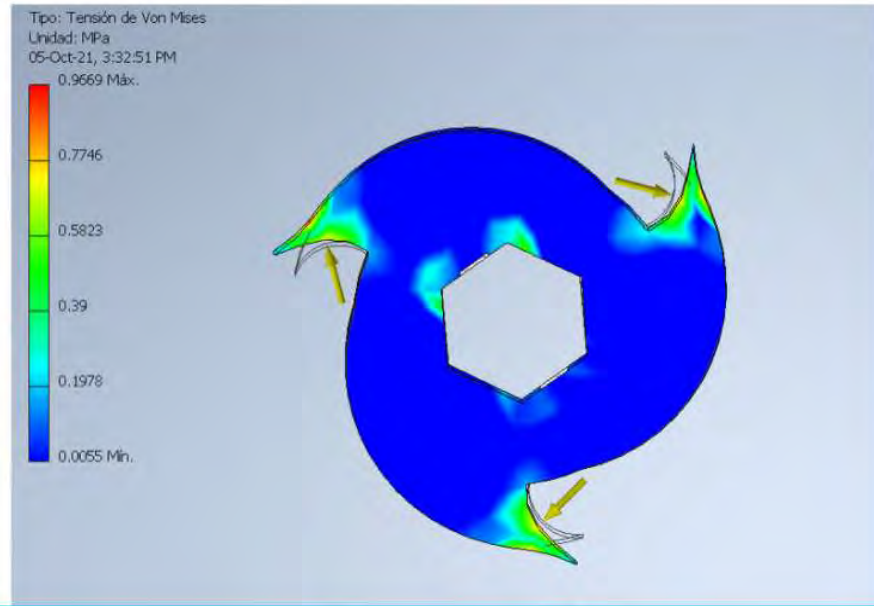


Figura 4.17. Simulación mecánica de la cuchilla, tensión de Von Mises. Fuente: Elaboración propia

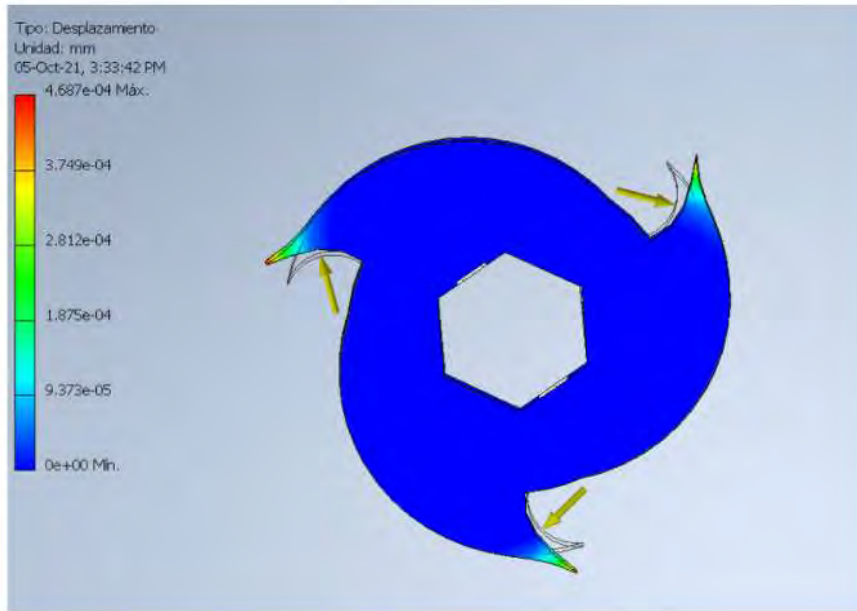


Figura 4.18. Simulación mecánica de la cuchilla, desplazamientos. Fuente: Elaboración propia
 Congruentemente con los cálculos realizados el esfuerzo y deformaciones son mínimas debido a que la carga es pequeña, se tiene un máximo de 0.9 MPa y aunque en la imagen se aprecia exagerado el desplazamiento máximo es de $4.68(10^{-4})$ mm.

4.6.7 Simulación mecánica del eje de triturado

En el caso del eje se desea verificar los cálculos de deformaciones realizados para validar los criterios de diseños tomados en cuanto a la forma y diámetros de la pieza para el correcto funcionamiento del subsistema, que en este caso es el de trituración. Se presenta en las Figuras 4.19 y 4.20 los esfuerzos y desplazamientos del mencionado componente.

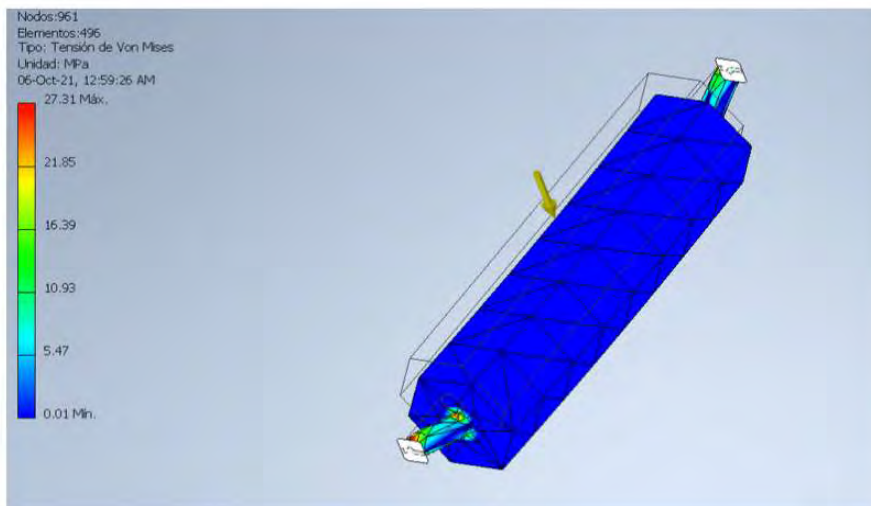


Figura 4.19. Simulación mecánica del eje de trituración, esfuerzos. Fuente: Elaboración propia

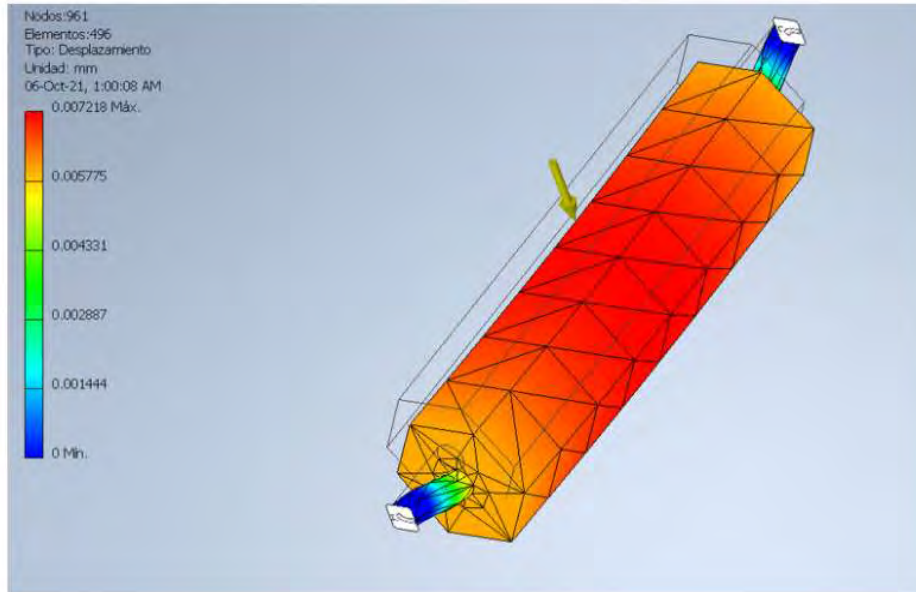


Figura 4.20. Simulación mecánica del eje de trituración, desplazamientos. Fuente: Elaboración propia
 Se aprecia que en el gráfico de esfuerzos se tiene una mayor cantidad de estos en la reducción de área para el acople con los rodamientos, con esfuerzos de 27.31 MPa en la zona más crítica, sin embargo, solamente se presenta unas deformaciones de 0.007 mm en la zona más crítica del eje.

4.7 Lógica de funcionamiento general del sistema

4.7.1 Sistema de control del horno crematorio

Existen variables que se desean monitorear y controlar para cumplir satisfactoriamente con los procedimientos indicados. Se presenta la Tabla de las variables que se desea controlar y/o monitorear, en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21: Definición de variables a controlar y/o monitorear. Fuente: Elaboración propia

Variable	Tipo	Subsistema que participa
Temperatura	Controlar	Cremación
Aire/combustible	Controlar	Cremación
Velocidad de motor	Monitorear	Ingreso, Triturado
Caudal de agua	Monitorear	Lavado de gases
Peso	Monitorear	Triturado
Presencia de mascota	Monitorear	Ingreso
Posición en actuador lineal	Monitorear	Ingreso, Cremación

4.7.2 Selección de estrategia de control

En cuanto a las plantas, se tiene un sistema en el cual se desea controlar las variables temperatura y la relación aire combustible, también conocida por sus siglas en inglés *air fuel ratio*. Para realizar la determinación de las plantas se toman unas consideraciones fundadas en las investigaciones para el control de temperatura y de *air fuel ratio* respectivamente. En el caso de la temperatura, se toma la mención sobre la simplificación de la planta a un sistema de primer grado con retraso con la ecuación $G_t(s) = \frac{Ke^{-ts}}{\tau s + 1}$ (Wang, 2017), donde t es el retraso del sistema en segundos, K es la ganancia del modelo y τ es la constante de tiempo. Se toman valores que representen las condiciones del horno, se toman valores tal que la ecuación queda tal que, $G_t(s) = \frac{35 e^{-50s}}{150s + 1}$, tomando un retraso de 50 segundos, que es el retraso de arranque del sistema y una constante de tiempo de 150 y una ganancia de 35, debido a la relación de las temperaturas de operación $\frac{900-25}{25} = 35$. Tomando la aproximación de Padé en la cual

el retraso se aproxima a $\frac{1 - \frac{t}{2}s}{1 + \frac{t}{2}s}$, queda la siguiente función transferencia para la planta,

en la Ecuación 79.

$$G_t(s) = \frac{-875s + 35}{3750s^2 + 175s + 1} \quad (79)$$

La planta de AFR, Muske plantea un sistema en espacio estado cuyas matrices (Muske, 2006) son, $A = [0 \ 1 \ -2\tau_s^{-1}\tau^{-1} \ -(2\tau^{-1} + \tau_s^{-1})]$, $B = [0 \ 1]$, $C = [2\tau_s^{-1}\tau^{-1} \ -\tau_s^{-1}]$

En este caso τ y τ_s son valores de respuesta del sensor, donde el primero es el retraso del sistema y el segundo la demora en la respuesta del sensor, en el caso del sensor seleccionado anteriormente y su hoja de datos se toma como valores 0.5 y 0.9 segundos respectivamente. De ello, se obtiene su función transferencia dada por $G_p(s)$, en la Ecuación 80

$$G_p(s) = \frac{-1.1s + 4.4}{s^2 + 5.1s + 4.4} \quad (80)$$

La estrategia de control seleccionada es la de PID, debido a la facilidad para modelar el controlador y los diversos métodos para hacerlo; el que se usa en el presente trabajo es del de modelo interno, en el cual, por el modelo descrito se tienen los controladores dados por $C_t(s)$ y $C_p(s)$, descritos en las Ecuaciones 81 y 82

$$C_t(s) = \frac{150s+}{7000} . \quad (81)$$

$$C_p(s) = \frac{0.91s+1}{1.41} . \quad (82)$$

Como las respuestas de los sensores se encuentran en alta frecuencia se toma como realimentación unitaria la acción de los sensores, tanto para la temperatura como para el AFR. Se presenta en la Tabla 4.21 los diagramas de Bode y Nyquist para observar la respuesta en frecuencia del sistema y su estabilidad.

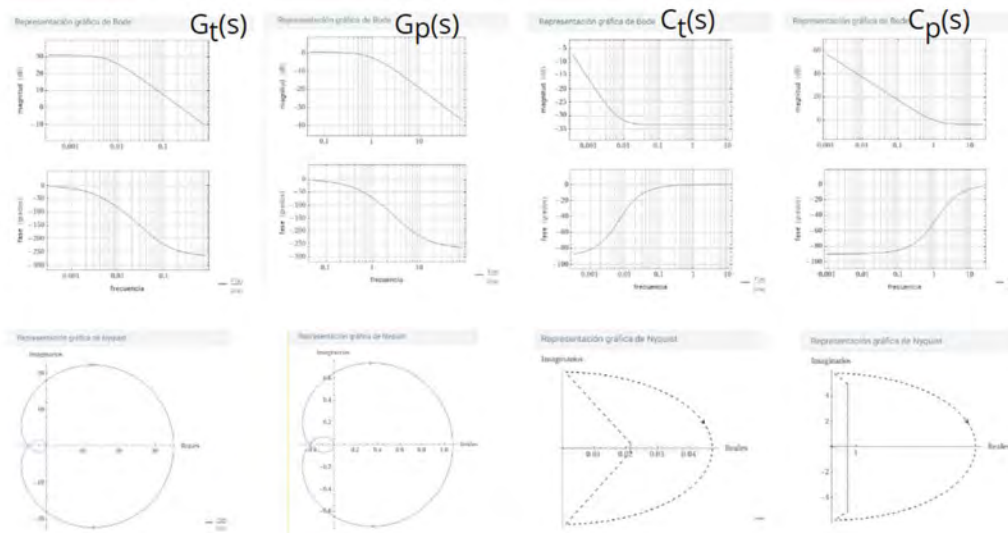


Tabla 4.21: Diagramas de Bode y Nyquist de plantas y controladores. Fuente: Elaboración propia en el programa WolframAlpha

4.7.3 Selección de controladores

El controlador debe tener la cantidad suficiente de pines según: 26 pines digitales 15 entradas, 11 salidas; 4 pines analógicos, 2 entradas y 2 salidas; 10 salidas de relé y una interfaz de comunicación RS485 como mínimo. Se presentan algunos modelos investigados en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22: Comparación entre controladores. Fuente: Elaboración propia

Modelo	Controllino MEGA	XGB Serie SU	S7 1500
Marca	Arduino	VMC	Siemens
Pines:			
Analógicos(E/S)	(16/9)	(60/32)	(168/)
Digitales(E/S)	(21/24)	(12/8)	(8/8)

RS485	1	1	No
Relés	16	112	16
Voltaje de alimentación	12VDC	110/240 VAC	120/230 VAC
Voltaje de salida	5VDC	5DC	24V
Corriente máxima	6A	-	8A
Lenguaje	Arduino	Ladder	Ladder
Precio (\$)	418.5	368.7	1163

La razón por la cual se escoge el controlador llamado Controllino MEGA es porque cumple con los requerimientos deseados de los pines para todos los casos deseados. Además, el precio no es considerablemente elevado a comparación del tercer modelo y es compatible con el entorno Arduino.

4.8 Diseño de panel de control

La disposición del panel de control se da de la siguiente manera, tal como se presenta en la Figura 4.22.

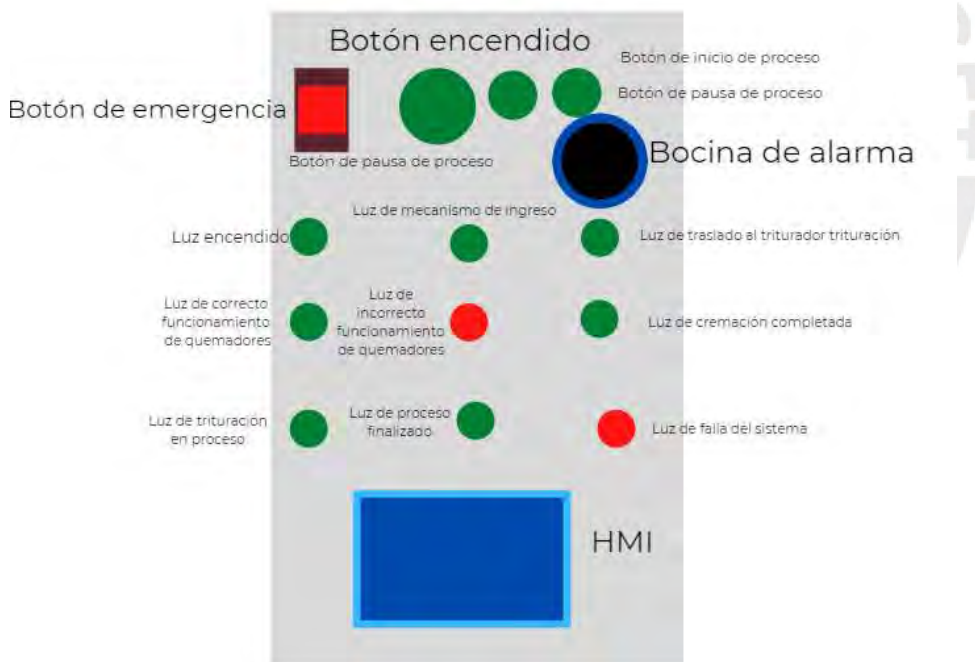





Figura 4.22 Distribución del panel de control. Fuente: Elaboración propia

Se selecciona los LED, botones e interfaz humano máquina en las Tablas 4.23, 4.24 y 4.25

Tabla 4.23: Comparación entre leds Fuente: Elaboración propia



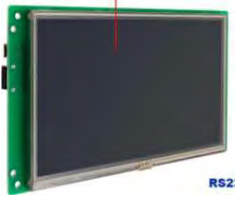
Modelo	LPL 3 Y 4	COB	LG Q971
Marca	Lovato Electric	FullWatt	HARVATEK
Imagen			
Voltaje máximo (V)	12	3.6	3.9
Corriente máxima (mA)	20	280	30
Potencia (W)	0.24	1	0.117
Colores disponibles	Rojo Amarillo Verde	Rojo Naranja Amarillo Verde Azul	Blanco Naranja Amarillo
Precio (\$)	6 (1 u)	4 (5 un)	-

Se escoge los leds de menor consumo en watts que es el modelo de Lovato Electric.

Tabla 4.24: Comparación entre botones Fuente: Elaboración propia

Modelo	ZB2-BE101C	XB4BA31	S2PR-P3G
Marca	ZHECHI	Schneider	Autonics
Imagen			
Voltaje (V)	400	600	12-30
Corriente (A)	6	10	0.2
Precio (\$)	0.7(1 u)	60(1u)	21(1 u)

Tabla 4.25: Comparación entre pantallas HMI Fuente: Elaboración propia

Modelo	GEN4-UCLD-24	SP112-GT70	STVC050WT-01
Marca	Tiva	Atsel	Stone
Imagen			
Voltaje(V)	5.5	24	12
Corriente(mA)	200	210	200
Protocolo de comunicación	I^2C	RS485	TTL
Precio (\$)	60	180	153

En el caso de los HMI los precios de otros modelos son demasiado altos, tomando los más económicos, se selecciona el modelo resaltado debido a que se tiene del controlador el puerto TTL libre y en el caso del segundo modelo la interfaz RS485 se está utilizando ya.

4.9 Integración del sistema.

4.9.1 Presentación de modelo 3D

Se presenta el modelo planteado en base a los cálculos realizados, en las Figura 4.23 y 4.24, se muestran especialmente las nociones generales de tamaño de las cámaras principal y secundaria, los rodillos, la chimenea y la estructura que la contiene.

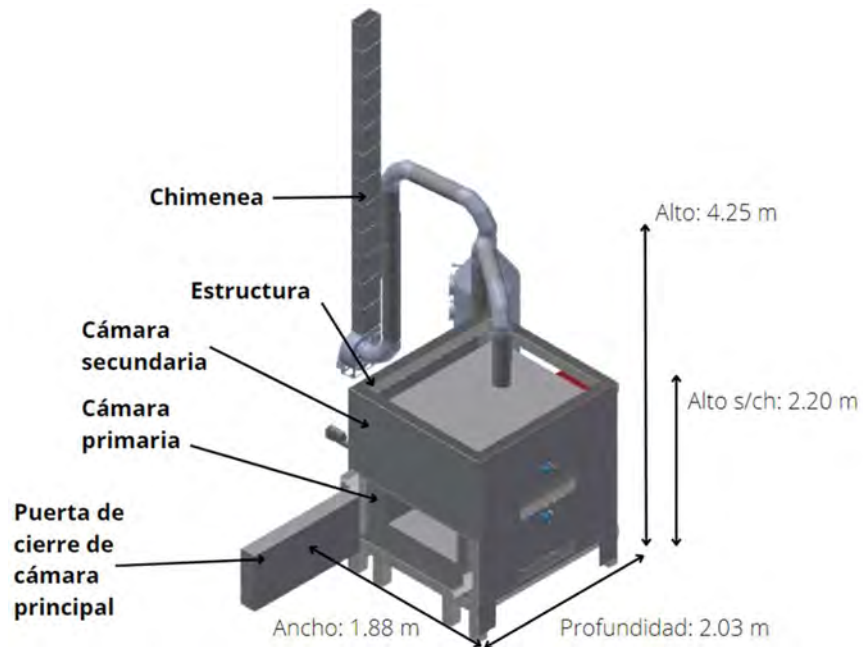


Figura 4.23. Modelo 3D general del sistema vista frontal. Fuente: Elaboración propia

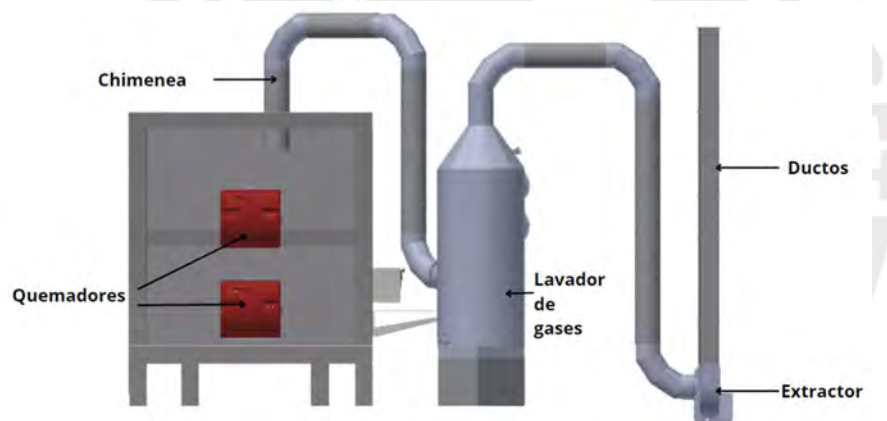


Figura 4.24. Modelo 3D general del sistema vista trasera. Fuente: Elaboración propia

Se presenta, en la Figura 4.25 la vista isométrica del ingreso, identificando los elementos que la conforman con sus rodamientos organizados de manera lateral en la estructura.

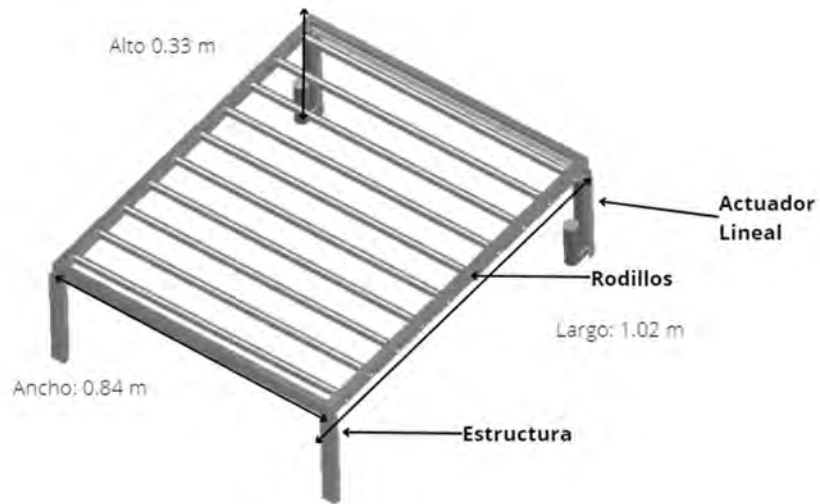


Figura 4.25. Vista isométrica del subsistema de ingreso. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.26 se muestra el subsistema de trituración conformado por las cuchillas, sus anillos y sus ejes; así como la caja que los resguarda.

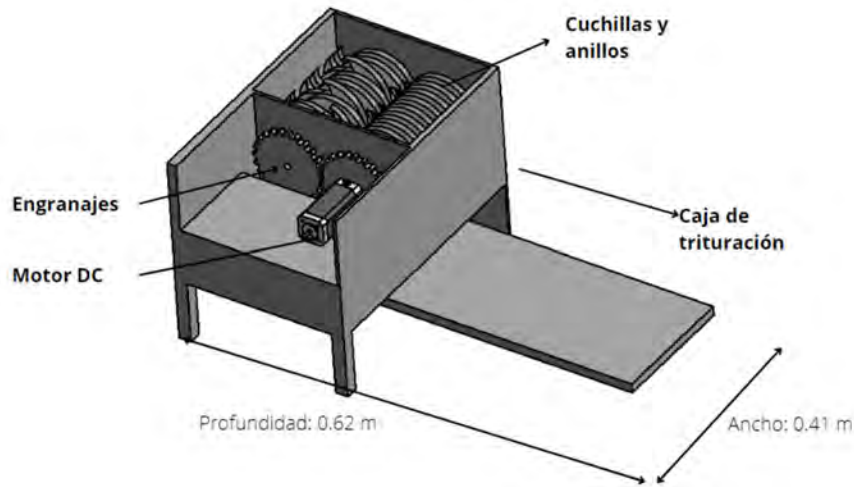


Figura 4.26. Modelo 3D del subsistema de trituración. Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se ve en la Figura 4.27 un detalle del eje de trituración con sus anillos y sus cuchillas intercaladas hasta llegar al número calculado que es de 18.

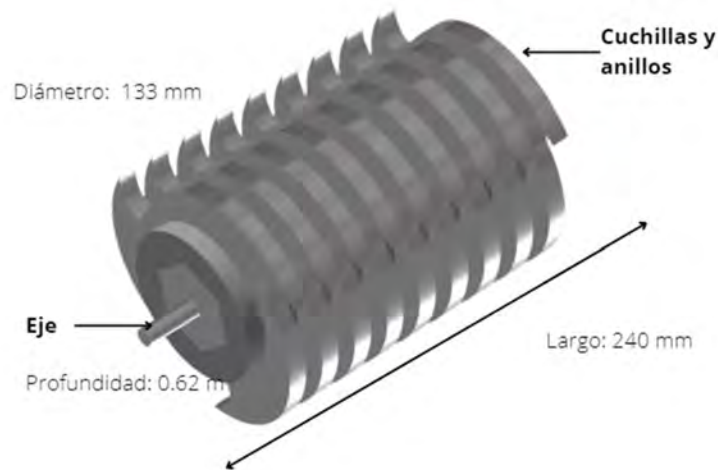


Figura 4.27. Modelo 3D del eje de trituración. Fuente: Elaboración propia

Además, se muestra la distribución del movimiento del mecanismo de traslado hacia el cremulador, resaltando el detalle interno de la cámara principal que tiene una ranura para que las cenizas puedan caer hacia el triturador. Se detalla en la Figura 4.28. Se resalta también la colocación de una cobertura de ladrillos refractarios para que los componentes del subsistema del triturador no se vean comprometidos.

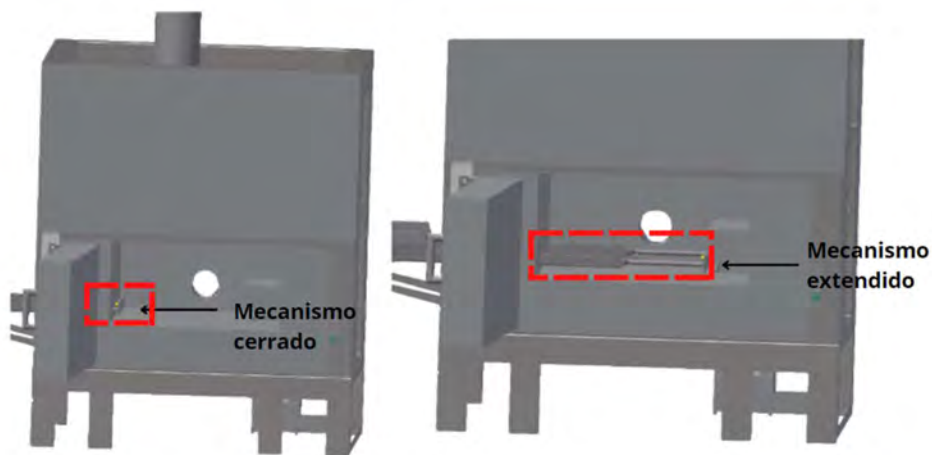


Figura 4.28. Modelo 3D del mecanismo de traslado al triturador, tanto retraído (izquierda) como extendido (derecha). Fuente: Elaboración propia

Se presenta en la Figura 4.29 el ingreso establecido por la puerta que está conformada una franja de ladrillos refractarios y su placa de metal, así como de un mecanismo de cerrojo para asegurar el bloqueo de este antes del inicio del proceso.

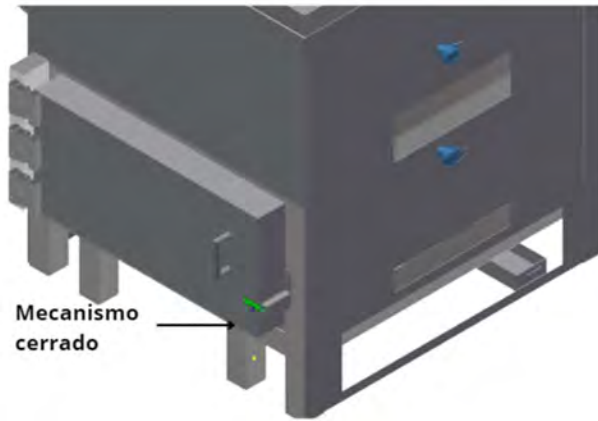


Figura 4.29. Modelo 3D del subsistema de ingreso. Fuente: Elaboración propia



4.9.2 Planos

Los planos mecánicos se encuentran en el Anexo M, para su mejor visualización. Para realizar los planos eléctricos se presenta en la Tabla 4.26 la consolidación de dispositivos y fuentes que consumen energía para realizar el esquema eléctrico.

Tabla 4.26: Potencia total consumida Fuente: Elaboración propia

Componente	Modelo	Cantidad	Voltaje(V)	Corriente(A)	Potencia Total(W)
Quemador	Baltur BTG 3.6P	2	230VAC/60Hz	-	400
Sensor Temperatura	PT80 WIKA	2	12	0.5	12
Sensor Oxígeno	ZGP2	2	12	0.22	5.28
Controlador	CONTROLLINO MEGA	1	12	10	120
Actuador Lineal	BHTGA	2	12	3	72
Sensor fin de carrera	A1LC	1	220VAC	0.3	75
Sensor ultrasonido	HCSR04	1	5	0.015	0.075
Actuador Lineal	LM80-H	2	12	12	312
Bomba Centrífuga	HCL50M	1	220/60Hz	-	370
Motor DC	00817-NE	1	12	16.7	200
Sensor de peso	C2	1	12	0.22	6
LEDS	LPL3-4	5	12	10	12
HMI	STVC50WT	1	12	3	2.4
Botones	S2PR-P3G	2	12	0.3	0.48
Altavoz	BL0253	1	12	0.015	6
Regulador 12DC-5DC	TMR TRACO 9	1	12	0.75	9
Relés	SONGLE	6	12	0.1	7.2
Electroválvula	HESCHEN	1	12	0.17	2
Total					1611.4
Total (ef 87%)					1852.2

Por ello se escoge una fuente de poder de 2200W para la alimentación, se escoge el modelo PES 2200-12 de la marca Belfuse que cuenta con una salida de 12 VDC.

En el caso de los planos eléctricos se presenta el esquema correspondiente al quemador tanto para la cámara principal como la cámaras secundaria, se resalta que la existencia del sensor de detección de llama, el dispositivo de ignición y el termostato se encuentran internamente del quemador por lo que no se presenta cuadro de selección y se esquematiza de tal manera, en el caso del sensor de temperatura y oxígeno no vienen interiormente en el *burner* por lo que sí se realiza la selección y está incluido en el esquema eléctrico que se puede observar en el anexo K, debido al tamaño de la imagen.

Se ve en las Figuras 4.30, 4.31, 4.32 y 4.33 el diagrama de arquitectura de hardware, destacando los tipos de voltaje utilizados para cada dispositivo.

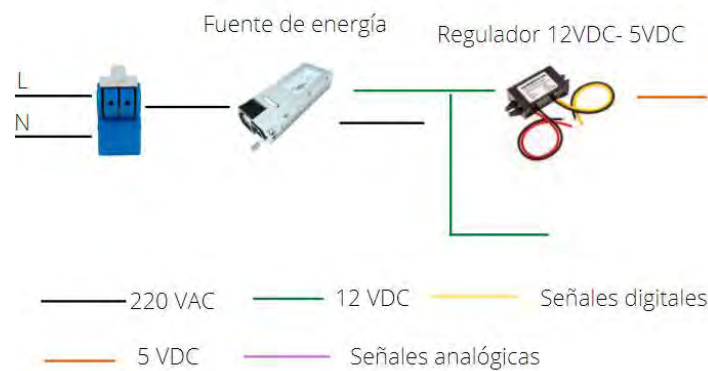


Figura 4.30. Diagrama de arquitectura de hardware, acondicionamiento de voltaje. Fuente:

Elaboración propia

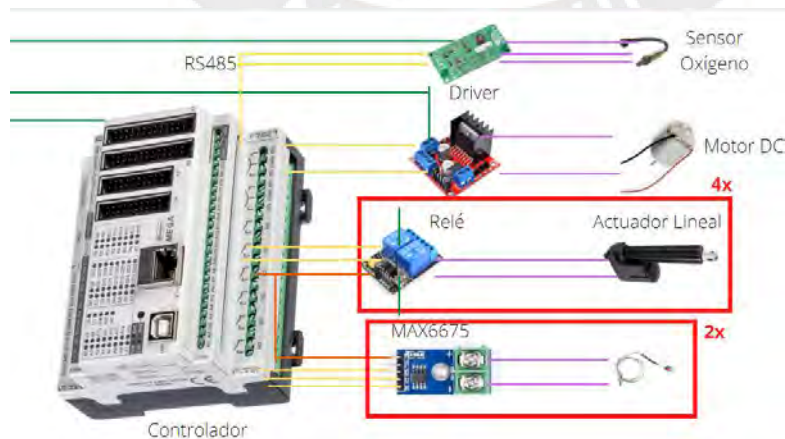


Figura 4.31. Diagrama de arquitectura de hardware, conexiones con dispositivos para ingreso, traslado y cremación. Fuente: Elaboración propia

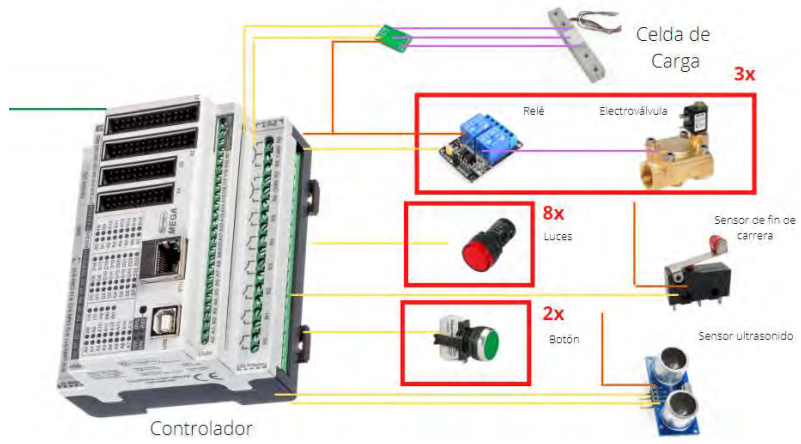


Figura 4.32. Diagrama de arquitectura de hardware, conexiones con dispositivos auxiliares. Fuente: Elaboración propia

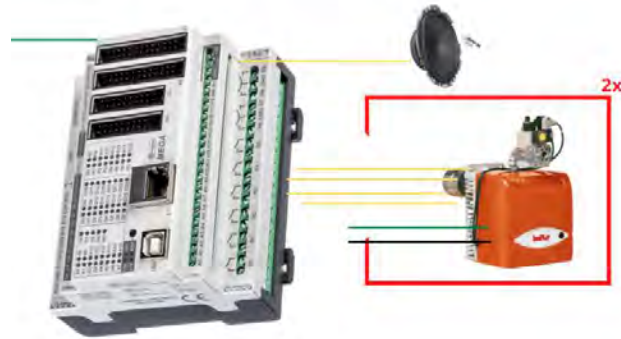


Figura 4.33. Diagrama de arquitectura de hardware, conexiones con dispositivos alarma y quemadores. Fuente: Elaboración propia

Diagrama eléctrico

El diagrama eléctrico elaborado para el trabajo con sus conexiones para los sensores y actuadores utilizados se observa en la Figura 4.34.

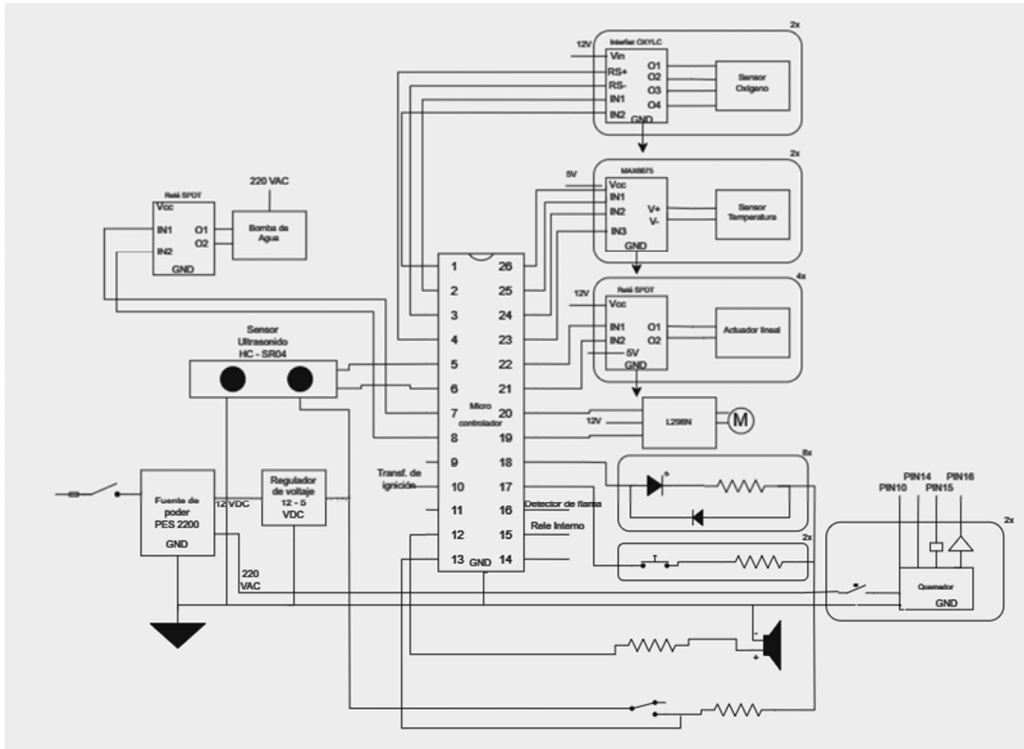


Figura 4.34. Diagrama electrónico. Fuente: Elaboración propia.

Esquemas de tuberías

Los planos de tuberías se identifican tanto en el subsistema de suministro como en el caso del subsistema de lavado de gases, en la Figura 4.35, los diagramas planteados para ambos sistemas.

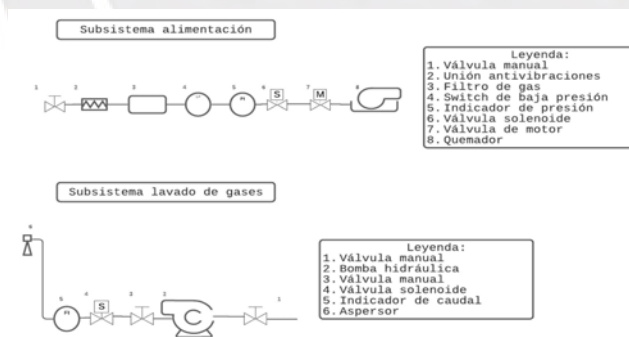


Figura 4.35. Planos de tuberías para subsistema de suministro y lavado de gases. Fuente: Elaboración propia basado en manual BALTUR y manual HCI

Diagrama de flujo

Finalmente, se incluye el diagrama de flujo planteado, que menciona la lógica general de funcionamiento del sistema, desde el ingreso hasta la trituración de la mascota. El mencionado diagrama se presenta en la Figura 4.36

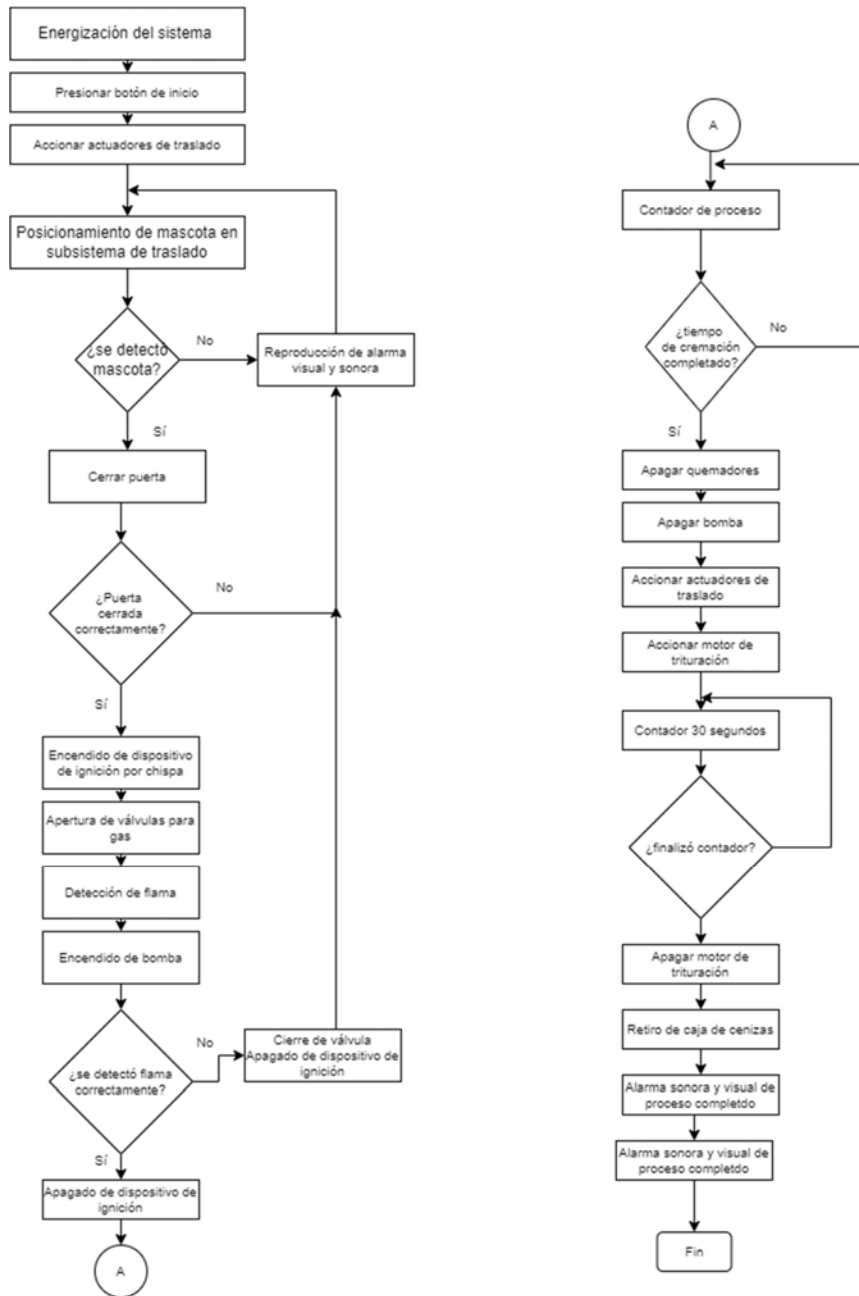


Figura 4.36 Diagrama de flujo del sistema horno crematorio. Fuente: Elaboración propia

4.9.3 Simulación del lazo de control en Matlab

En el caso del lazo de retroalimentación se ejecuta el diseño de un sistema de control con lazo en cascada, para su simulación en Simulink, donde el lazo principal es el de temperatura y exterior es el de aire/combustible, se tiene una consideración basada en una investigación reciente, que menciona que se diseña un controlador para los sistemas por separados y luego se colocan en un lazo interno y luego externo, siempre y cuando el sistema no sea mayor de segundo grado (Wang ,2020). En el caso de las

presentes plantas se tienen dos sistemas de primer grado con retraso, se muestra en las Figuras 4.37 y 4.38 la simulación del lazo individual de la planta de temperatura y AFR respectivamente, y en la Figura 4.39 el lazo en cascada. Se tiene las funciones transferencia calculadas en el inciso 4.7.2 del presente trabajo.

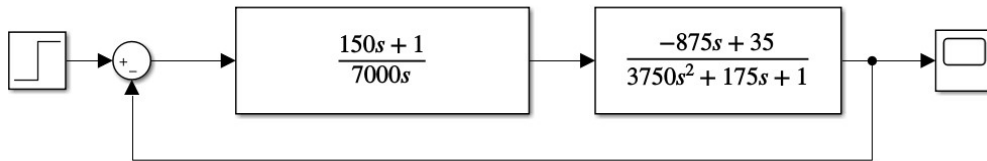


Figura 4.37 Lazo de control retroalimentado temperatura. Fuente: Elaboración propia

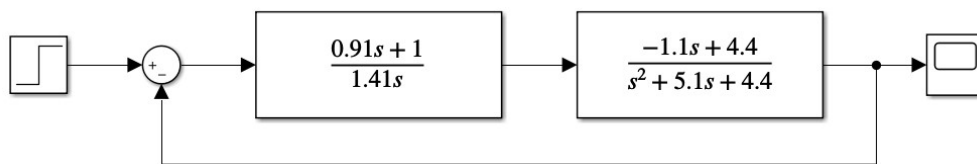


Figura 4.38 Lazo de control retroalimentado AFR. Fuente: Elaboración propia

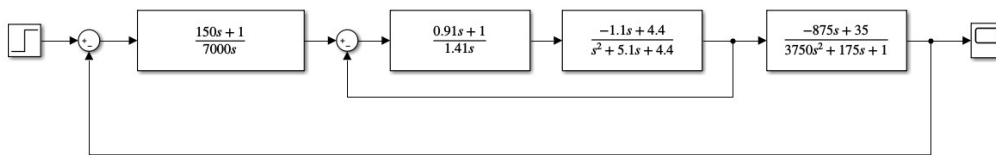


Figura 4.39 Lazo de control retroalimentado en cascada. Fuente: Elaboración propia

El escalón aplicado es de 900 grados de ejemplo, que es la temperatura más alta aplicada en las cámaras de cremación, concretamente en la secundaria.

En las Figuras 4.40, 4.41, 4.42 se muestra la simulación en Simulink de las plantas mostradas respectivamente con un tiempo de simulación de 3600 s.

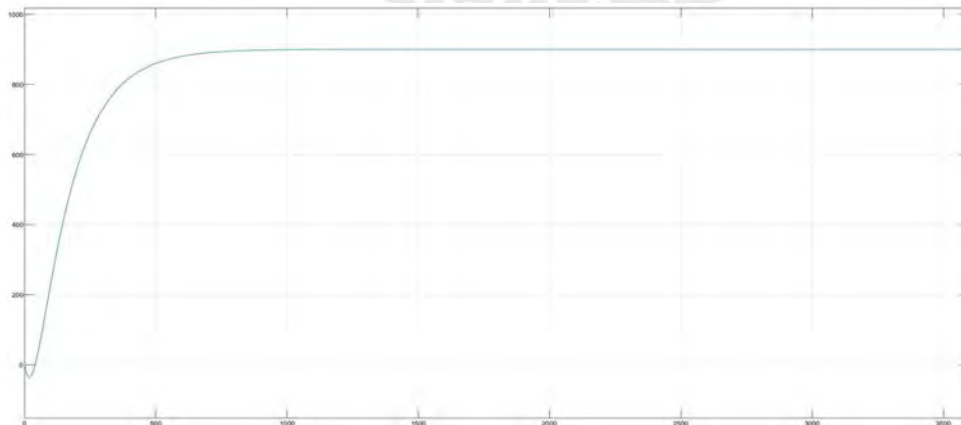


Figura 4.40 Simulación de lazo solo temperatura con escalón 900 °C. Fuente: Elaboración propia

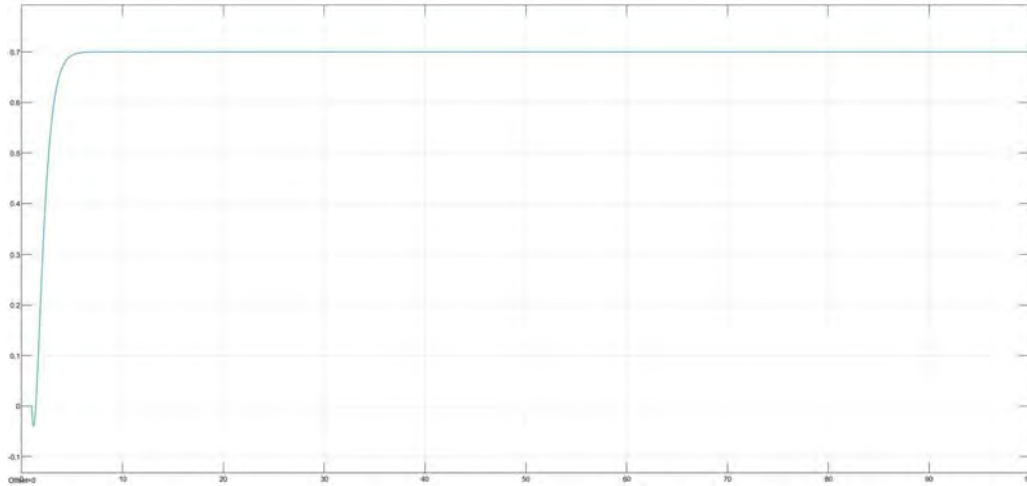


Figura 4.41 Simulación de lazo solo AFR con escalón 0.7. Fuente: Elaboración propia

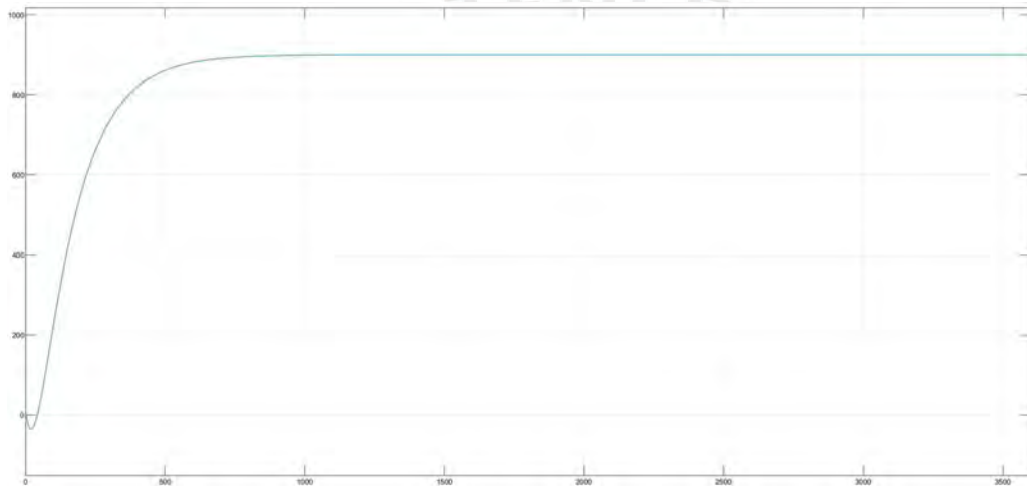


Figura 4.42 Simulación de lazo en cascada con escalón 900 °C. Fuente: Elaboración propia

Referenciando el tercer modelo de la simulación, el caso cascada, se puede inferir que el tiempo de establecimiento, se da al segundo 500. De igual forma, se determinó que se proporcionó un 4% de energía al inicio del movimiento del sistema. Se concluyó que el sistema estaba controlado por el diseño de la caldera para combustión a temperatura ambiente.

CAPÍTULO 5

EVALUACIÓN DE COSTOS

El análisis de costos del trabajo involucra el costo de diseño de ingeniería, los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, y los procesos de fabricación involucrados en la obtención de las piezas del sistema. Asimismo, se realiza un breve análisis económico para evaluar la TIR.

5.1. Valuación de costos

5.1.1 Costo de diseño

Se toma como costo el sueldo de un practicante profesional a dedicación completa en nuestro país, 30 horas por semana de conformidad con normatividad nacional, dando un costo/hora S/. 14. El tiempo destinado en el diseño tanto conceptual como mecánico, eléctrico y de control se dio en 32 semanas, validadas con el cronograma correspondiente a los cursos Trabajo de fin de carrera 1 y 2 de la PUCP en total de 960 horas. El costo de diseño es de S/. 13 440.

5.1.2 Costo de componentes

En la Tabla 5.1, se ve el consolidado de importes, dividido por subsistemas. Para ver las tablas específicas con cada componente seleccionado, estas se encuentran en el anexo M del presente trabajo.

Tabla 5.1: Costo de componentes total. Fuente: Elaboración propia

Subsistema	Costo (S/.)
Cremación	92 712.6
Ingreso	3 892.2
Trituración	3 147.84
Suministro de combustible	2 162.4
Lavado de gases	10 379.1
Panel de control	8 855.4
Total:	121 149.5

5.1.3 Costo de fabricación

Para el análisis de los importes de manufactura, se usan precios de referencia de los mercados internacionales; en el caso de la soldadura se tomó las consideraciones asumiendo que el proceso para realizarla es TIG en acero al carbono. En la Tabla 5.2 se presenta las características pertenecientes al cálculo de este.

Tabla 5.2: Cálculo de costos de soldadura, datos. Fuente: Elaboración propia

Concepto	Valor	Unidad	Fuente
Velocidad promedio	3.3	mm/s	Miller Welds
Longitud total de cordones	20	m	Cálculo aproximado
Precio por hora de servicio de soldador	11.4	S/.	Computrabajo
Precio de electrodo	18.9	S/. por kg	Promart
Precio de alquiler de máquina	30	S/. por hora	Weldssmartly

De los datos observados en la Tabla 5.9, se tiene un tiempo de 1.7 h y tomando como tiempo útil 30%, da un tiempo total aproximado de 6 h en la soldadura. Se detalla en la Tabla 5.3 el desglose.

Tabla 5.3: Cálculo de costos de soldadura, desglose. Fuente: Elaboración propia

Concepto	Precio(S/.)
Precio electrodos	283.5
Precio máquina	180
Precio servicio hora	68.4
Total	531.9

En el caso de los procesos de mecanizado, se toma un valor de recomendaciones de la empresa *Hess Automation* que menciona una velocidad de mecanizado en sus procesos de torno, fresado y taladrado en sus máquinas CNC promedio de 80 mm/min., basada principalmente en el material a ser utilizado y la pieza de corte. Haciendo un cálculo grueso sobre el tiempo total del mecanizado para todas las piezas presentadas en los planos se da un total de 100 horas efectivas de mecanizado. Tomando un precio por hora sugerido por *The Plethora Team* se establece en 35 dólares la hora en un equipo

Control Numérico Computarizado (2021). Dando un cálculo de 14 000 soles para la fabricación de todos los componentes.

Se toma el acondicionamiento de los materiales en el cálculo, por ello se toma un costo por hora de S/.14 y aproximando el número de acciones realizadas para la preparación de 75 número y tomando un tiempo promedio del estudio del trabajo de Bautista et al de 2 minutos por acción (2014). Haciendo un cálculo para hallar el tiempo de acondicionamiento es 2.5 horas requeridas en la preparación. También se considera el costo para el armado del horno, tomando un costo por hora de un obrero en construcción se tiene S/. 9 soles la hora (CompuTrabajo Perú,2021). Tomando que un técnico coloca 500 ladrillos por jornada, el tiempo consumido para la colocación de todos los ladrillos del horno y chimenea son 6 días y asumiendo el mismo tiempo para la colocación del cemento y fibra refractaria se da un total de 12 días a jornada completa, lo que da un valor de S/. 864.

5.1.4 Costo total

Finalmente, en la Tabla 5.4 se muestra el costo total aproximado del proyecto tomando todos los conceptos evaluados anteriormente.

Tabla 5.4: Cálculo total de costo de proyecto. Fuente: Elaboración propia

Ítem	Concepto	Precio(S/.)
1	Costo de diseño	13 440
2	Costo de componentes	121 149.5
3	Costo de fabricación	15 438
Total		150 027.5

5.2 Estimación de tasa de retorno

En la evaluación de la tasa de retorno se necesita el precio por servicio de cremación, en este caso se toma un valor de 500 soles, referencial al valor presentado por Publimetro en un reporte respecto a un servicio originario de la ciudad de Lima (2012). Asimismo, es necesaria la cantidad de mercado disponible, se toma el estudio de mercado realizado en la investigación de Arriaga et al, se menciona que la cantidad de hogares con al menos 1 mascota es de 220,068 (2020). Tomando un valor de 1% de la cantidad mencionada se tienen 2201 mascotas como mercado objetivo para el proyecto, y estimado que el 5% puedan acceder al servicio de cremación al año se tiene una cantidad de 100 mascotas. Planteando que la inversión total se recupere en 4 años

con 100 mascotas cremadas en el primer año y un crecimiento del 10% al año dando un valor de 120 mascotas en el segundo año y así sucesivamente. Se tiene un ingreso de 50000 ,55000, 60500 y 66550 respectivamente. Se procede a realizar el análisis de tasa de retorno con los datos mencionados tal como lo muestra la Ecuación 83, a continuación.

$$VAN = -150\,027.5 + \frac{50000}{(1+k_{TIR})} + \frac{55000}{(1+k_{TIR})^2} + \frac{60500}{(1+k_{TIR})^3} + \frac{66550}{(1+k_{TIR})^4} = 0 \quad (83)$$

El resultado de la ecuación da un valor del $k_{TIR} = 18.97\%$. Este valor, es referencial para poder ser comparado con otras soluciones y proyectos de inversión y ser elegido para una posible implementación.



CONCLUSIONES

Se ha realizado el diseño de un “horno crematorio” privado para animales domésticos de compañía con capacidad máxima de 30 kg. Se presentan las conclusiones correspondientes al presente proyecto.

- Se ejecutó el análisis del estado de la tecnología en las principales actividades relativas a la incineración, tratamiento de vapores y cremulado, diferenciando sus clases, su principio de diseño y operación principal. Para la incineración existen dos procedimientos, la combustión e hidrólisis alcalina, y dentro de la combustión se ha recopilado los diferentes combustibles que se pueden usar y sus implicaciones normativas, se decidió usar gas natural debido a su disponibilidad en el País. En el caso del lavado de gases se investigó el funcionamiento de las torres de lavado a contraflujo y su impacto antrópico; para la cremulación los principios de triturado de restos de una cremación. Asimismo, se investigó los procesos relacionados a la seguridad para mantener condiciones satisfactorias en la manipulación y traslado de la mascota, así como la operación fiable para el operario de la máquina, estas implican principalmente una óptima alternativa de componentes ignífugos tanto en clase como en grosor, los cálculos han sido realizados tomando en cuenta dichas consideraciones para evitar quemaduras al personal.
- Por la metodología utilizada se dividió el proyecto en subsistemas, en ingreso, suministro de combustible, cremación, trituración y lavado de gases. Se desarrolló, tres alternativas de solución de conformidad a una matriz morfológica, definiendo una diferenciación entre principios tecnológicos para cada una de las funciones en alternativas, se las esquematizó mediante dibujos a mano alzada para observar sus detalles tanto internos como externos. Se realizó una evaluación técnica- financiera con la cual se definieron reglas, función principal, seguridad, nivel de interacción con el personal, complejidad e impacto antrópico. En el aspecto económico se planteó, costos de tecnología, costos de fabricación, costos de operación y mantenibilidad. Se realizó una ponderación y se concluye que, la solución ganadora era la primera y en ella se basó el diseño mecatrónico posterior.

- Se diseñó la estructura que contienen a las cámaras de cremación tanto la principal como la secundaria. Se tomaron perfiles cuadrados huecos de ancho 6 mm con una longitud de 140 mm, de acero al carbono LAC. Estos soportan el peso de las cámaras, por lo que se coloca cordones de soldadura de ancho de garganta de 5 mm, se validó el cálculo para asegurar la resistencia estructural. Dicho diseño fue simulado en el entorno Inventor mostrado, en la Figura 4.4, con una deformación en la zona más crítica de 0.25 mm. El diseño de las cámaras fue en base cálculo de transferencia de calor para hallar el grosor de las briquetas ignífugas, fibra cerámica y placa de acero el cual da un total de 28.1 cm por lado. Las dimensiones finales de cada cámara son de 1.25 m de largo, 1 m de ancho y 0.5 m de alto. Estas dan un total de 1.25 m de largo, 1 m de ancho y 1 m de alto. Y considerando los espesores calculados el ancho total queda con una medida de 1.6 m de ancho, 1.8 m de largo y 1.6 m de alto.
- Se elaboró el subsistema de lavado de gases, seleccionando una torre lavadora a contraflujo disponible en el mercado, considerando el caudal de vapor de 146.54 m³/h. Con cálculos para comprobar la subida de los gases y se colocó un ventilador centrífugo para asegurar la subida de gases. En el modelo elegido la potencia de la bomba de agua utilizada es de 0.75 kW.
- El cremulador fue diseñado con el objetivo de triturar los residuos resultantes de la de la incineración, considerando 9 hojas en cada eje y 2 ejes, con una potencia de corte/hora de 35 kg y revoluciones mínimas de 15 rpm, se plantea el torque necesario para mover las cuchillas y moler el contenido óseo producido con una fuerza de 20 N.m, para un tiempo de trituración de 15 s.
- El método control utilizado fue el PID en cascada con el fin de controlar las temperaturas en las cámaras y la relación aire/combustible presente en los *burners*. Se determinó las plantas siguiendo metodologías en artículos especializados previos, y se realizó la simulación en Matlab, pudiendo controlar dicho lazo realimentado al ser aplicado una entrada escalón. El sistema alcanza el punto de operación deseado de 600 °C para la cámara principal y 900 °C para la secundaria, en aproximadamente 500 segundos, se concluye que el diseño de la estrategia de control es exitoso durante toda la duración del proceso de cremación de 1 hora
- Se realizó la evaluación económica y análisis de costos del proyecto en diseño como en componentes y fabricación. En el primer concepto se plantea un costo

de 13,400.00 soles, en el segundo concepto de componentes se tiene un costo de 121 149.5 soles y en el caso de fabricación de 15,438.00 soles. De ello se concluye que el costo total es de 150 027.5 soles del presente proyecto.



RECOMENDACIONES

Se realizan las principales recomendaciones fruto del presente trabajo para la oportunidad de realización de trabajos futuros.

- Se presentan grandes oportunidades para la realización de una simulación más compleja del proceso de combustión en el horno, especialmente con una simulación CFD (Simulación computacional de fluidos), para observar las zonas con mayor impacto por los quemadores y así perfeccionar el diseño del crematorio.
- Se sugiere una determinación de los *burners* para las cámaras de combustión en un experimento para hallar una función de transferencia exacta para su uso en el dominio de control y compararla con la simplificación tomada.
- Existe una oportunidad de realizar una mejora de diseño tomando en cuenta la inclusión del GLP como combustible admisible en el horno crematorio y torre de lavado para una mejor flexibilidad en el uso del crematorio diseñado.
- Se recomienda explorar con nuevas técnicas de cremación más amigables con el medio ambiente, como la hidrólisis alcalina, debido a la creciente importancia que está teniendo en la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- Access Engineering. (2021). Pipe Properties (U.S. Customary System of Units)
McGraw-Hill Education
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071440905/bac-k-matter/appendix2>
- Addfield (2016). Cremulator- Procesador de residuos | La cremacion de mascotas.
<https://addfield.com/es/machines/cremulator-procesador-de-residuos/>
- Addfield (2016). Mesa elevadora hidráulica | cremación de mascotas.
<https://addfield.com/es/machines/hidraulica-elevadora-mesa-mascota-cremacion/>
- Addfield. (2016). Cremación de mascotas | PET200 | Addfield Environmental Systems.
<https://addfield.com/es/machines/mascota-cremacion-maquina-pet200/>
- Addfield. (2019, 15 de enero). Discover the history of Pet Cremation.
<https://addfield.com/the-evolution-of-pet-cremation/#:~:text=The%20Evolution%20of%20Pet%20Cremation&text=In%201873%20an%20Italian%20professor,built%20across%20England%20and%20Germany.>
- Afshar, R., Cogley, A. C., & Saxena, S. C. (1980). Thermal Conductivity of Methane at Atmospheric Pressure in the Temperature Range of 360-1275 K. *Journal of Heat Transfer*, 102(1), 163–167. <https://doi.org/10.1115/1.3244230>
- Agencia Efe. (2021, 19 de marzo). Cadáveres son amontonados por falta de espacio en un cementerio brasileño. www.efe.com.
<https://www.efe.com/efe/america/sociedad/cadaveres-son-amontonados-por-falta-de-espacio-en-un-cementerio-brasileno/20000013-4491743>

- Alessandretti, C., & Ranchetti, R. (2007, 2 de octubre). Mobile cremation systems. Google Patents. <https://patents.google.com/patent/EP2045525A2>
- Anathomic Solutions S.L. (2016). CR 001 Procesador de cenizas. Anathomic Solutions. <http://www.anathomicsolutions.com/es/productos/area-funeraria/cremulador/cr-001-procesador-de-cenizas/>
- Angélica, L., Carlos Ponce Corral, Janette, E., & Javier León Ordaz. (2011). Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET. Cultura Científica Y Tecnológica. <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/866>
- Arriaga, R., Brito, A., de la Cruz, A., & Morales, L. (2020, 17 de enero). Crematorio de Mascotas “Patitas del Recuerdo”. Repositorio UPC. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/651995>
- Azizi, Fouad & Elhadj, Jessy & Al-Hindi, Mahmoud. (2014). A Review of the Absorption and Desorption Processes of Carbon Dioxide in Water Systems. Industrial & Engineering Chemistry Research. 53. 2-22. 10.1021/ie403245p.
- Bautista, Y., Gómez, M., Morales, L., César, M., Bautista, Y., Gómez, M., Morales, L., & César, M. (2014). Estudio de tiempos en una empresa metal-mecánica Cuerpo Académico “Gestión de la Educación y la Producción.” <https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Ingenieria%20y%20Tecnologia%20T-VI/ARTICULO%201.pdf>
- Bedoya, D. (2019, 12 de abril). Así era por dentro el crematorio informal clausurado en La Victoria. El Comercio Perú. <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/temor-crematorio-informal-comuna-victoria-cerro-local-30-dias-fotos-noticia-625566-noticia/?foto=3>

- Beuth Verlag. (2019, 1 de noviembre). Beuth Verlag. beuth.de.
<https://www.beuth.de/en/technical-rule/vdi-2221-blatt-1/311603768>
- Bhujbal, S., Andhale, A., Deshpande, A., & Pimpalnerkar, S. (2016). Implementation of control algorithm for furnace temperature control in CFD simulation. 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). <https://doi.org/10.1109/icacdot.2016.7877561>
- Bisso Carrasco, J. L. (2015, 31 de octubre). Determinación de la velocidad de llama laminar en un quemador de premezcla. Repositorio de Tesis PUCP.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6377>
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2020, 12 de noviembre). Pet. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/animal/pet>
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2020, 7 de mayo). Cremation. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/topic/cremation>
- Broggi, A. B. (1993, 29 de julio). Cremation furnace with electrical heating. Google Patents. <https://patents.google.com/patent/EP0636838A2/en>
- Brown, A. (2001, 4 de diciembre). Mobile crematorium. Google Patents.
<https://patents.google.com/patent/US6729247B2/en?q=US+6%2c729%2c247+B2>
- Buddhachat, K., Klinhom, S., Siengdee, P., Brown, J. L., Nomsiri, R., Kaewmong, P., Thitaram, C., Mahakkanukrauh, P., & Nganvongpanit, K. (2016). Elemental Analysis of Bone, Teeth, Horn and Antler in Different Animal Species Using Non-Invasive Handheld X-Ray Fluorescence. PLOS ONE, 11(5), e0155458. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155458>
- Calla, G., & Argandoña, R. (2020, 1 de julio). Proyecto de inversión para la creación del servicio de cremación y columbarios para una empresa de previsión en la

- ciudad de Arequipa para el año 2020. Repositorio UCSP.
https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16304/1/CALLA_BE_LTRAN_GEN_PRO.pdf
- Carriel, L., & Martínez, I. (n.d.). Diseño y Análisis Estructural de una Trituradora de vidrio para Reciclar Botellas.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2409/1/4749.pdf>
- Chur-Hansen, A. (2010, 31 de diciembre). Grief and bereavement issues and the loss of a companion animal: People living with a companion animal, owners of livestock, and animal support workers. Australian Psychology Society.
<https://aps.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1080/13284201003662800>
- Comunidad de Madrid (2017). Cálculo de altura de chimenea ATM-E-EC-01.
https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/cma_mam_adaptacion_de_los_focos_de_emisi_n_a_la_atm_sfera.pdf
- Computrabajo Perú. (2021). Construcción. Computrabajo.com.pe.
<https://www.computrabajo.com.pe/salarios/construccion>
- Costas, J. (2009, 13 de mayo). Gas licuado del petróleo (GLP) o autogás. Motorpasion.com; Motorpasión. <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/gas-licuado-del-petroleo-glp-o-autogas>
- CPI. (2018, 1 de octubre). Tenencia de mascotas en hogares a nivel nacional
http://cpi.pe/images/upload/paginaweb/archivo/26/mr_mascotas_201808.pdf
- Cremación de Mascotas – San Martín de Porres. (2018, 1 de enero). Cremación de Mascotas San Martín de Porres. <http://www.cremacionesmascotas.com/>
- Danzomo, B., Salami, M.-J., Jibrin, S., Khan, R., & Nor, I. (2012). PERFORMANCE EVALUATION OF WET SCRUBBER SYSTEM

- FOR INDUSTRIAL AIR POLLUTION CONTROL. 7(12).
<https://core.ac.uk/download/pdf/322348749.pdf>
- Dietze, M. (2020). EE375 Lecture 22c: Gaussian Plume Dispersion Coefficients [YouTube Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=49-c9HOkRn4>
- DYMCO. LTD. (2015). stainless steel conveyer belt DYMCO. LTD
<https://www.directindustry.com/prod/dymco-ltd/product-14232-345706.html>
- Engineering Toolbox. (2021). Methane - Thermal Conductivity.
https://www.engineeringtoolbox.com/methane-thermal-conductivity-temperature-pressure-d_2021.html
- Funeralwise. (2021, 4 de marzo). The Cremation Process Step-by-Step. How it works from start to finish. <https://www.funeralwise.com/plan/cremation/cremation-process/>
- Generalitat Valenciana. (2015). Composición química -.
<https://agroambient.gva.es/es/web/calidad-ambiental/composicion-quimica>
- Goose, G., & Barnes, M. (2015, 27 de abril). Human Grief Resulting from the Death of a Pet. Taylor & Francis Online.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2752/089279394787001970>
- Grier, K. C. (2015). Pets in America: A History (Illustrated ed.). University of North Carolina Press.
- Gutierrez, L., Ramos, E., & Ramirez, L. (2016, julio). Propuesta de automatización y modernización de horno para cocido de ladrillo rojo. Tesis IPN.
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/22585/1/TESIS%20FINALok.pdf>

Helmenstine, Anne Marie, Ph.D. (2020, 28 de agosto). Heat of Formation Table for Common Compounds. Retrieved from <https://www.thoughtco.com/common-compound-heat-of-formation-table-609253>

History National Geographic. (2016,5 de octubre). Historia National Geographic. historia.nationalgeographic.com.es.
https://historia.nationalgeographic.com.es/a/animales-compania-antiguo-egipto_6319

Hornos Félix. (2021). Hornos Crematorios. <http://www.hornosfelix.com/hornos-crematorios/>

Hornos Hinrasac. (2020, 11 de diciembre). Horno crematorio para cadáveres humanos - <http://hinrasac.com/V1/horno-crematorio-de-humanos/>

Hornos Industriales HINSA. (2021). Hinsaperu.com.
<https://www.hinsaperu.com/index.php?MenuVertical=CremaHumanos>

ICCFA Convention & Expo. (2019). Facultadieve-Technologies.com; Facultadieve Technologies. <https://www.facultatieve-technologies.com/es/sistemas-productos/equipo-auxiliar/>

INDECOPI. (2006, 1 de junio). Norma técnica peruana 111.011.
<https://www.italcaseperu.com/download/NTP%20111.011%202006%20Instalaciones%20internas%20residenciales%20y%20comerciales.pdf>

Induambiente. (2018). Quemadores de Bajo NOx -
<https://www.induambiente.com/especial/energia/quemadores-de-bajo-nox>

INEI. (2020.). Informe Técnico, estadísticas ambientales. -
2020<https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/ambienbtalese ne.pdf>

Ingenio Market. (2013). Puerta frigorífica Tipo Guillotina GGT.

Redalimentaria.com. https://www.redalimentaria.com/puerta-frigorifica-tipo-guillotina-ggt_398

Ingraham, C. (2014, 25 de junio). Dog countries, cat countries. The Washington Post.

<https://www.washingtonpost.com/wp-srv/special/business/dogs-and-cats-living-together/>

International Association of Pet Cemeteries and Crematorie & Cremation

Association of North America. (s. f.). Standards of Practice for Cremation of Pet. cremationassociation.org. Recuperado 8 de abril de 2021, de https://cdn.ymaws.com/www.cremationassociation.org/resource/resmgr/about_cana/standards_of_practice_for_th.pdf

IPSOS. (2017, 7 de febrero). Mascotas 2016. <https://www.ipsos.com/es-pe/mascotas-2016>

Jansch, J., & Birkhofer, H. (2006, 15 de mayo). THE DEVELOPMENT OF THE GUIDELINE VDI 2221 - THE CHANGE OF DIRECTION.

Designsociety.org. https://www.designsociety.org/download-publication/18983/the_development_of_the_guideline_vdi_2221-the_change_of_direction

Jenkins, B., & Mullinger, P. (2013). Industrial and Process Furnaces: Principles, Design and Operation (2nd Revised ed.) [Libro electrónico]. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-02745-7>

Keene, V. A. (2021, 8 de abril). Alkaline Hydrolysis Laws in Your State.

Www.Nolo.Com. <https://www.nolo.com/legal-encyclopedia/alkaline-hydrolysis-laws-your-state.html>

- La Patria. (2020, 25 de agosto). El perro, la mascota preferida en Perú.
<https://www.lapatria.pe/el-perro-la-mascota-preferida-en-peru/>
- Lee, Y. (2005, 27 de octubre). Evaluation of Wet Scrubber Systems. CORE.
<https://core.ac.uk/download/pdf/11034863.pdf>
- Lenntech (2021). Elementos químicos ordenados por su masa atómica.
<https://www.lenntech.es/Tabla-peiodica/masa-atomica.htm>
- Li, S., Xiong, R., Yu, D., Zhao, G., Cong, P., & Jiang, Y. (2017). Friction Surface Treatment Selection: Aggregate Properties, Surface Characteristics, Alternative Treatments, and Safety Effects.
<https://doi.org/10.5703/1288284316509>
- Lopez, J. (2019, 18 de marzo). Enterrar a una mascota en el jardín, un riesgo para la salud animal. Animal's Health.
<https://www.animalshealth.es/profesionales/enterrar-a-una-mascota-en-el-jardin-un-riesgo-para-la-salud-animal>
- Maksymowicz, K., Marycz, K., Szotek, S., Kaliński, K., Serwa, E., Łukowski, R., & Czogała, J. (2012). Chemical composition of human and canine fascia lata. *Acta biochimica Polonica*, 59(4), 531–535.
- María Esperanza López, Echavarría, A., Suárez, R., & Herrera, N. (2021). Hidroxiapatita macroporosa obtenida en la Universidad de Antioquia: síntesis, caracterización y comparación con el hueso esponjoso y calcinado de bovino. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (30), 109–124. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43003011>
- Mark, J. J. (2019, 14 de mayo). Dogs & Their Collars in the Middle Ages. *World History Encyclopedia*; World History Encyclopedia.

- <https://www.worldhistory.org/article/1385/dogs--their-collars-in-the-middle-ages/>
- Material Mundial. (2019, 27 de noviembre). Acero ASTM A36, Acero A36 Propiedades, Ficha Tecnica, Dureza, Densidad Estructural PDF. Material Mundial Grados. <https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>
- Medidor del clima Perú. (2020). Velocidad del viento - Lima <https://www.woespana.es/weather/maps/city?FMM=1&FYY=2000&LMM=12&LYY=2020&WMO=84628&CONT=samk@ION=0021&LAND=PR&ART=WST&R=0&NOREGION=0&LEVEL=162&LANG=es&MOD=tab>
- Melonyce McAfee. (2006, 26 de julio). I'm burning up—how much will my ashes weigh? Slate Magazine; Slate. <https://slate.com/news-and-politics/2006/07/i-m-burning-up-how-much-will-my-ashes-weigh.html#:~:text=How%20much%20ash%20is%20produced,behind%20when%20the%20incineration's%20completed.>
- MINEM. (2021, 18 de julio) Gas natural. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/gasnatural.pdf>.
- Ministerio de Energía y Minas - Normas Técnicas Peruanas - Eficiencia Energética. (2017). Minem.gob.pe. http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=12&idTitular=3094&idMenu=sub3006&idCateg=742
- Montero,J, Tarjuelo J,M, Carrión, P(2003) Sprinkler droplet size distribution measured with an optical spectropluviometer. (2003). ResearchGate. <https://doi.org/10.1007/s00271-003-0069-3>

- Moyano Arévalo, J. R., Naranjo Vargas, E. M., & Tenicota García, A. G. (2020).
Diseño y selección de cuchillas para el proceso de trituración de neumáticos y
análisis de costos de fabricación. *ConcienciaDigital*, 3(1.1), 29–43.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i1.1.1130>
- Muske, K. R. (2006). A model-based SI engine air fuel ratio controller. 2006
American Control Conference. doi:10.1109/acc.2006.1657224
- Nutecbickley (2019). Criterios de selección de quemadores para hornos
industriales. *Nutecbickley.com*.
<https://www.nutecbickley.com/es/blog/criterios-de-seleccion-de-quemadores-en-hornos-industriales>
- Oliveto, J. (2021, 2 de mayo). What Volume of Ashes Do You Receive After
Cremation? | Cake Blog. *Joincake.com*.
<https://www.joincake.com/blog/volume-of-ashes-after-cremation/>
- OSINERGMIN .” (2021). Cuáles son las propiedades del
“GLP.” <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1430.htm#:~:text=El%20GLP%20est%C3%A1%20compuesto%2C%20mayoritariamente%2C%20por%20propano%20y%20butano.&text=El%20GLP%20es%20un%20combustible%20que%20en%20determinados%20porcentajes%20con,8.60%25%20de%20gas%20en%20aire.>
- OSINERGMIN. (1993, 18 de noviembre). Reglamento de Seguridad para el
Almacenamiento de Hidrocarburos DECRETO SUPREMO No 05293EM.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/PlantillaMarcoLegalBusqueda/Decreto%20Supremo%20N%C2%BA%20052-93-EM.pdf
- Pedigree. (2017, 5 de enero). The Evolution of Pet Ownership.
<https://www.pedigree.com/dog-care/dog-facts/the-evolution-of-pet-ownership>

Perú Retail. (2019, 23 de octubre). Perú: El impacto de las mascotas en casi la mitad de los hogares peruanos. <https://www.peru-retail.com/peru-valor-e-impacto-mascotas-la-mitad-hogares-peruanos/>

Perupetro, S. (2010). Conceptos básicos sobre el Gas Natural.

<https://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/984b352d-2ac3-4f97-815c-104617f8528f/Charla+Basica+sobre+GasNatural.pdf?MOD=AJPERES>

Publimetro. (2012, 4 de junio). Ahora puedes optar por la cremación para preservar los restos de tu mascota. Publimetro Peru. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de [https://www.publimetro.pe/actualidad/2012/06/04/ahora-puedes-optar-cremacion-preservar-restos-tu-mascota-5697-](https://www.publimetro.pe/actualidad/2012/06/04/ahora-puedes-optar-cremacion-preservar-restos-tu-mascota-5697-noticia/#:%7E:text=El%20precio%20del%20servicio%20es,y%20la%20boleta%20de%20venta.)

[noticia/#:%7E:text=El%20precio%20del%20servicio%20es,y%20la%20boleta%20de%20venta.](https://www.publimetro.pe/actualidad/2012/06/04/ahora-puedes-optar-cremacion-preservar-restos-tu-mascota-5697-noticia/#:%7E:text=El%20precio%20del%20servicio%20es,y%20la%20boleta%20de%20venta.)

Purina Latam. (2020, 27 de agosto). El peso ideal de tu perro y sus porciones de alimento. Nestlé Purina Petcare Company. <https://www.purina-latam.com/ar/purina/nota/perros/el-peso-ideal-de-tu-perro-y-sus-porciones-de-alimento>

Quemadores Baltur. (2021). Quemador BTG 3,6 P 50-60Hz - Baltur.com.

http://www.baltur.com/ww/es/productos/quemadores/quemadores_de_gas/btg_3,6_p_50-60hz

Raymond, C. (2020, 12 de marzo). Alkaline Hydrolysis Might Be the Green Future of Body Disposition. Verywell Health.

<https://www.verywellhealth.com/what-is-alkaline-hydrolysis-1131908>

RECOPE. (2012, 23 de noviembre). Poderes Calóricos de algunos Combustibles

RECOPE. <https://www.recope.go.cr/productos/sistema-de-calidad/poderes-caloricos-de-algunos-combustibles/>

Redacción Perú 21. (2015, 5 de marzo). El Bosque del Amigo Fiel: Conoce este cementerio de mascotas. Peru21. <https://peru21.pe/vida/bosque-amigo-fiel-conoce-cementerio-mascotas-170337-noticia/?foto=3>

Reglamento Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). (2021). Scribd. <https://es.scribd.com/document/46263771/Reglamento-Instalaciones-Termicas-en-los-Edificios-RITE>

Repsol ES. (2020, 21 de julio). Diferencia entre Gasolina y Diésel - Toda la información | Repsol ES. REPSOL. <https://www.repsol.es/es/productos-y-servicios/estaciones-de-servicio/productos/tipos-carburantes/diferencias/index.cshtml>

REPSOL. (2016). FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD GASOLINA DE 95 SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA https://www.repsol.pe/imagenes/repsolporpe/es/GASOLINA95_tcm76-83274.pdf

Rongsheng Refractory Company. (2018, 23 de julio). Refractory Lining - Rongsheng Kiln Refracotry Materials Supplier. Rongsheng Refractory Materials Company. <https://refractoriesmaterials.com/refractory-lining/>

Rongsheng Refractory Materials Company. (2018, 23 de julio). Ceramic Fiber Blanket for Sale - RS Kiln Company. <https://refractoriesmaterials.com/ceramic-fiber-blanket-for-sale/>

Rongsheng Refractory Materials Company. (2021, 16 de marzo). Monolithic Refractory-Rongsheng Monolithic Refractory Company. <https://refractoriesmaterials.com/monolithic-refractory/>

- Sandøe, P., Corr, S., Palmer, C., & Serpell, J. (2015). History of companion animals and the companion animal sector. *Companion Animal Ethics*, 1(1), 8–23.
<http://eprints.gla.ac.uk/134567/>
- Sanetti, A. (2016, enero). ANÁLISIS Y FORMULACIÓN DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE GASES PARA HORNOS DE ALTA TEMPERATURA E INSTALACIONES DE COINCINERACIÓN. Universidad de Chile.
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/137957/Analisis-y-formulacion-de-sistemas-de-extraccion-de-gases-para-hornos-de-alta-temperatura-e-instalaciones.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sinha, R., Paredis, C. J. J., Liang, V.-C., & Khosla, P. K. (2001). Modeling and Simulation Methods for Design of Engineering Systems. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 1(1), 84.
<https://doi.org/10.1115/1.1344877>
- SKF. (2019.). Catálogo de rodamientos
https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf
- Solano, C., Reyes, J., & Ortega, U. (2012, septiembre). Sistema de control de presión para el suministro de agua en la central de servicios del centro médico nacional la raza. IPN.
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/11487/1/10.pdf>
- Solarweb. (2020). Solarweb.net. <https://www.solarweb.net/buscador.php?cx=partner-pub-1589065690212591%3A4sjvkd9juel&cof=FORID%3A9&ie=ISO-8859-1&q=pci+gas+natural&sa=&siteurl=www.solarweb.net%2F&ref=&ss=3008j831408j21&siteurl=www.solarweb.net%2F&ref=&ss=3008j832334j21>

- SOLIDWORKS. (2011). Coeficiente de transferencia de calor por convección
http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection_Topics/Convection_Heat_Coefficient.htm
- Stregowski, J. (2021, 14 de abril). 20 Popular Medium-Size Dog Breeds. The Spruce Pets. <https://www.thesprucepets.com/medium-dog-breeds-4582517>
- The Cremation Society. (s. f.). Perú. Recuperado 8 de abril de 2021, de <https://www.cremation.org.uk/peru-2005>
- The Design Society. (2003, 19 de agosto). NEW GUIDELINE VDI 2206 - A FLEXIBLE PROCEDURE MODEL FOR THE DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEMS.
<https://www.designsociety.org/publication/23949/NEW+GUIDELINE+VDI+2206+-+A+FLEXIBLE+PROCEDURE+MODEL+FOR+THE+DESIGN+OF+MECHATRONIC+SYSTEMS>
- The Engineering ToolBox (2003). Human Body - Specific Heat. Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/human-body-specific-heat-d_393.html
- The Plethora Team. (2021). How To Calculate CNC Machining Costs: What You Need To Know. Plethora.com. <https://www.plethora.com/insights/how-to-calculate-cnc-machining-costs-what-you-need-to-know-pt>
- TiMOTION Technology (2021). ¿Qué es un actuador lineal eléctrico y cómo elegirlo? - TiMOTION. . https://www.timotion.com/es/news/news_content/news-and-articles/general/part-1%3A-what-is-an-electric-linear-actuator-and-how-to-choose-it%3F?upcls=1481189409&guid=1496375365

- Tyco. (2018, 1 de agosto). Series TY-B — 80 and 115 k-factor conventional sprinklers. Tyco-Fire. https://www.tyco-fire.com/TD_TFP/TFP/TFP663_08_2018.pdf
- US EPA,OAR. (2020, 25 de setiembre). AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 1: External Combustion Sources - Documents | US EPA. US EPA. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-fifth-edition-volume-i-chapter-1-external-1>
- Wang, L. (2020). PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink. <https://doi.org/10.1002/9781119469414>
- Wang, Y., Zou, H., Tao, J., & Zhang, R. (2017). Predictive fuzzy PID control for temperature model of a heating furnace. 2017 36th Chinese Control Conference (CCC). <https://doi.org/10.23919/chicc.2017.8028070>
- Xi, Z., Fu, Z., Hu, X., Syed Waqas Sabir, & Jiang, Y. (2018). An Investigation on Flame Shape and Size for a High-Pressure Turbulent Non-Premixed Swirl Combustion. *Energies*, 11(4), 930–930. <https://doi.org/10.3390/en11040930>
- Xu, Z., Di, J., Lu, Y., Liu, T., & Yuan, L. (2019). Heating furnace temperature based on WM-GA fuzzy control. 2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). <https://doi.org/10.1109/iaeac47372.2019.8997924>
- 김우태. (2011, 31 de enero). System with cremation furnaces of high efficiency. Google Patents. <https://patents.google.com/patent/KR20120088414A/en?q=E.KR20120088414A>

濱田信. (2020, 11 de setiembre). Crematorium for pets. Google Patents.

[https://patents.google.com/patent/JP3229455U/en?q=pet+crematory+furnace
&oq=pet+crematory+furnace&sort=new](https://patents.google.com/patent/JP3229455U/en?q=pet+crematory+furnace&oq=pet+crematory+furnace&sort=new)



ANEXO A

DESCRIPCIÓN DE PROCESO DE CREMACIÓN POR COMBUSTIÓN Y POR HIDRÓLISIS ALCALINA

En cuanto a los estándares internacionales, la Asociación Internacional de Cementerios y Crematorios de Mascotas y la Asociación de Cremación de Norteamérica menciona en su documento de estándares para la práctica de cremación de mascotas, que el procedimiento de reducción mecánico y/o térmico que convierte los restos a fragmentos de hueso y que el proceso de cremación incluye la pulverización de los fragmentos óseos. Además, esta se puede realizar por los siguientes métodos:

- Cremación comunal: Proceso de incineración de varios animales a la vez sin tener en cuenta la separación entre mascotas. Este proceso permite mezclar los restos cremados, dichos restos no se devuelven al cliente.
- Cremación individual/segregada: Comúnmente denominada en la industria como cremación individual, más de una mascota es cremada al mismo tiempo con alguna forma de separación entre mascotas, como ladrillos refractarios o bandejas. Los restos cremados se mantienen separados en todo momento y los restos se devuelven a cada propietario.
- Cremación privada: Sólo se coloca una mascota en el horno de cremación y los restos cremados se devuelven al cliente.

En cuanto a las consideraciones dadas por el mismo informe se recomienda usar un combustible adecuado, ser lo suficientemente resistente para manipularse con facilidad, asegurar la seguridad y protección del operador y cumplir con los códigos morales de respeto y dignidad (International Association of Pet Cemeteries and Crematorie & Cremation Association of North America, s. f.).

El resultado final de la cremación son fragmentos de hueso que serán sometidos mediante trituración, donde se deja reducido a dimensiones no identificables; para luego ser colocado en un contenedor cerrado o sellado (International Association of Pet Cemeteries and Crematorie & Cremation Association of North America, s. f.).

El proceso de cremación de mascotas es relativamente similar al realizado con personas; gracias al reporte brindado por la organización FuneralWise, se tienen esencialmente los siguientes pasos correspondientes al proceso (2021), en la Figura A.1, a continuación:

1. Se identifica al individuo y se da la autorización.
2. El cuerpo se prepara en un contenedor adecuado, en el caso de personas se trata del ataúd de madera y en el caso de mascotas se suele envolver en cartón.
3. El cuerpo se traslada a la cámara de cremación que consta de dos cámaras, la primera y principal es donde se realiza la combustión del cuerpo y la cámara secundaria en donde se realiza una nueva combustión a mayor temperatura para reducir los gases contaminantes emitidos. Este proceso se sostiene durante entre 1.5 y 2 horas.
4. Un imán se usa para remover las partes metálicas remanentes. Este proceso es en caso de que sea una persona que haya podido tener procedimientos que hayan dejado elementos metálicos.
5. Se trituran los restos sólidos para llegar a la constitución de cenizas.
6. Los restos se transfieren a un contenedor temporal o a una urna y se devuelven a la familia.

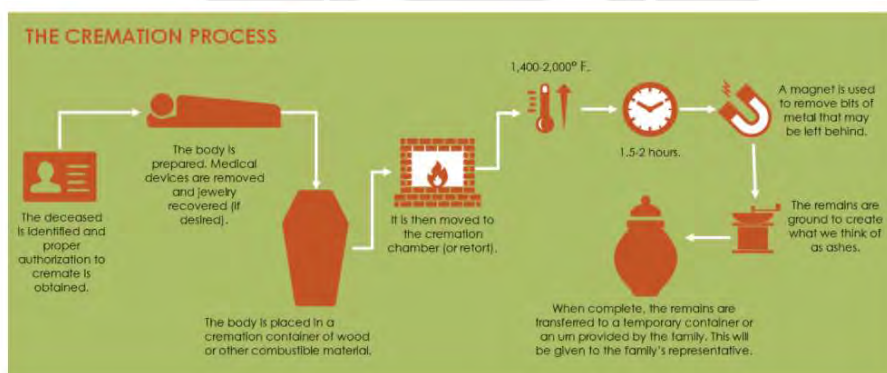


Figura A.1: El proceso de cremación. Fuente: FuneralWise.

Se tiene en claro que el proceso mencionado anteriormente utiliza la combustión como método para reducir el cadáver, sin embargo, este no es el único existente para el proceso de cremación. En el caso de procesos alternativos a la cremación se tiene a llamada cremación sin flama, o también llamado, cremación por hidrólisis alcalina. Tal como lo afirma Raymond, la hidrólisis alcalina utiliza agua, hidróxido de potasio, un calor relativamente bajo 200 grados centígrados en comparación con la cremación, y presión para reducir el cuerpo de un ser querido fallecido a fragmentos de hueso y un líquido inerte, este proceso sólo funciona con materiales de base proteica, por lo que el cuerpo debe vestirse con ciertos tipos de ropa de fibra natural, como seda, cuero o lana (2020).



ANEXO B

CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA DE INGRESO EN CREMATORIO

El principal material que se crema en el horno es la hidroxiapatita (HAP), de composición química $Ca_{19}(PO_4)_6(OH)_2$, es el componente inorgánico principal de los tejidos óseos en los vertebrados. En la Tabla B.1, muestra una comparación cuantitativa de las cualidades del bloque de HAP sinterizado y el hueso de bovino calcinado (María Esperanza López et al., 2021).

Tabla B.1: Comparación de características bloque HAP y las del hueso de bovino. Fuente: Elaboración propia basado en María Esperanza López et al.

Parámetro	Hueso	Bloque HAP
Dureza (Mohs)	2-2.5	2.5-3
Porosidad total (% de vol.)	81.69	85
Porosidad por análisis de área (% en área)	60.81	18.61
Densidad (g/cm ³)	3.10	3.11

En el caso de un crematorio, la materia presente son cuerpos, es decir materia orgánica que será necesaria adicionar en la consideración de las emisiones. Se torna analizar la composición química de dichos tejidos que rodean la mayoría de los sistemas del cuerpo para poder identificar los principales componentes (Maksymowicz1 et al., 2012). Respecto a ello, se muestra la Tabla B.2 que compara la estructura química entre un perro que será el material que exista en la cámara de cremación y un humano como referencia.

Tabla B.2: Comparación de elementos químicos en tejido humano y canino. Fuente: Elaboración propia basado en Maksymowicz1 et al.

Elemento (% peso)	Humano	Canino
C	41.31	44.85
N	18.73	17.81
O	33.56	31.87
Na	1.93	1.25
Mg	0.77	0.42
Al	0.69	0.34
Si	0.36	0.17



ANEXO C

DOCUMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE FUNCIONES

En la Tabla C.1 especifica la descripción de la estructura de funciones del proyecto, dividida por dominios.

Tabla C.1: Documentación de la estructura de funciones. Fuente: Elaboración propia

Documentación de estructura de funciones		
Dominio	Función	Descripción
Mecánico	Trasladar líquido a lavador de gases	Permite el paso del líquido neutralizador del exterior hacia el subsistema de tratamiento de gases
	Trasladar combustible a cámara principal	Permite el ingreso de combustible hacia el subsistema de cremación, tanto la cámara principal como la secundaria. Cuenta con la instrumentación en tuberías y válvulas necesarias.
	Trasladar combustible a cámara secundaria	
	Trasladar mascota a cámara principal	Es el mecanismo en el cual, cuando el operario deja el cuerpo de la mascota en dicha plataforma, es encargado de posicionar correctamente y trasladarlo hacia la cámara principal
	Creumar cuerpo de mascota	Es la encargada de cremar el cuerpo de la mascota, será el lugar donde se alberga el cuerpo durante todo el proceso.
	Combustionar gases en cámara secundaria	Es la cámara encargada de realizar una postcombustión a una temperatura mayor que la principal, para realizar una primera depuración de gases tóxicos generados en la cremación.
	Lavar los gases de combustión en chimenea	Es la sección encargada de filtrar los gases para que salgan al ambiente de una manera menos contaminante.
	Trasladar residuos sólidos producidos a Cremulador	Es el encargado de trasladar los residuos generados por la cámara principal hacia el cremulador.
	Triturar residuos sólidos	Es el encargado de triturar los huesos o residuos sólidos generados y darles una contextura de ceniza para ser entregados al operario en un recipiente

	Abrir/Cerrar puerta de ingreso	Es la función que permite abrir o cerrar la puerta de ingreso y de salida, para tener una interacción segura con el operario y otorgarle un orden al proceso del sistema.
	Abrir/Cerrar puerta de disposición final de cenizas	
Energía	Transformar energía para controladores/procesadores	Permite acondicionar el voltaje de entrada de energía eléctrica al sistema, para los distintos dominios, y poder darles energía correctamente para su funcionamiento seguro y adecuado.
	Transformar energía para actuadores	
	Energizar panel	
	Transformar energía para sensores	
	Transformar voltaje de alimentación	
Sensores	Detectar fin de carrera en el ingreso	Permite saber si el mecanismo de ingreso se ha completado y si la mascota está en la posición adecuada para iniciar el proceso
	Detectar que la puerta de ingreso esté cerrada	Permite confirmar que la puerta esté cerrada para poder iniciar el proceso de manera segura
	Medir temperatura en cámara principal	Es la función encargada de sensar la temperatura durante el proceso de cremación para poder controlarla a la temperatura deseada para la correcta cremación.
	Medir temperatura en cámara secundaria	
	Medir oxígeno en cámara principal	Es la función encargada de medir la variable también importante de oxígeno en las cámaras para poder controlar la temperatura de estas y así realizar una correcta cremación.
	Medir oxígeno en cámara secundaria	
	Medir masa de huesos en recipiente de cremulador	Permite saber si hay residuos sólidos en el cremulador y cuánta es su cantidad para su posterior trituración
	Detectar proceso completado	Permite saber cuándo ya se ha completado el proceso de triturado y se puede retirar el recipiente de cenizas.
Actuadores	Accionar plataforma de traslado	Permite el ingreso adecuado y seguro de la mascota, posicionándolo de manera correcta para ser cremado y poder alejar la fuente de calor del operario mediante un procedimiento seguro.
	Accionar puerta de ingreso	
	Accionar quemador principal	Activan el mecanismo necesario para hacer funcionar a los quemadores en su cámara respectiva
	Accionar quemador secundario	
	Conectar/Desconectar fuente alimentación	Permite la conexión y desconexión segura de la fuente de alimentación mediante la acción manual y la energización mediante la señal de ingreso de encendido.
	Energiza fuente de alimentación	
	Accionar válvulas de ingreso de combustible	Esta función permite el ingreso de los fluidos necesarios para el funcionamiento de las cámaras de combustión y postcombustión y el tratamiento de gases, respectivamente.
	Accionar válvulas de entrada de líquido en lavador de gases	

	Accionar puerta de salida de recipiente de cenizas	Permite la apertura de la puerta de salida para retirar el recipiente de cenizas.
	Accionar motor de triturado	Es la función encargada de accionar el motor cuando ya se encuentran los huesos en el cremulador.
Control	Detectar falla en sensores o actuadores	Es la función encargada de detectar fallos en sensores y actuadores para poder realizar la emisión de alarmas acorde al fallo.
	Procesar datos	Adecúa los datos obtenidos por los sensores para ser usados en el procesamiento y control.
	Calcular temperatura deseada en cámara principal	Con la medición del sensor de temperatura y el tamaño de la mascota en la cámara, permite el cálculo de la temperatura adecuada de cremación.
	Calcular temperatura deseada en cámara secundaria	
	Corregir relación aire/combustible en quemador principal	Es la sección de control del subsistema de cremación, donde mediante la corrección de la relación aire combustible permite la obtención de la temperatura adecuada en las respectivas cámaras.
	Corregir relación aire/combustible en quemador secundario	
	Controlar temperatura en cámara principal	
	Controlar temperatura en cámara secundaria	
	Procesar datos	Es la función encargada de designar la velocidad adecuada para la trituración de los huesos dependiendo de la masa existente en el subsistema de cremación.
	Controlar velocidad rotacional en el motor	
Controlar velocidad rotacional en el motor de plataforma de ingreso	Permite el adecuado traslado de la mascota en la plataforma de ingreso.	
Interfaz	Emitir alarma de falla	Se encarga de alertar al operario en caso de falla.
	Emitir alarma de proceso completado	Se encarga de alertar al operario cuando ya culminó el proceso de cremación y cremulado
	Mostrar información en panel de control	Es la función encargada de mostrar la temperatura en las cámaras y la parte del proceso en la que se encuentra para que el operario pueda observarlo en el panel de la máquina.

ANEXO D

ASPECTOS RELEVANTES AL DISEÑO DE HORNOS INDUSTRIALES(CREMATORIOS)

Según la afirmación realizada por Jenkins y Mullinger en su *texto Industrial and Process Furnaces: Principles, Design and Operation* afirman que, en su forma más simple, un horno consiste en una carcasa y una fuente de calor, usualmente una llama, directa, utilizando radiación de la llama, y/o convección o indirecta a través del calor radiante de una pared calentada. De cualquier manera, la estructura del horno debe de ser capaz de dar un espacio controlado para la llama, con una geometría adecuada para la transmisión de calor efectiva, segura, minimizar las pérdidas de gas y aire al exterior, minimizar las pérdidas de calor, y tener una vida útil larga siendo cómodo de mantener (2013).

En el caso de las técnicas de construcción, actualmente los hornos están clasificados según los elementos que lo componen, estos consisten en carcasas de acero con algún tipo de revestimiento refractario. Según Jenkins y Mullinger, estos pueden ser de 3 tipos, ladrillos individuales posicionados en contra, revestimientos monolíticos sujetos a la carcasa por anclajes y un revestimiento de fibra cerámica(2013). Se muestra un esquema descriptivo en la Figura D.1:

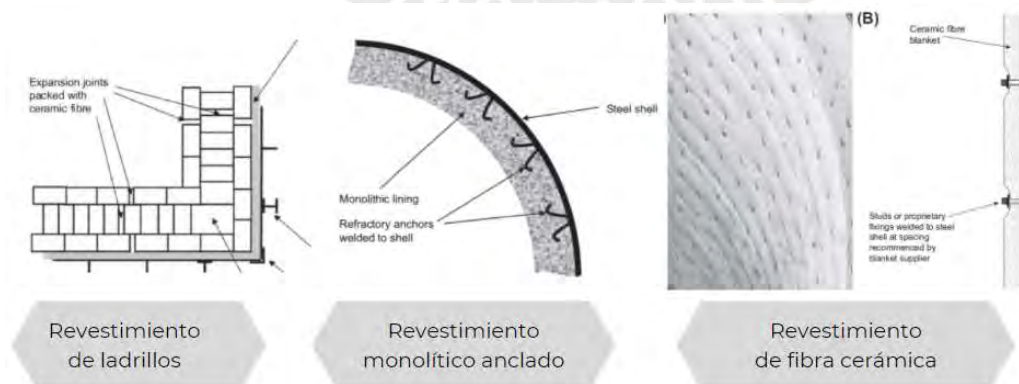


Figura D.1: Tipos de revestimiento en hornos. Fuente: Elaboración propia basado en *Industrial and Process Furnaces*

Tal como lo reporta RS *Refractory Materials*, se muestra en la Tabla D.1 una comparación cualitativa entre los tipos de revestimiento, enfocándose en las características mecánicas y térmicas de los mismos (2018).

Tabla D.1: Comparación de tipos de revestimiento para hornos. Fuente: Elaboración propia basado en RS *Refractory Materials*

Revestimiento	Ladrillos refractarios	Monolítico	Fibra cerámica
Material típico	Sílice, Alúmina	Hormigones, plásticos	Óxido de silicio, Alúmina, Óxido de hierro
Resistencia al calor	Alta	Media	Alta
Absorción de ruido	Media	Baja	Media
Resistencia a vibraciones	Baja	Baja	Media
Resistencia a la corrosión química	Alta	n/a	Alta
Conductividad térmica	Baja	Media	Baja
Dificultad de instalación	Alta	Baja	Baja

En el proceso de cremación el proceso químico vital durante todo el proceso es la combustión. Según Mullinger y Jenkins, es el proceso donde sucede una reacción entre un combustible (gas o líquido) y oxígeno se queman juntos a una temperatura suficientemente alta como para generar calor y productos de combustión. Se define mediante la ecuación 1, en donde se realiza la oxidación completa, en el caso de la combustión incompleta se muestra en la ecuación 2. Así, cualquier quemador que produzca monóxido de carbono como resultado de un desequilibrio estequiométrico, o la mala relación aire/combustible, causará un descenso significativo del rendimiento de la combustión. El monóxido de carbono es también un importante contaminante del aire y es un peligro para la salud como gas venenoso en concentraciones elevadas si se libera a la atmósfera (2013). En resumen, se recomienda evitar la combustión incompleta para tener un mejor rendimiento en la combustión y para evitar emisiones de gases altamente nocivos para el ambiente.



Además, es necesario conocer los mecanismos de transferencia de calor en un horno, el cual será de conducción, convección y/o radiación. La ecuación general de la transferencia de calor entre dos sistemas se muestra en la ecuación 3. Según el estudio investigado, explica que, en la conducción, es el resultado de la energía vibracional de una molécula a otra como resultado de la energía cinética, mientras que, en la convección, es atribuible al movimiento macroscópico de fluidos, cuando es natural surge de las diferencias en los gradientes de temperatura del sistema y cuando es forzada se produce debido a las corrientes parásitas en un movimiento turbulento. En el caso de la radiación se debe a la energía térmica de ondas electromagnéticas cuando incide sobre una superficie puede ser reflejada, transmitida o absorbida, la fracción absorbida se manifiesta como calor (Mullinger & Jenkins, 2013).

$$Q = \phi * (\Delta t)^n \quad \text{donde } \Delta t \text{ es la diferencia de temperaturas} \quad (3)$$

$$\text{en Conducción: } \phi = -k * \frac{A}{x} \text{ y } n = 1$$

$$\text{en Convección: } \phi = h * A \text{ y } n = 1$$

$$\text{en Radiación: } \phi = \sigma * \varepsilon * A \text{ y } n = 4$$

Donde: k es la constante de conductividad térmica,

A es el área de la superficie y el espesor

h es la constante convectiva

σ es la constante de Stefan – Boltzmann

y ε es la emisividad

El control necesario de las variables relacionadas en el diseño de hornos son claves para la operación correcta de la máquina durante todo el proceso. Las que usualmente se controlan cuando se trata de hornos industriales y similares es la temperatura, velocidad y/o flujo en bombas y la relación entre combustible/aire en los quemadores.

Según un trabajo reciente, respecto a los elementos de extracción de gases, es posible controlar distintas variables relacionadas al proceso. Para ello se tienen campanas, sensores de concentración de gases, transmisores de presión y caudal, termómetros, flujómetros, manómetros y otros instrumentos relacionados. Este proceso se puede realizar en lazo abierto donde solo actúa la señal de entrada, o lazo cerrado donde existe una acción de control y una (Sanetti, 2016). Según Mullinger & Jenkins, en los sistemas de control de hornos realizan dos funciones básicas, controlar el proceso del

horno y garantizar un funcionamiento seguro. Sea cual sea el hardware utilizado, el proceso de control necesita conseguir maximizar la producción del horno, asegurar la calidad del producto, minimizar el consumo de combustible, minimizar emisiones, controlar el calentamiento del horno, entre otros. Estos objetivos se logran mediante el control del caudal de combustible, caudal de aire de combustión, temperatura de aire de combustión, temperatura del horno, velocidad de alimentación al horno, entre otros. La temperatura del horno puede ser medida por número de dispositivos de contacto o sin contacto, incluyendo, termocuplas, termómetros de resistencia, dispositivos ultrasónicos o pirómetros de radiación (2013). En resumen, es necesaria la elección correcta de las variables de control para el funcionamiento controlado y seguro del sistema, durante todo el proceso.

Se tienen diversos métodos para poder controlar el comportamiento del horno, en los que se puede controlar la temperatura, según la literatura investigada, por un lado, se tiene el control ON-OFF, donde la temperatura se compara con el punto de referencia y si la temperatura del proceso es inferior a la temperatura de consigna, se suministra potencia al sistema y viceversa; luego, el control PID, donde la suma ponderada de los parámetros proporcional, integral y derivativo se utiliza para controlar la temperatura manipulando la potencia suministrada a los elementos de calentamiento de un horno. Sin embargo, el uso del algoritmo PID para el control no garantiza los resultados deseados si el sistema es muy lento o fuertemente no lineal. Además, se tiene el control en cascada. El controlador primario se despliega para controlar la temperatura mientras que el controlador secundario se despliega para controlar la entrada de calor. En efecto, cuando el regulador primario exige un aumento de la temperatura, su salida eleva el punto de consigna del regulador secundario, que aumenta la potencia o el aporte de calor (Bhujbal et al., 2016). Adicionalmente, se tiene la combinación del método PID con control difuso, que consiste principalmente en predicción y control. Según avances en investigaciones recientes, el comportamiento de la parte de predicción determina la temperatura del horno en los siguientes instantes y la parte de control se completa con el PID difuso para que la salida predicha siga el valor objetivo lo más cerca posible (Wang et al., 2017). Tal como se tiene en la Figura D.2, se muestra el lazo de control en cascada para el horno de calentamiento, a continuación:

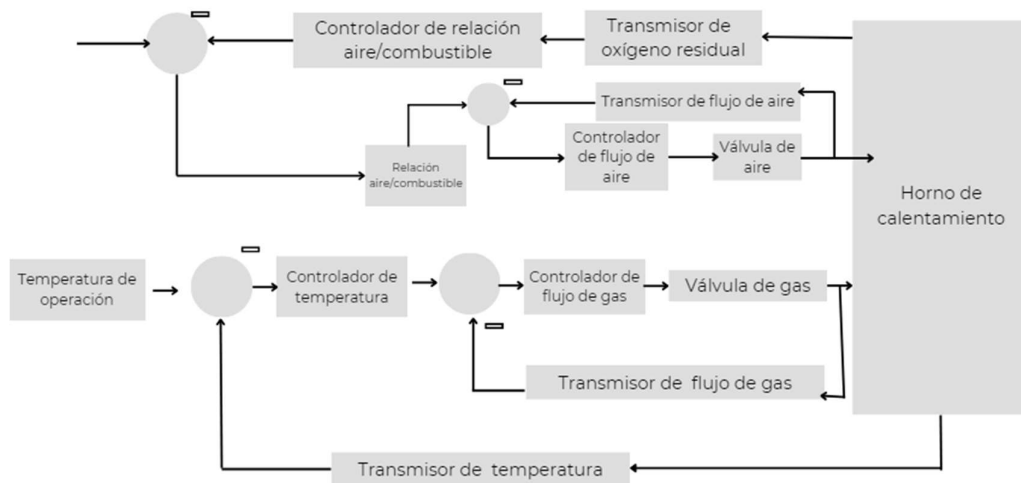


Figura D.2: Doble lazo de control en cascada para horno de calentamiento. Fuente:

Xu et al



ANEXO E

REVISIÓN DEL ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

Sistemas integrales comerciales

A. Horno crematorio Félix

Este horno crematorio forma parte de la oferta nacional de fabricantes de hornos industriales y equipos de calor. Cuenta con resistencia contra falla de flama, alta durabilidad y cumplen con las normas vigentes ambientales, tiene unas dimensiones de ancho de 0.8 m, alto 0.9 m y 2.5 m de fondo. Su estructura interior está construida con ladrillos refractarios y mortero de alta alúmina y su estructura exterior está en planchas estructurales ASTM A36. Cuenta con 2 quemadores de GLP con 700 000 BTU cada uno, de funciones automáticas. Tiene una potencia de 5 kW, trifásica 220 V (Hornos Crematorios – Hornos Félix, 2021). En la Figura E.1 se muestra el sistema mencionado.



Figura E.1: Vista lateral del horno crematorio de Hornos Félix. Fuente: Hornos Félix

B. Horno crematorio para cadáveres HINRA PERU:

Este modelo también forma parte del mercado nacional. Cuenta con doble cámara de alta eficiencia, con un controlador digital de temperatura de estado sólido. Todas las piezas de incineración están revestidas de acero suave con refractario. Cuenta con quemadores a gas natural, acero estructural A36 con material refractario de alúmina y fibras. Tiene una capacidad desde 350 litros a 3000 litros. La temperatura máxima de la cámara principal es de 900 grados y la secundaria es de 1200 grados centígrados. Cuenta con una potencia de 140 000 hasta 950 000 BTU. Cuenta con una velocidad de calentamiento de 0.1 – 30 grados/min. Cuenta con

una potencia nominal de 10-500 kW. Cuenta con 4 cámaras, cremación, postcombustión, cabina de filtros y cabina anti-olor (*Horno crematorio para cadáveres humanos - Hornos Hinrasac, 2020*). Tal como se observa en la Figura E.2 a continuación:

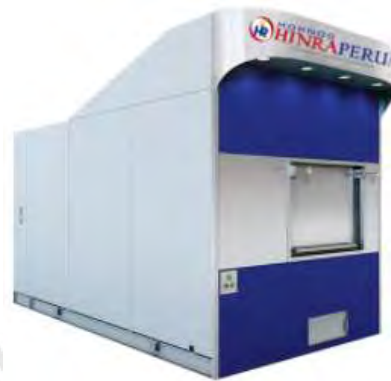


Figura E.2: Vista lateral del horno crematorio de HinraPeru. Fuente: Hornos Hinrasac

C. Horno crematorio para humanos HINSA:

Cuenta con una cámara principal con capacidad de 1 cuerpo por jornada de 90-150 minutos, y otra cámara secundaria para volatilizar gases y vapores de combustión. Sistema de calentamiento mediante GLP. Sus dimensiones son de 1.5 m de ancho, 2.4 m de alto, 4.55 m de fondo. La temperatura de operación es de 650-850 °C en la cámara principal y 1000-1200 en la cámara de gases. (*Hornos Industriales HINSA, 2021*). Tal como se observa en la Figura E.3 a continuación:



Figura E.3: Vista lateral del horno crematorio de HINSA. Fuente: Hornos HINSA

D. Horno crematorio para mascotas HINSA:

Cuenta con unas dimensiones de 0.7 m de ancho, 0.6 m de alto y 1.6 m de fondo. Cuenta con una estructura de acero de 4 mm de espesor con pintura de acabado de alta temperatura. La temperatura de operación es de 650-850 °C en la cámara principal y 1000-1200 en la cámara de gases. Cuenta con 2 quemadores con chispero eléctrico de encendido por arco (Hornos Industriales HINSA, 2021). De esta manera se observa dicha máquina en la Figura E.4



Figura E.4: Vista lateral del horno crematorio para mascotas de HINSA. Fuente: Hornos HINSA

E. Horno crematorio para mascotas ADDFIELD:

El horno crematorios PET 200 está diseñado para la mejor y eficiente solución para cremación de mascotas pequeñas medianas y de gran tamaño. Con apertura frontal para facilitar la carga de las cenizas. Con un diseño seguro, alto rendimiento y eficiencia, beneficiándose de la tecnología *Hot Hearth* (solera caliente) proporcionando una incineración completa de 360° y reduciendo el tiempo de cremación. Cuenta con unas dimensiones de 1.15 m de ancho, 1.95 m de alto y 2.81 m de fondo. Tiene una capacidad máxima de carga de 200 kg con una tasa de 50 kg/h. Su capacidad térmica es de 50 kW con alimentación 220 V. Recibe alimentación en combustible GLP, Diesel o N-Gas. Cuenta con un ladrillo refractario E23 con 42.5% de alúmina y un tablero aislante de 25 mm *super-wool*. Su temperatura de trabajo es de 850 °C (Cremación de mascotas | PET200 | *Addfield Enviromental Systems*, 2016). En la Figura E.5 se muestra una vista isométrica de la máquina. Cabe resaltar que este modelo se encuentra en el mercado nacional solamente por importación.

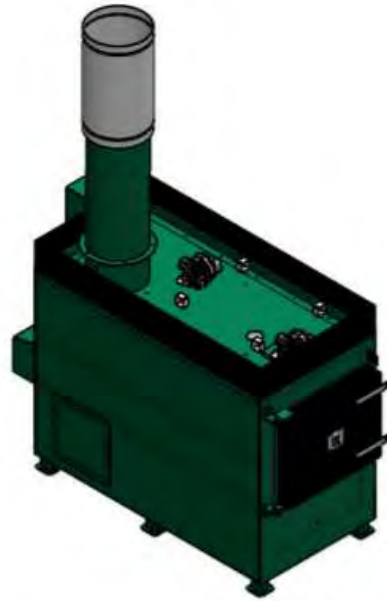


Figura E.5: Vista isométrica del horno crematorio para mascotas PET200 de *Addfield*. Fuente: *Addfield Enviromental Systems*

Finalmente, se presenta en la Tabla E.1 una comparación de las principales características mencionadas en los incisos A-E, a continuación:

Tabla E.1: Comparación entre modelos de hornos crematorios. Fuente: Elaboración propia

Nombre	Horno para personas Felix	Horno crematorio HCH-900-1200	Horno crematorio para personas	Horno crematorio para mascotas	PET-200 Maquina de Cremación
Fabricante	Hornos Felix	Hornos HINRA PERU	Hornos HINSA	Hornos HINSA	Addfield
Exclusividad mascotas	No	No	No	Sí	Sí
Mercado nacional	Sí	Sí	Sí	Sí	No (Importación)
Dimensiones (ancho, alto, fondo en m)	0.8x0.9x2.5	-	1.5x2.4x4.5	0.6x0.6x1.6	1.15x1.95x2.81
Temperatura cámara principal(oC)	-	900	650-850	650-850	-

Temperatura cámara secundaria(o C)	-	1200	1000-1200	1000-1200	850
Potencia (kW)	5	10	-	-	216
Quemadores (cant. y potencia BTU)	2x700 000	-x950 000	2x-	2x-	-
Combustible	GLP	Gas Natural	Propano	Propano	Diesel, GLP, gas natural
Cámaras	Combustión Postcombustión	Combustión Postcombustión Filtros/Lavador de gases Cabina anti-olor	Combustión Postcombustión Filtros/Lavador de gases	Combustión Postcombustión Filtros/Lavador de gases	Combustión Postcombustión
Estructura Interior	Ladrillos refractarios	Ladrillos refractarios	Ladrillo aislante K-23	Ladrillo aislante K-23	Ladrillo refractante E23
Estructura Exterior	ASTM A36	ASTM A36	Acero Inoxidable	Acero Estructural	Acero dulce
Precio(S/.)	-	-	-	-	75 000

Sistemas integrales patentes

En el caso de las patentes, se ha realizado una investigación tomando como referencia patentes europeas y americanas que puedan describir de manera integral el proyecto, es decir, un horno crematorio. Debido a que se trata de un rango más amplio de investigaciones se ha procurado enfocarse en las patentes que se basan en hornos crematorios para mascotas o animales en general.

A. EP2045525A2 – Sistema móvil de cremación

En la siguiente patente, la invención se refiere a un sistema (11) y a una celda funeraria para la cremación de los cuerpos difuntos. El sistema está sobre ruedas para ser remolcado, para trasladar en bloque y ser utilizado en cualquier lugar. Comprende en combinación una cámara de cremación (13), una de postcombustión (18), un intercambiador de humos/aire (22), un ventilador (26) para la circulación

de los fluidos gaseosos y medios de control del proceso a realizar, todo ello instalado en una cubierta rebajada de un vehículo (12), en particular un semirremolque, que puede conectarse a un tractor (Alessandretti & Ranchetti, 2007). Se muestra en la Figura E.6 el diagrama de dicha patente mostrando las partes mencionadas en la explicación.

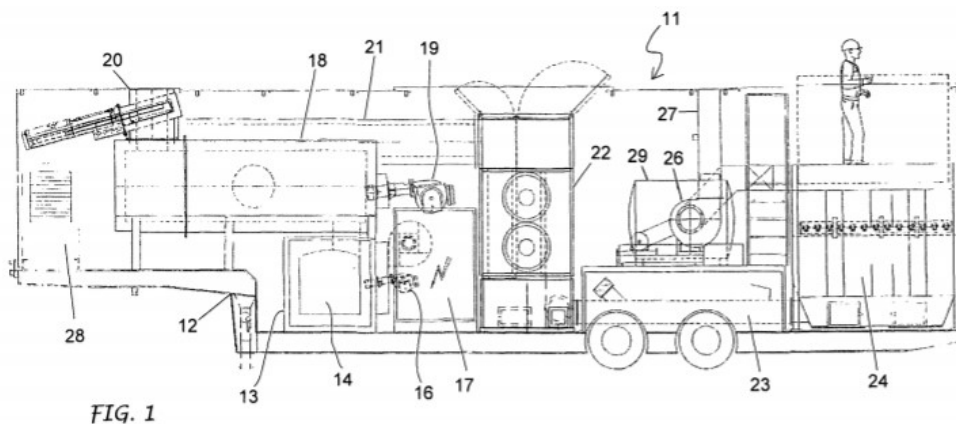


Figura E.6: Diagrama de patente de crematorio móvil EP. Fuente: Alessandretti & Ranchetti B. US6729247 B2- Crematorio Móvil

Según la descripción de la patente, la presente invención proporciona un crematorio móvil que aumenta en gran medida la disponibilidad de la cremación en diversas áreas sin el alto coste asociado al desarrollo de un crematorio fijo. La invención se describe con referencia a los dibujos, en los que los elementos similares se enumeran. Un crematorio móvil, representado generalmente con el número 1, se muestra en vista en perspectiva en la FIG. 1. El crematorio móvil, 1, comprende un incinerador montado en un marco, (17), tiene adaptado un remolque lengüeta de remolque, (18), y un enganche asociado, (19). El bastidor, (17), comprende además comprende un par de ruedas, (20). Hay preferentemente, un par de botellas de gas, (9) y (10), que suministran una mezcla de combustión a un incinerador mediante tubos, (11). Una chimenea, (14), permite la descarga de los gases de combustión (Brown, 2001). La Figura mencionada se muestra a continuación en la Figura E.7.

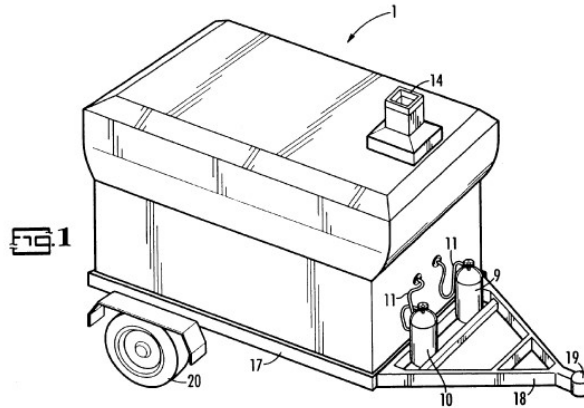


Figura E.7: Diagrama de patente de crematorio móvil US. Fuente: Brown

C. EP 0636838A2 – Horno crematorio con calentamiento eléctrico

Según la descripción de la patente, en este horno de cremación con calefacción eléctrica, un espacio de combustión principal formado en la bóveda del horno y un espacio de combustión secundario, los elementos de calefacción están diseñados como calentadores prefabricados e intercambiables. Se sitúan en pasajes de calentamiento (14), previstos para ello, en la estructura de soporte de la bóveda del horno en ladrillos conformados (Broggi, 1993). En la Figura E.8 (Figura 1 de la patente), se observa la configuración espacial del horno.

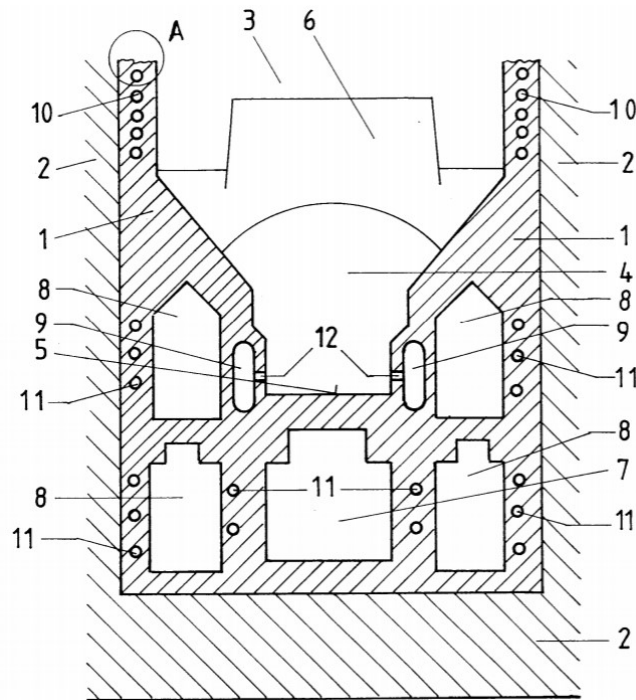


Figura E.8: Diagrama de patente de crematorio con calefactor eléctrico. Fuente: Broggi.

D. JP3229455U – Crematorio para mascotas

La patente japonesa propone realizar un horno de cremación de mascotas que no genere un olor desagradable y que no requiera que un miembro bajo el hogar móvil en el que se coloca el cuerpo de una mascota tenga una especificación resistente al calor. El cuerpo del horno (10) tiene una cámara de combustión primaria (CC1) y una cámara de combustión secundaria (CC2) para acomodar el hogar móvil (3) de manera que sea accesible. El cuerpo del horno (10) tiene una abertura (17) para insertar y retirar el hogar móvil (3), una puerta (18) para abrir y cerrar la abertura (17), y un medio de suministro de aire para suministrar aire a la cámara de combustión primaria (CC1), y la cámara de combustión primaria (CC1) tiene una abertura. En un estado en el que el hogar móvil (3) está alojado y la abertura (17) está cerrada por la puerta (18), la cámara de combustión primaria (CC1) está dividida en un espacio superior y un espacio inferior aislados del exterior por el hogar móvil (3), y el horno móvil (濱田, 2020). Se muestra en la Figura E.9 un esquema mostrando las partes del sistema planteado.

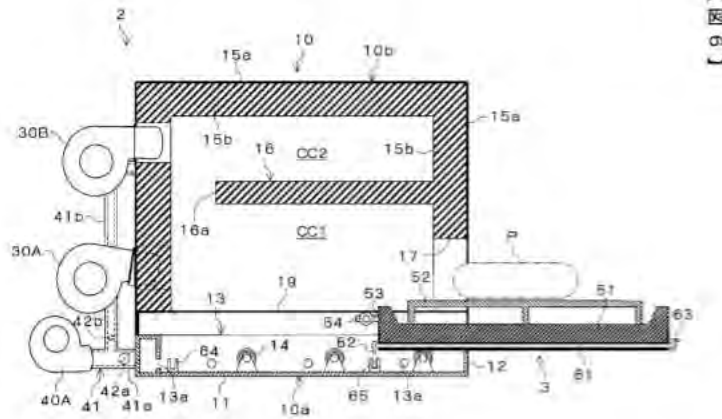


Figura E.9: Diagrama de patente de crematorio de mascotas. Fuente: 濱田.

E. KR20120088414A- Sistema con hornos crematorios de alta eficiencia

La presente patente coreana menciona que el invento es un sistema crematorio con un horno de cremación de alta eficiencia se proporciona para reducir el tiempo de cremación y para prevenir la generación de contaminantes porque un quemador de combustión auxiliar apoya la combustión perfecta al tener una misma dirección de flujo con la llama de un quemador de combustión principal. Un sistema de crematorio con un horno de cremación de alta eficiencia comprende un tubo guía vertical (70) y una parte de guía de escape (62). Un quemador de combustión principal está dispuesto en una pared lateral de una cámara de combustión principal (52). Un quemador de postcombustión está dispuesto en un lado de la cámara de postcombustión (김우태, 2011). En la Figura E.10 se muestra una vista isométrica de la patente y una vista lateral de corte.

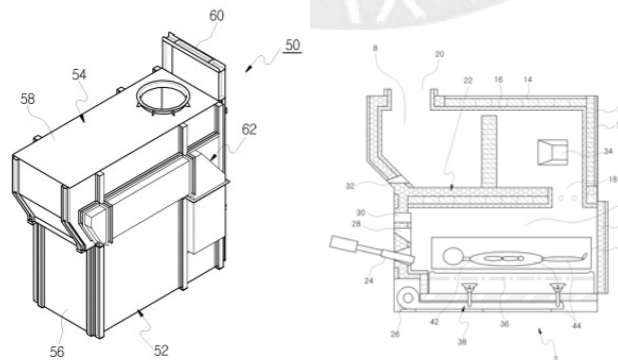


Figura E.10: Vista isométrica del crematorio(izquierda) y vista de corte (derecha). Fuente:

김우태

Finalmente, se muestra en la Tabla E.2 una comparación cualitativa entre las patentes investigadas.

Tabla E.2: Comparación entre patentes de hornos crematorios. Fuente: Elaboración propia.

Patente	EP2045525 A2	US672924 7B2	EP0636838A2	JP3229455U	KR2012008841 4A
Jurisdicción	Europea	Americana	Europea	Japonesa	Coreana
Exclusividad mascotas	No	No	No	Sí	No
Concepto	Sistema de cremación móvil	Crematorio móvil	Horno con calefactor eléctrico	Crematorio para mascotas	Sistema de hornos crematorios de alta eficiencia
Fecha	2007	2001	1993	2020	2011
Cantidad de cámaras	Cremación Postcombustión Intercambiador de humos/aire Ventilador	Incinerador Chimenea	Cremación Postcombustión	Cremación Postcombustión	Cremación Postcombustión Chimenea

Subsistema ingreso

En el caso del subsistema de ingreso, será el encargado de alojar en una primera instancia al cadáver de la mascota, para luego llevarla a la primera cámara de combustión y proporcionar la seguridad al operario y cerrar el sistema para la correcta operación. En tal sentido se consideran las sucesivas partes en cuanto al estado de la tecnología.

A. Plataformas para desplazamiento.

El objetivo de este mecanismo es trasladar horizontal y/o verticalmente al cadáver para el ingreso a la cámara principal. En tal sentido se tiene algunos mecanismos comerciales para cumplir dicho propósito como lo son las mesas hidráulicas, fajas

transportadoras o plataformas de empuje lateral utilizando actuadores como los lineales o motores.

Mesas hidráulicas: Su función es elevar el cuerpo hasta la altura en la que se encuentre la cámara de combustión y mediante algún accionamiento ya sea manual o mediante un mecanismo mover horizontalmente el cuerpo. En el caso de la mesa hidráulica Addfield tiene unas dimensiones de 1.6m de largo, 0.5m de ancho y 0.5-1.3m de alto, con un peso de 250 kg sin carga y 350 kg con carga. Posee una base que se desliza sobre unos rieles laterales haciéndola extensible, en este caso es manual debido a que posee un pedal para accionarla (2016), estas características se pueden observar en la Figura E.11, a continuación:



Figura E.11: Vista de la mesa hidráulica en posición alta. Fuente: Addfield

Fajas transportadoras: Permiten el desplazamiento horizontal del cuerpo, mediante el uso de motores, rodillos y una cinta o faja, de manera que se introduzca a la cámara de combustión. En el caso de la faja de DYMCO Ltd se tiene un modelo de acero inoxidable diseñado para el proceso de secado en la industria alimenticia y el transporte de medicinas y cosméticos, entre otros (2015). Es resistente al calor y a la corrosión. Se muestra el modelo en la Figura E.12 a continuación



Figura E.12: Vista de la faja transportadora. Fuente: DYMCO Ltd.

Actuadores lineales: Transforma la energía del movimiento rotativo de un motor en un movimiento lineal. Existen de diferentes tipos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos. Este tipo de actuadores tiene que ser diseñado junto a un mecanismo para permitir el traslado horizontal del cuerpo. En la Figura E.13 se puede observar un actuador eléctrico recogido.



Figura E.13: Vista de actuador eléctrico. Fuente: TiMOTION.

Finalmente se presenta la Tabla E.3 que compara las principales características de los mencionados mecanismos de traslado.

Tabla E.3: Comparación entre mecanismos de desplazamiento. Fuente: Elaboración propia.

Mecanismo	Mesa hidráulica	Faja transportadora	Actuadores lineales
Movimientos	Vertical y horizontal	Horizontal	Horizontal
Máquina comercial	Si	Si	No
Resistencia al calor	Si	Si	Si
Nivel de adaptabilidad para horno	Alto	Bajo	Medio

B. Mecanismos de cierre

Son los dispositivos encargados de encerrar el sistema durante todo el proceso y así permitir una separación entre el operario y la cámara cuando se encuentre encendido el horno. Entre los principales mecanismos se tiene puertas tanto verticales como horizontales.

Puerta vertical: En este mecanismo se tiene un cierre tipo guillotina, en el cual se asegura hermeticidad en la entrada del horno. Puede tener accionamiento manual o automático y es usualmente utilizada para la industria alimentaria en

refrigeración y en la térmica para distintos tipos de hornos. Tal como se muestra en la Figura E.14, este tipo de puerta es acompañada de rieles al costado.



Figura E.14: Puerta vertical tipo guillotina. Fuente: Ingenio Market.

Puerta horizontal: En este mecanismo se tiene una puerta horizontal que con el uso de un seguro puede asegurar al cuerpo durante todo el proceso, es usualmente usada en los hornos de distintos tipos y puede ser deslizante o mediante el uso de bisagras. El ejemplo que se muestra en la Figura E.15 es de un horno industrial con puerta horizontal con bisagras, a continuación:



Figura E.15: Puerta horizontal con bisagras. Fuente: Alibaba.

Finalmente, se procede a una comparación de las principales características de ambos mecanismos mostrándose así en la Tabla E.4.

Tabla E.4: Comparación entre mecanismos de cierre. Fuente: Elaboración propia.

Mecanismo	Puerta Horizontal	Puerta Vertical
Accesorios	Bisagras Rieles deslizantes	Rieles deslizantes
Facilidad de adaptabilidad a horno	Alta	Alta
Nivel de confianza para hermeticidad	Alta	Alta
Accionamiento	Manual	Manual o automático



Subsistema suministro

Para el sistema de suministro, el componente principal para lograr la llama necesaria para la temperatura de cremación tanto en la cámara de combustión. Es importante su selección para poder completar el proceso de manera correcta y no aumentar las emisiones generadas debido a la elección de un quemador incorrecto.

Subsistema cremación

En cuanto al proceso de cremación, se ha mencionado anteriormente los modelos integrales tanto comerciales como patentes, en el apartado de subsistemas cobra importancia los tipos de sensores y actuadores utilizados para medir las variables que se pretenden controlar, como es el caso de la velocidad y la relación combustible/aire.

Subsistema disposición

Relacionado al subsistema de disposición se tiene el proceso de triturado o cremulación. Este proceso forma parte de sistemas separados en las empresas que desarrollan hornos crematorios para mascotas y tienen un fuerte componente manual. Se presenta 3 modelos comerciales de máquinas cremuladoras a continuación:

A. HSC Cremulador de alta velocidad:

Según la empresa fabricante de dicho modelo cuenta con un bastidor de acero y control mediante PLC, cuenta con unas dimensiones de 1.8m de alto, 1.1m de ancho y 0.7 m de largo, su manejo es a través de una interfaz dedicada (*FT Cremation & Incineration Equipment, 2019*). Se muestra en la Figura E.16 su diagrama.



Figura E.16: Cremulador HSC. Fuente: *FT Cremation & Incineration Equipment*.

B. Cremulador Addfield:

Este modelo cuenta con unas dimensiones de 1.2m de longitud, 0.8m de ancho y 0.6m de alto funciona con alimentación de 50/60 Hz y 210/230 V. Se muestra en

la Figura E.17 su diagrama al costado de la máquina de cremación mencionada anteriormente en la sección de sistemas integrales.



Figura E.17: Cremulador Addfield al costado de horno crematorio. Fuente: Addfield.

C. Procesador de cenizas CR-001:

Este modelo cuenta con pantalla táctil y una estructura en acero inoxidable. Tiene funcionamiento electroneumático y sistema de autolimpieza, funciona con 230V/50Hz y cuenta con certificación de la unión europea (*Anathomic Solutions*, 2016). A continuación, en la Figura E.18 se muestra el diagrama de dicho modelo.



Figura E.18: Procesador de cenizas CR-001. Fuente: *Anathomic Solutions*.

Finalmente, se muestra en la Tabla E.7 un resumen comparativo de los modelos mencionados, entre sus principales características.

Tabla E.7: Comparación entre modelos de cremuladoras. Fuente: Elaboración propia.

Modelo	HRC	Addfield	CR-001
Dimensiones (alto, Ancho, largo en m)	1.8x1.1x0.8	1.2x0.8x0.6	-
Voltaje de funcionamiento	220-240 V	210-230 V	230 V
Frecuencia	50 Hz	50/60 V	50 Hz
Control	PLC	No	No
Interfaz	No	No	Interfaz táctil
Material	Acero inoxidable	Acero	Acero inoxidable

Subsistema lavado de gases

Los sistemas de lavados de gases, tales como los scrubber se han mencionado en la sección de marco teórico, en esta sección se mostrará solamente un modelo correspondiente al lecho húmedo desarrollado por la empresa Carnot Climatización, para demostrar que es un dispositivo ampliamente investigado en la industria. Tal como se muestra en la imagen E.19, a continuación:



Figura E.19: Lavador de gases scrubber. Fuente: Carnot Climatización




ANEXO F

MATRIZ MORFOLÓGICA, CONCEPTOS DE SOLUCIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICA- ECONÓMICA

Matriz morfológica

A continuación, se presenta la matriz morfológica planteada, que tiene como objetivo definir los principales principios tecnológicos correspondientes a las funciones del esquema de estructura de funciones. Se desarrollan 3 propuestas de solución abarcando la mayor cantidad de principios posibles, según la Tabla F.1.










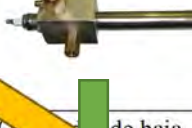


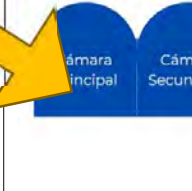
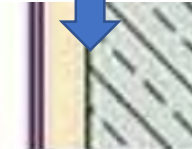


Tabla F.1: Propuestas de solución para matriz morfológica. Fuente: Elaboración propia



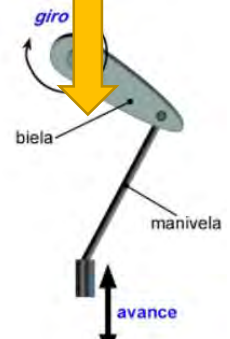
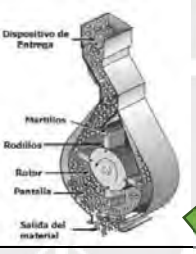
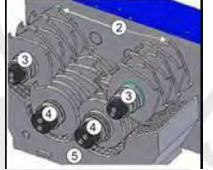







Propuesta	Flecha distintiva
Alternativa 1	
Alternativa 2	
Alternativa 3	











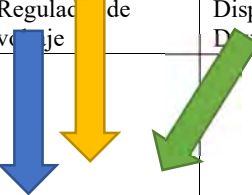
Se presenta a continuación la Tabla F.2 correspondiente a la matriz morfológica, que describe las distintas propuestas de solución.



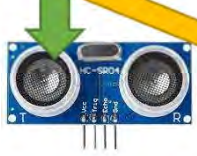













Tabla F.2: Matriz morfológica. Fuente: Elaboración propia








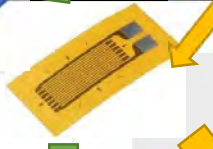


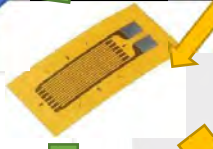





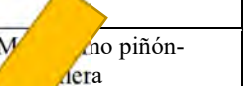
Matriz morfológica				
Dominio	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Mecánico	Trasladar líquido a lavador de gases			
		Tuberías de cobre	Tuberías de acero	Tuberías de polietileno
	Impulsar fluidos a lavador de gases			











	Motobomba	Bomba centrífuga	Bomba alternativa de pistones
Trasladar combustible a cámara principal			
Trasladar mascota a cámara principal			
Creumar cuerpo de mascota			
Realizar segunda combustión en cámara secundaria			
Alojar cuerpo de mascota durante cremación (forma volumétrica)			
Alojar gases de combustión en cámara secundaria (forma volumétrica)	Cámaras en forma de paralelepípedo dispuestas una encima de otra	Cámaras en forma de paralelepípedo dispuestas al costado de la otra	Cámaras en forma de techo bóveda una al lado de la otra.
Configuración estructural			

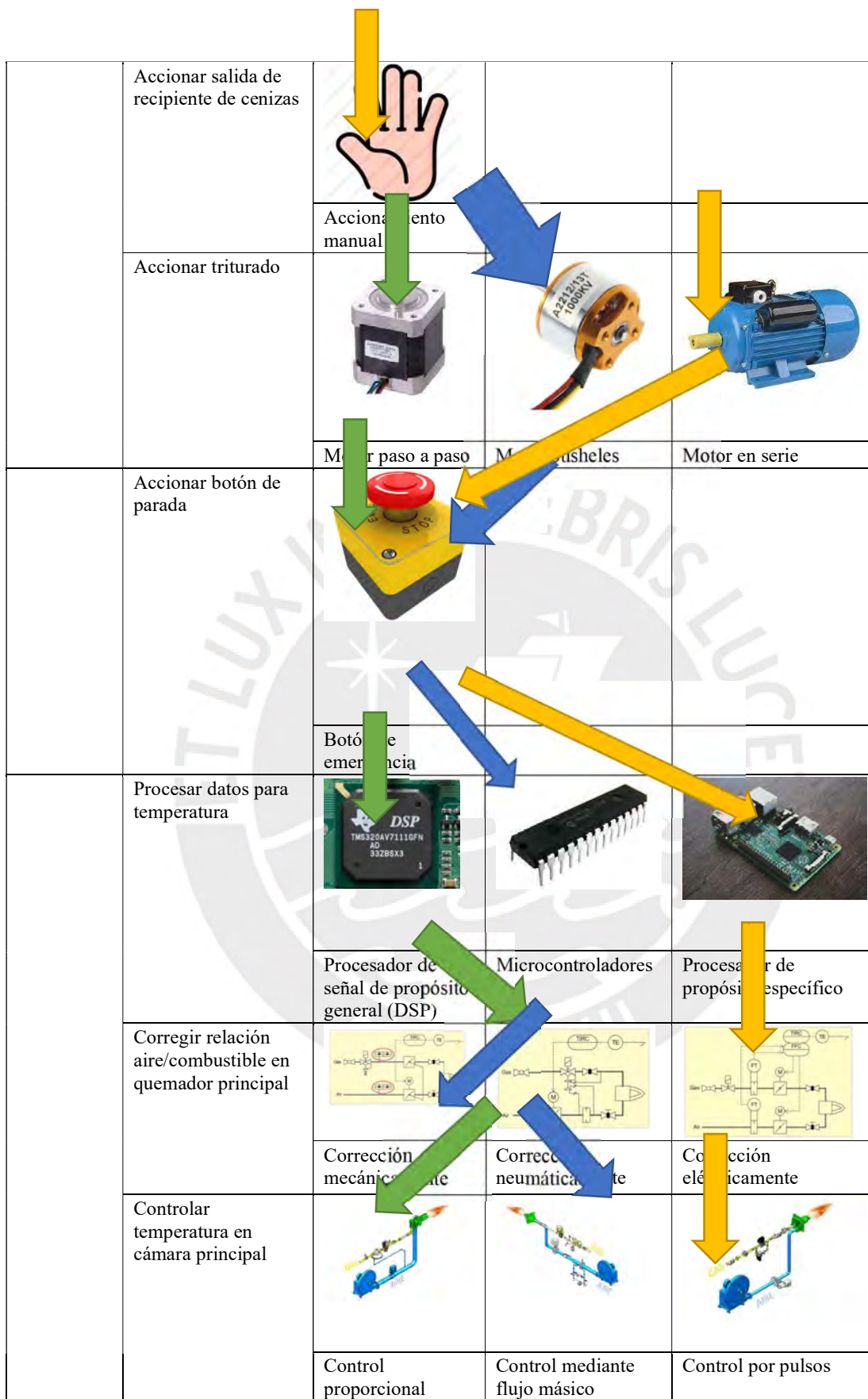
	Configuración de placas de acceso y materiales aislantes		
Trasladar residuos sólidos producidos a Cremulador			
	Actuador lineal	Mecanismo piñón cremallera	Mecanismo biela-manivela
Triturar residuos sólidos			
	Trituradora de molino de martillos	Trituradora de discos dentados	Trituradora de cilindros
Abrir/Cerrar acceso de ingreso			
	Puerta con bisagra lateral	Compuerta manual vertical	Puerta tipo cajón (deslizante)
Abrir/Cerrar acceso de disposición final de cenizas			
	Puerta con bisagra lateral	Compuerta manual vertical	Puerta tipo cajón (deslizante)

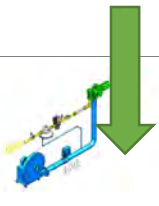





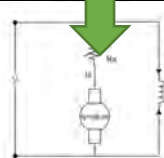
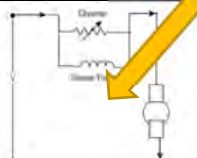
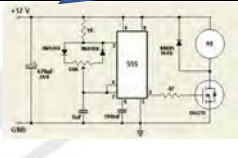









Energía	Acondicionar voltaje de alimentación		
		Fuente de alimentación lineal	Fuente de alimentación conmutada
	Acondicionar energía para controladores/procesadores		
		Regulador de voltaje	Dispositivo Step-Down
	Acondicionar energía para actuadores		
		Regulador de voltaje	Dispositivo Step-Down
	Acondicionar energía para panel de control		
		Regulador de voltaje	Dispositivo Step-Down
	Acondicionar energía para sensores		
		Regulador de voltaje	Dispositivo Step-Down
Energizar componentes			

				
		Cables y conectores		
Sensores	Detectar fin de carrera en el ingreso			
		Sensor de fin de carrera	Sensor ultrasónico	Sensor de contacto
	Detectar que la puerta de ingreso esté cerrada			
		Sensor de contacto	Sensor ultrasónico	Sensor de color
	Medir temperatura en cámara principal			
		Termopar	Termorresistencia	Sensor infrarrojo de temperatura
	Medir temperatura en cámara secundaria			
		Termopar	Termorresistencia	Sensor infrarrojo de temperatura
	Medir oxígeno en cámara principal			

		Sensor de oxígeno electroquímico	Sonda de oxígeno termopar	Sensor de oxígeno de zirconio
	Medir oxígeno en cámara secundaria			
	Medir masa de huesos en recipiente de cremulador	Sensor de oxígeno electroquímico	Sonda de oxígeno termopar	Sensor de oxígeno de zirconio
				
		Galga extensiométrica	Transductor de fuerza a compresión	Celula de carga
	Detectar proceso completado			
		Sensor de contacto	Galga extensiométrica	
				
Actuadores	Accionar plataforma de traslado			
		Accionamiento manual	Actuador lineal	Módulo de piñón-creniera
	Accionar puerta de ingreso			
		Accionamiento manual	Actuador lineal	

Accionar quemador principal			
Accionar quemador secundario	Dispositivo de encendido por chispa		
Conectar/Desconectar fuente alimentación			
Energiza fuente de alimentación			
Botón de encendido		Interruptor	
Accionar ingreso de combustible			
Accionar de líquido en lavador de gases			
Válvula solenoide de acción directa	Válvula solenoide de acción directa	Válvula solenoide operada por piloto	Válvula solenoide bidireccional
	Válvula solenoide de acción directa	Válvula neumática	Válvula check



	Controlar temperatura en cámara secundaria			
		Control proporcional	Control mediante flujo másico	Control por pulsos
	Procesar datos para velocidad en motores			
		Procesador de señal de propósito general (DSP)	Microcontroladores	Procesador de propósito específico
	Controlar velocidad rotacional en el motor			
	Controlar velocidad rotacional en el motor de plataforma de ingreso	Control por resistencia de armadura	Control mediante desvío de tiempo	Control mediante modulación de ancho de pulso
	Emitir alarma de falla			
		Alarma visual de emergencia	Alarma sonora de emergencia	Alarma visual+ sonora de emergencia
	Emitir alarma de proceso completado			
		Luces LED	Altavoz	Led+Altavoz
Interfaz	Mostrar información relevante en panel de control			
		Pantalla led	HMI	Pantalla LCD

Como se observa del conjunto de flechas, se plantean 3 propuestas de solución que abarcan los principales principios tecnológicos de cada función. En el caso de la primera alternativa se ha optado por escoger las alternativas que contengan la menor

cantidad de actuación manual, es decir, la que tenga que intervenir el operario en menor medida, para así generar riesgos mínimos en el trabajo de la máquina. En el caso de la segunda alternativa, se ha tomado los principios que tengan una mayor cantidad de actuación manual, es decir, los que involucre al operario en mayor medida, lo que permite tener una noción de que el costo en componentes será menor y se tendrá una distribución eléctrica-electrónica más sencilla. En el caso de la tercer, y última alternativa, se ha tomado los principios que implican mayor robustez en el sistema, como el uso de motores más robustos para el triturado, o mecanismos como el de biela-manivela y piñón-cremallera.

Cabe destacar, que hay funciones que independientemente de la solución se tienen que desarrollar cálculos para definir los componentes a utilizar, más precisamente, este es la selección del elemento aislante en la cámara y es por ello por lo que todas las funciones se dirigen a esa solución. Posteriormente se muestra la evaluación técnica-económica que determina la solución conceptual óptima.

Propuesta de conceptos de solución

A raíz de la matriz morfológica planteada, se tiene un conjunto de 3 soluciones con los distintos principios tecnológicos respectivos a la estructura de funciones del proyecto. El objetivo de este es generar posibles soluciones integrales a la problemática planteada del sistema. En este caso, se plantea tres conceptos de solución identificados por colores como se menciona en la Tabla F.1, los cuales siguen la secuencia; a solución 1 corresponde azul, a solución 2 corresponde verde y a solución 3 corresponde amarillo, respectivamente. A continuación, se describe y muestra los bosquejos de dichos conceptos de solución, planteados según la matriz morfológica. Luego, se comparan las soluciones en busca de la mejor según diferentes criterios económicos y técnicos.

Concepto de solución 1

Se basa en la disposición vertical, es decir una cámara encima de otra, este tipo de distribución permite un diseño compacto en donde los quemadores van insertados por la parte de atrás. Además, se utiliza puertas de bisagra lateral para el ingreso y la disposición de cenizas. Esta disposición busca la interacción segura entre la máquina y el operario con el fin de evitar accidentes, ya que se tendrá un sensor de contacto en la puerta para verificar que esté cerrada antes de iniciar el proceso. La plataforma de ingreso es gracias a una faja transportadora que permite el ingreso del cuerpo de la

mascota. En el caso de la cámara principal, se tiene una forma de paralelepípedo en el cual se le coloca una plataforma horizontal donde repose el cuerpo durante el proceso, con una ranura en donde se empuja mediante actuadores lineales hacia el cremulador. Además, la cámara secundaria está dispuesta referenciando el diseño de V para generar mayor turbulencia en el gas de combustión. Asimismo, se tiene la torre lavadora de gases encima de la cámara secundaria. Cabe resaltar, que el accionamiento de la puerta tanto de ingreso como de disposición se realizará manualmente por parte del operario. Se utilizará un conjunto de quemadores de llama plana para combustionar ambas cámaras con sus respectivos sensores de temperatura que serán de tipo termopar y de oxígeno tipo electroquímico. Además, se considera un control de la temperatura mediante flujo másico del combustible y para la interfaz el uso de un HMI y una alarma sonora y visual. A continuación, se presenta la Figura F.1 que representa al bosquejo.

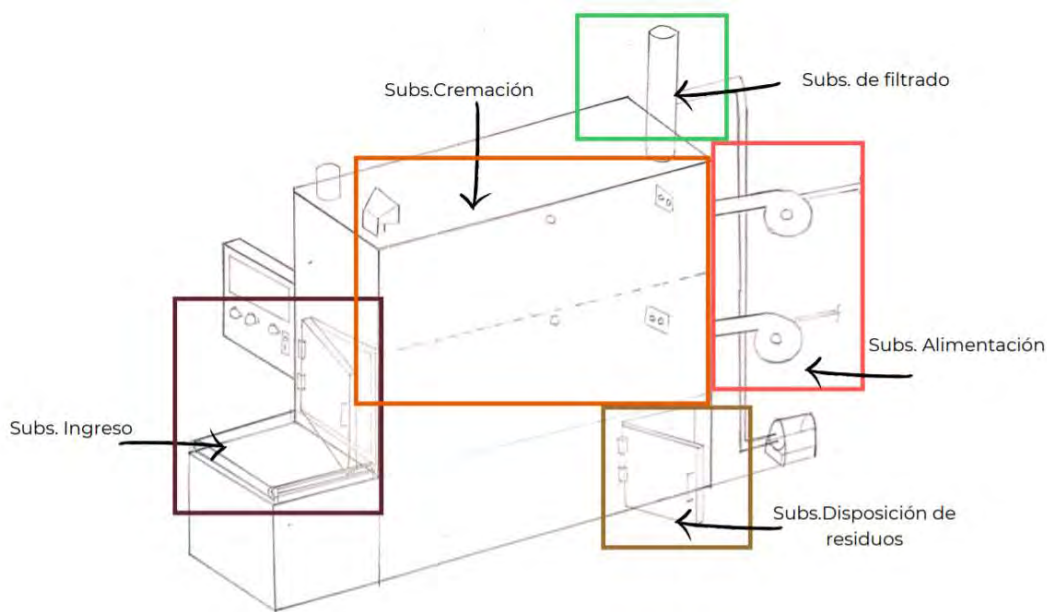


Figura F.1: Concepto de solución 1 dividido por subsistemas. Fuente: Elaboración propia
 Se muestra también, los principales componentes del concepto de solución y su orientación respectiva al subsistema, en la Figura F.2 se muestran los que se están en el exterior del sistema y en la Figura F.3 los que se encuentran al interior. Los principales elementos que resaltan es el cremulador y el mecanismo de traslado al mismo, así como la distribución de las cámaras de cremación y postcombustión.

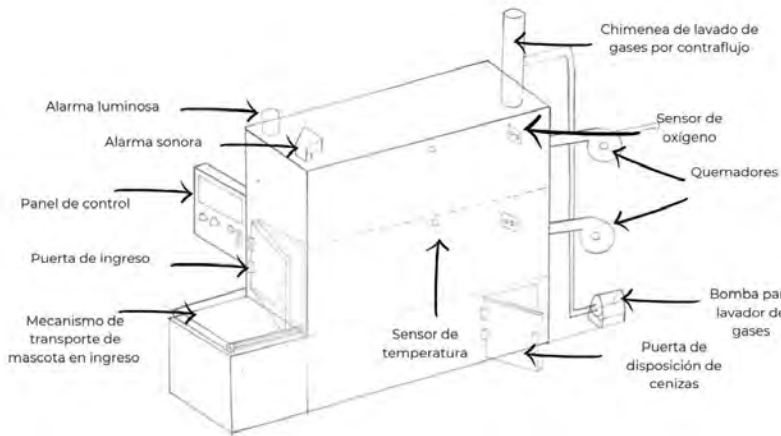


Figura F.2: Componentes externos de concepto de solución 1. Fuente: Elaboración propia

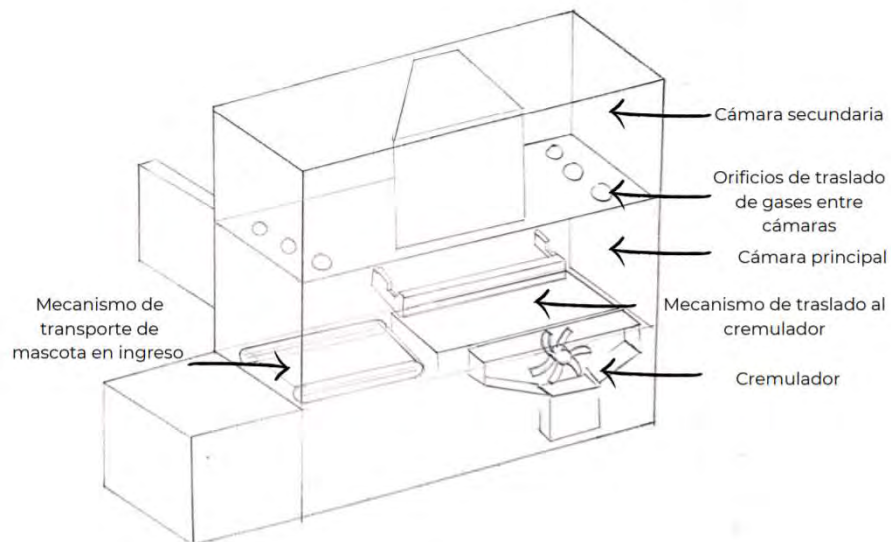


Figura F.3: Componentes internos de concepto de solución 1. Fuente: Elaboración propia

Concepto de solución 2

Tiene una distribución lateral de las cámaras, orientando un quemador verticalmente y el otro por atrás de la cámara. Esta distribución volumétrica en forma de paralelepípedo busca la simplicidad al momento de la construcción de la cámara y su integración con la estructura. El mecanismo planteado para el ingreso es de una compuerta accionada verticalmente tipo corredera, en el caso del mecanismo correspondiente al traslado de la mascota es una mesa hidráulica, que permite el traslado vertical de la mascota. El objetivo de este elemento es permitir un traslado seguro de la mascota generando una distancia segura entre la puerta vertical que podría producir un riesgo de atrapamiento brusco al operario. En cuanto al mecanismo de

traslado al cremulador se utiliza un piñón-cremallera que permite el traslado de los huesos resultantes a la zona de cremulado que está dispuesta en la cámara con una inclinación hacia el cremulador de discos dentados. Asimismo, la puerta de disposición de cenizas será accionada manualmente utilizando el mismo mecanismo de compuerta vertical que se utiliza en el ingreso. Además, se utiliza una bomba de pistones para llevar el líquido hasta la torre de lavado. En cuanto a los sensores se utiliza para los de temperatura una termorresistencia en cada cámara y para el sensor de oxígeno se utiliza un termopar. En cuanto al control de temperatura se realiza mediante una modificación proporcional del combustible y un bloqueo mecánico de la relación aire/combustible. En el caso de la interfaz se tiene una alarma visual luminosa y una pantalla LED para la interfaz del panel de control. A continuación, en la Figura F.4 se muestra el bosquejo del segundo concepto de solución planteado.

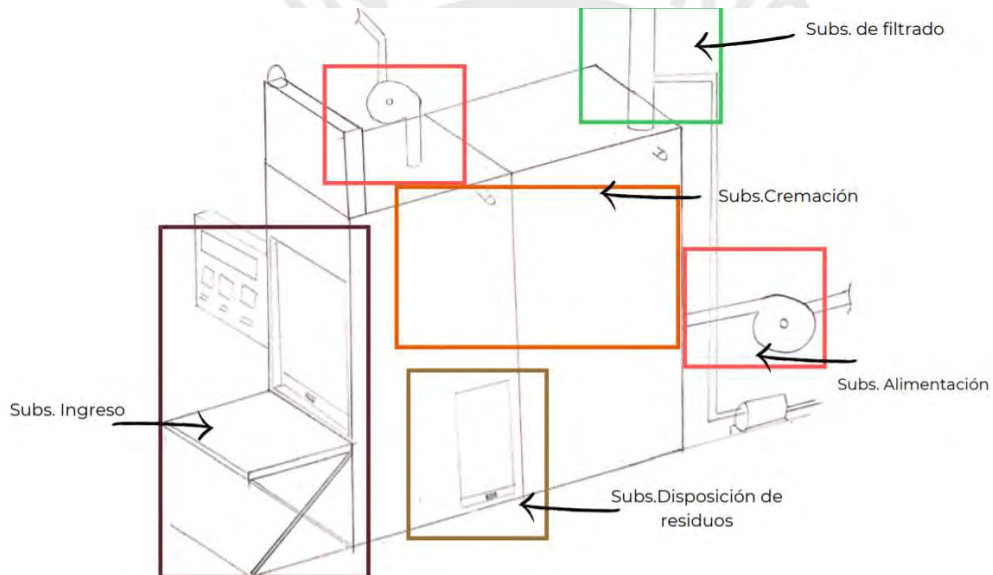


Figura F.4: Concepto de solución 2 dividido por subsistemas. Fuente: Elaboración propia

Se muestra, los principales componentes del concepto de solución y su orientación respectiva al subsistema, en la Figura F.5 se muestran los que se encuentran en el exterior del sistema y en la Figura F.6 los que se encuentran al interior.

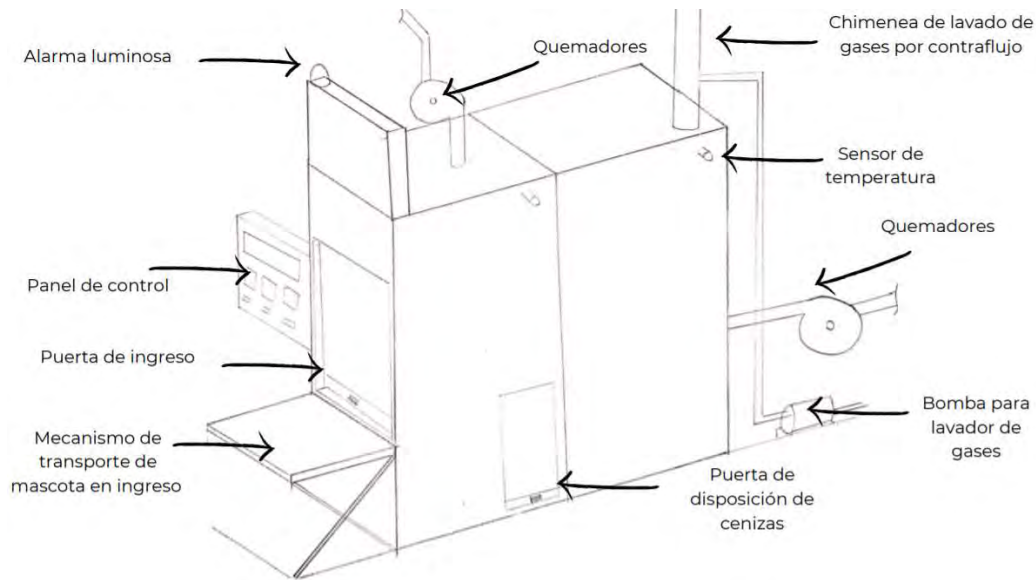


Figura F.5: Componentes externos del concepto de solución 2. Fuente: Elaboración propia

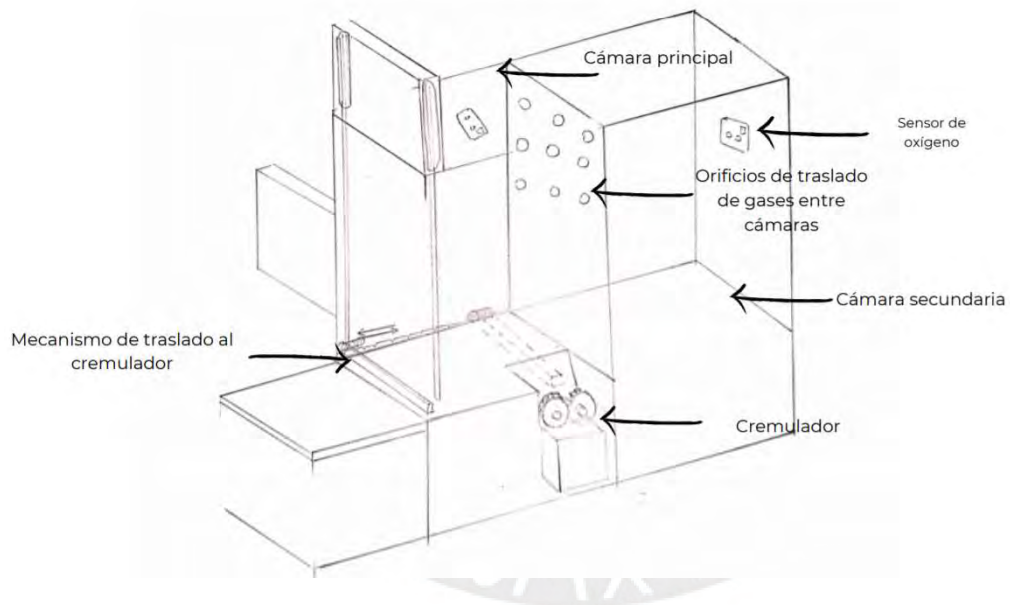


Figura F.6 Componentes internos del concepto de solución 2. Fuente: Elaboración propia

Concepto de solución 3

Toma una disposición lateral entre las cámaras, pero la forma cambia a un techo en forma de bóveda, en este caso los quemadores irían por un costado de ambas cámaras; buscando una distribución más uniforme del calor tomando la forma de techo bóveda. Para el caso del mecanismo de ingreso y de disposición de cenizas se tiene de

desplazamiento lateral tipo cajón. Además, en el caso del traslado al cremulador se utiliza un mecanismo biela-manivela para el traslado lateral en la parte frontal de la cámara principal para su introducción mediante una ranura en el cremulador de cilindros trituradores. En el caso de los sensores de temperatura, es de tipo infrarrojo y en el de oxígeno es tipo zirconio. En cuanto al control de temperatura, se realiza mediante el control por pulsos de combustible, y un bloqueo eléctrico de la relación aire/combustible. Además, en la interfaz del panel de control se utiliza una pantalla LCD y una alarma sonora para alertar la falla y el proceso completado. A continuación, se muestra en la Figura F.7 el bosquejo a mano alzada de dicho concepto de solución.

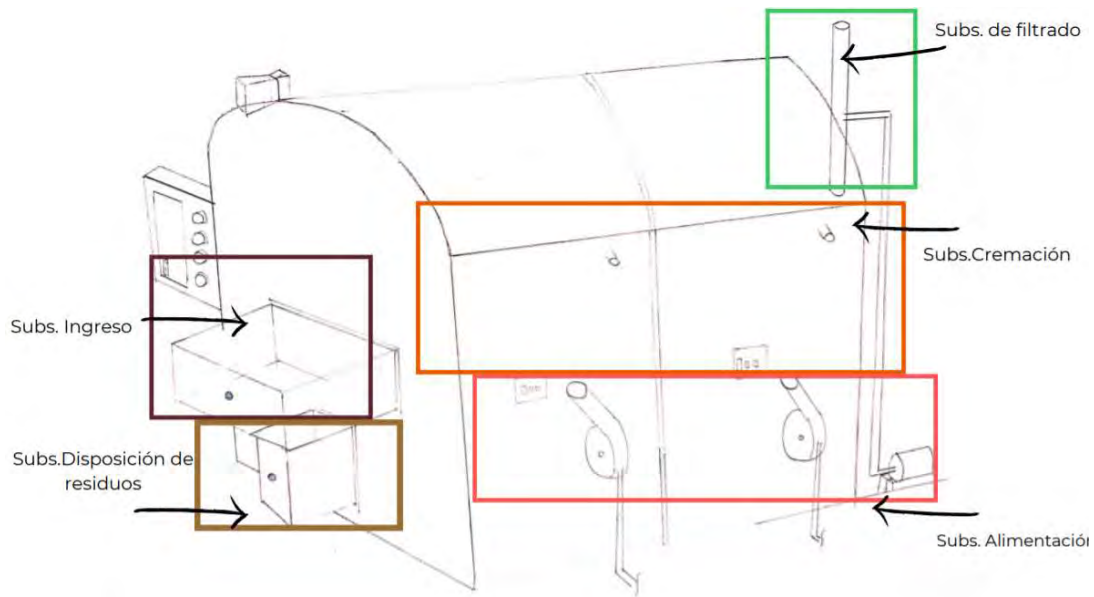


Figura F.7: Concepto de solución 3. Fuente: Elaboración propia

Se muestra, los principales componentes del concepto de solución y su orientación respectiva al subsistema, en la Figura F.8 se muestran los que se encuentran en el exterior del sistema y en la Figura F.9 los componentes que se encuentran al interior.

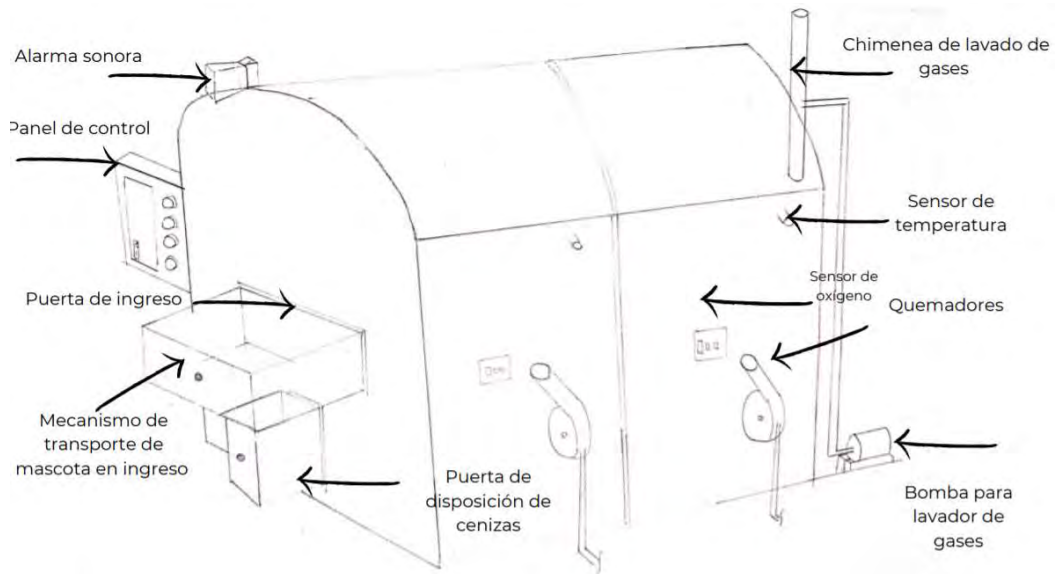


Figura F.8: Componentes externos del concepto de solución 3. Fuente: Elaboración propia.

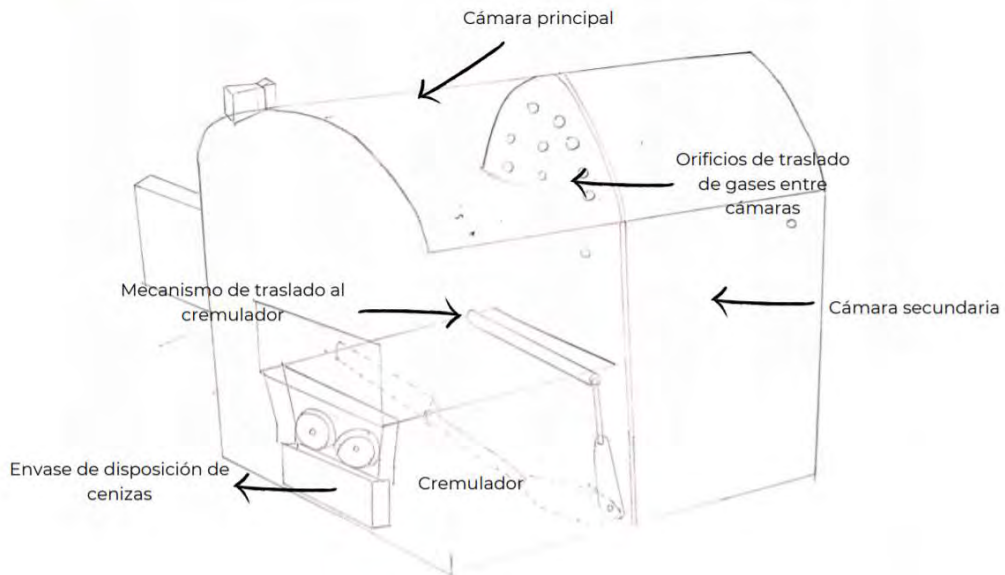
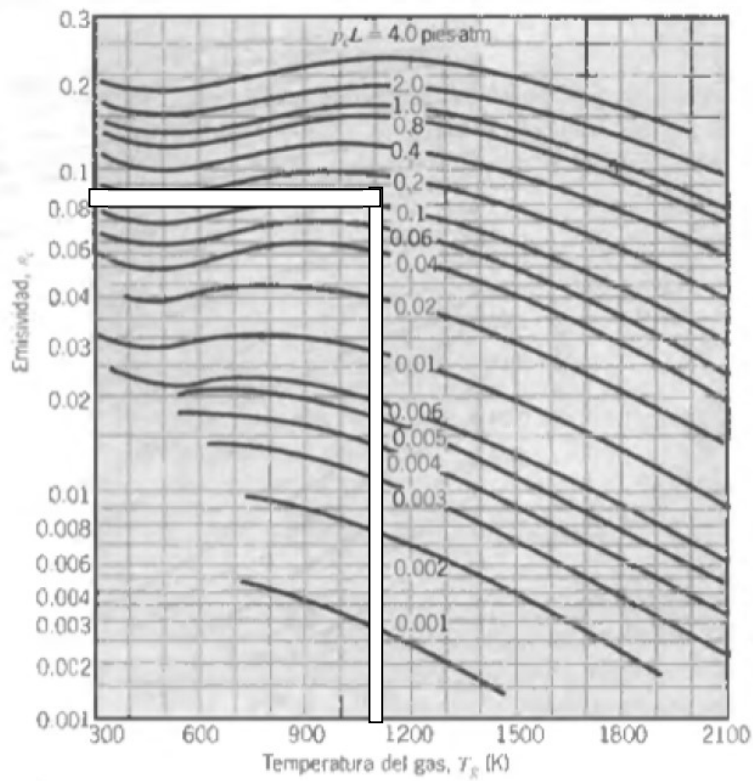
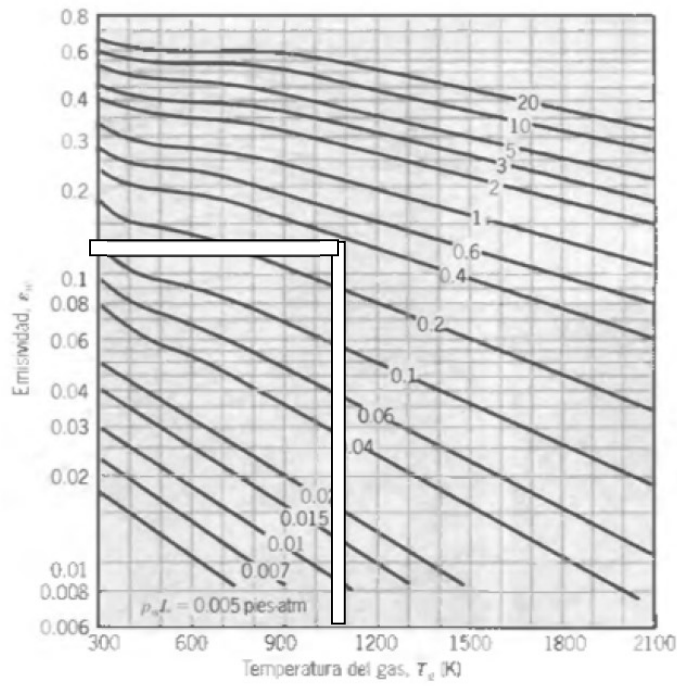
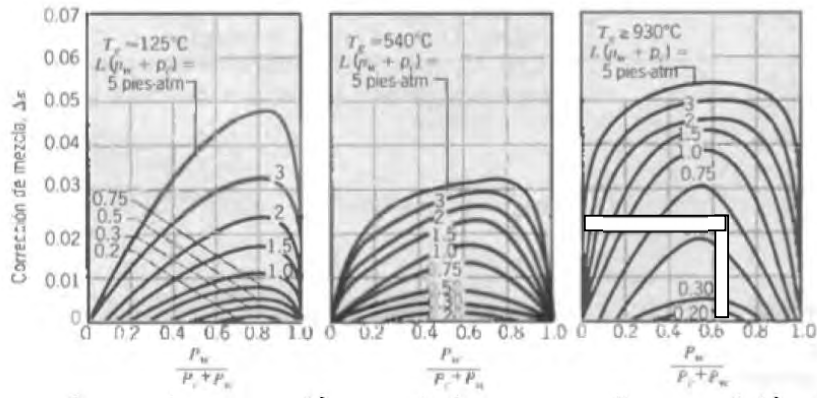


Figura F.9: Componentes internos del concepto de solución 3. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO H

GRÁFICOS DE EMISIVIDAD





ANEXO I

GRÁFICOS CATÁLOGO RODAMIENTOS SKF

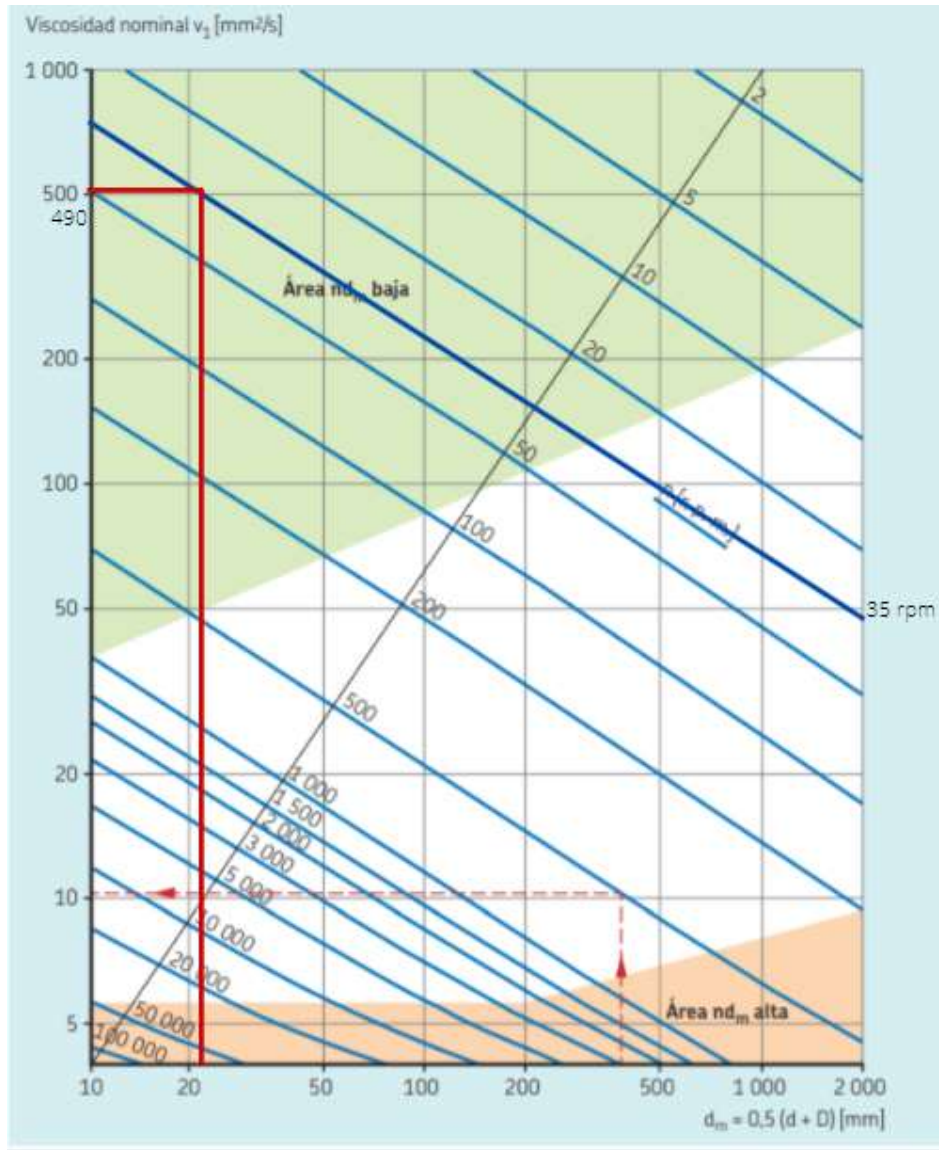
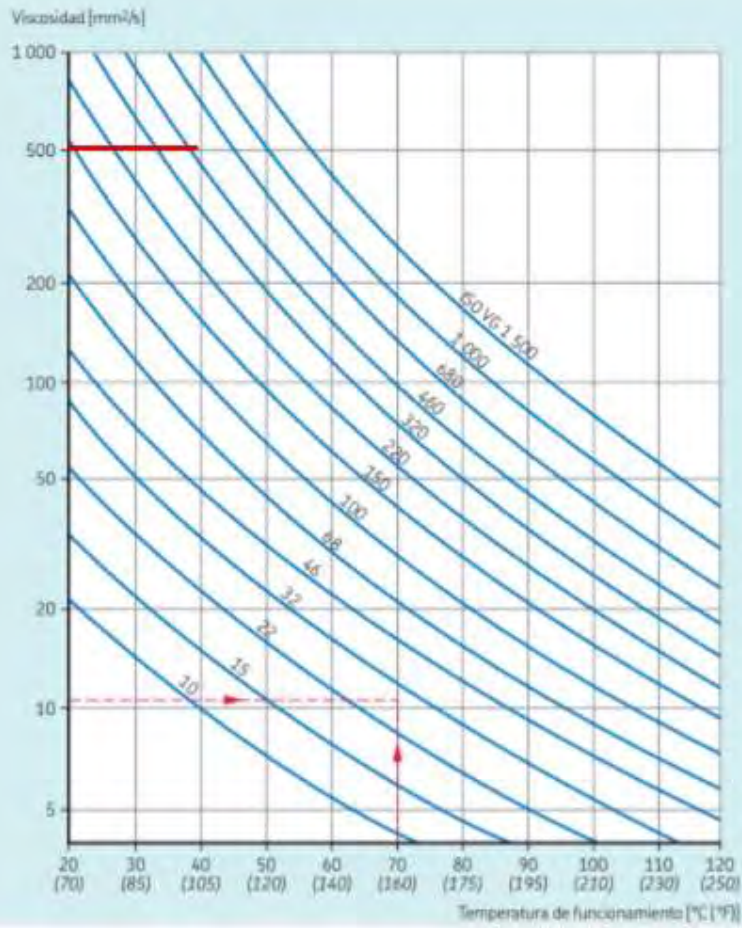
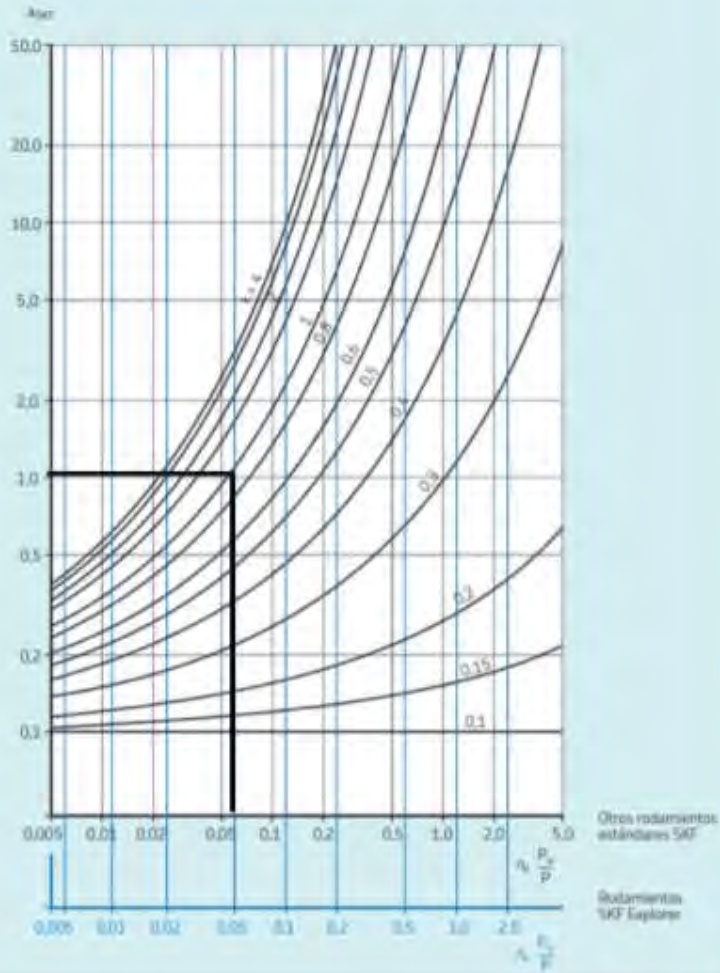


Diagrama de la temperatura de viscosidad según los grados de viscosidad de la ISO
(Aciéles minerales, índice de viscosidad 95)



Factor A_{sp} para los rodamientos radiales de bolas



ANEXO J

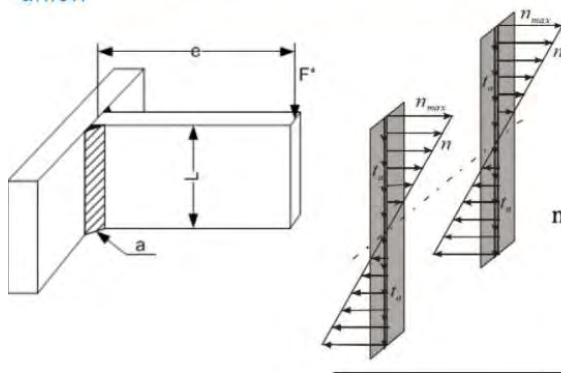
MÉTODO DE CÁLCULO PARA SOLDADURA

Cálculo de uniones soldadas de elementos estructurales

- Análisis de uniones planas: uniones sometidas a flexión (flexión + cortante)

Caso 8: Unión sometida a flexión ejecutada sólo con soldaduras frontales longitudinales.

El análisis se hace abatiendo todos los planos de garganta sobre el plano frontal de la unión



$$W = 2 \frac{aL^2}{6} = \frac{aL^2}{3}$$


$$A = 2aL$$

$$n_{\max} = \frac{M_f}{W} = 3 \frac{F^*e}{aL^2}$$

$$t_a = \frac{F^*}{2aL}$$

$$t_n = 0$$

$$\sigma = \tau_n = \frac{n}{\sqrt{2}} = \frac{3 F^*e}{\sqrt{2} aL^2}$$

$$\tau_a = t_a = \frac{F^*}{2aL}$$


Cálculo de uniones soldadas de elementos estructurales

- Análisis de uniones planas: uniones sometidas a flexión (flexión + cortante)

Caso 8: Unión sometida a flexión ejecutada sólo con soldaduras frontales longitudinales.

El análisis se hace abatiendo todos los planos de garganta sobre el plano frontal de la unión

Para que la unión sea segura debe verificarse:

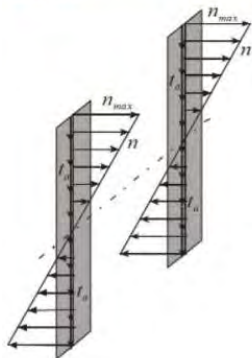
$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_n^2 + \tau_a^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}}$$

$$\frac{F}{aL} \sqrt{18 \left(\frac{e}{L}\right)^2 + \frac{3}{4}} \leq \frac{\sigma_B}{\beta_w \gamma_{Mw}}$$

Además se debe cumplir que:

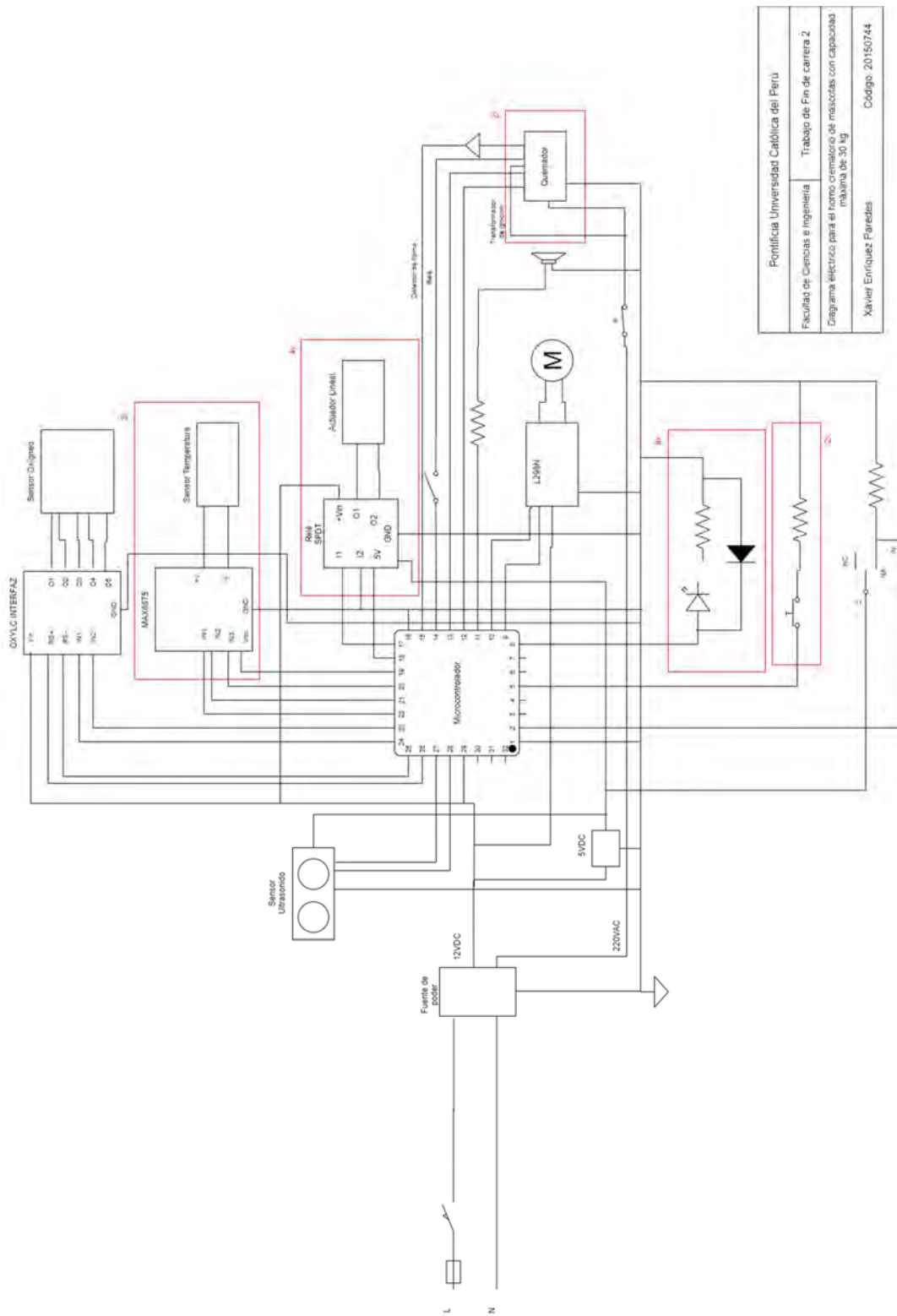
$$\sigma \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$$

$$\frac{3 F e}{\sqrt{2} aL^2} \leq \frac{\sigma_B}{\gamma_{Mw}}$$



ANEXO K

DIAGRAMA DE ESQUEMA ELÉCTRICO



Pontificia Universidad Católica del Perú
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Trabajo de Fin de carrera 2
Diagrama eléctrico para el horno crematorio de mascotas con capacidad máxima de 30 kg
Xavier Enriquez Fariñas
Código: 20150744

ANEXO L

ANÁLISIS DE COSTOS

Para el cálculo de costo de componentes se dividen en los subsistemas mencionados a lo largo del documento de ingreso, cremación, trituración, suministro de combustible y lavado; adicionalmente se consideran los componentes correspondientes al panel de control. Se muestran en las Tablas L.1, L.2, L.3, L.4, L.5 y L.6 los elementos correspondientes a los subsistemas mencionados respectivamente. Se considera un valor de 50% del componente para conceptos de envío y un tipo de cambio de 4 S/. / \$.

Tabla L.1: Costo de componentes subsistema cremación Fuente: Elaboración propia

Ítem	Modelo	Cantidad	Costo unitario s/e	Costo unitario c/e	Costo Total \$	Costo Total S/.
Quemadores	BALTUR BG 3P /u	2	1060	1590	3180	12720
Actuador Lineal	BTGHA /u	2	59	88.5	177	708
Ladrillos Refractarios	K23 LG-0.4 /u	2200	0.1	0.15	330	1320
Fibra Cerámica	5ft x 24 in x 1in /u	13	43.7	65.55	852.15	3408.6
Placas de acero	1/8" 1.25m x 1 m 100 kg /100kg	3	52	78	234	936
Sensor Temperatura	CHAUDI WRN 130/u	2	25	37.5	75	300
Sensor oxígeno	YOKOGAWA ZR22G /u	2	5800	8700	17400	69 600
Estructura	Tubos cuadrados 140x140 6mm (1ton) /ton	1	620	930	930	3720
					Total	92 712.6

Tabla L.2: Costo de componentes subsistema ingreso Fuente: Elaboración propia

Ítem	Modelo	Cantidad	Costo unitario s/e	Costo unitario c/e	Costo Total \$	Costo Total S/.
Estructura	Canal C 40x40x4 mm - 2000 mm /c	3	23	34.5	103.5	414
Rodamientos	BS292: 10x26x8 /u	20	0.76	1.14	22.8	91.2
Rodillos	6ftx 1in diámetro /u	5	48.36	72.54	362.7	1450.8
Actuador Lineal	BTGHA /u	2	45	67.5	135	540
Sensor Ultrasonido	HC-SR04 /u	1	1.1	1.65	1.65	6.6
Seguro Puerta	PHILLIPS 39-c /u	1	5	7.5	7.5	30
Sensor de contacto	A1LC /u	1	1.8	2.7	2.7	10.8
Bisagras	Acero /kg	100	0.8	1.2	120	480
Soporte Bisagra	Aluminio /kg	50	2.5	3.75	187.5	750
Goma silicona	Strip 20 in 3mm /u	1	19.8	29.7	29.7	118.8
					Total	3892.2

Tabla L.3: Costo de componentes trituración Fuente: Elaboración propia

Ítem	Modelo	Cantidad	Costo unitario s/e	Costo unitario c/e	Costo Total \$	Costo Total S/.
Acero A500	Placas 5 mm x 1000 mm x 10000 mm /plate	1	100	150	150	600
Acero A500	Placas 10 mm x 2000 mm x 200 mm /plate	1	60	90	90	360
Tubo hexagonal	S46 x 1m /m	1	11.6	17.4	17.4	69.6
Rodamientos	BS292: 10x26x8 /u	4	0.76	1.14	4.56	18.24
Motor	200kg.cm MOTOR 12VAC /u	1	350	525	525	2100
					Total	3147.84

Tabla L.4: Costo de componentes suministro de combustible Fuente: Elaboración propia

Ítem	Modelo	Cantidad	Costo unitario s/e	Costo unitario c/e	Costo Total \$	Costo Total S/.
Tuberías	6ft 1/2in pipe steel 5/64" thickness /m	3	29.3	43.95	131.85	527.4
Válvula manual	1/2 in pipe gas valve/u	1	9.3	13.95	13.95	55.8
Unión anti-vibraciones	Joint anti vibration 1/2 in /u	1	19.7	29.55	29.55	118.2
Filtro de gas	FM inline gas filter /u	1	65	97.5	97.5	390
Switch de baja presión	GOODMAN 1/2 IN /u	1	125	187.5	187.5	750
Indicador de presión	SPPEDAIRE /u	1	15	22.5	22.5	90
Electroválvula		1	30	45	45	180
Unión para indicador	GAS TEST POINT 1/2 /u	1	8.5	12.75	12.75	51
					Total	2162.4

Tabla L.5: Costo de componentes subsistema lavado de gases Fuente: Elaboración propia

Ítem	Modelo	Cantidad	Costo unitario s/e	Costo unitario c/e	Costo Total \$	Costo Total S/.
Lavador de gases	QUINDAO DEER EPT	1	1 900.00	1 900.00	1,900.00	7 600
Codos 90 grados	COVACON SL 200mm	3	-	-	-	292.5
Ductos rectos circulares	COVACON SL 200mm C18 X5M	1	-	-	-	877.5
Ductos rectos rectangulares	COVACON SL 100X100 C18X1.5M	3	-	-	-	540
JUNTAS	METU	7	13.14	19.71	137.97	551.9
JUNTAS	Brida Rectangular	3	1.23	1.85	5.55	22.2
Extractor Centrifugo	BX133-EE-B000	1	85	123.8	123.8	495
					Total	10379.1

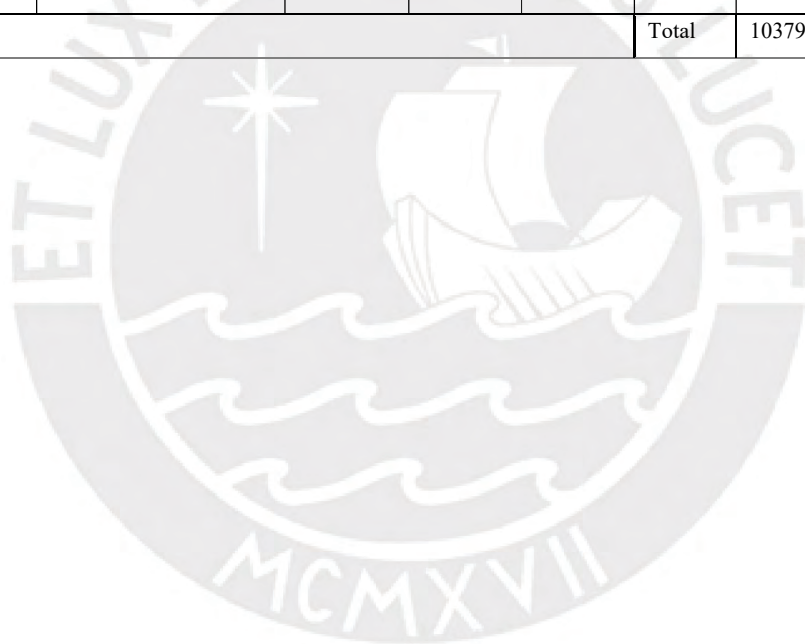


Tabla L.6: Costo de componentes del panel de control. Fuente: Elaboración propia

Ítem	Modelo	Cantidad	Costo unitario s/e	Costo unitario c/e	Costo Total \$	Costo Total S/.
Relés	10A SPDT /u	10	1	1.5	15	60
Controlador	Controllino MEGA /u	1	329	493.5	493.5	1974
Botones	25mm push botton /u	2	14	21	42	168
Leds	LPL3-4 /u	10	4.62	6.93	69.3	277.2
Altavoz	BL0253 /u	1	2.5	3.75	3.75	15
MAX 6675	modulo /u	1	2.6	3.9	3.9	15.6
LM298	Motor Driver	1	0.9	1.35	1.35	5.4
OXYLC	Oxygen Sensor interfaz	1	1	1.5	1.5	6
Aluminio 6061	Aluminum sheet 4mm x 1000m x 500m	5	2.2	3.3	16.5	66
Fuente de poder	PES 2200 12X8NA	1	682	1023	1023	4092
HMI	STONE	1	153	229.5	229.5	918
Convertidor 12-5VDC	Stepdown Converter 12DC-5DC 8A	2	7.5	7.5	15	60
Tornillos	M8X16 /100	1	8	12	12	48
Tornillos	M3X10 /100	1	4	6	6	24
Tornillos	M2X8 /100	1	7.7	11.55	11.55	46.2
Tornillos	M10X40 /100	1	50	75	75	300
Cables	8AWG 55A 600VAC/100ft	2	65	97.5	195	780
					Total	8855.4

ANEXO M

CATÁLOGOS DE LAVADORES COMERCIALES EVALUADOS

A continuación, se presentan los catálogos de las marcas evaluadas para la selección de la torre de lavado de gases:

Fabricante Qingdao DEER Environmental Protection Technology Co., Ltd

Tabla M.1: Modelos del fabricante QINGDAO. Fuente: Página del proveedor

Model	Airflow (m3/h)	Tower Diameter (mm)	Inlet Diameter(mm)	Water Tank Diameter(mm)	Tower Height(mm)	Pump Power(Kw)
DER-T500	1200	500	200	800	3500	0.75*2
DER-T600	2000	600	200	1000	3500	0.75*2
DER-T700	3000	700	300	1000	4000	3.0*2
DER-T800	4000	800	300	1200	4000	3.0*2
DER-T1000	5000	1000	400	1400	4500	4.0*2
DER-T1200	6000	1200	450	1400	4500	4.0*2
DER-T1400	8000	1400	500	1400	5000	5.5*2
DER-T1600	10000	1600	600	1600	5000	5.5*2
DER-T1800	15000	1800	700	1800	5500	5.5*2
DER-T2000	20000	2000	800	2000	5500	7.5*2
DER-T2200	25000	2200	1000	2200	6000	7.5*2
DER-T-2500	30000	2500	1000	2500	6000	7.5*2

Fabricante XICHENG

Tabla M.2: Modelos del fabricante XICHENG. Fuente: Página del proveedor

Air volume (M3/H)	Size (mm)	THK (mm)	Drain outlet (mm)	Water tank size(mm)	Inlet and outlet size (mm)	Pump (KW)	Wind resistance (Pa)
3000	800	8	DN32	600*700*H700	315	0.75	500
5000	1000	8	DN40	600*800*H700	400	1.5	500
8000	1200	8	DN40	600*1000*H700	500	2.2	500
10000	1500	10	DN40	700*1000*H700	550	2.2	500
12000	1600	10	DN50	700*1000*H700	600	3.75	500
15000	1800	10	DN50	700*1200*H700	650	3.75	500
20000	2000	10	DN50	700*1200*H700	750	5.5	500
25000	2200	10	DN50	700*1200*H700	950	5.5	600
30000	2500	12	DN65	700*1200*H700	1000	5.5	600
35000	2700	12	DN65	1000*700*H700	1100	7.5	600
40000	2900	12	DN65	1000*700*H700	1200	7.5	600
45000	3000	12	DN65	1000*700*H700	1250	7.5	600

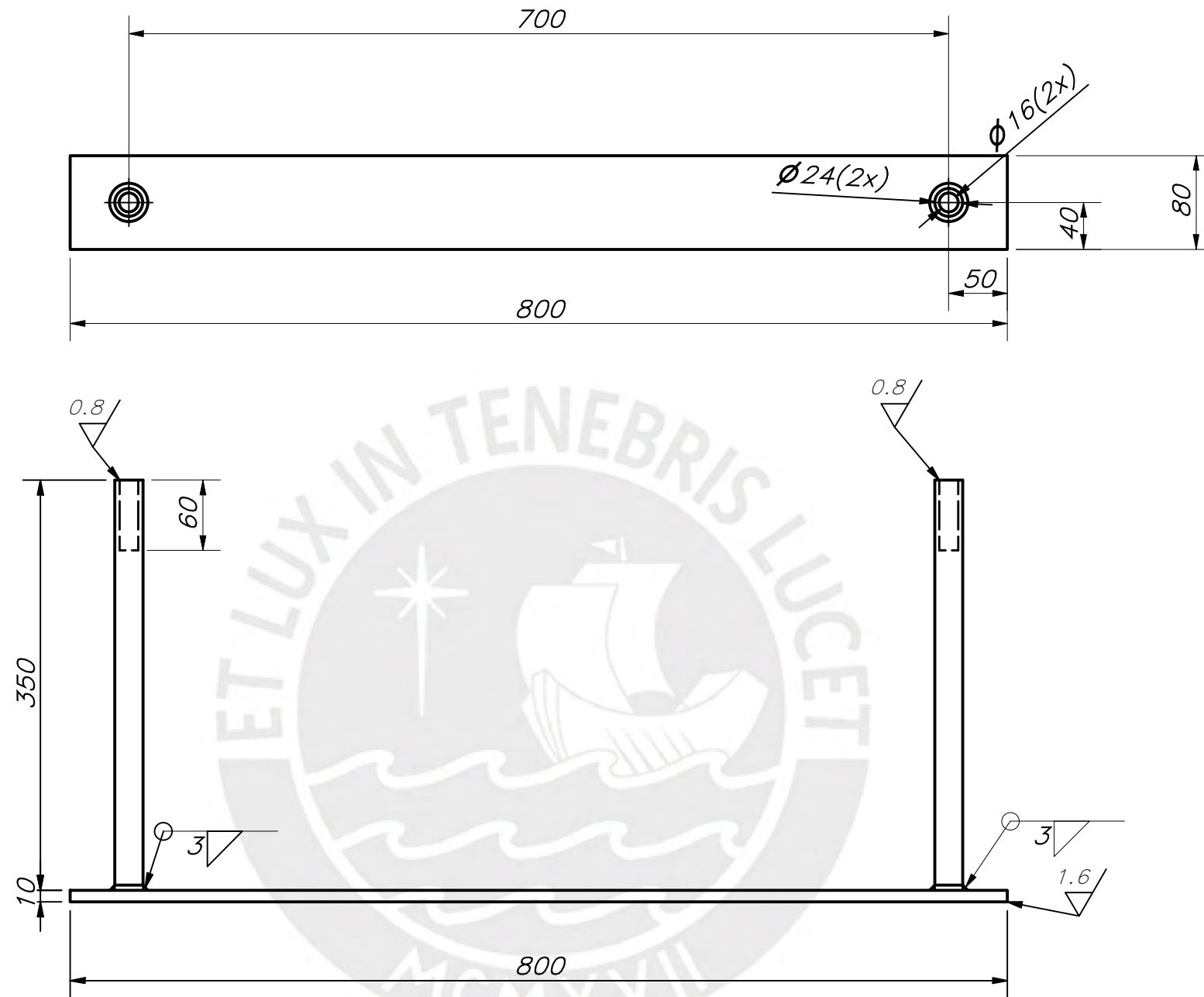


ANEXO N

PRESENTACIÓN DE PLANOS MECÁNICOS

A continuación, se presentan los planos mecánicos referentes al presente proyecto.



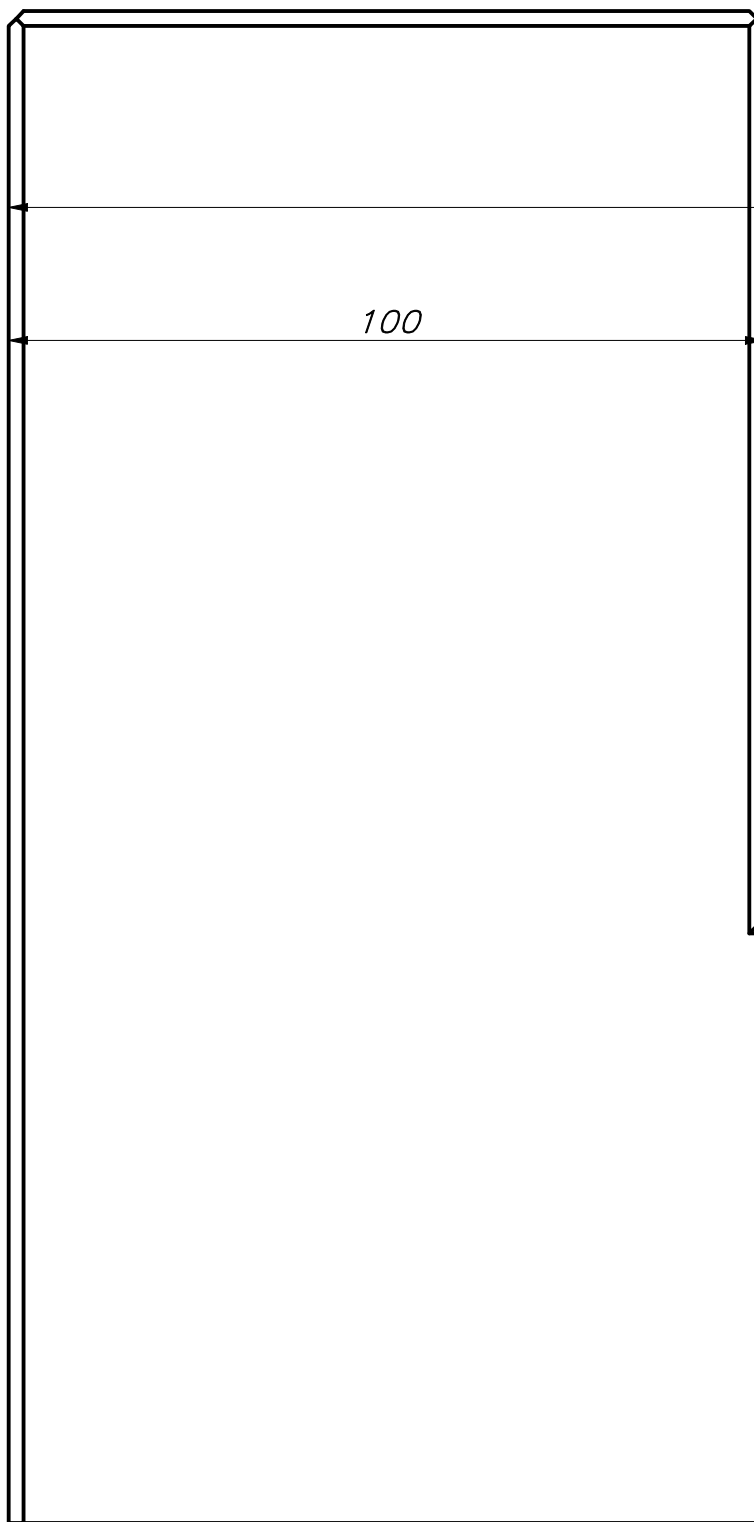


ACABADO SUPERFICIAL 0.8 / 1.6	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 fino	MATERIAL ACERO A 36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERIA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1 ACCESORIO DE EMPUJE	ESCALA 1:5
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 20221.10.16
16 h5	16	15.994
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5

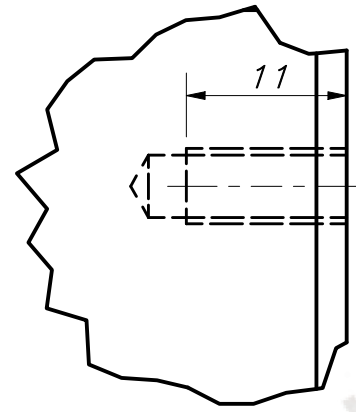
16 h5	16	15.994
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



CHAFLANES NO INDICADOS 2x45

265

100

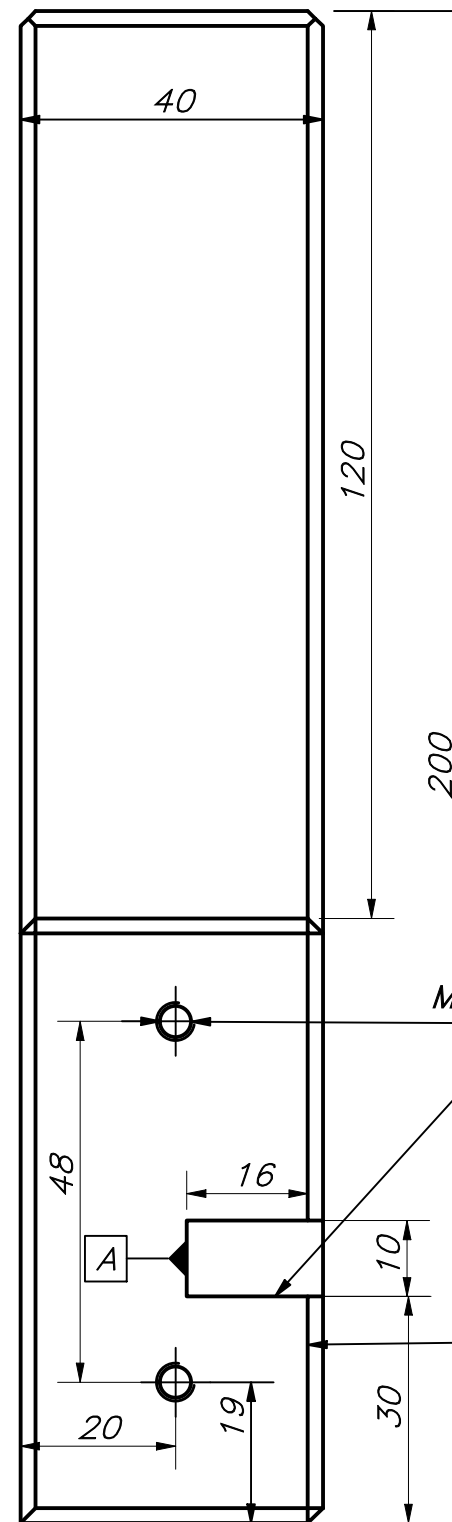
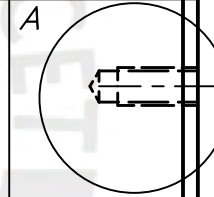


DETALLE A
ESCALA 2 : 1

1.6/

25

80



40

120

200

M4(2x)

0.2A

48

16

10

1.6/

30

20

19

ACABADO SUPERFICIAL

1.6/

TOLERANCIA GENERAL

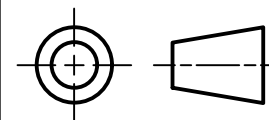
ISO 2768
medio

MATERIAL

ALUMINIO 6061

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1

ACCESORIO DE
SEGURO PARA PUERTA

ESCALA

1:1

20150744

ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER

FECHA:
2021.10.31

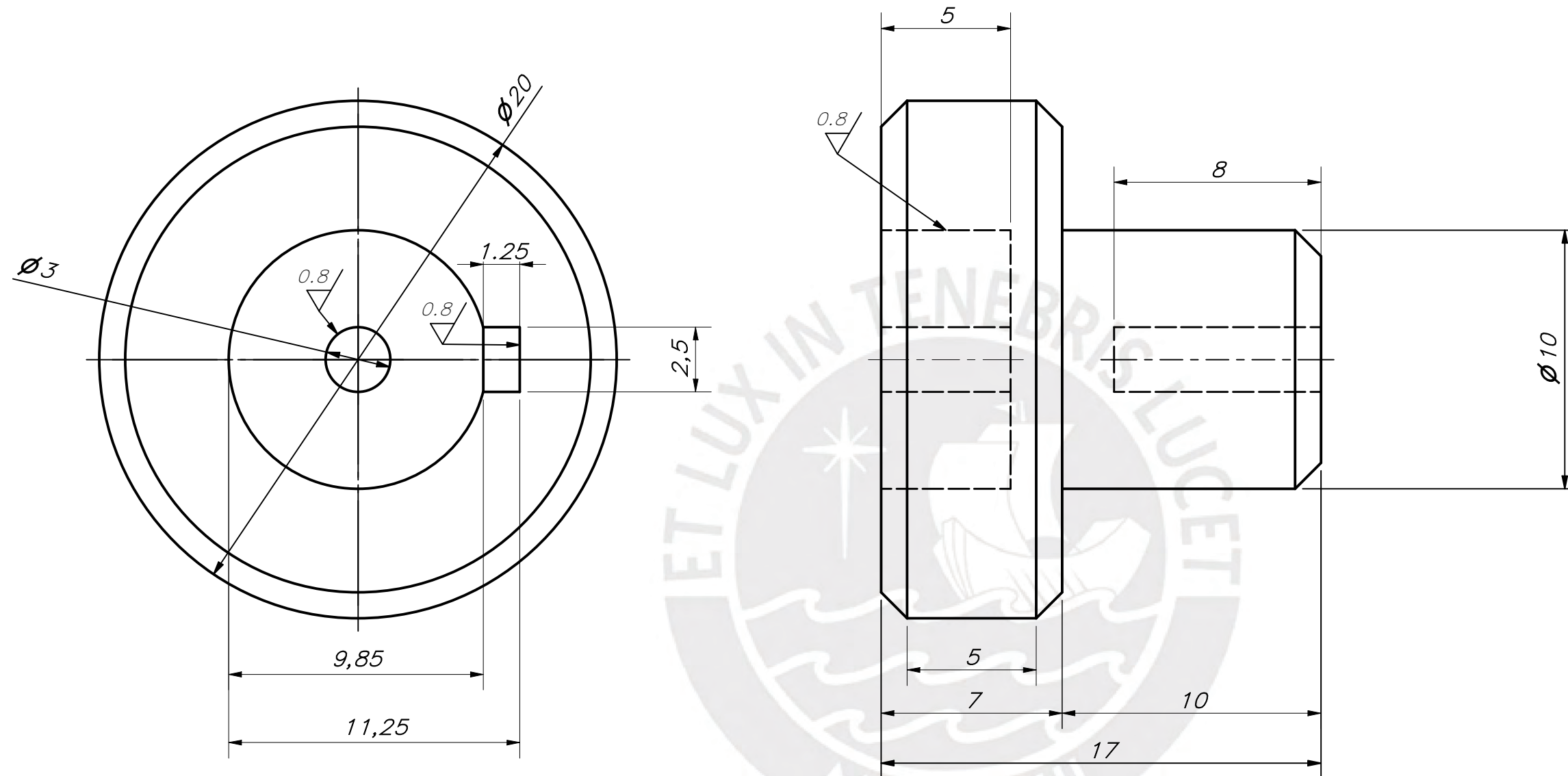
TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

M4 h6	4	3.994
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

LÁMINA:
A3

CHAFLANES NO INDICADOS 1x45

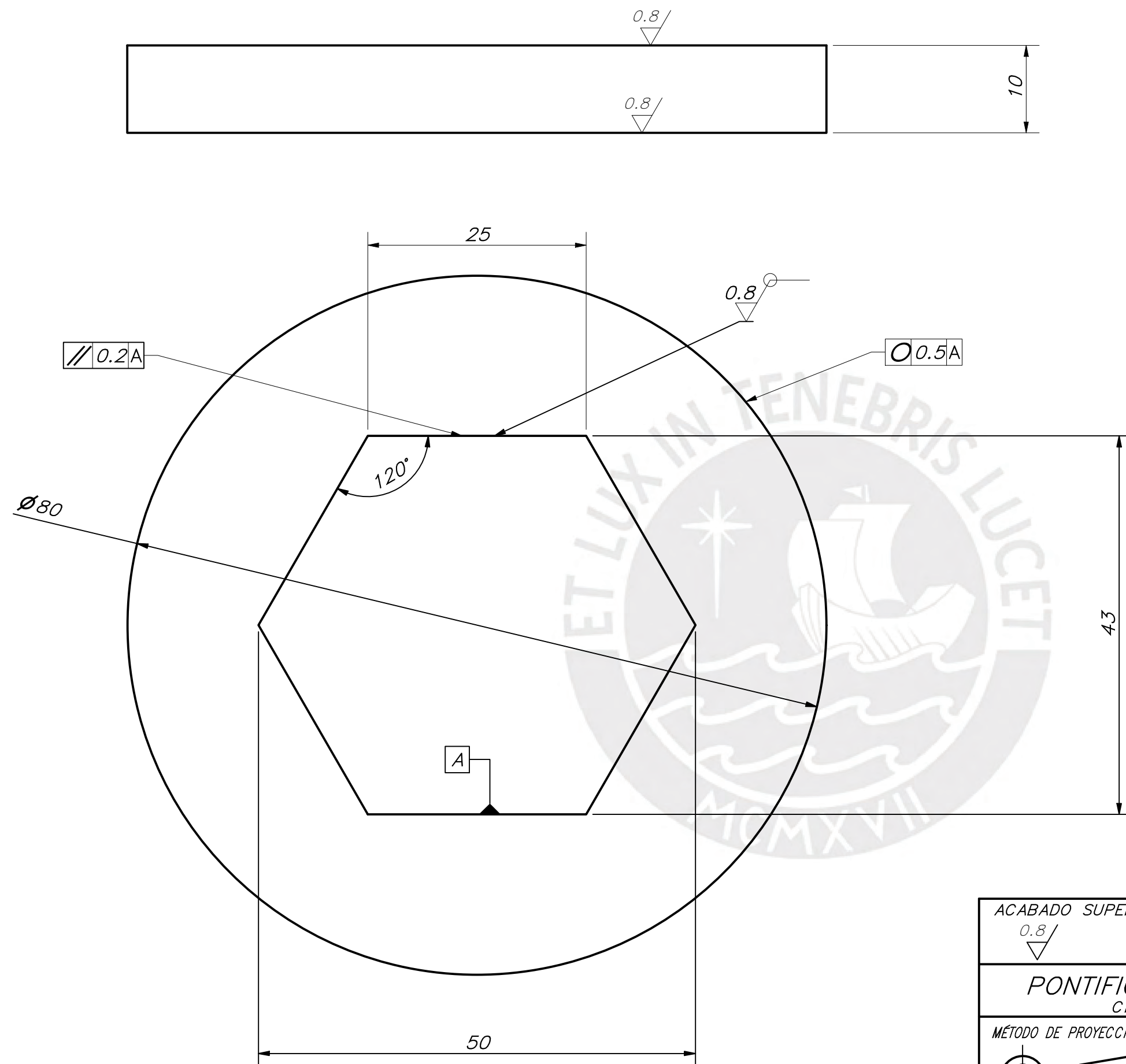


ACABADO SUPERFICIAL 0.8/ ▽	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 fino	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1 ANILLO DE SUJECIÓN MOTOR	ESCALA 5:1
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
10 H9 COTA NOMINAL	10.025 COTA MÁXIMA	10 COTA MÍNIMA
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5

10 H9 COTA NOMINAL	10.025 COTA MÁXIMA	10 COTA MÍNIMA
--------------------------	--------------------------	----------------------



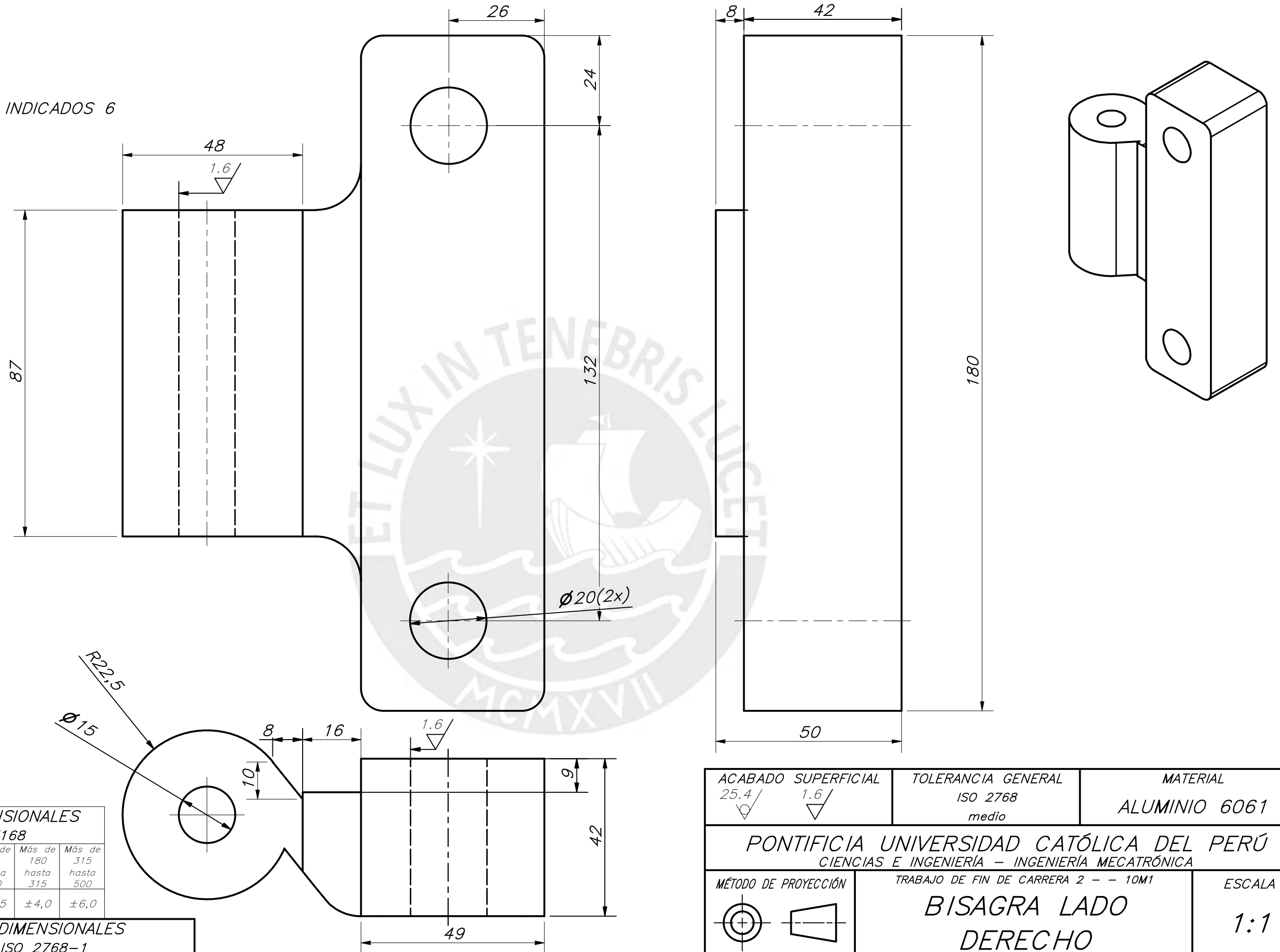
TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 0.8/ ▽	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 fino	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1 ANILLO SEPARACION TRITURADOR	ESCALA 2:1
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: A3

REDONDEOS NO INDICADOS 6



TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN E 7168

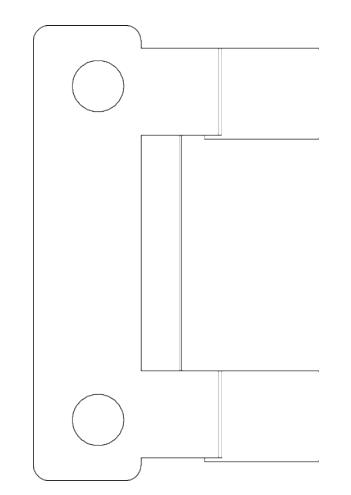
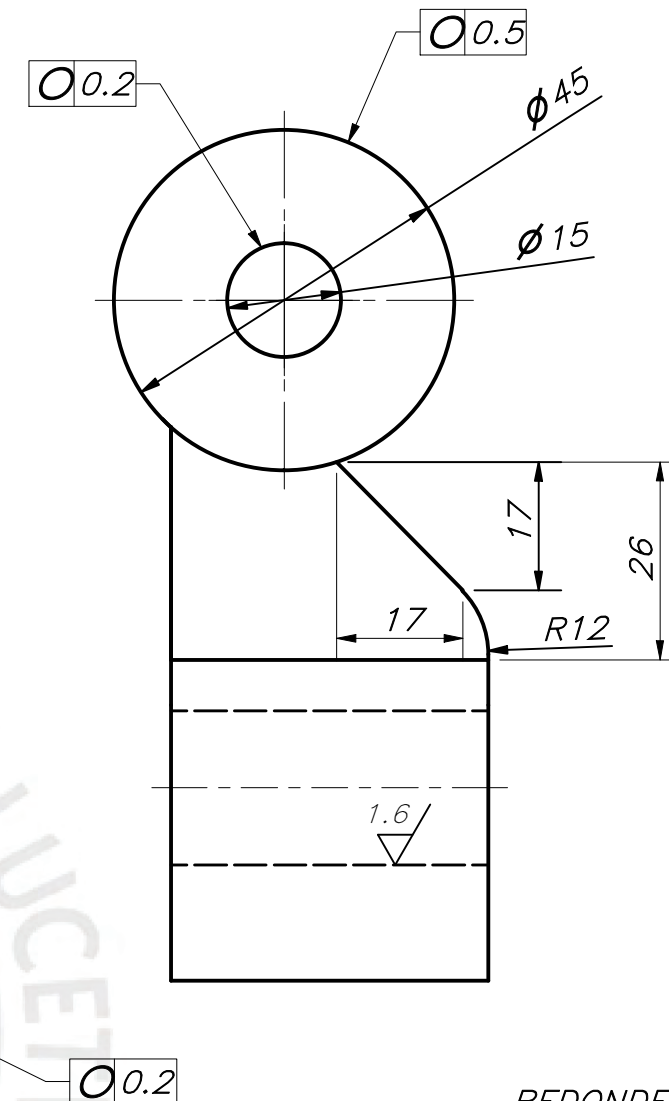
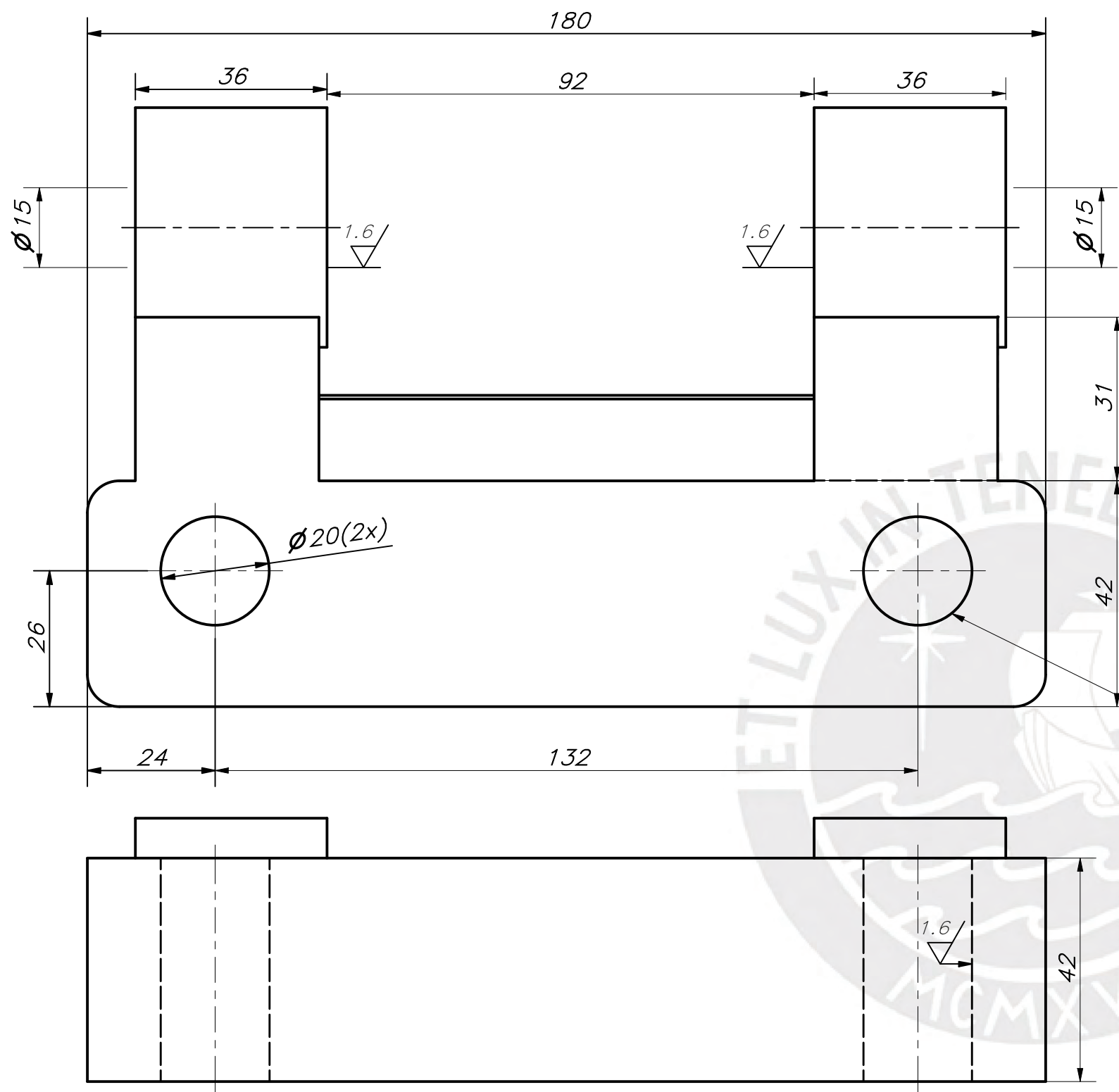
TIPO DE FUNDICIÓN	Más de 10 hasta 30	Más de 30 hasta 80	Más de 80 hasta 180	Más de 180 hasta 315	Más de 315 hasta 500
OTRAS FUNDICIONES	$\pm 1,0$	$\pm 1,8$	$\pm 2,5$	$\pm 4,0$	$\pm 6,0$

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$

20 H5	20.009	20
15 H5	15.008	15
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 25.4/ 1.6/	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1 BISAGRA LADO DERECHO	ESCALA 1:1
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: A3



REDONDEOS NO INDICADOS 6

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN E 7168

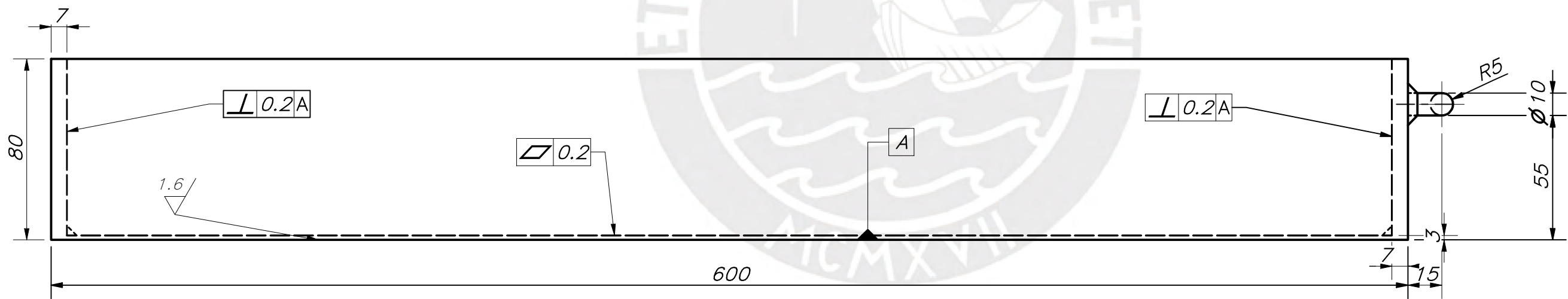
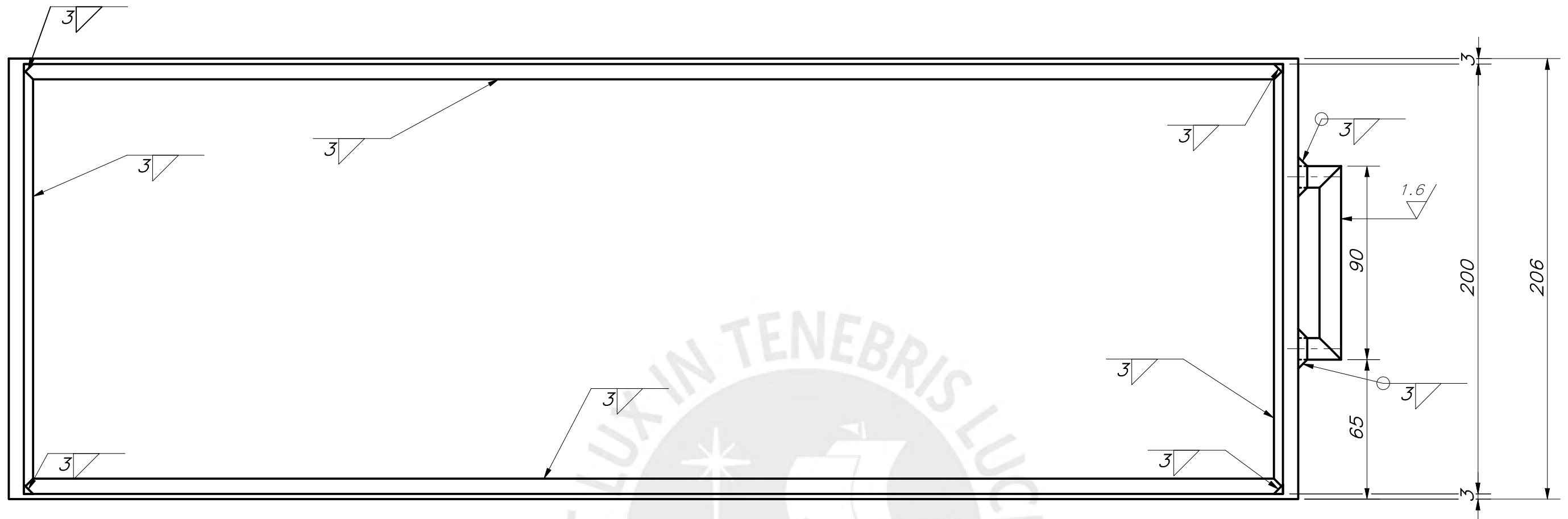
TIPO DE FUNDICIÓN	Más de 10 hasta 30	Más de 30 hasta 80	Más de 80 hasta 180	Más de 180 hasta 315	Más de 315 hasta 500
OTRAS FUNDICIONES	±1,0	±1,8	±2,5	±4,0	±6,0

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

20 H5	20.009	20
15 H5	15.008	15
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 25.4 / 1.6	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1 BISAGRA LADO IZQUIERO	ESCALA 1:1
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: A3

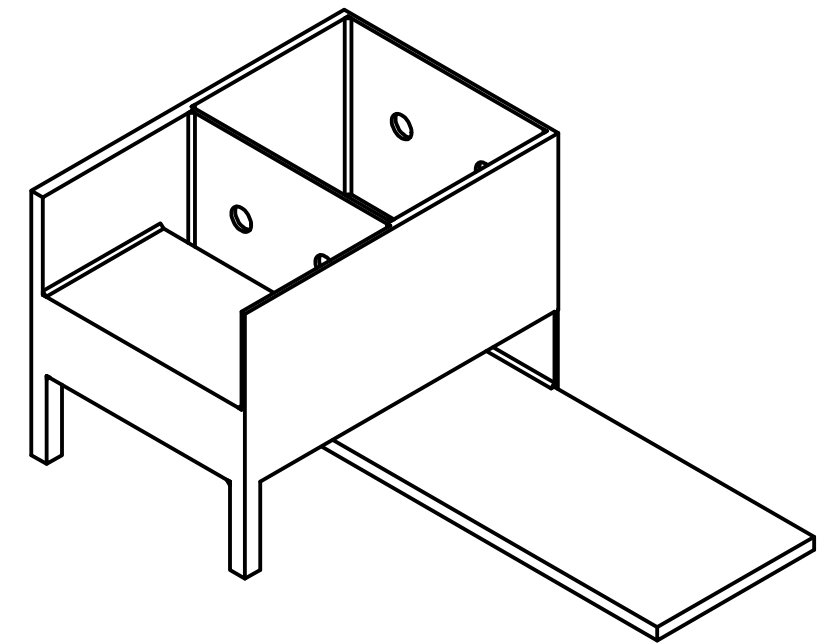
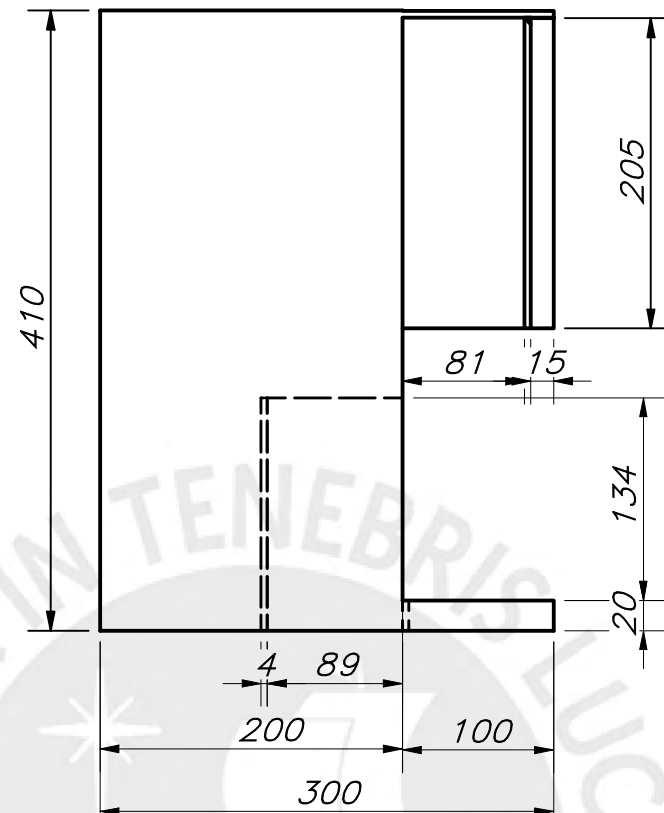
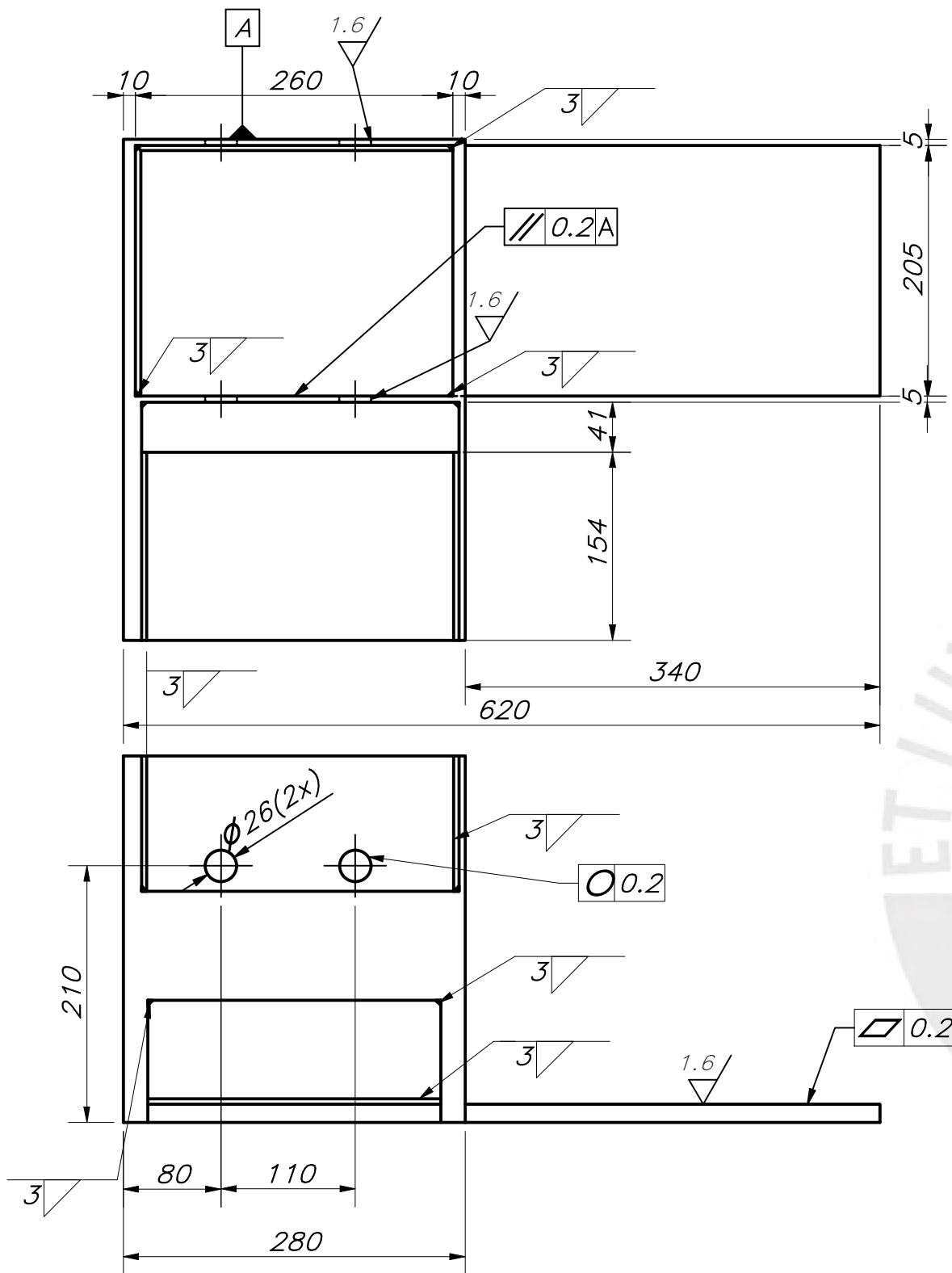


ACABADO SUPERFICIAL 1.6/	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1	ESCALA 1:2
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

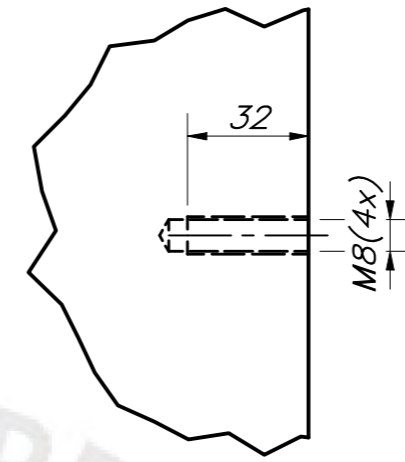
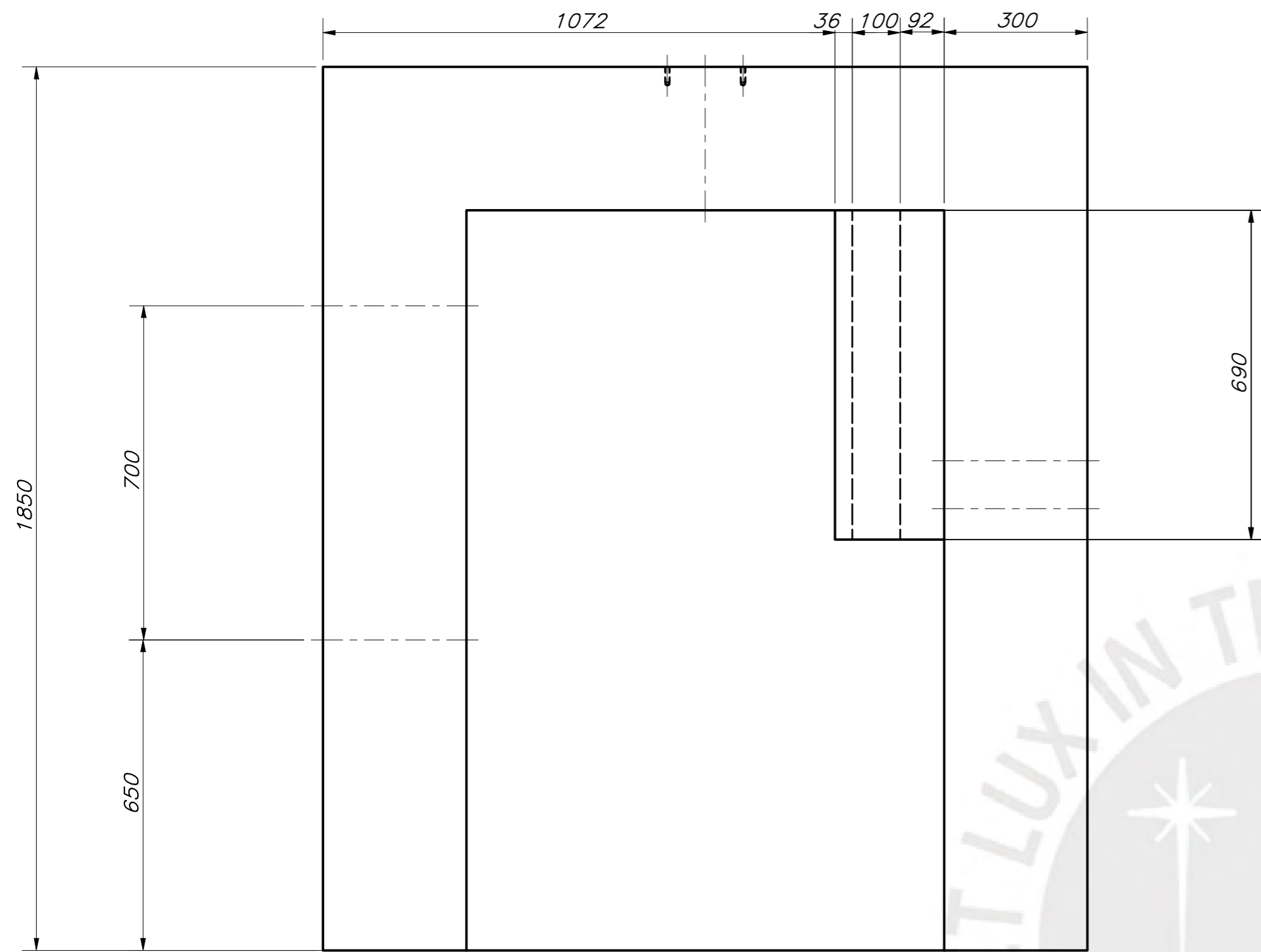
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



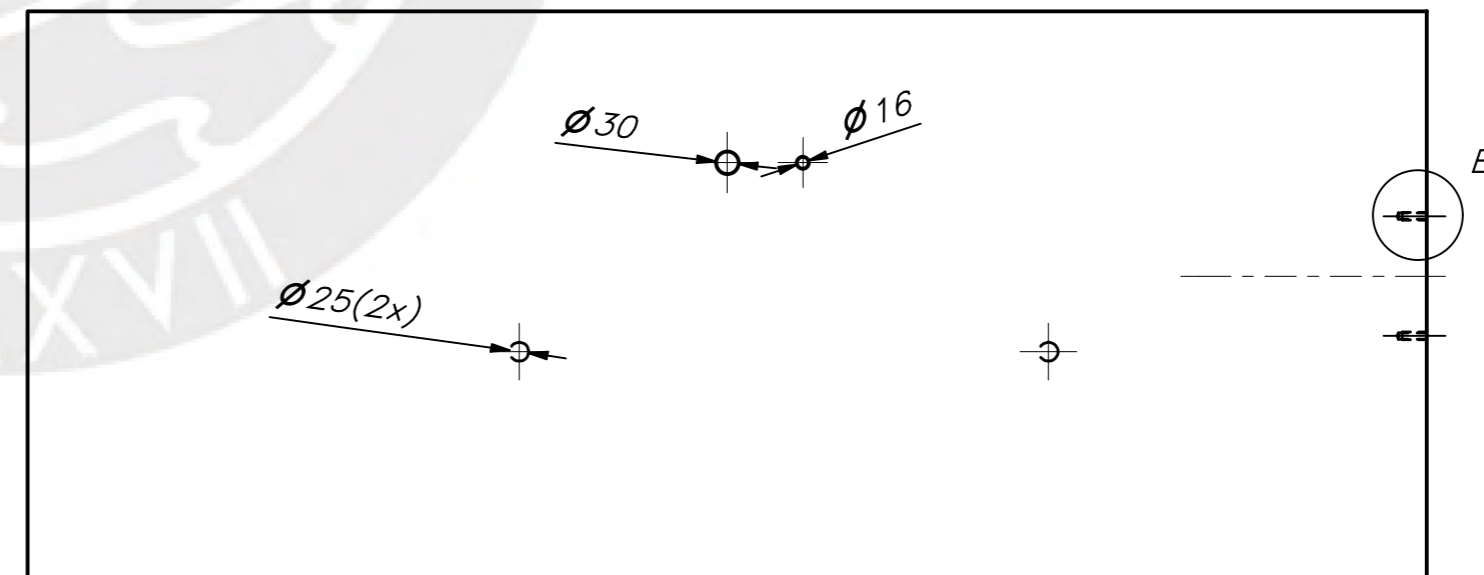
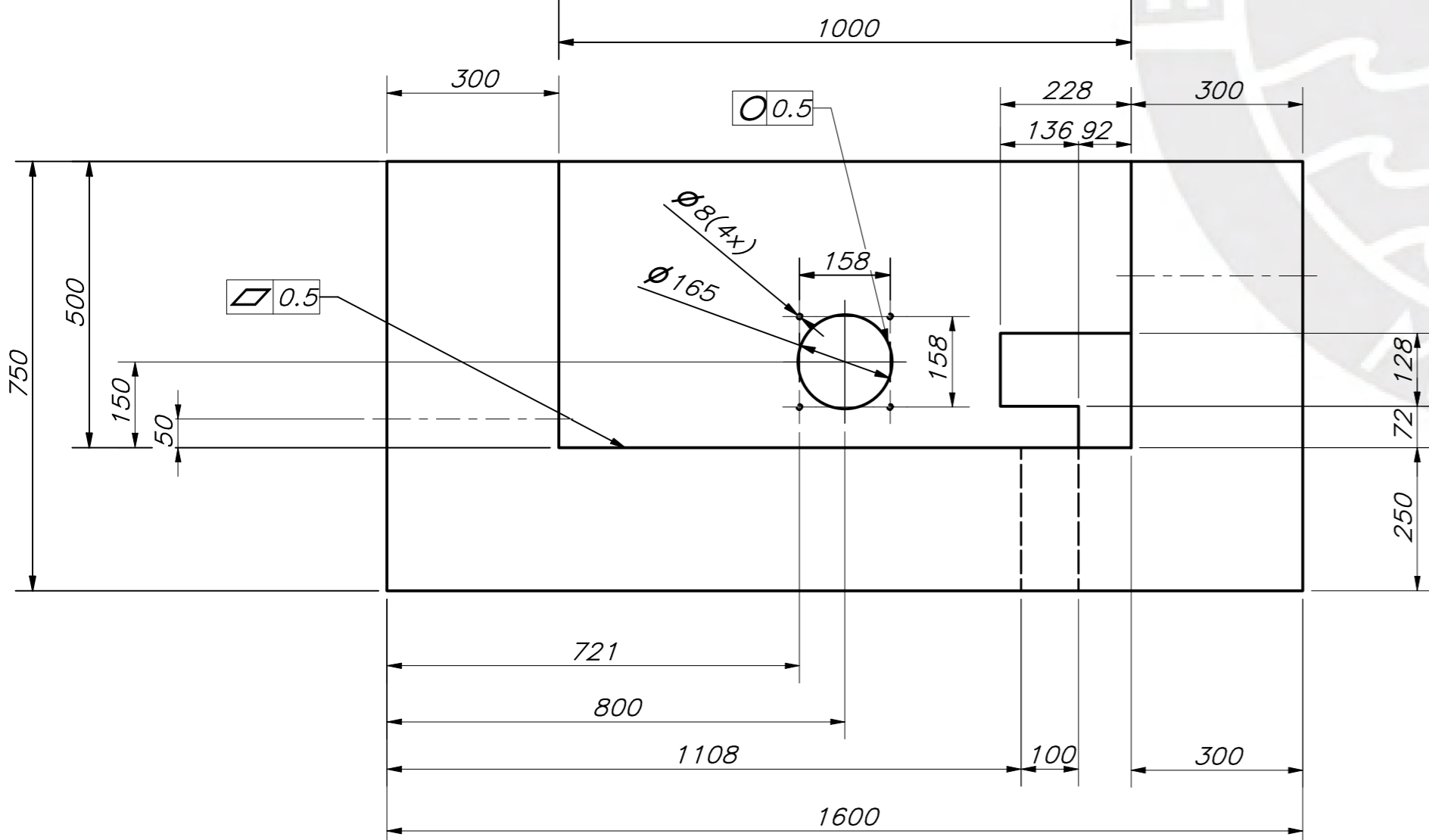
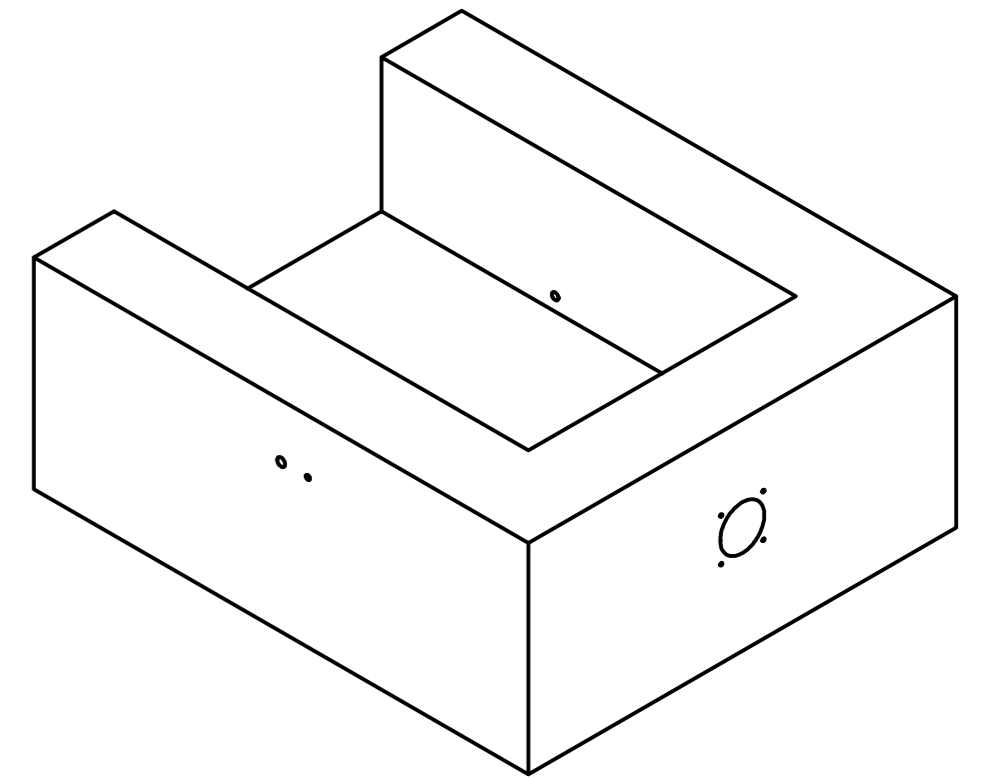
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

26 J6	26.006	25.994
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 1.6/	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL ACERO A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1	ESCALA 1:5
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2021.10.17
		LÁMINA: A3



DETALLE E
ESCALA 1 : 2

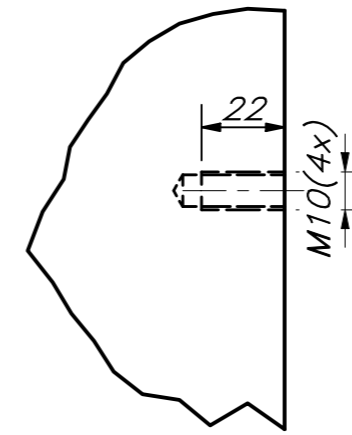
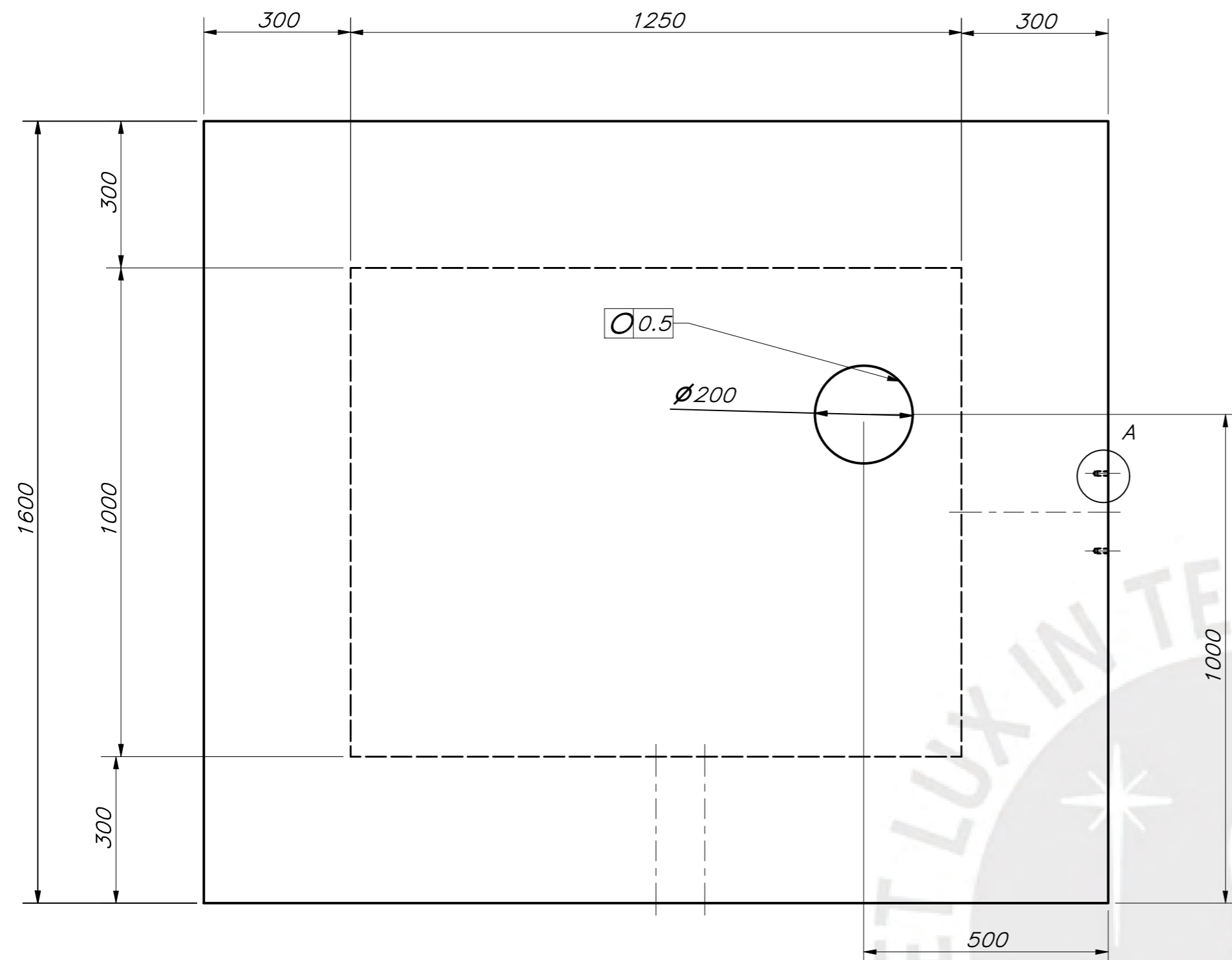


TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

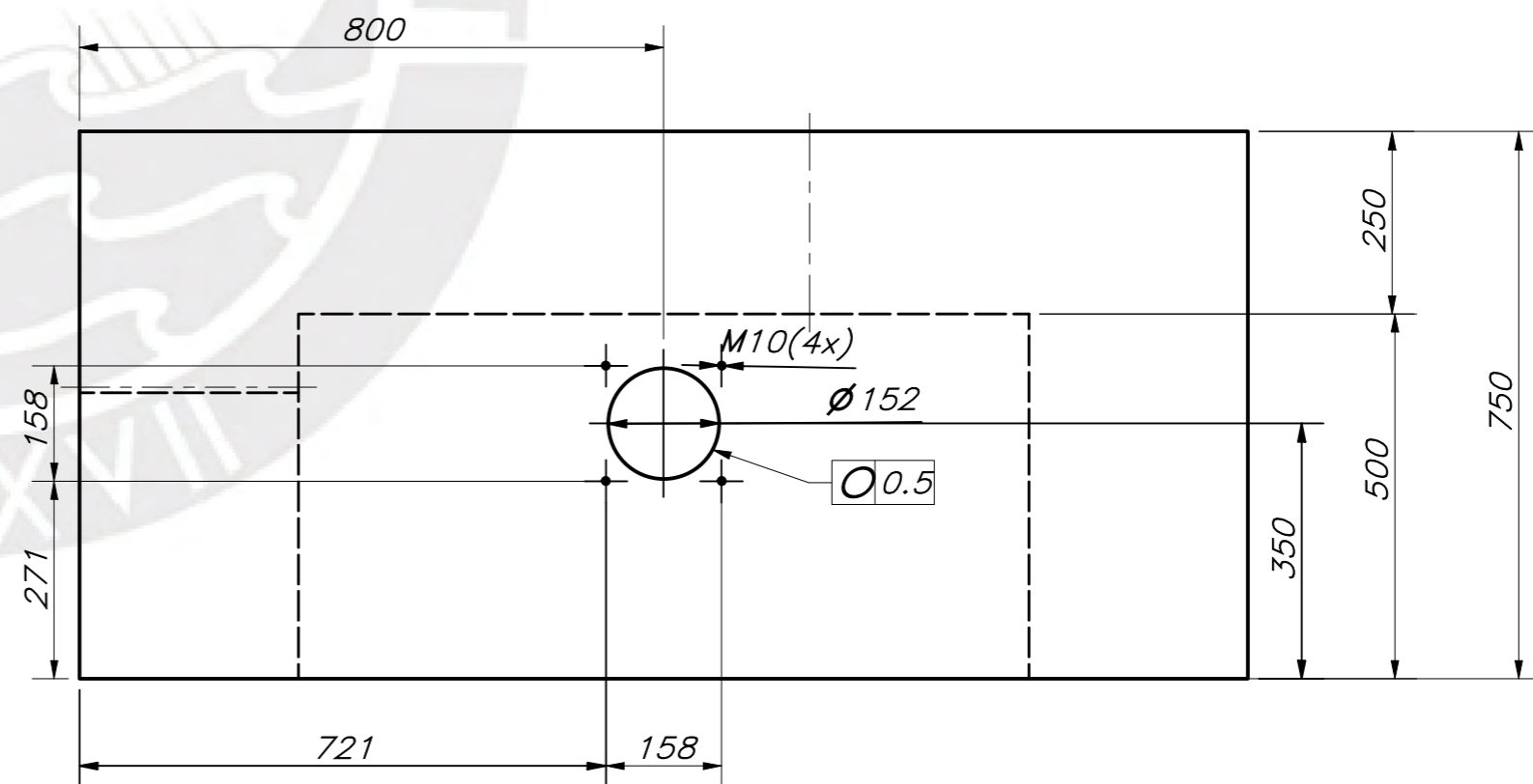
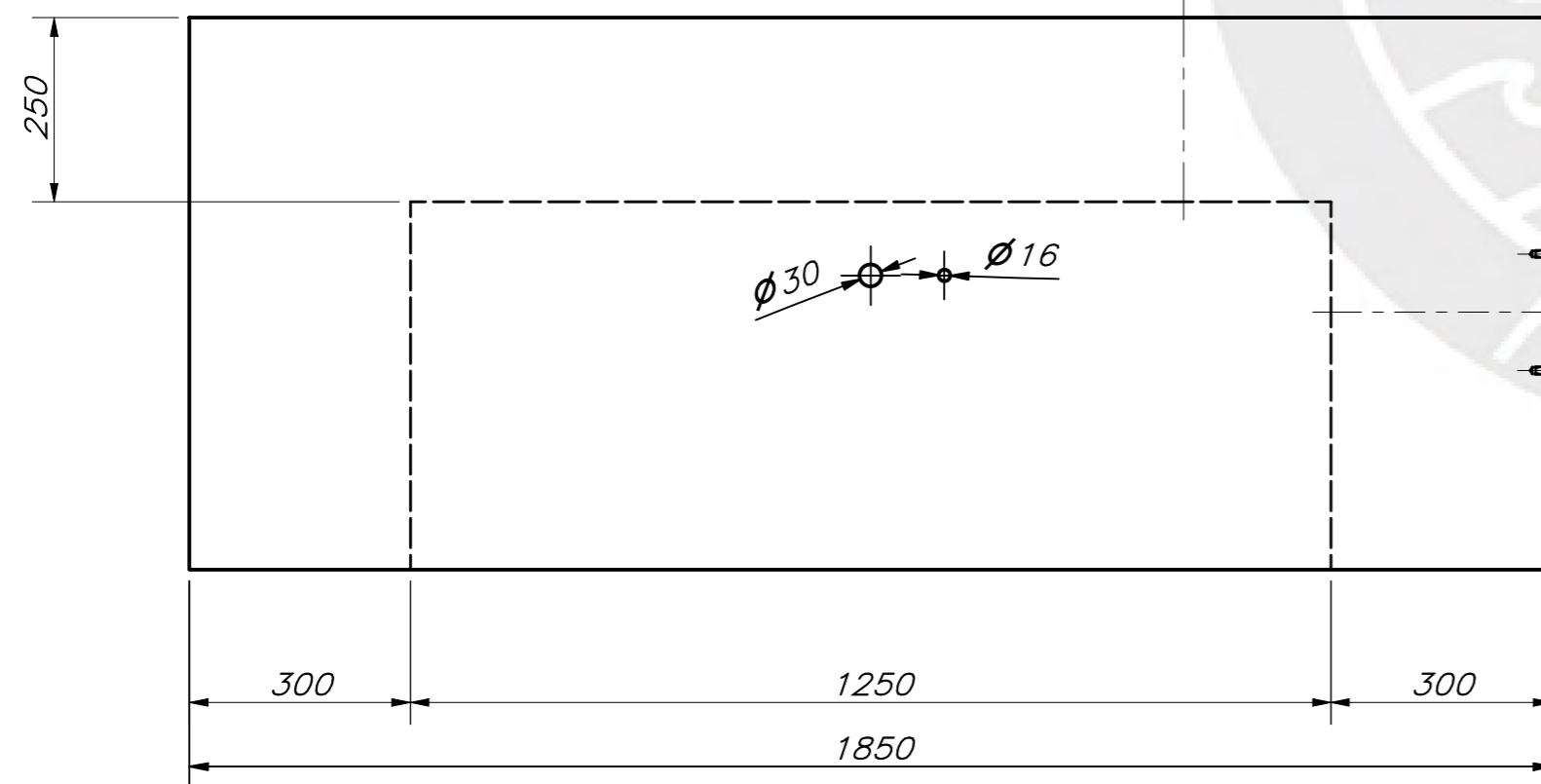
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$

8 6H	8	7.991
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL REFRACTARIO K23-FIBRA CERÁMICA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 - - 10M1	ESCALA
	CÁMARA PRINCIPAL	1:10
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: L1 - A2



DETALLE A
ESCALA 1 : 2



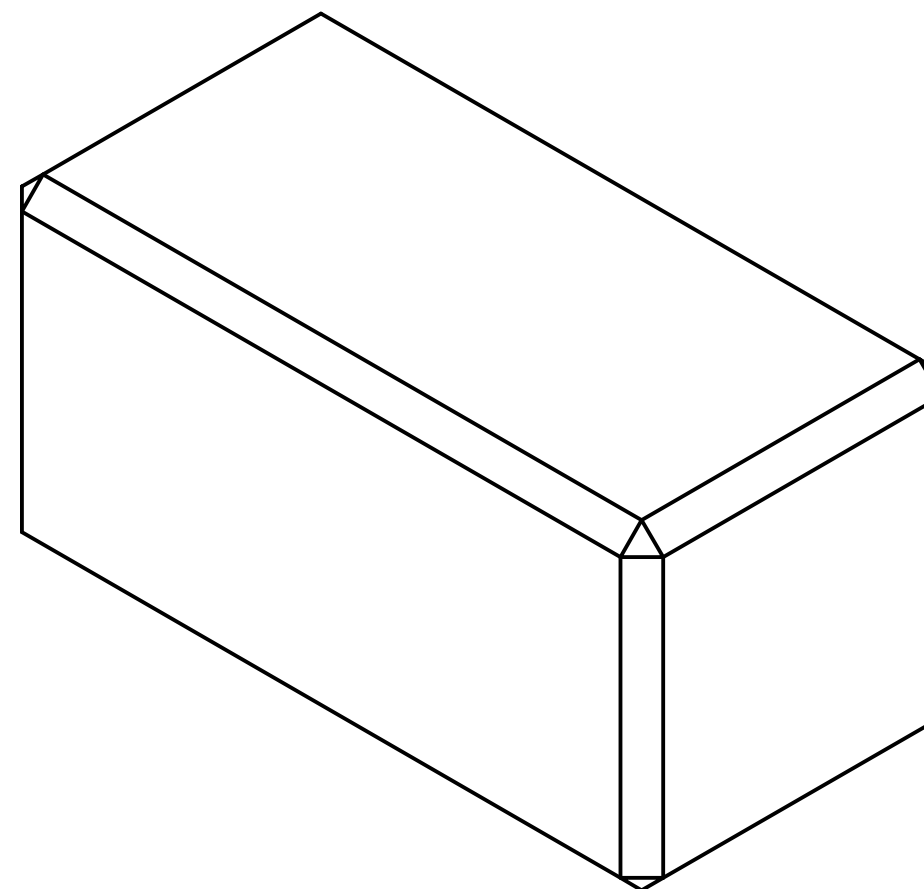
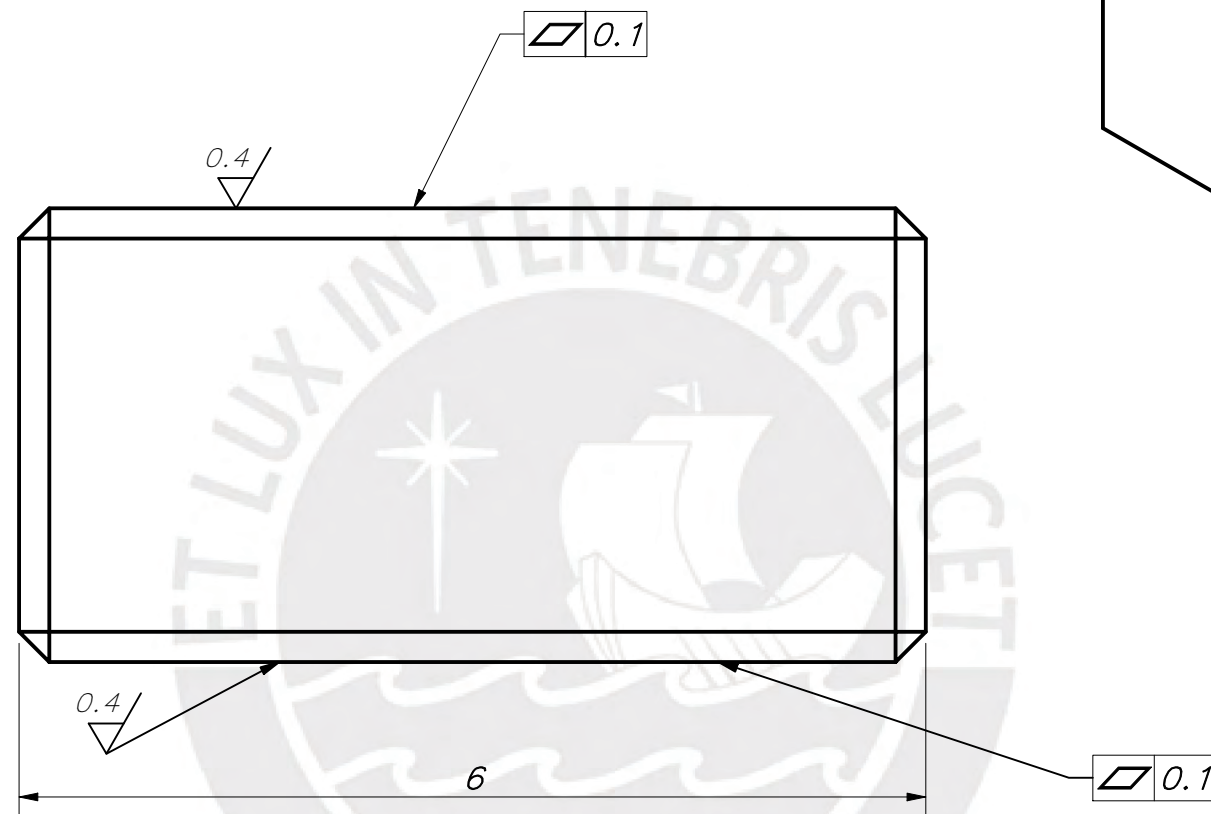
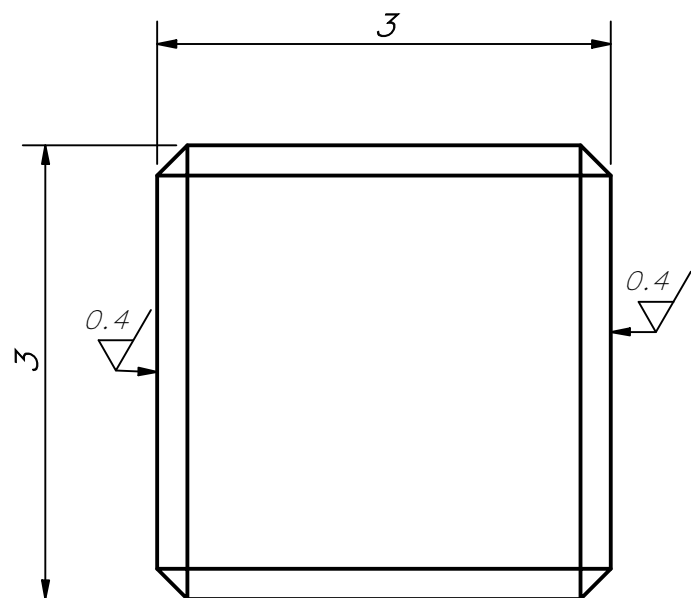
TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

10 6H	10	9.991
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL REFRACTARIO K23-FIBRA CERÁMICA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 - - 10M1	ESCALA
	CÁMARA SECUNDARIA	1:10
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: L2 - A2

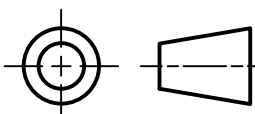
CHAFLANES NO INDICADOS 0.2x45

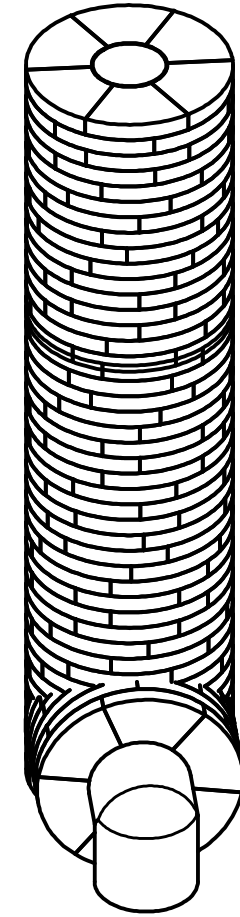
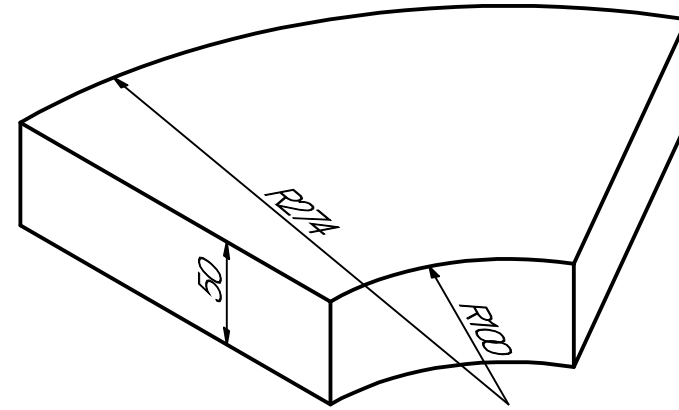
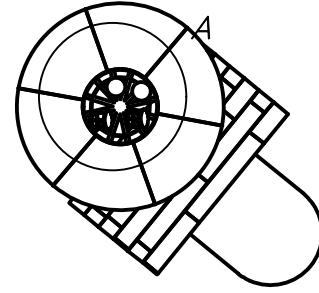
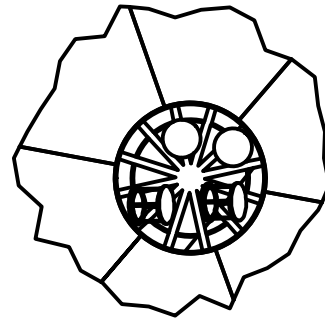


TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5

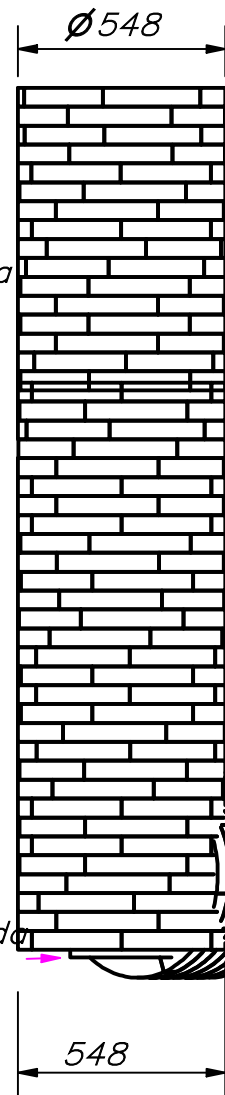
3 h9	3	2.975
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 0.4/45	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 fino	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2- - 10M1 CHAVETA PARA EJE DE TRITURACIÓN	ESCALA 20:1
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: A3



DETALLE A
ESCALA 1 : 10

Agujero entrada
de agua

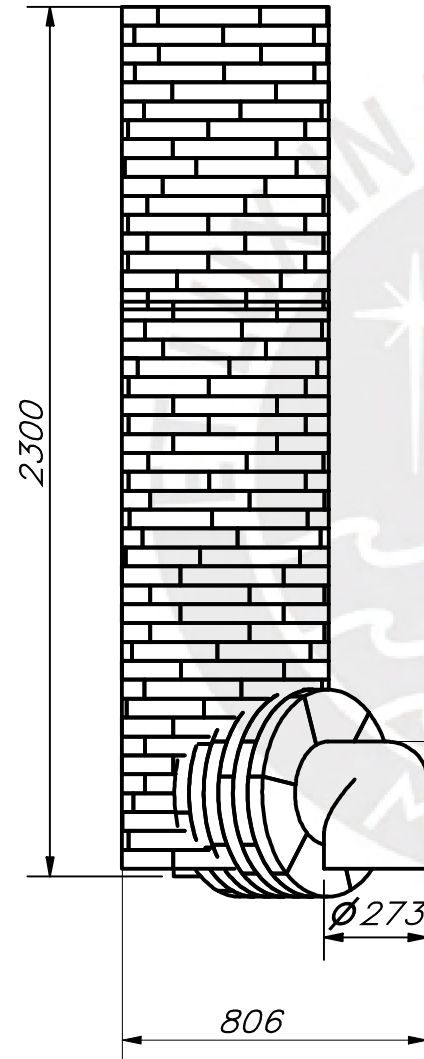


Agujero salida
de agua

LADRILLO REFRACTARIO K23 COMERCIAL
CURVO RADIO INTERNO 100MM Y EXTERNO
274 MM
ESCALA 1:3

AGUJEROS NO INDICADOS 1"

PLACA DE ALUMINIO 5MM INTERNA NO INDICADA

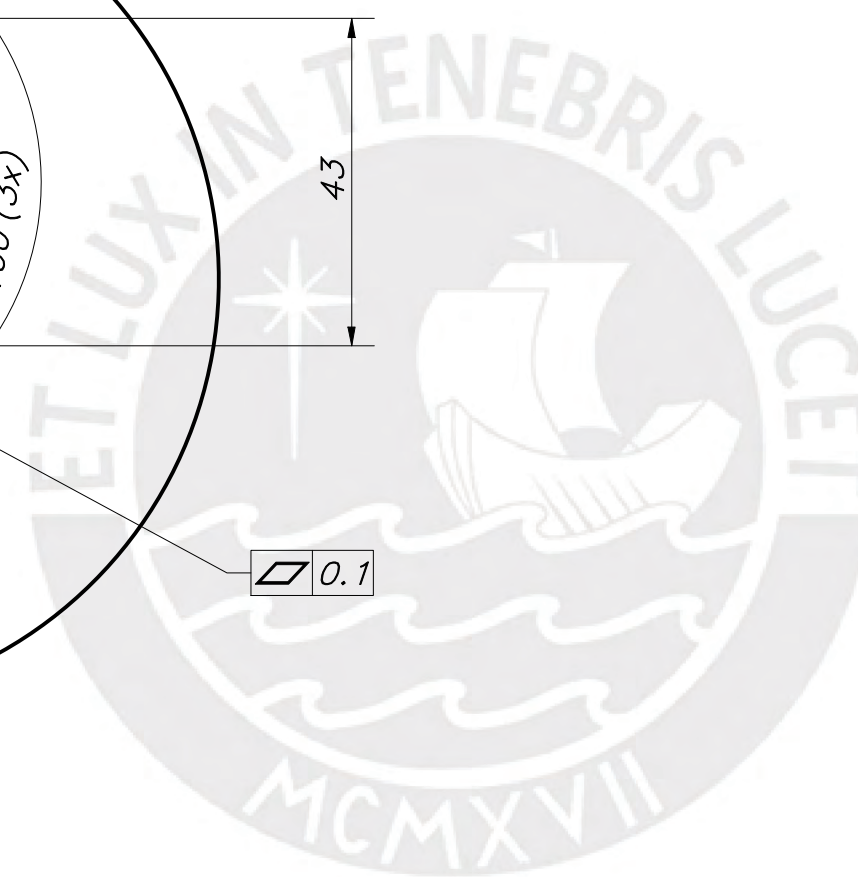
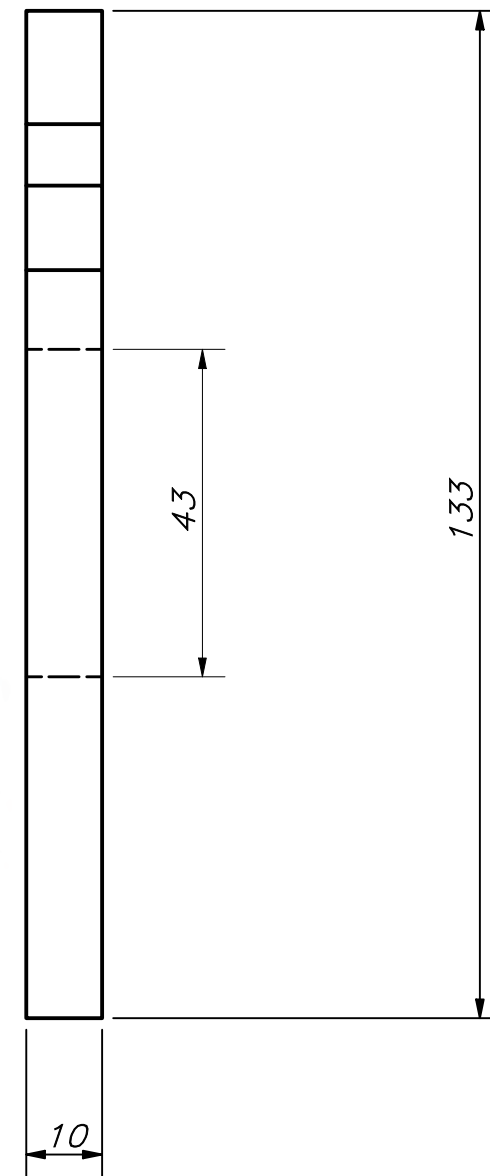
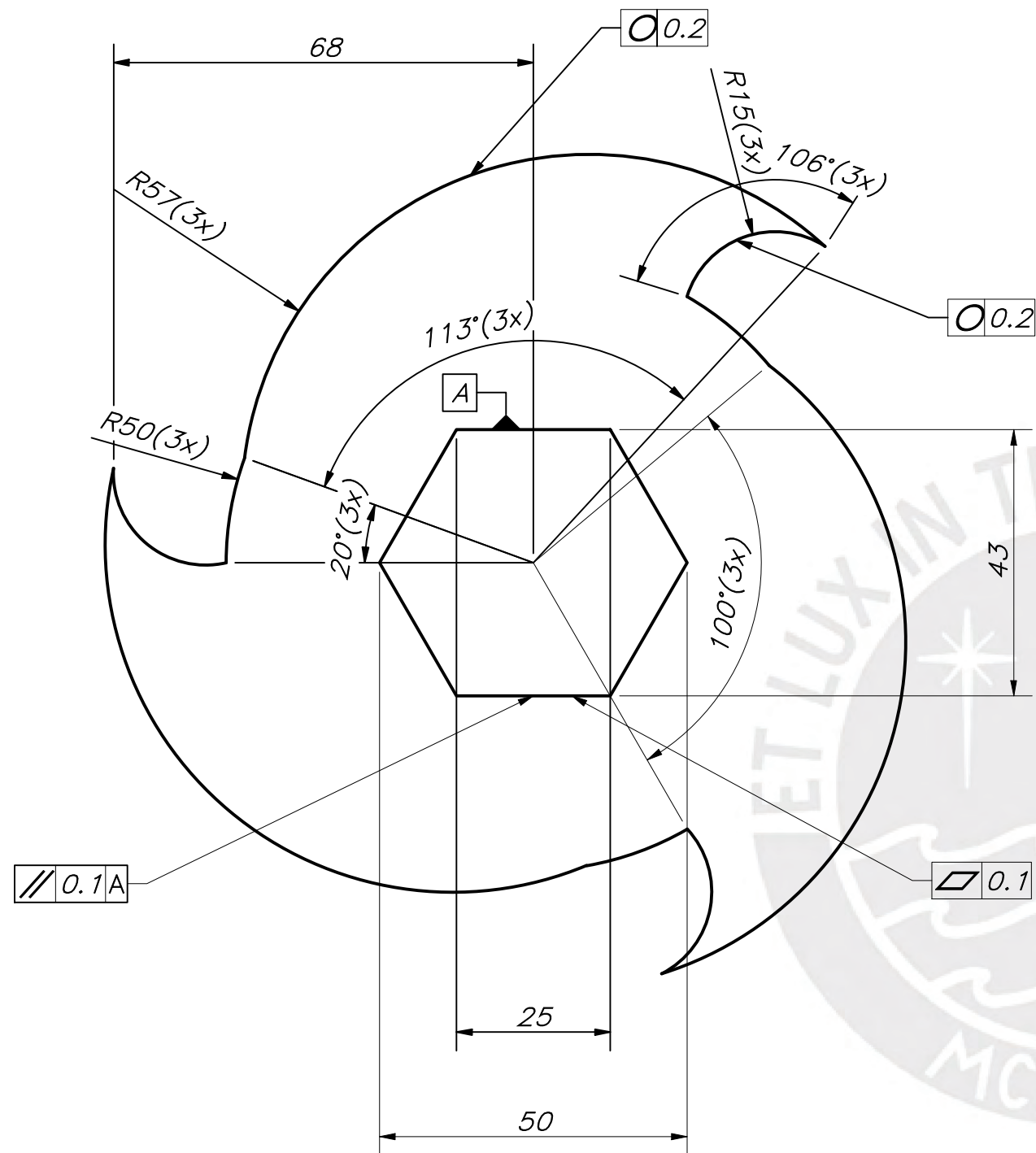


TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL LAD. REFRACTARIO K23
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA- INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 -- 10M1	ESCALA
	CHIMENEA	1:20
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRPE	FECHA: 2023.11.03
		LÁMINA: A3

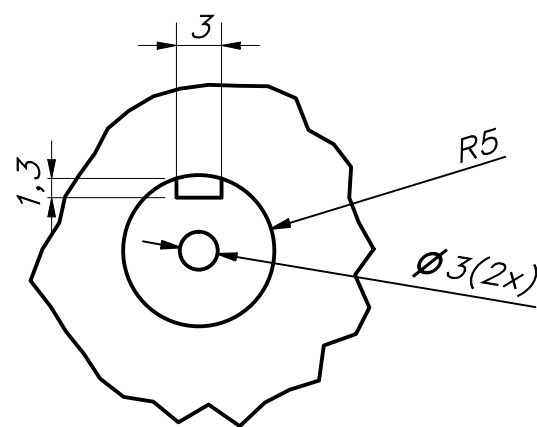
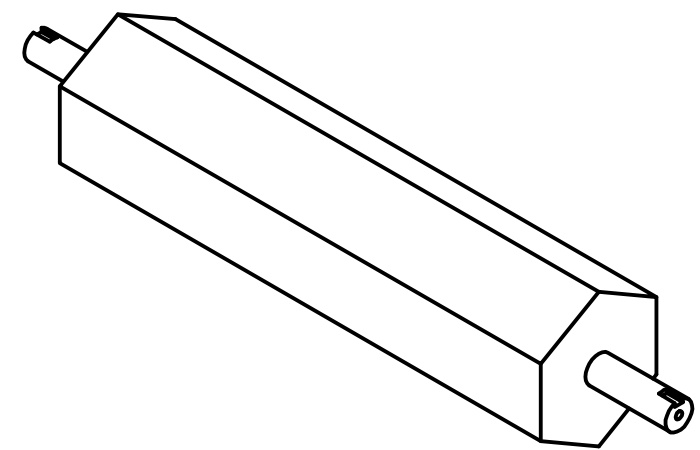
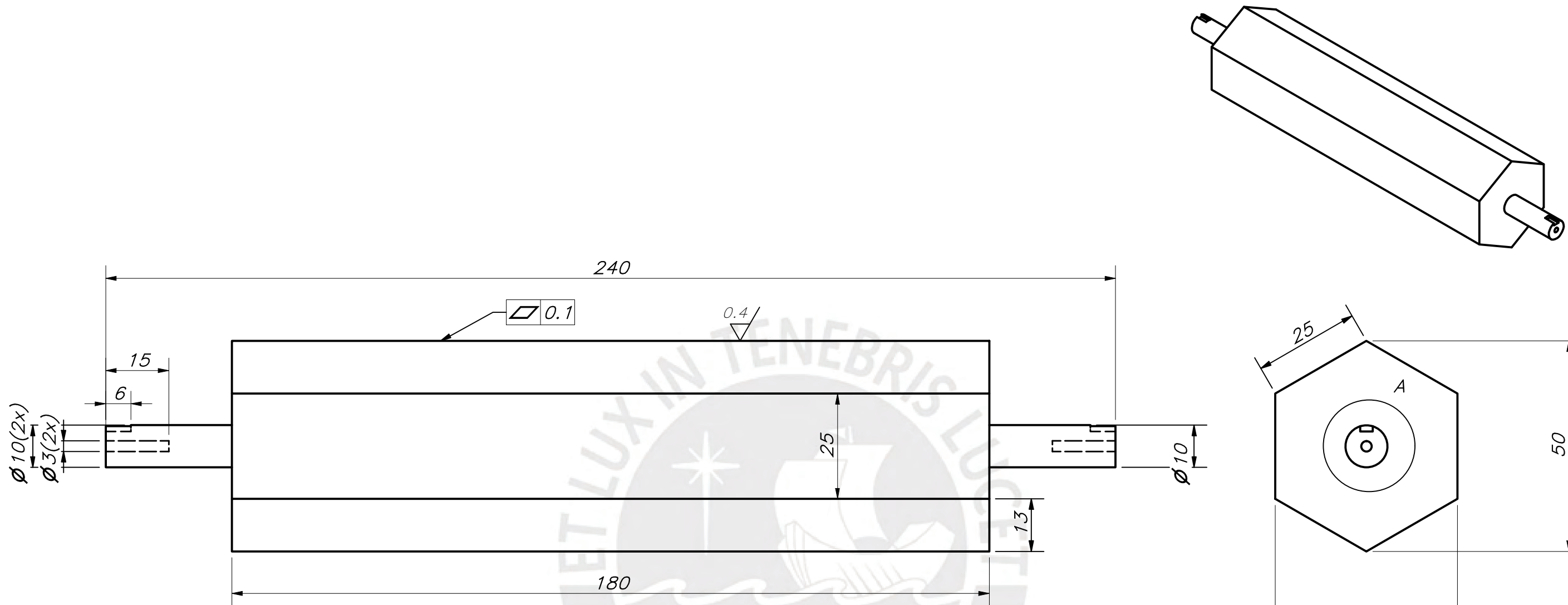


TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5

25 H6	25.008	25
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 1.6/	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 fino	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – -10M1	ESCALA 1:1
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: A3



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

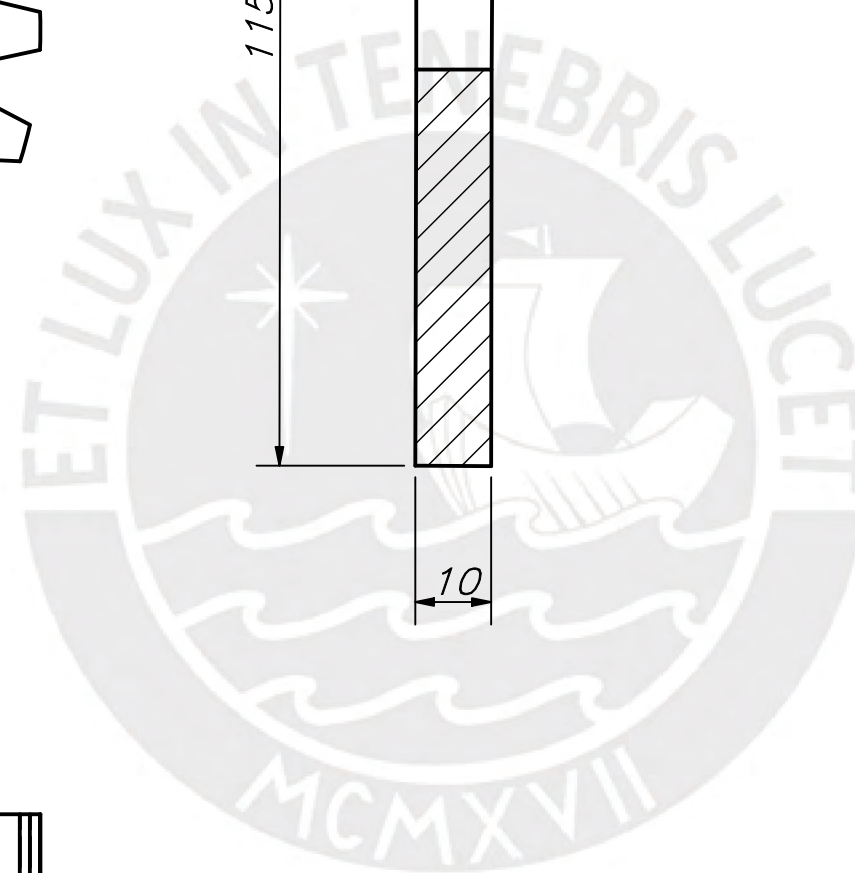
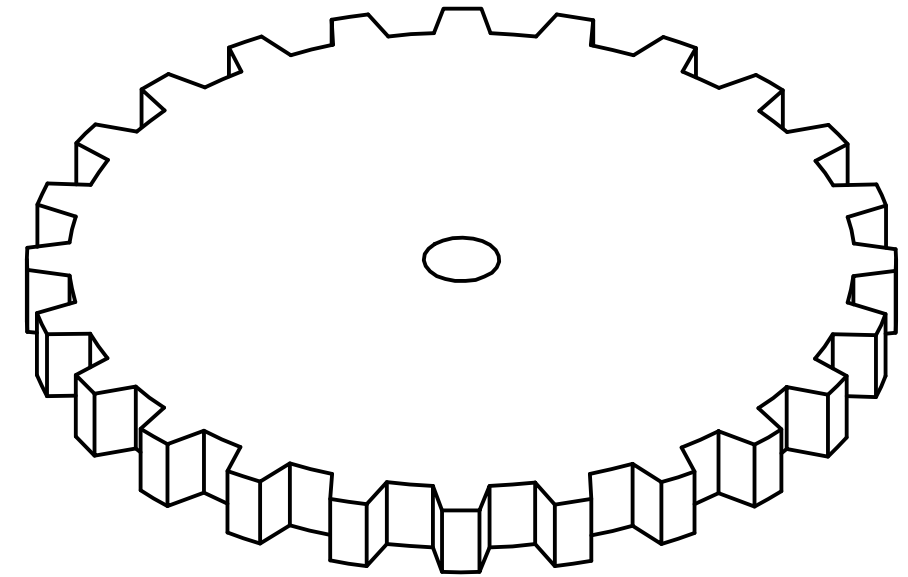
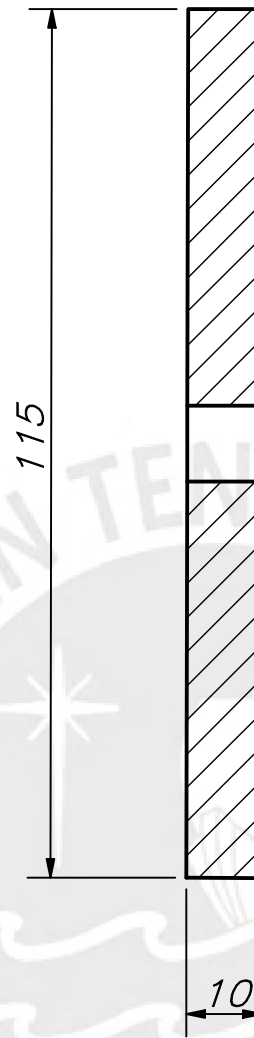
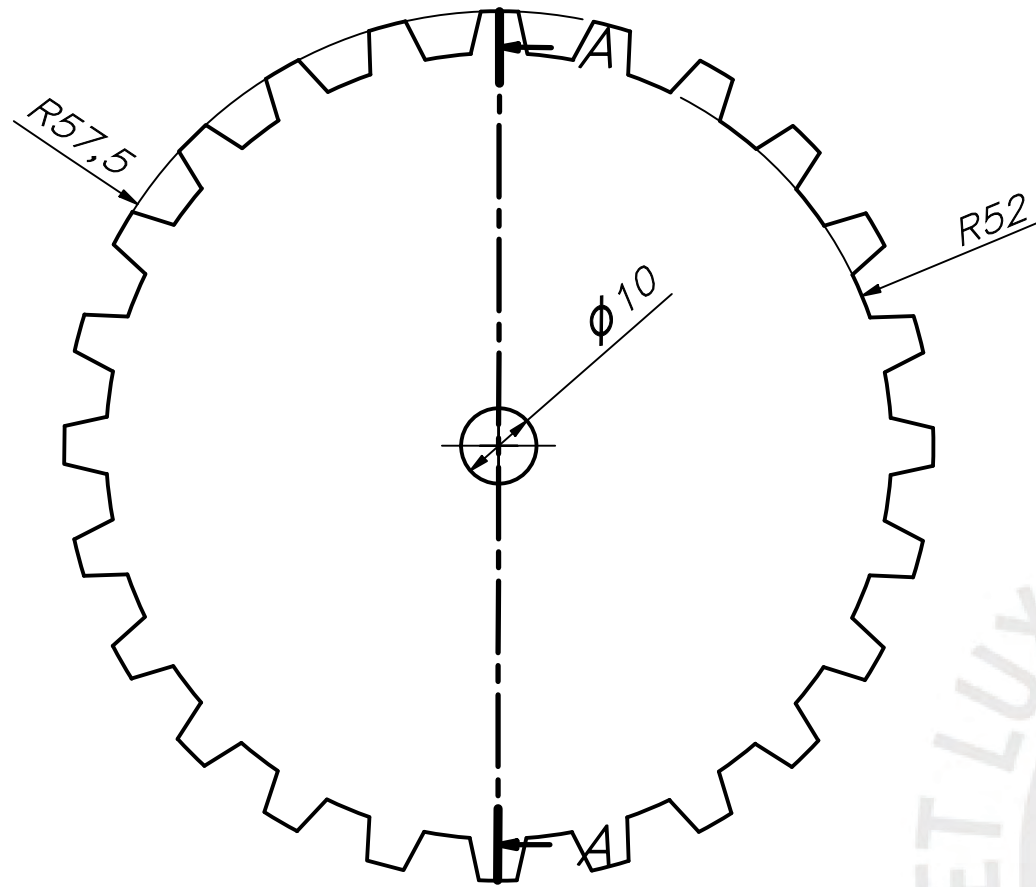
TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5

10 h5	10	9.994
25 h6	25	24.992
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 0.8/	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 fino	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – -10M1	ESCALA
	EJE PARA TRITURADOR	1:1
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: A3

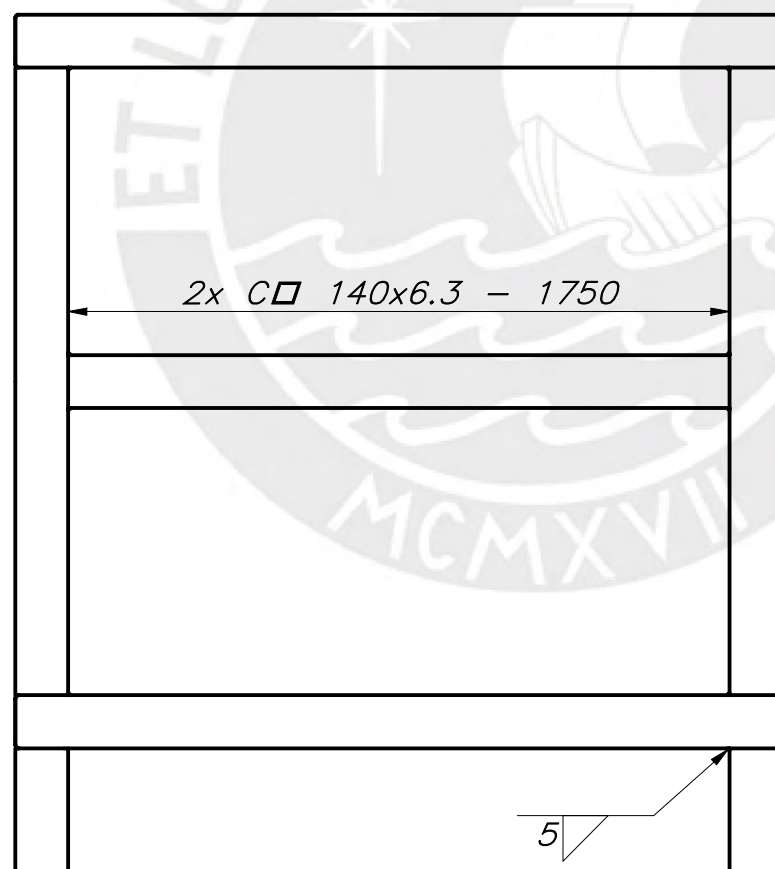
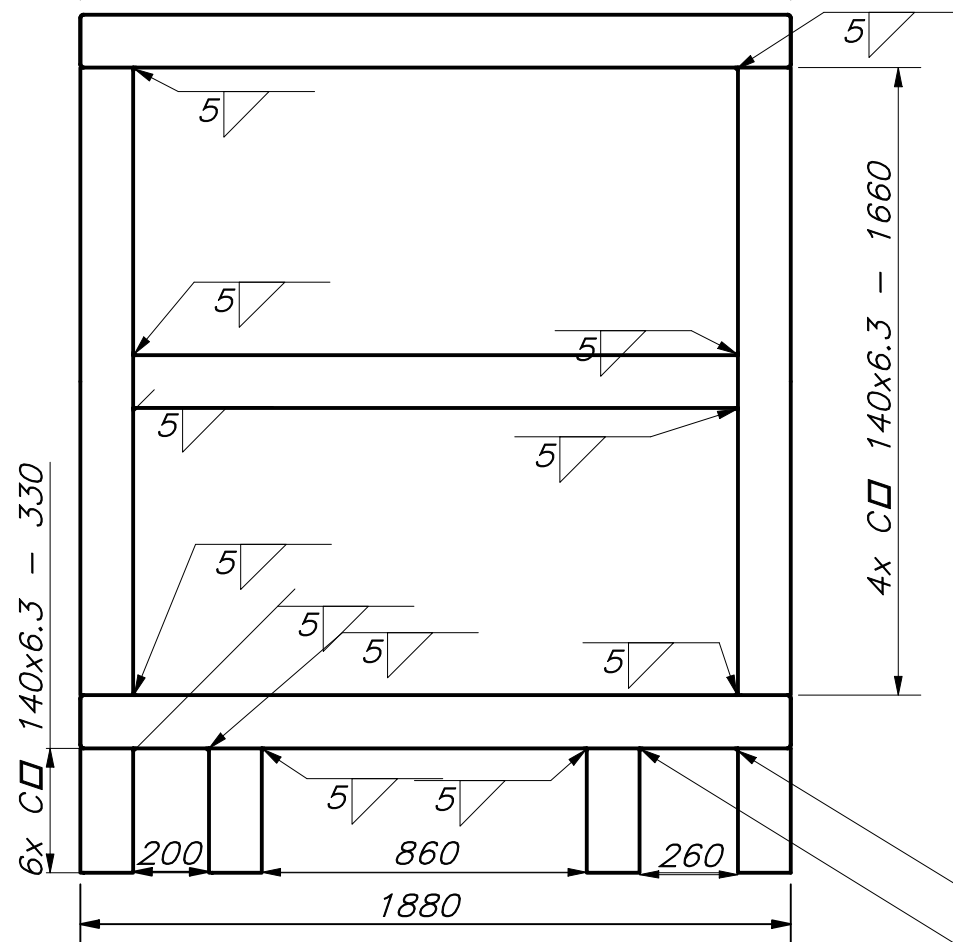
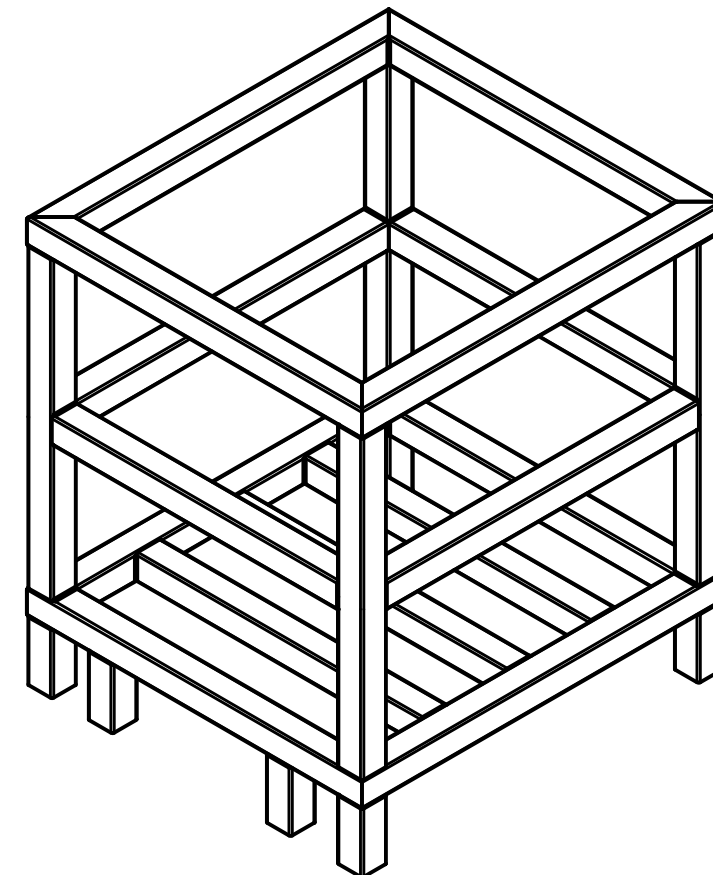
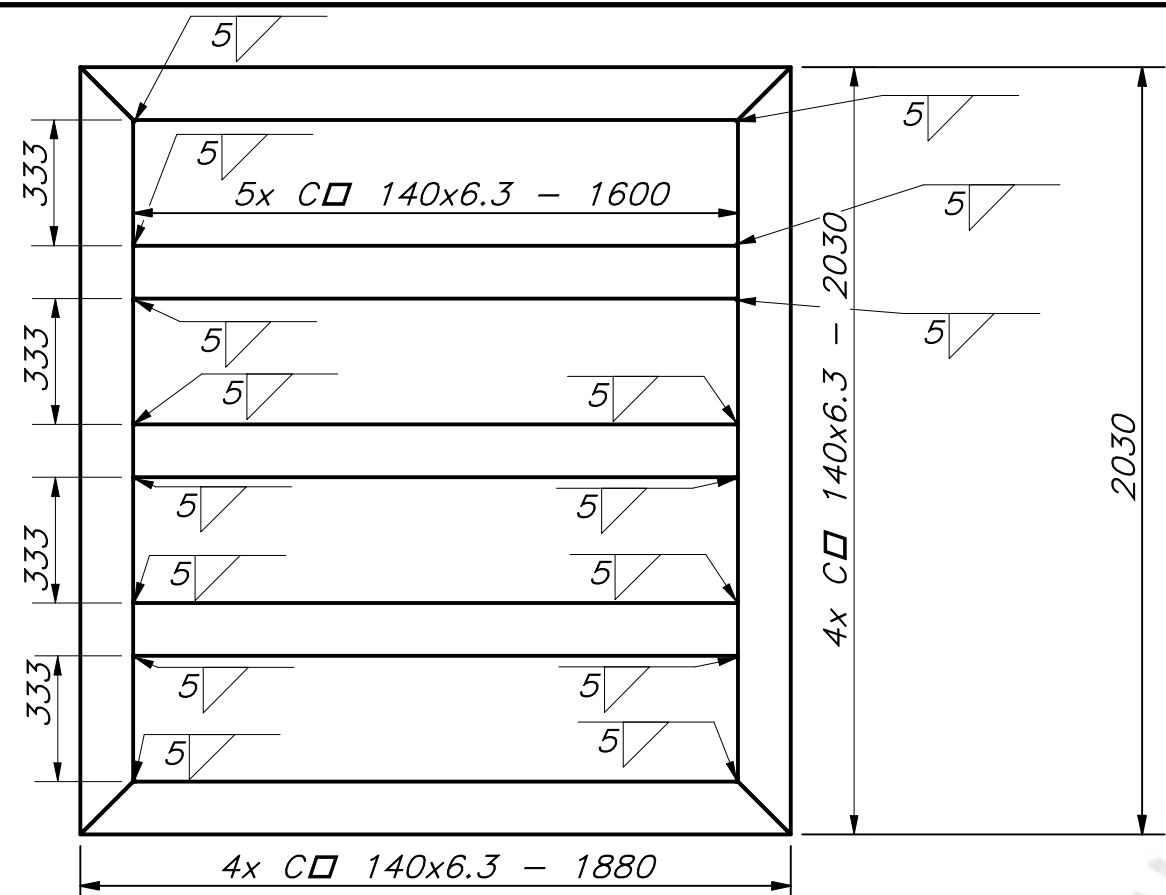
SECCIÓN A-A (1 : 1)



ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC2	ESCALA
	ENGRANAJE RECTO	1:1
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER	FECHA: 2024.02.22
		LÁMINA: A4

COTA NOMINAL	COTA MáXIMA	COTA MínIMA

LONGITUDES DE TODAS LAS SOLDADURAS: 140
 PERFILES CUADRADOS 140x140x6.3

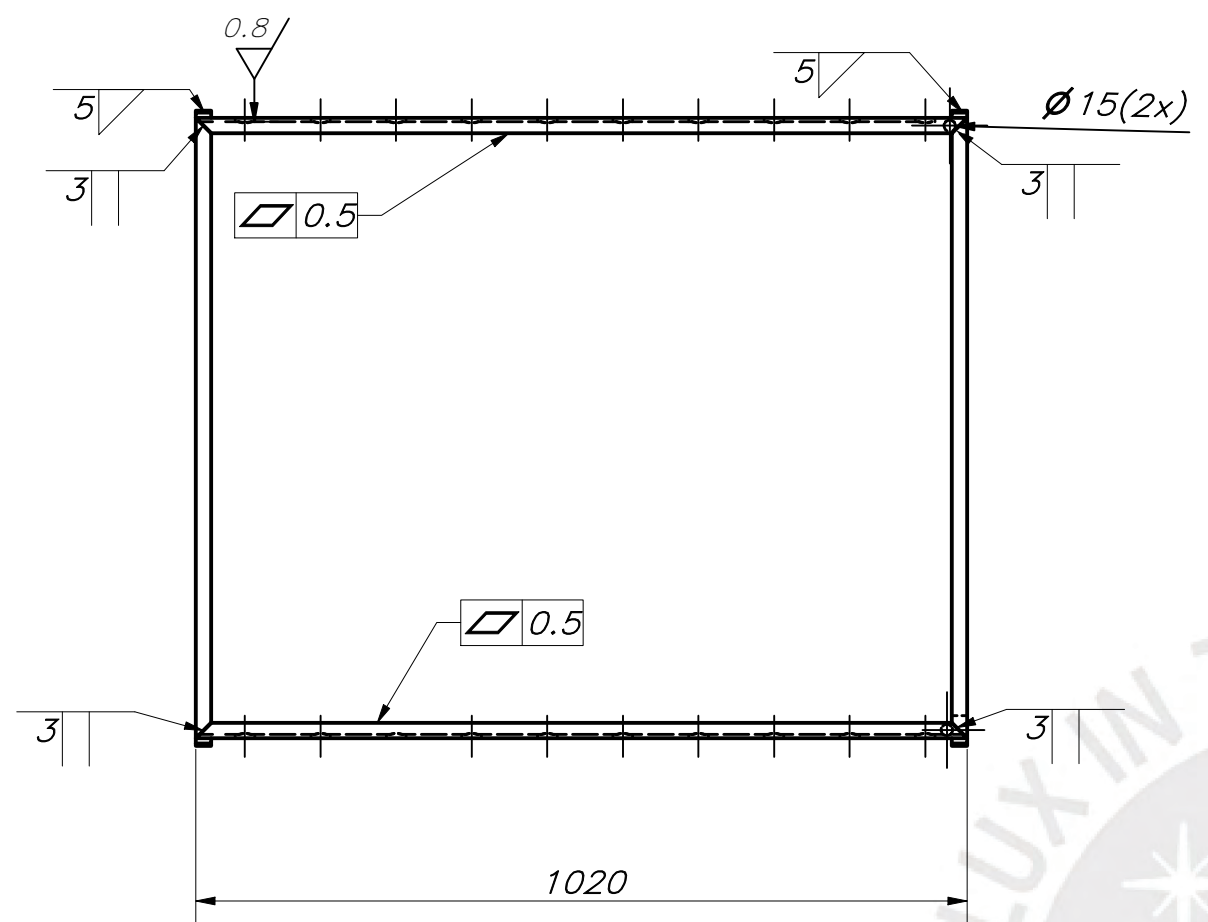


TOLERANCIAS DIMENSIONALES
 SEGÚN DIN ISO 2768-1

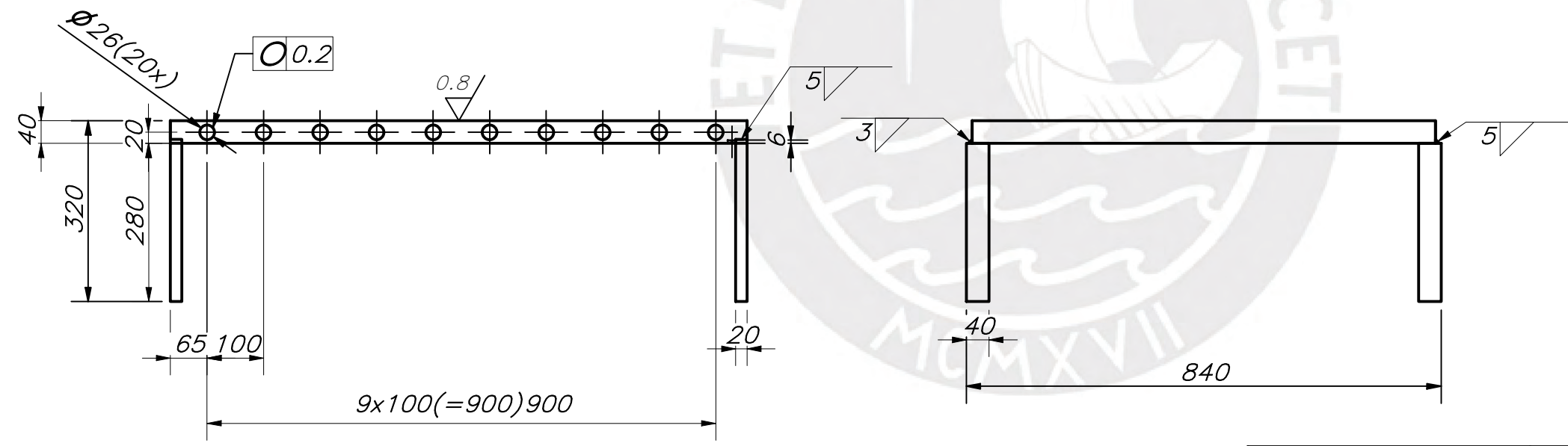
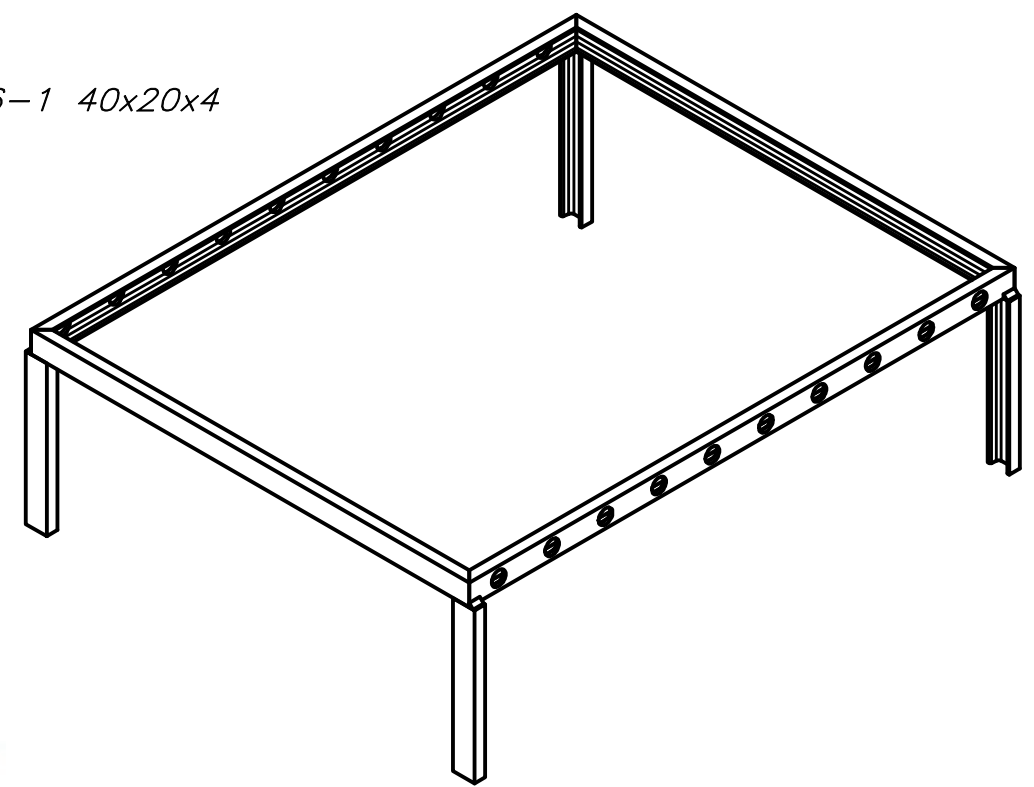
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL ACERO A500
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1 ESTRUCTURA HORNO CREMATORIO	ESCALA 1:20
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: L4 – A3



CANAL C DIN 1026-1 40x20x4

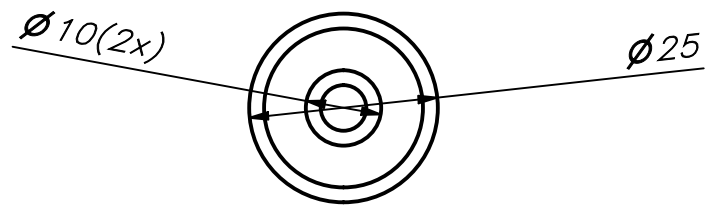
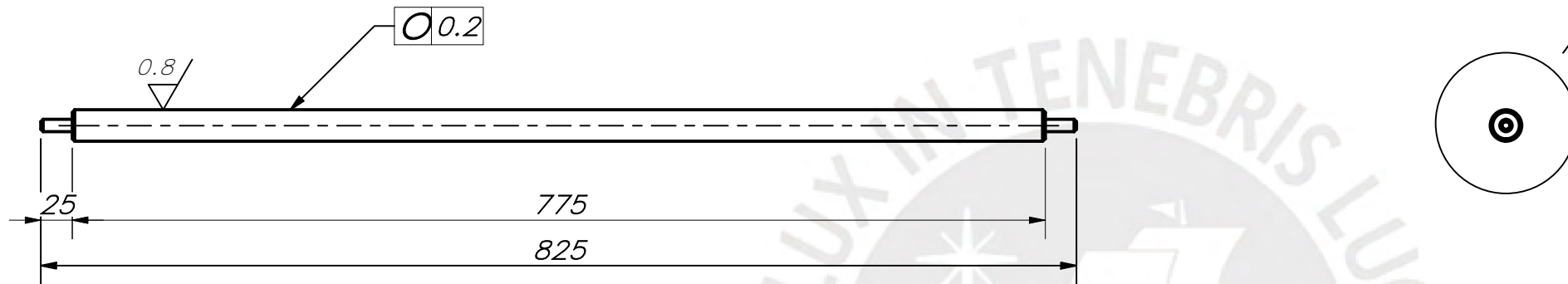
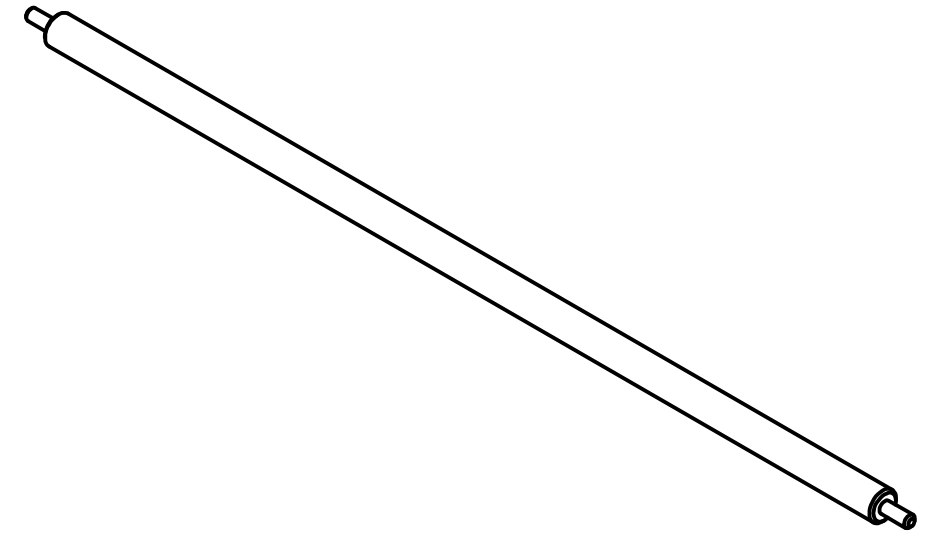


TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

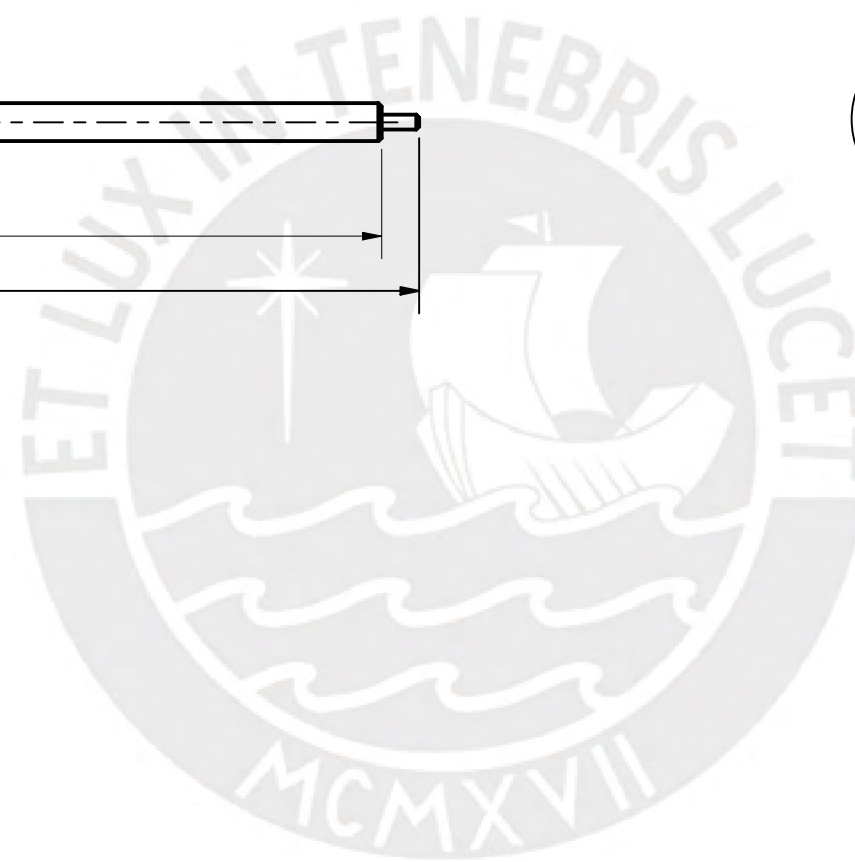
26 J6	26.007	25.994
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 0.8/	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1 ESTRUCTURA SUBSISTEMA INGRESO	ESCALA 1:5
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2021.10.17
		LÁMINA: A3

CHAFLANES NO INDICADOS 2x45

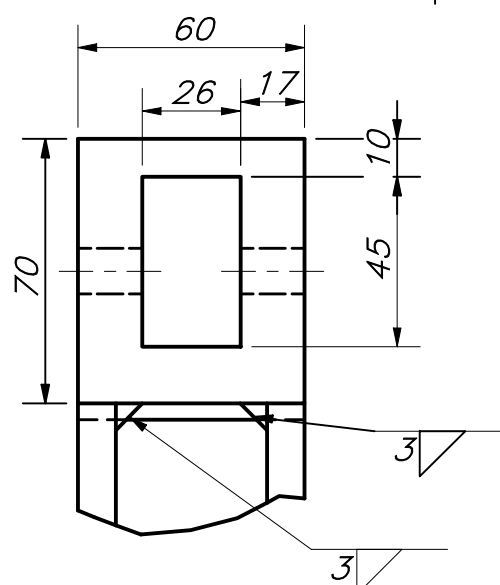
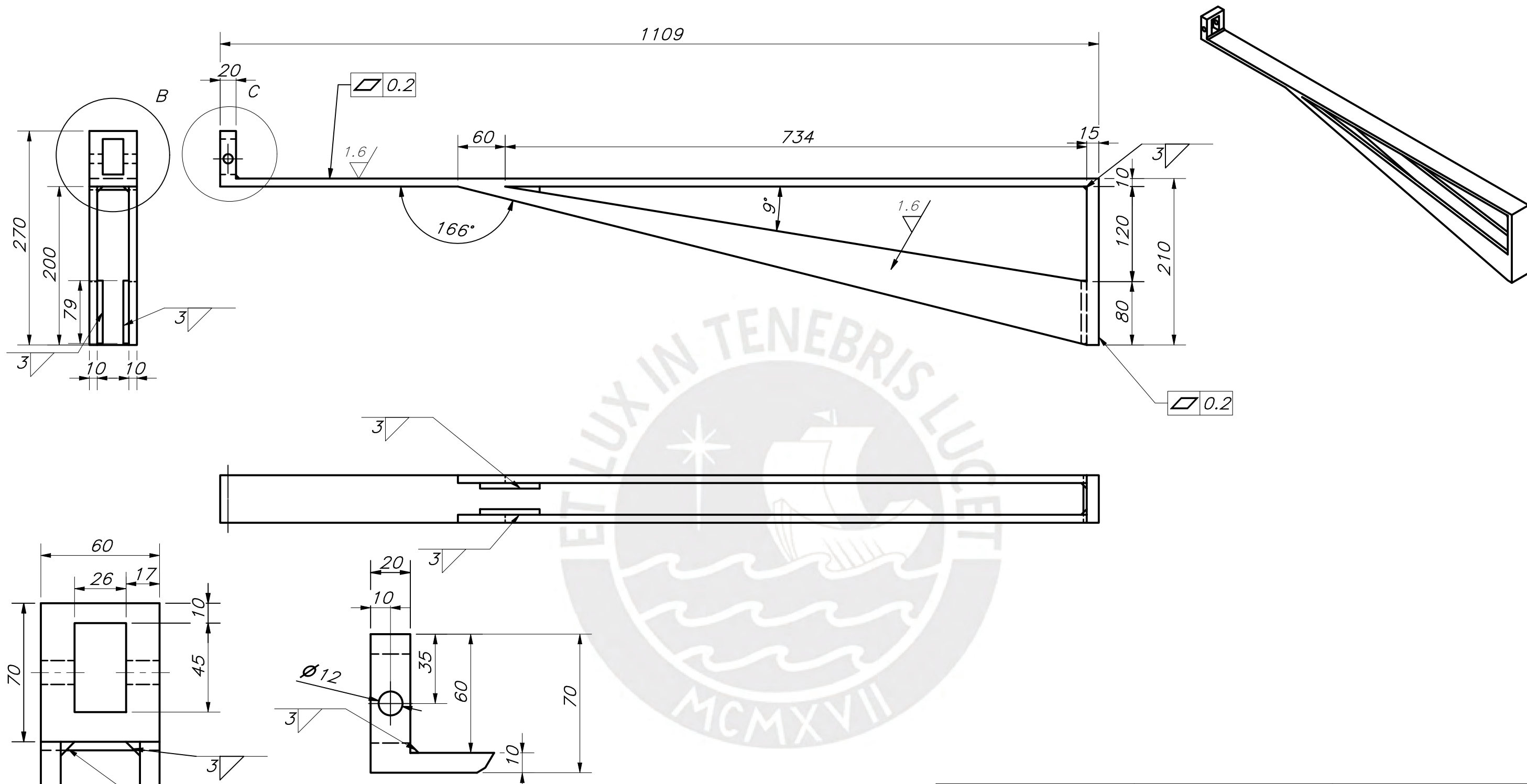


DETALLE A
ESCALA 1:1

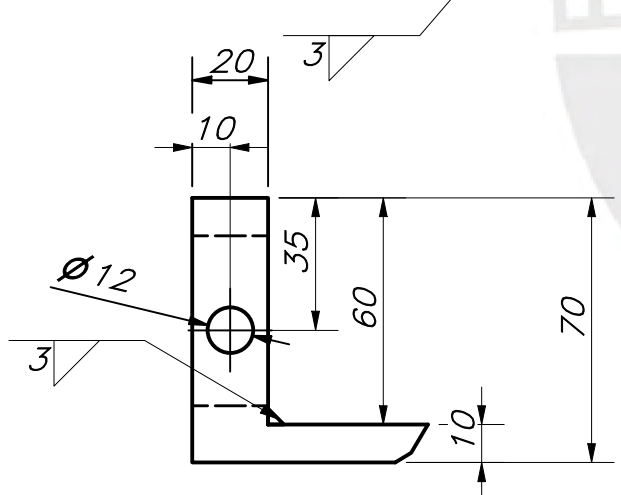


ACABADO SUPERFICIAL 0.8/	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1 RODILLO SUBSISTEMA INGRESO	ESCALA 1:5
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER	FECHA: 2021.10.17
10 h5 COTA NOMINAL	10 COTA MÁXIMA	9.994 COTA MÍNIMA
		LÁMINA: A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2



DETALLE B
ESCALA 1:2



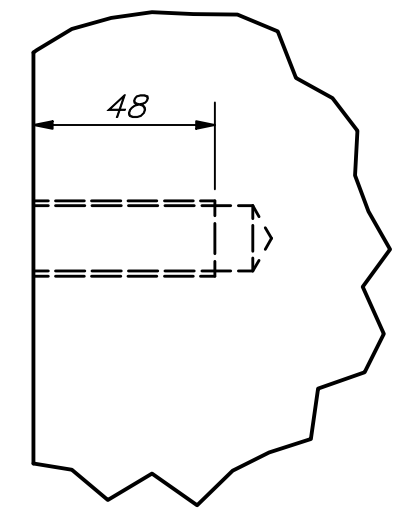
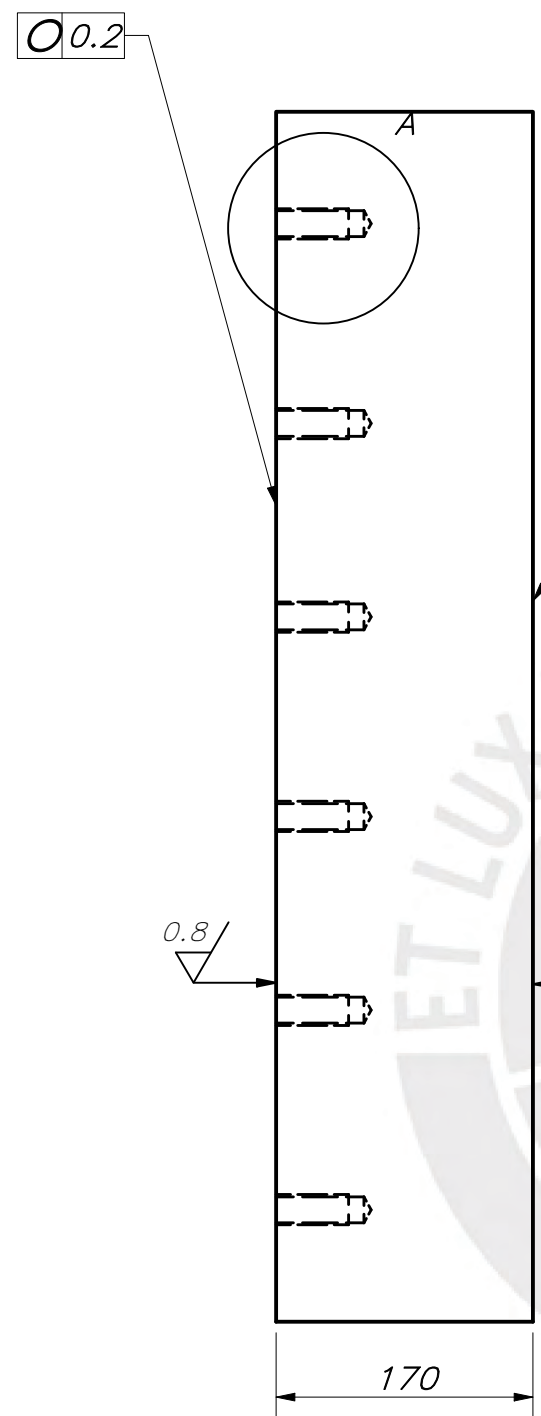
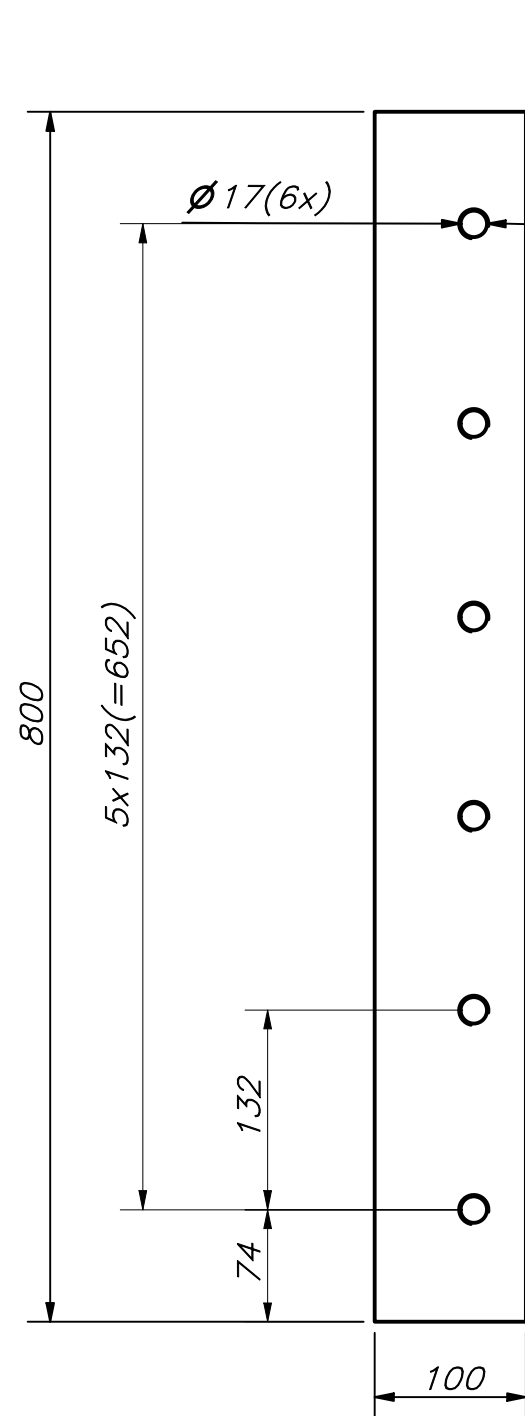
DETALLE C
ESCALA 1:2

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

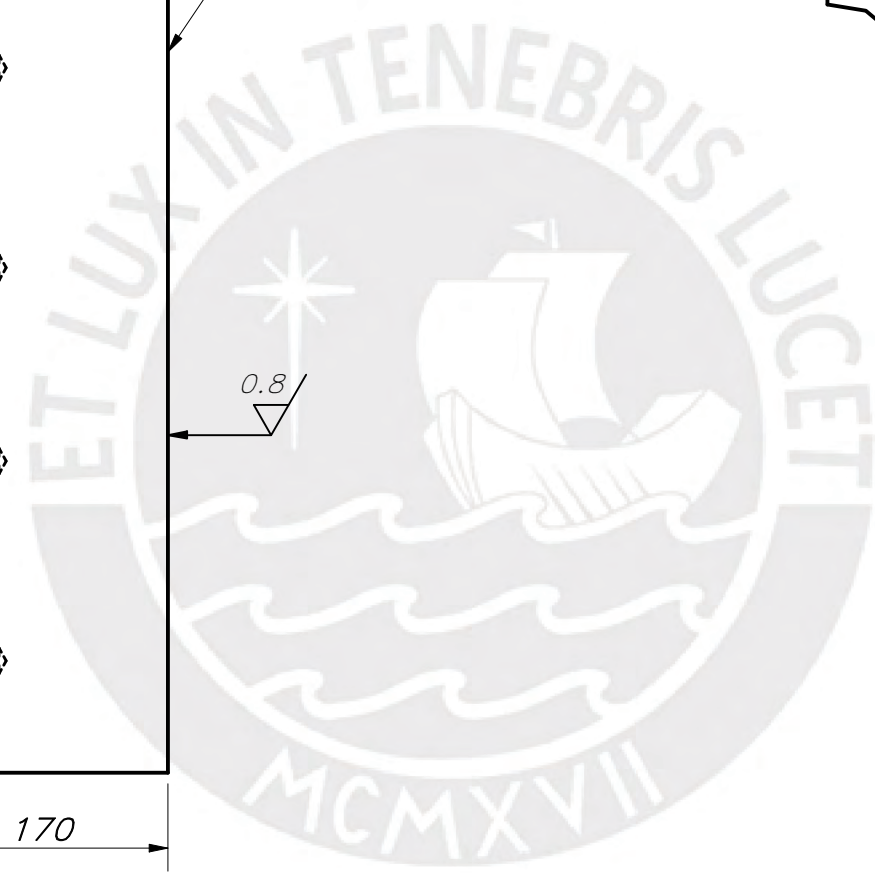
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5

12 h6	12	11.994
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 1.6/	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 fino	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1 SOPORTE DE ACTUADOR LINEAL	ESCALA 1:5
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: L5 – A3



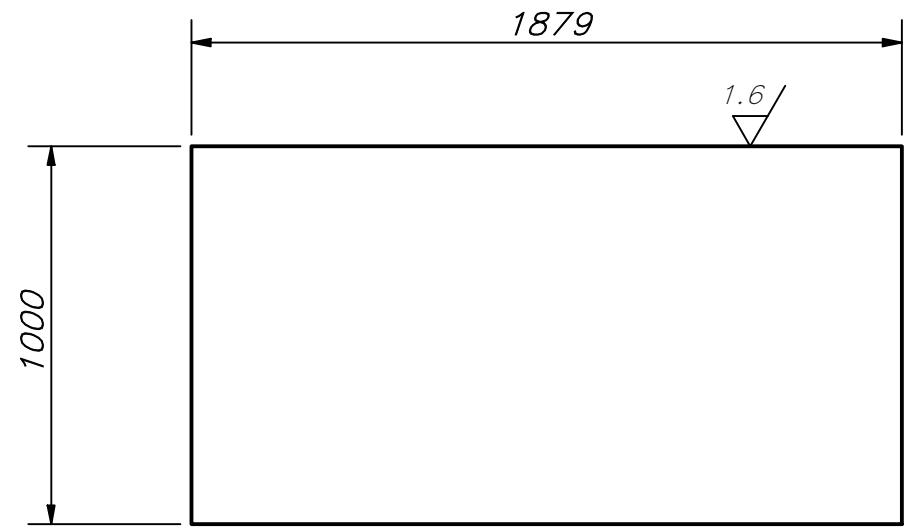
DETALLE A
ESCALA 1:2



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

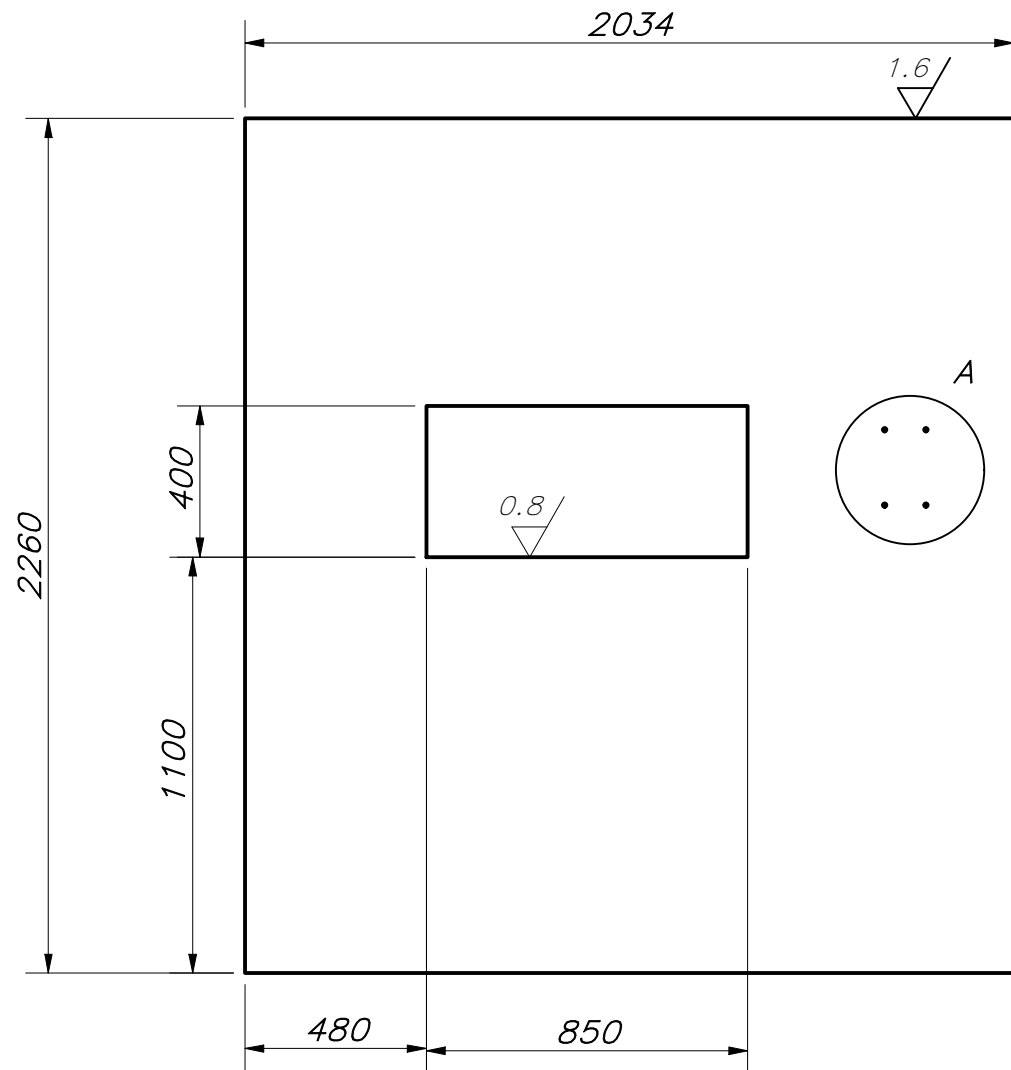
17 h6	17	16.994
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 0.8/	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL ALUMINIO 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – –10M1	ESCALA 1:5
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2021.10.17
		LÁMINA: A3



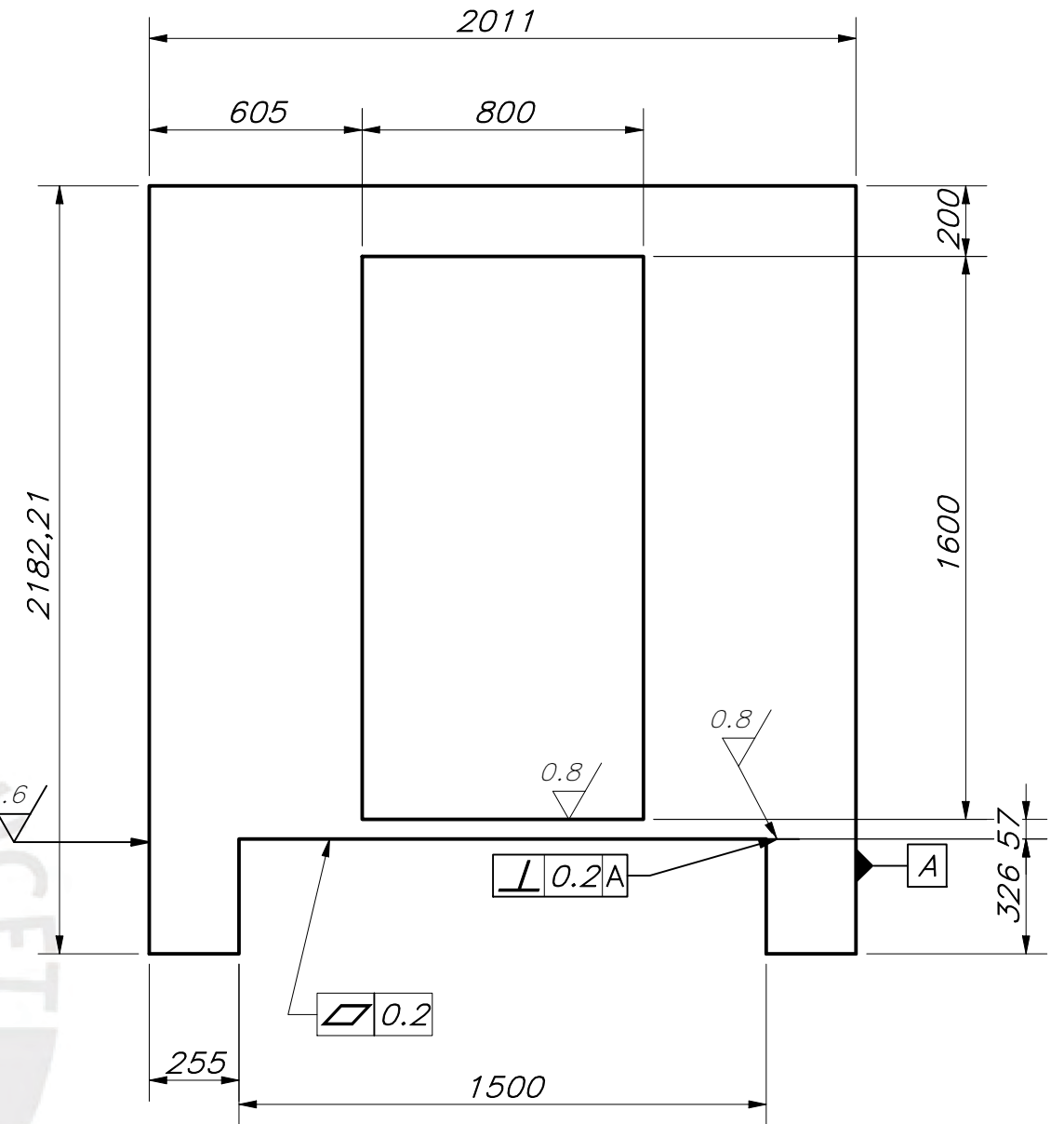
ESPEORES NO ESPECIFICADOS 3

TAPA DELANTERA



TAPA IZQUIERDA

DETALLE A
ESCALA 1 : 10



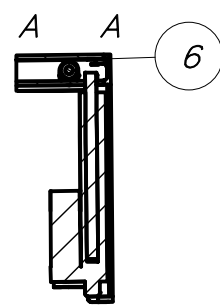
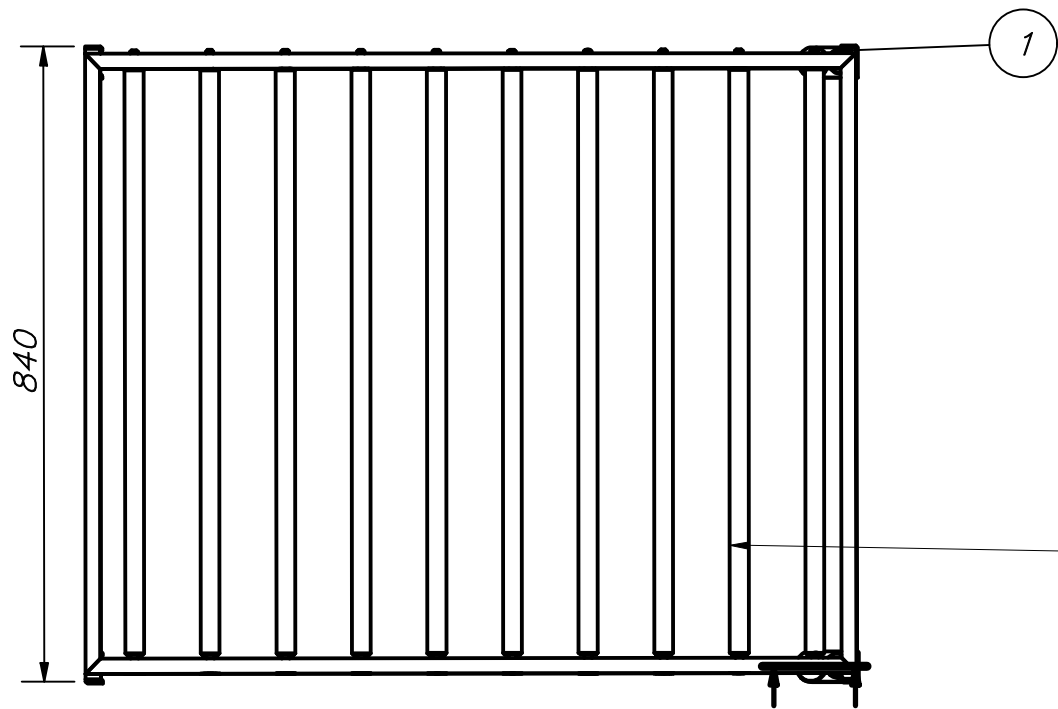
TAPA DERECHA

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN ISO 2768-1

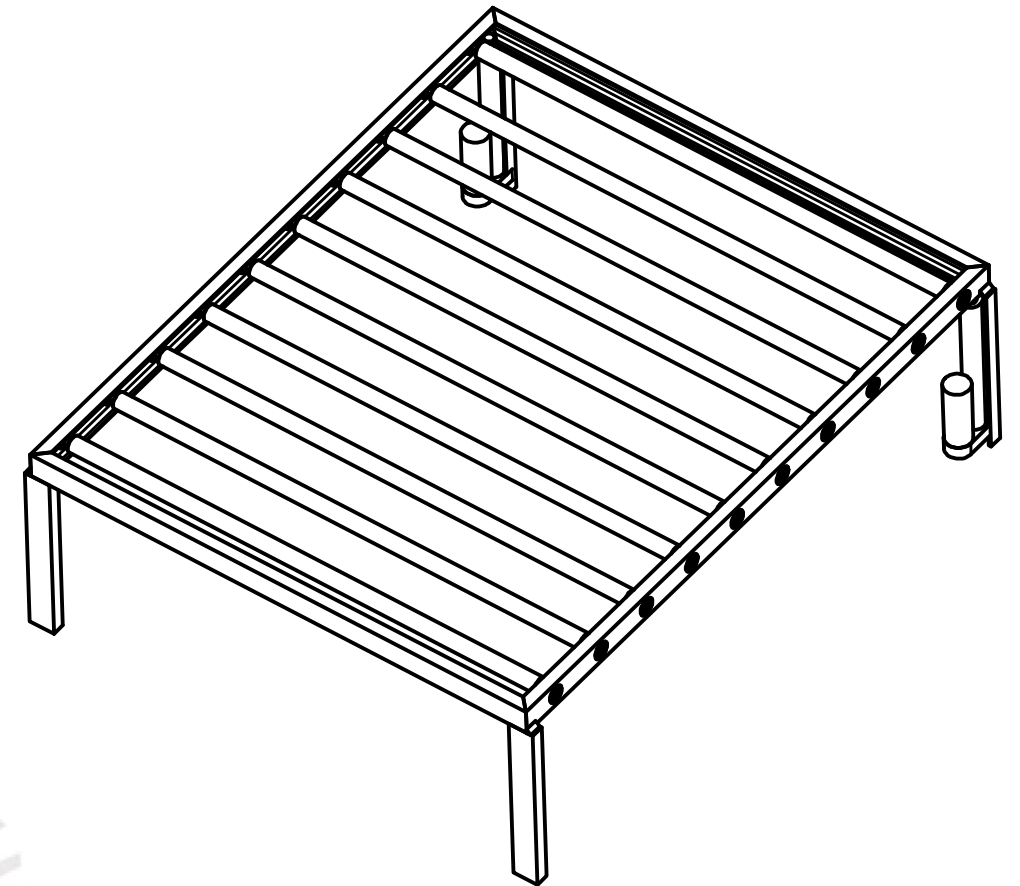
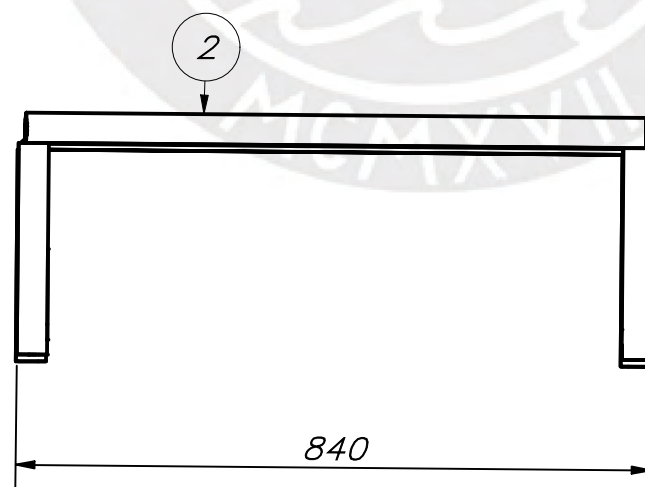
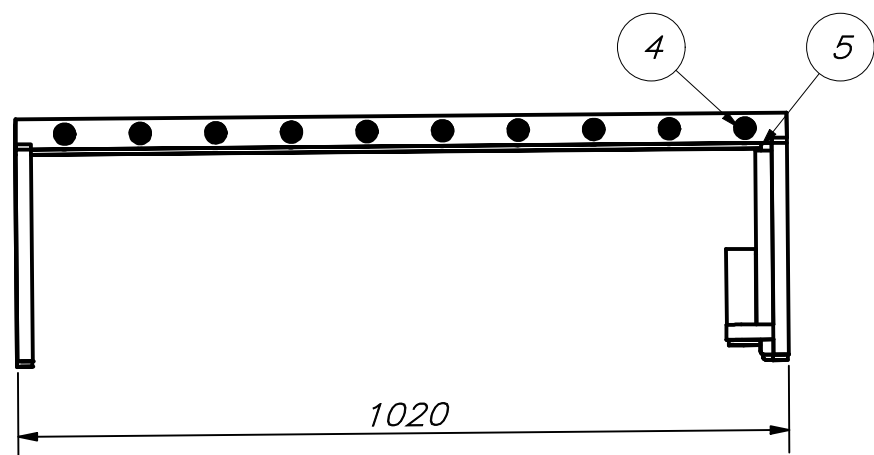
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 0.8/ 1.6/	TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 medio	MATERIAL ACERO A709
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 – – 10M1 TAPA DELANTERA, IZQUIERDA Y DERECHA	ESCALA 1:10
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2023.10.31
		LÁMINA: A3



CORTE A-A

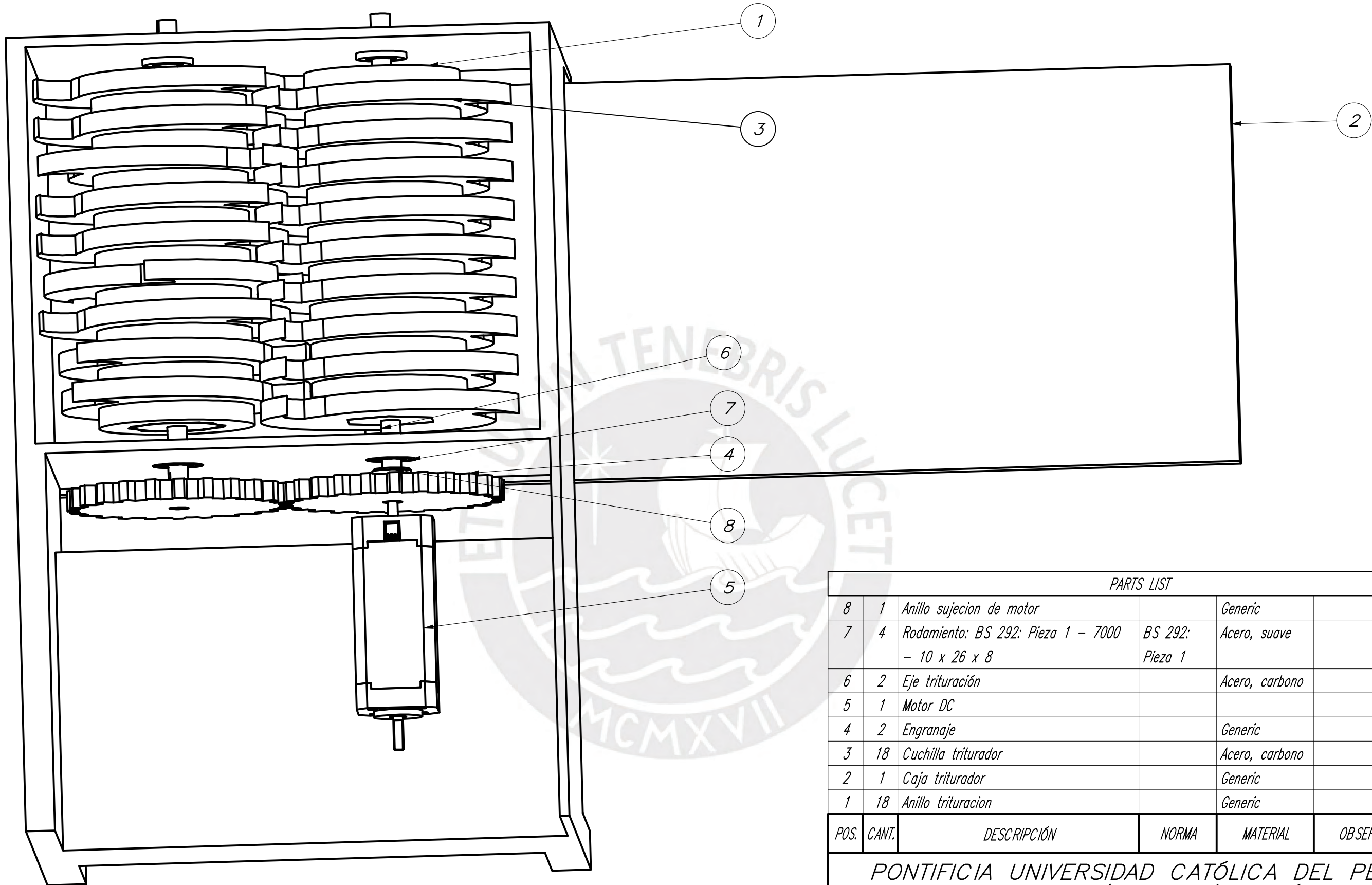


PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
6	2	Goma de apoyo		Caucho	
5	2	Vastago		Acero A36	
4	20	Rodamiento: BS 292: Pieza 1 - 7000 - 10 x 26 x 8	BS 292: Pieza 1		
3	10	Rodillos		Acero A36	
2	1	Estructura Rodillos		Aluminio 6061	
1	2	Actuador Lineal		Acero A36	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2- - 10M1	ESCALA
	ENSAMBLE SUBSISTEMA DE INGRESO	1:10
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2021.10.17
		LÁMINA: A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

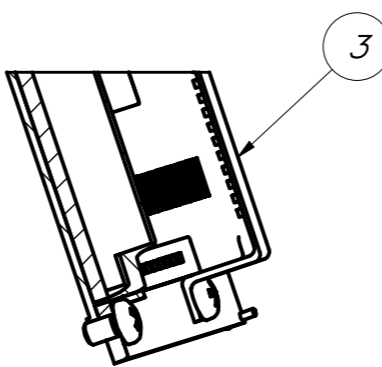
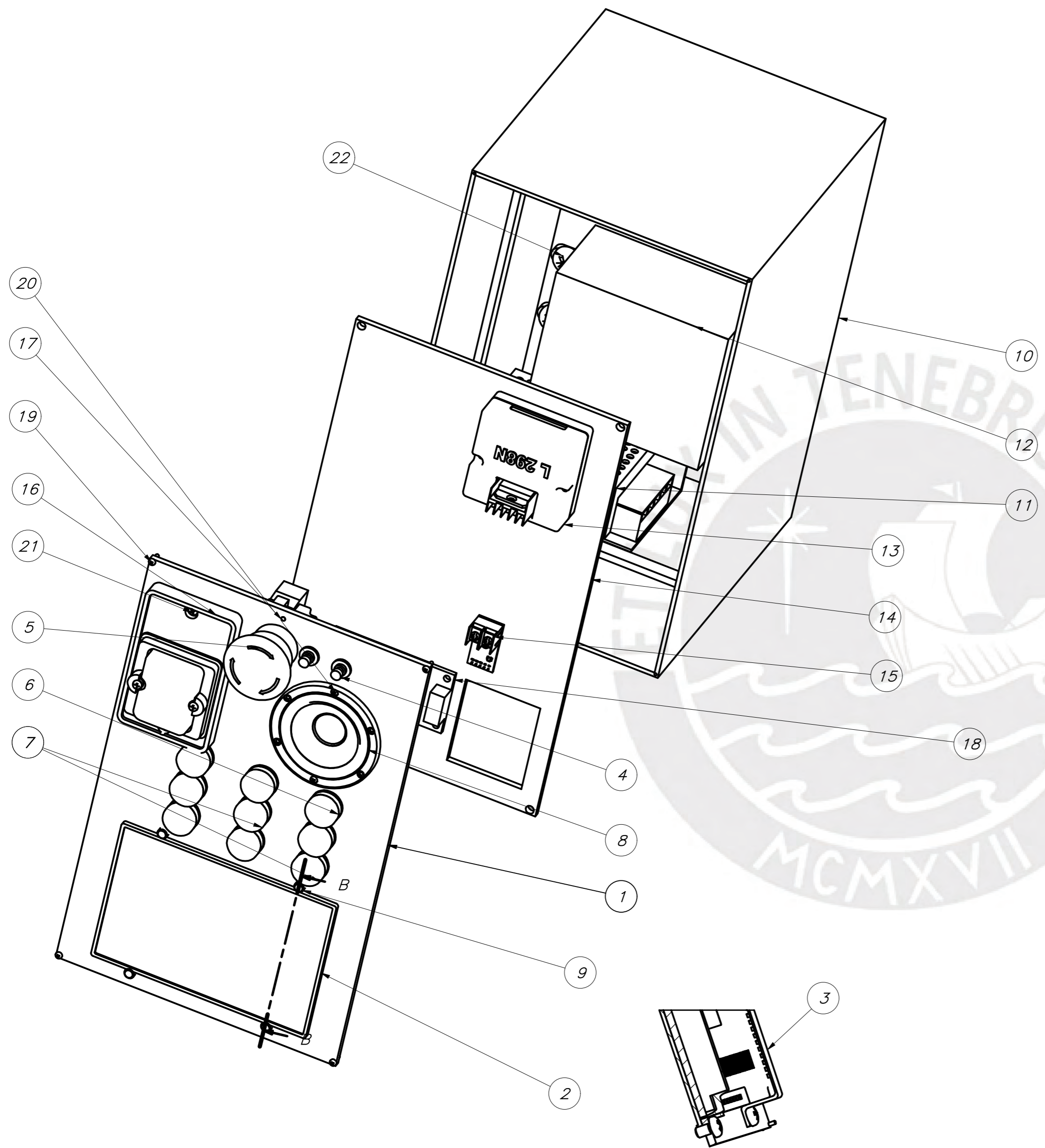


PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
8	1	Anillo sujecion de motor		Generic	
7	4	Rodamiento: BS 292: Pieza 1 - 7000 - 10 x 26 x 8	BS 292: Pieza 1	Acero, suave	
6	2	Eje trituración		Acero, carbono	
5	1	Motor DC			
4	2	Engranaje		Generic	
3	18	Cuchilla triturador		Acero, carbono	
2	1	Caja triturador		Generic	
1	18	Anillo trituracion		Generic	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2- -10M1	ESCALA
	ENSAMBLE SUBSISTEMA DE TRITURACIÓN	1:2
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2021.10.17
		LÁMINA: A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------



CORTE B-B

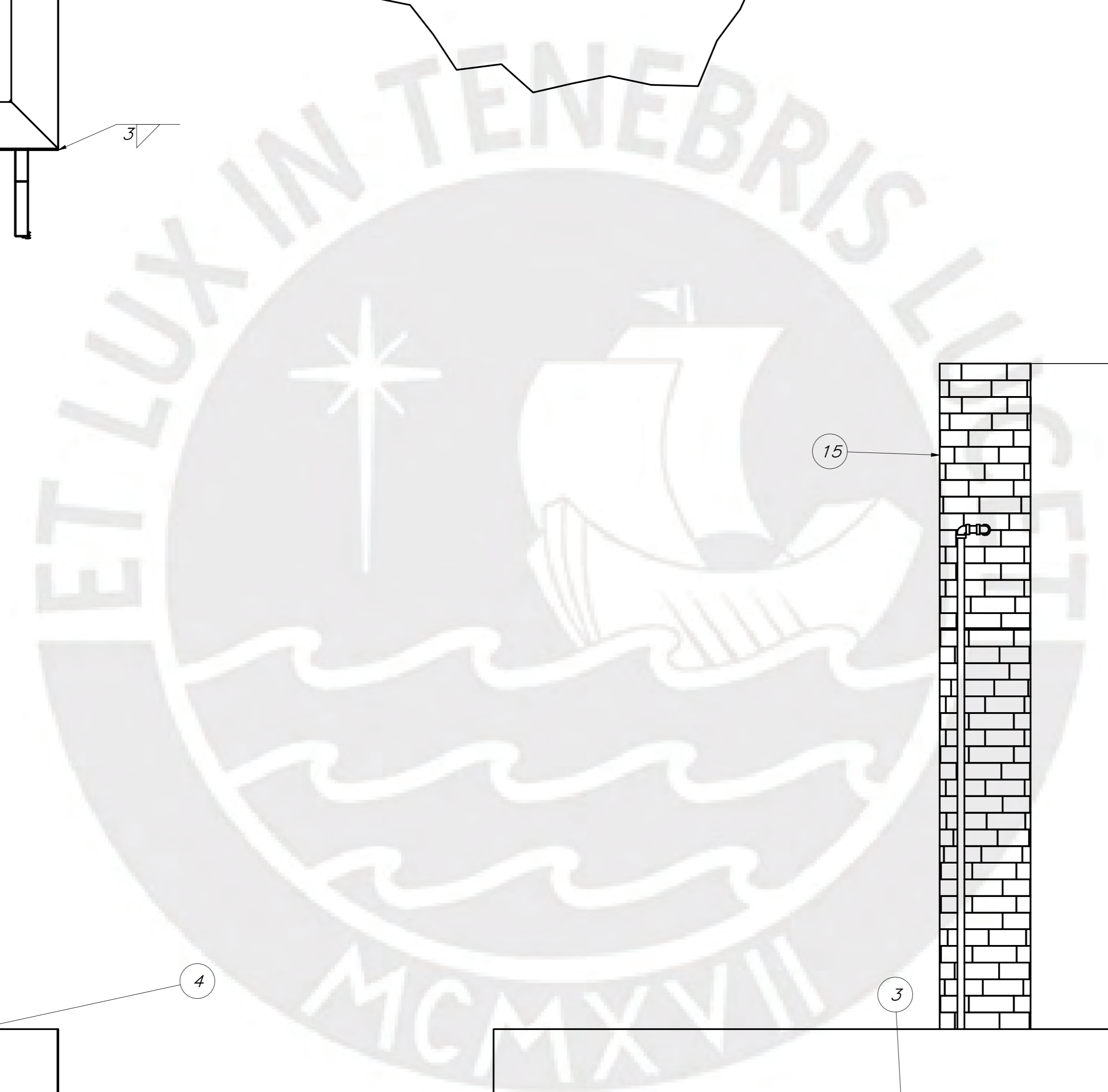
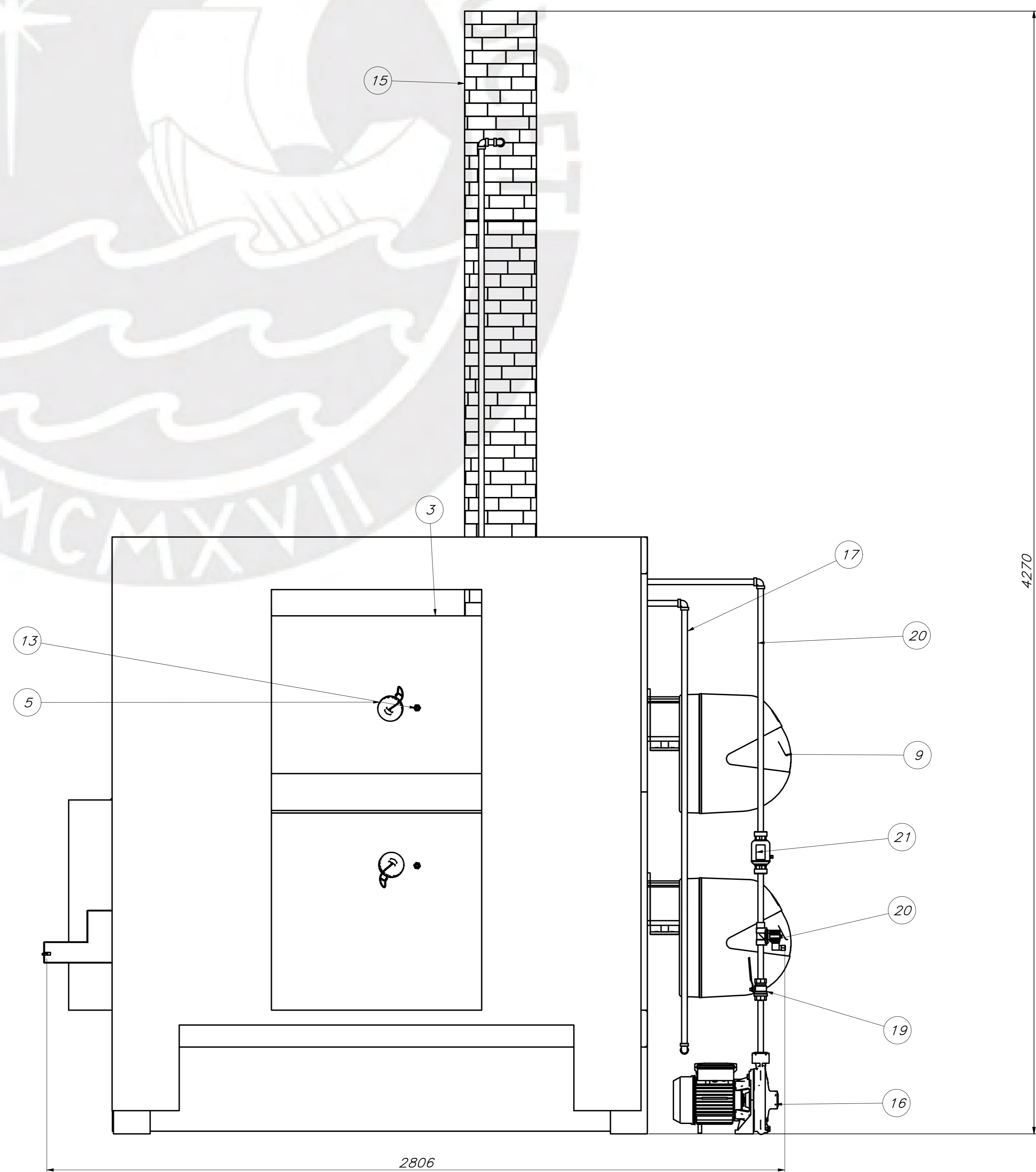
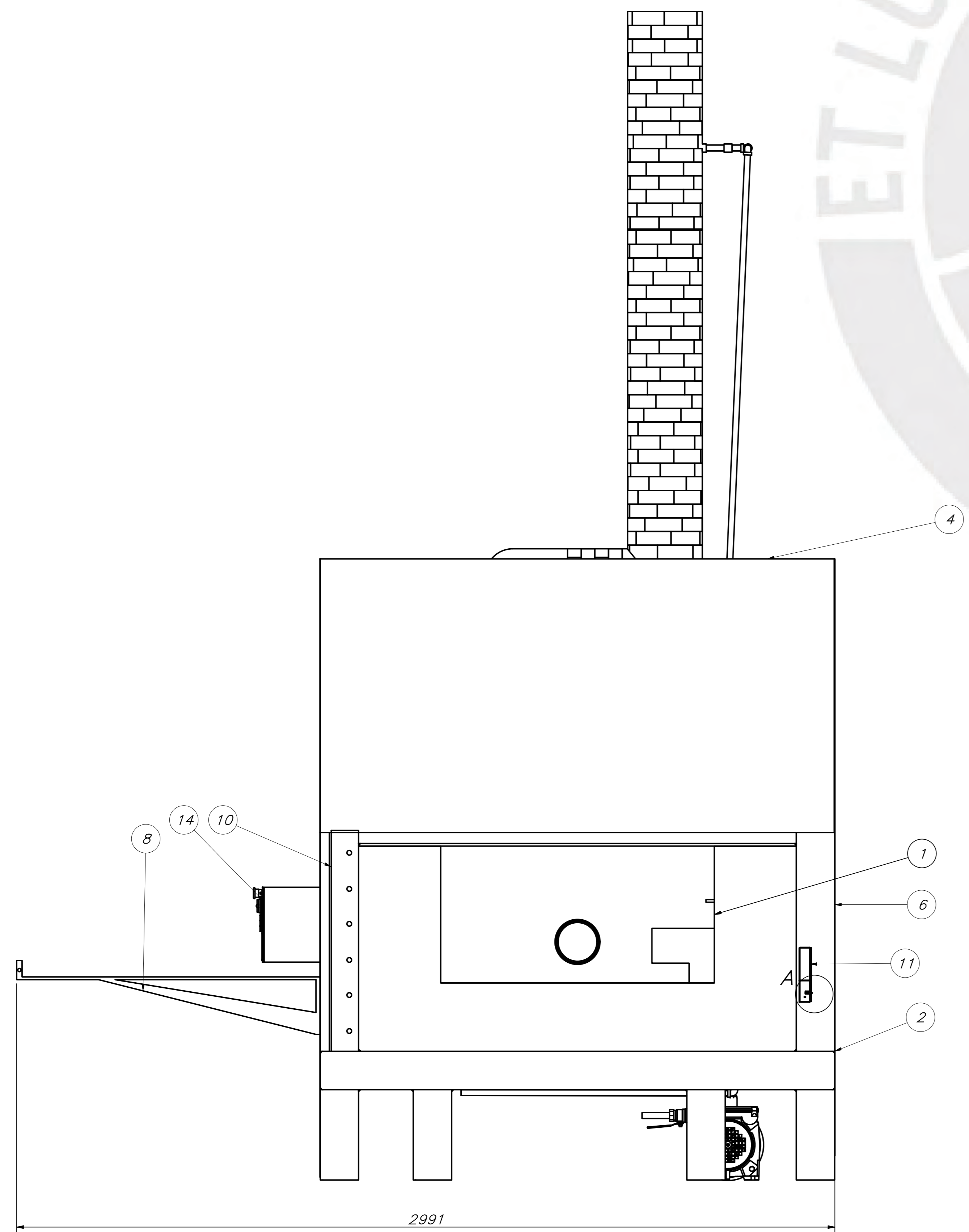
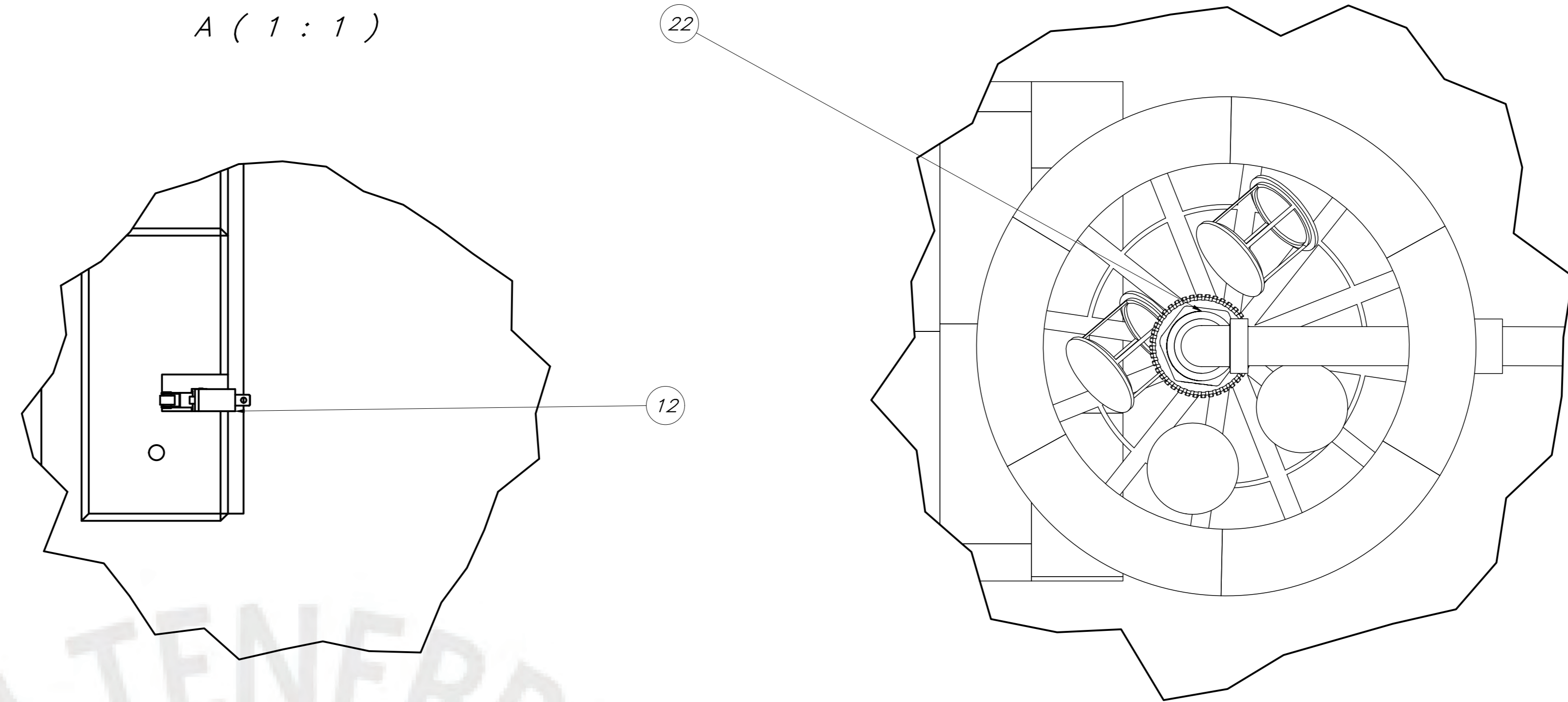
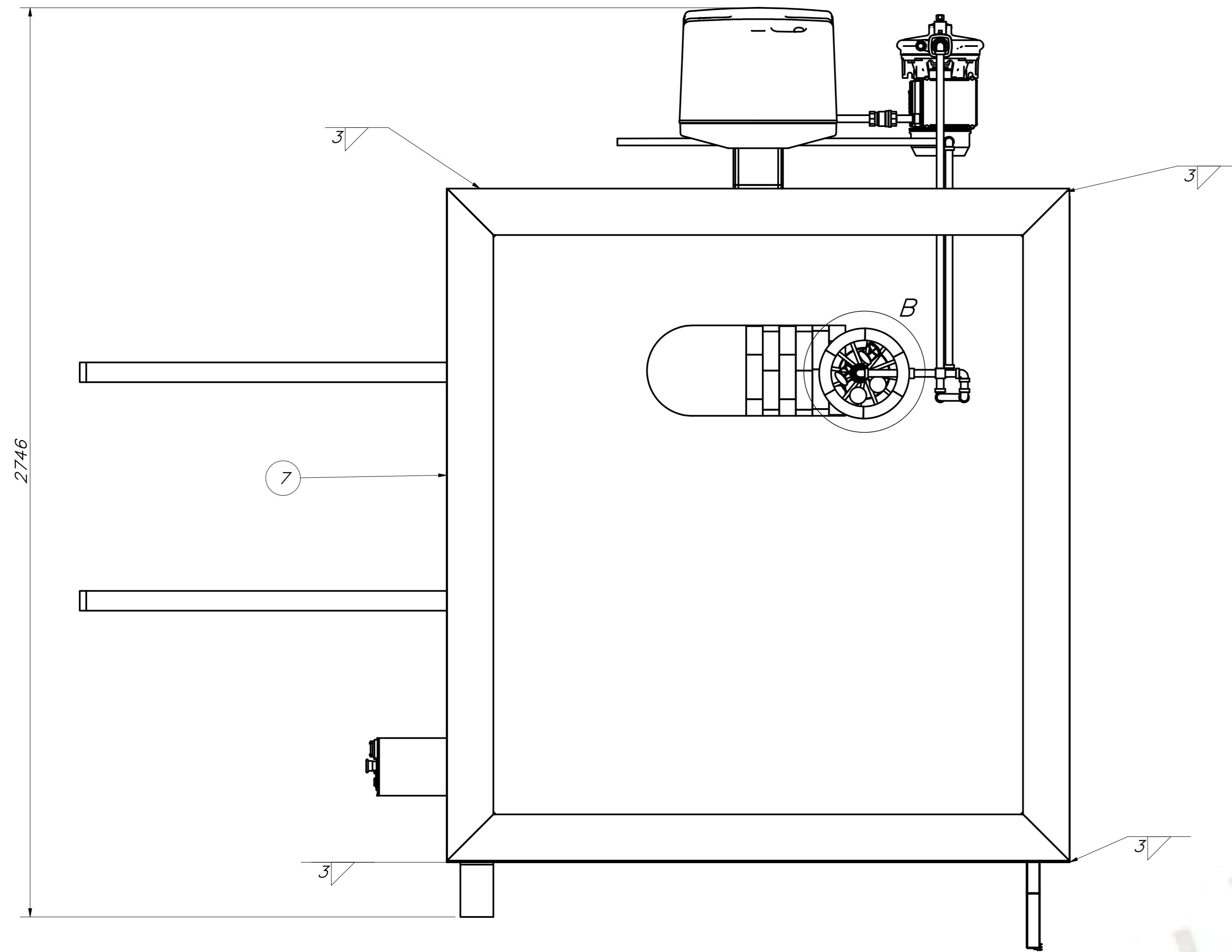
PARTS LIST				
22	4	ISO 7045 - M8 x 16 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero
21	2	ISO 7045 - M3 x 10 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero
20	2	ISO 7045 - M2 x 6 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero
19	4	ISO 7045 - M2 x 8 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero
18	1	Interfaz OXY-LC		Genérico
17	2	ISO 7045 - M3 x 8 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero
16	1	Switch ON-OFF		Genérico
15	1	MAX 6675		Genérico
14	1	Placa trasera		Aluminio 6061
13	1	L298N Motor Driver		Genérico
12	1	Controlador		Genérico
11	1	Fuente de poder		Genérico
10	1	Caja panel de control		Aluminio 6061
9	4	ISO 7045 - M6 x 10 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero
8	1	Altavoz		Steel, Mild, Welded
7	2	LED ROJO		SolidWorks Materials/ABS
6	7	LED VERDE		SolidWorks Materials/ABS
5	1	Botón emergencia		Genérico
4	2	Botón		Genérico
3	2	Apoyo hmi		Steel, Mild, Welded
2	1	Pantalla HMI		Steel, Mild, Welded
1	1	Placa frontal		Aluminio 6061

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
------	-------	-------------	-------	----------	---------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 - - 10M1	ESCALA
	SUBENSAMBLE PANEL DE CONTROL	1:5
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ	FECHA: 2021.10.26
		LÁMINA: A2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

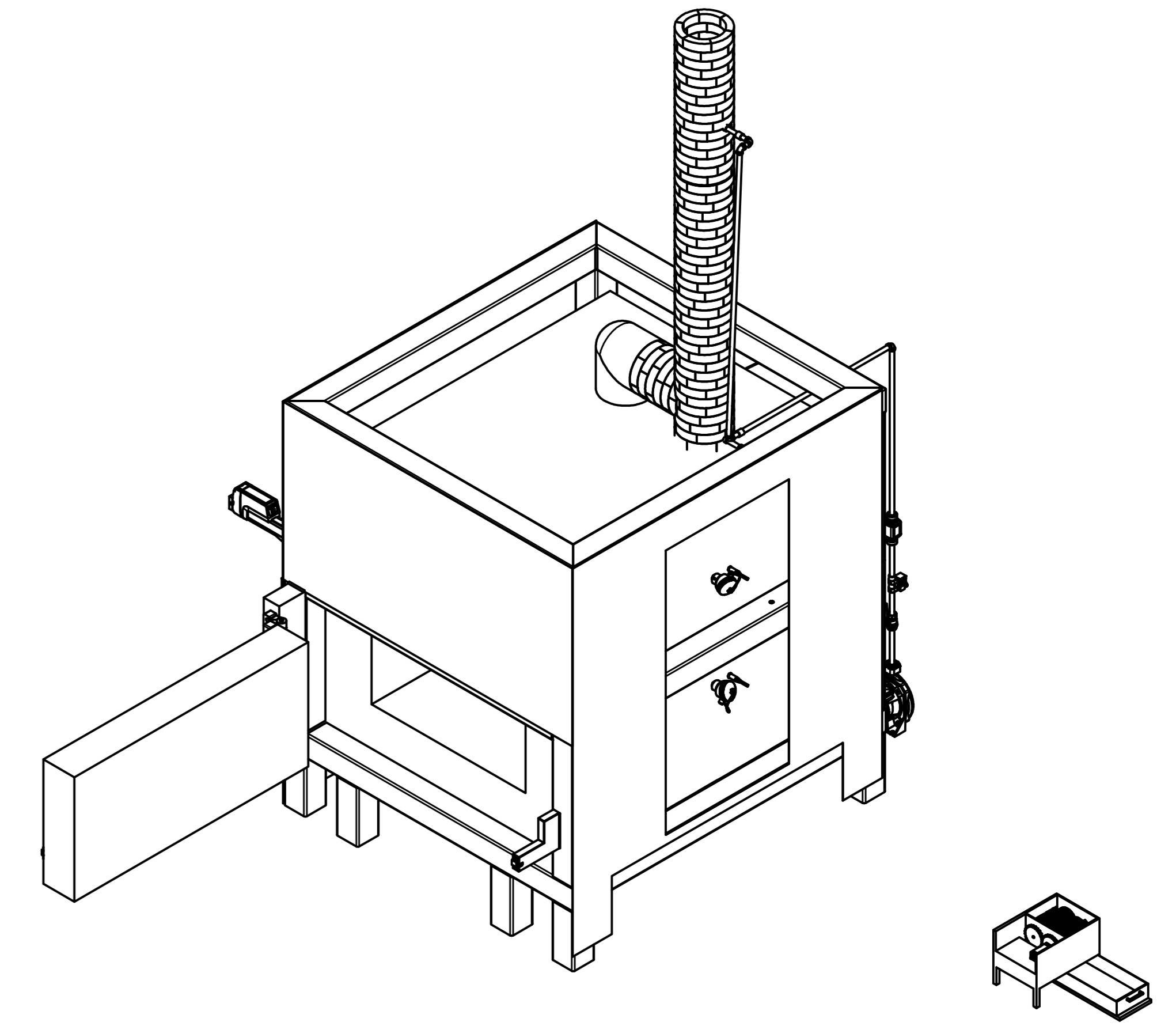
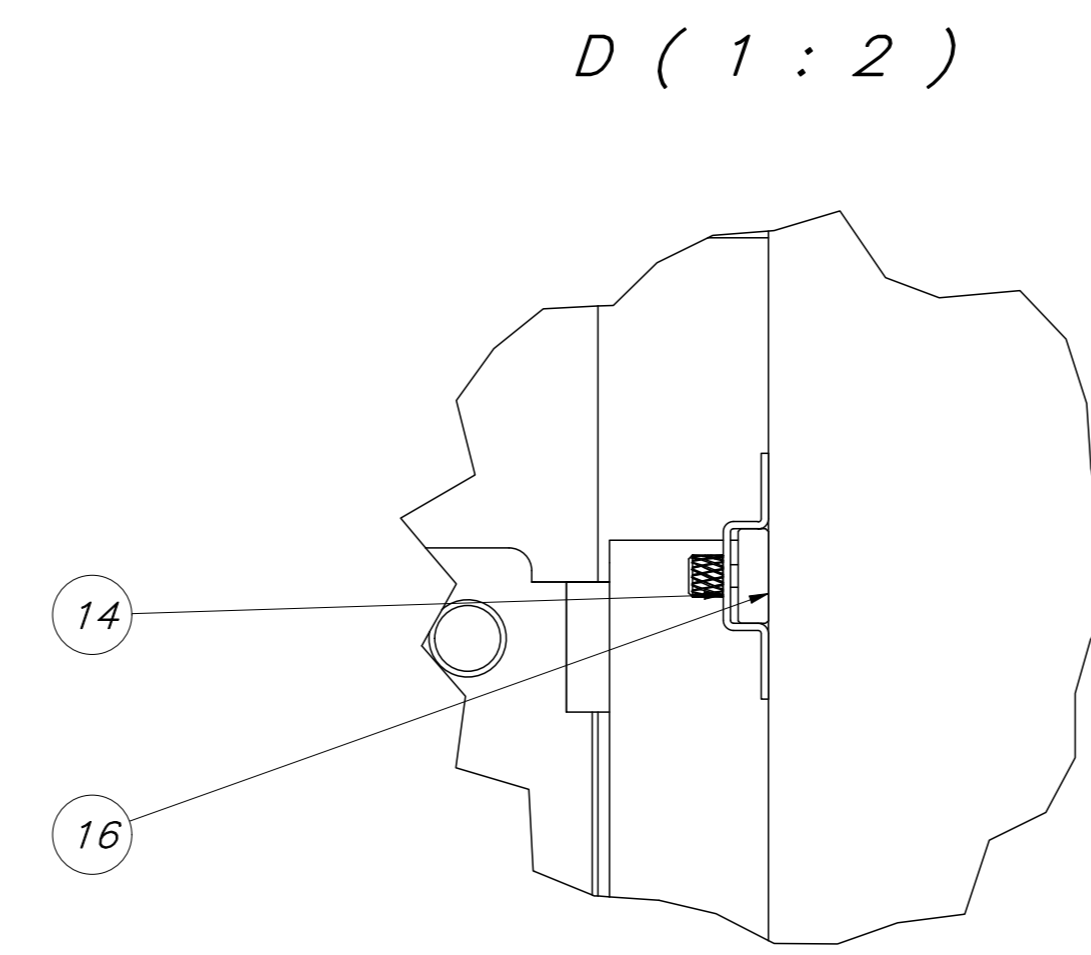
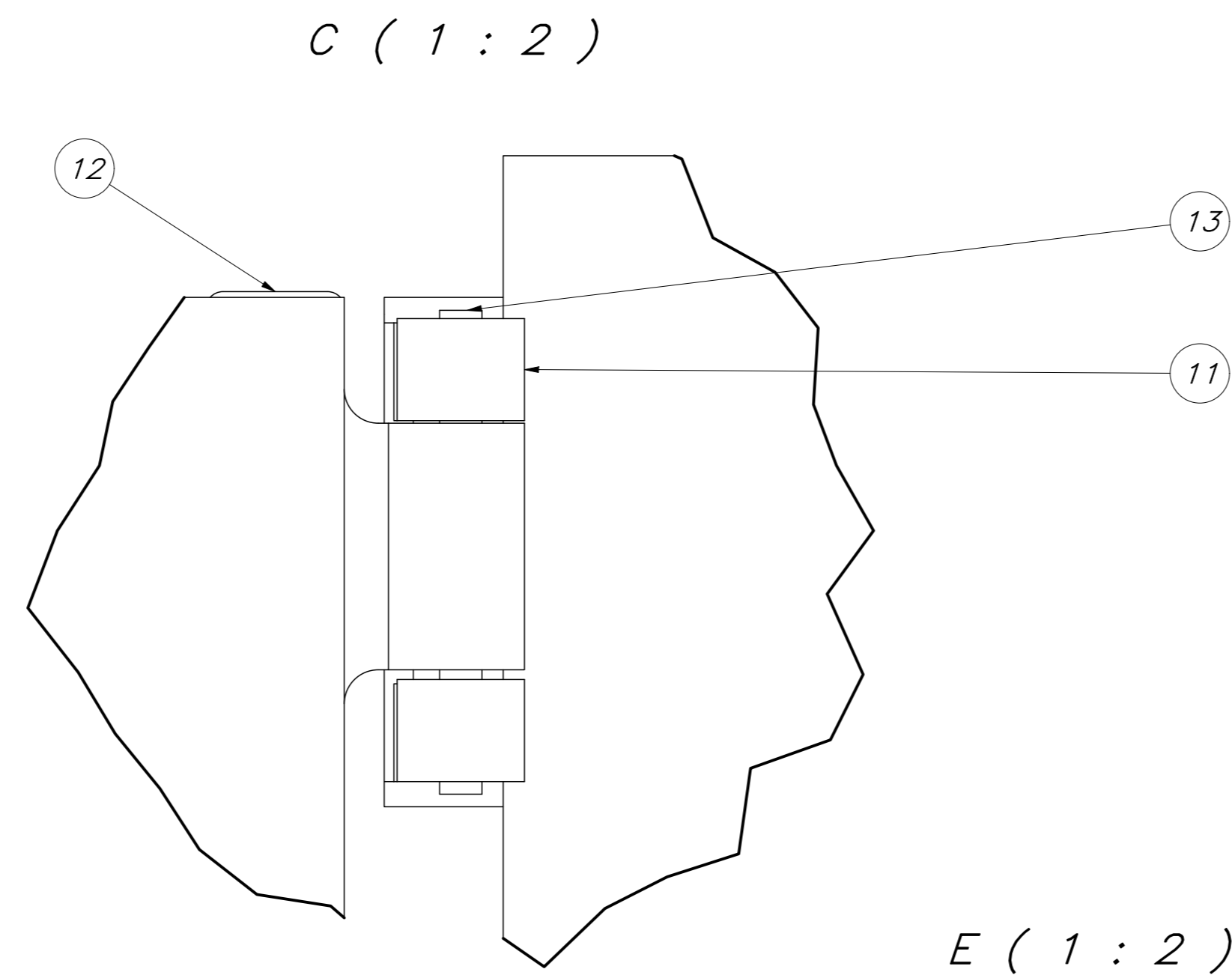
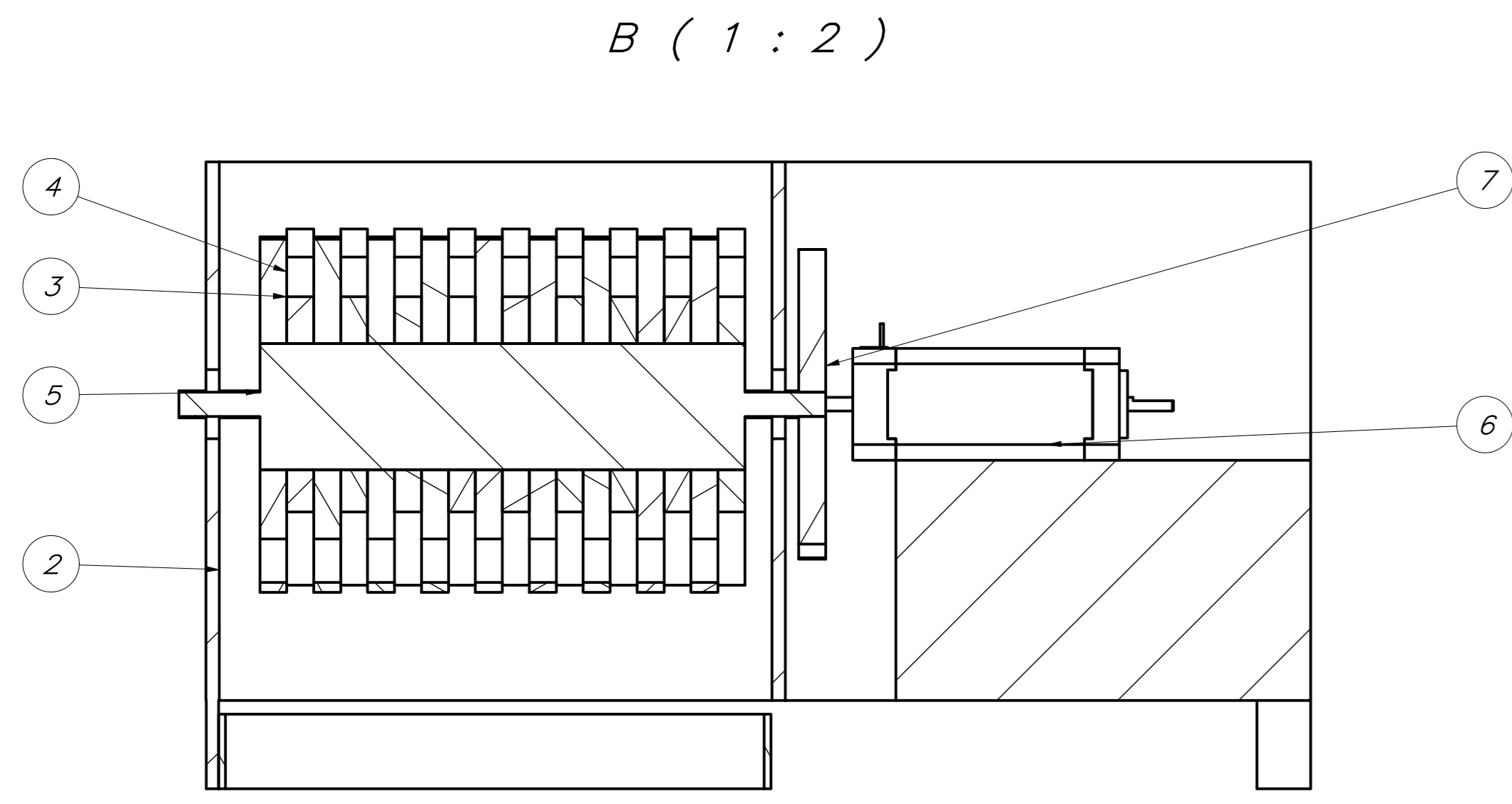


PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
22	1	Aspersor			
21	1	Medidor de Caudal			
20	1	Electroválvula			
19	1	Tubería de entrada a Lavador de Gases			
18	1	Tubería de entrada a bomba			
17	1	Tubería de salida de Lavador de Gases			
16	1	Bomba Hidráulica			
15	1	Chimenea		Ladrillo #23	
14	1	Panel de control			
13	2	Sensor de Oxígeno			
12	1	Sensor Fin Carrera			
11	1	Seguro		Aluminio 6061	
10	1	Soporte Bisagra		Aluminio 6061	
9	2	Quemador		Aluminio 6061	
8	2	Soporte Actuador/Lineal		Aluminio 6061	
7	1	Tapa Izquierda		Aceero A709	
6	1	Tapa Derecha		Aceero A709	
5	2	Sensor Temperatura			
4	1	Tapa Delantera		Aceero A709	
3	1	Camara Secundaria		Ladrillo #23	
2	1	Estructura horno crematorio		Aceero A500	
1	1	Camara Principal		Ladrillo #23	

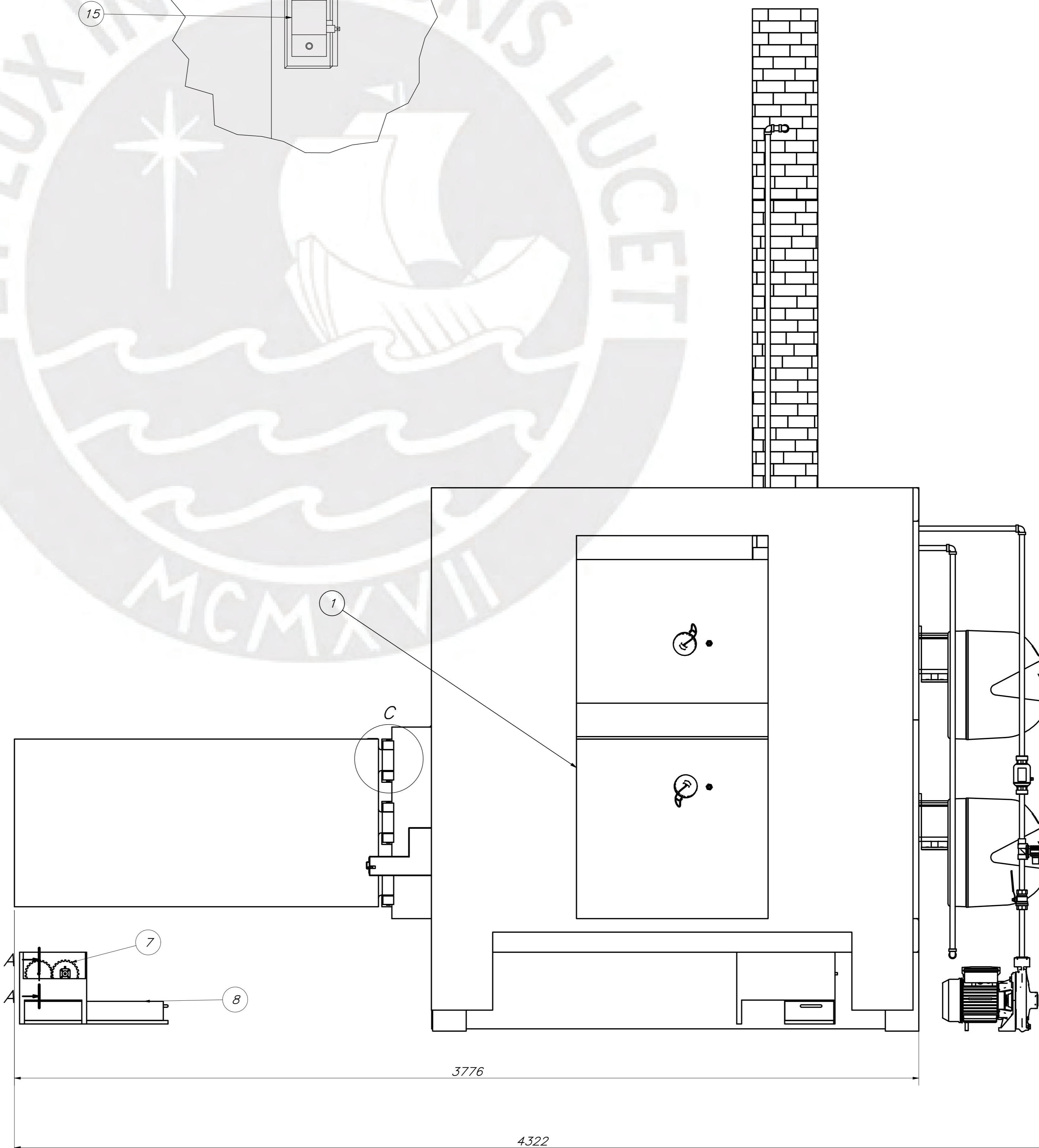
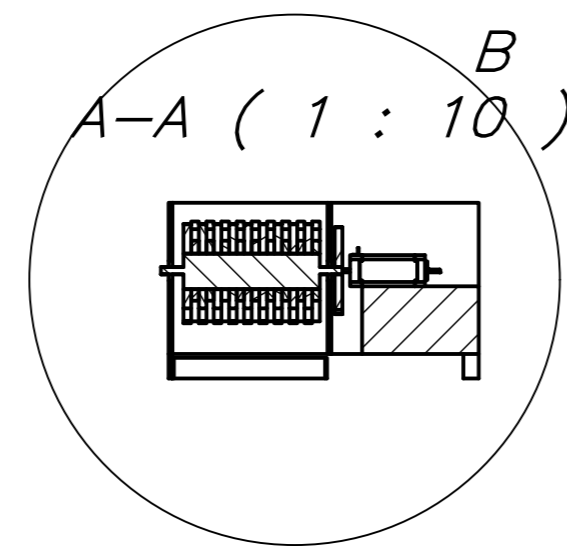
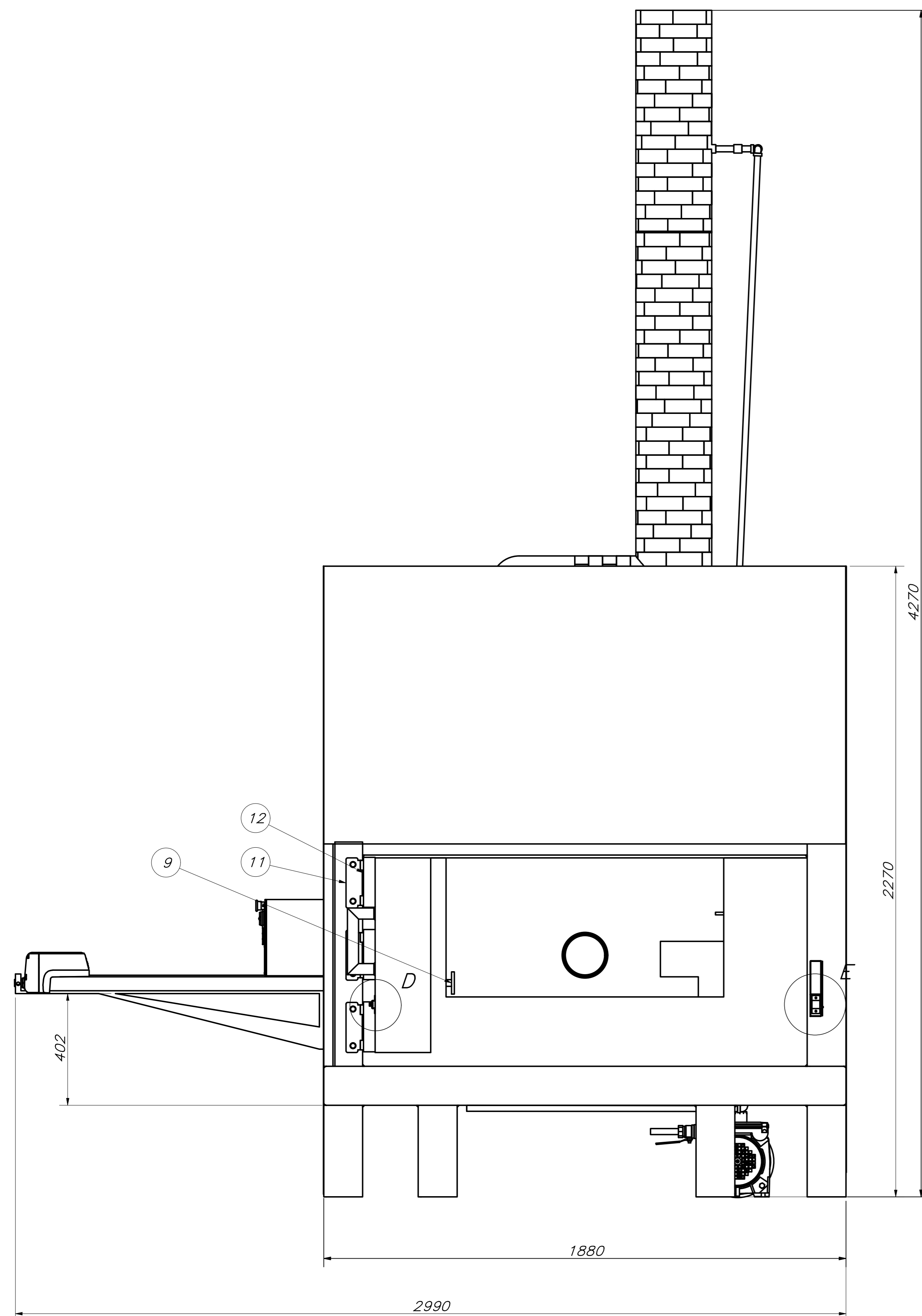
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 CIENCIAS E INGENIERÍA — INGENIERÍA MECATRÓNICA
 TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2
 METODO DE PROYECCIÓN: ESCALA: 1:10
 20150744 SUBENSAMBLE HORNO CREMATORIO
 ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ANDRÉ
 FECHA: 2023.11.03
 LÁMINA: AO

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



E (1:2)



PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
16	1	Pasador Seguro		Aluminio 6061	
15	1	Cierre Seguro		Aluminio 6061	
14	1	Puerta Seguro		Aluminio 6061	
13	3	Bisagra pasador		Aluminio 6061	
12	3	Bisagra lado izquierdo		Aluminio 6061	
11	3	Bisagra Lado Derecho		Aluminio 6061	
10	2	Actuador Línea Traslado		Acero A705	
9	1	Traslado Trituración		Aluminio 6061	
8	1	Caja Cenizas		Aluminio 6061	
7	2	Engranaje		Acero A705	
6	1	Motor			
5	2	Eje Trituración		Aluminio 6061	
4	18	Cuchilla Triturador		Aluminio 6061	
3	18	Anillo Trituración		Generic	
2	1	Caja Triturador		Aluminio 6061	
1	1	Sub Ensamble Horno Crematorio			

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA — INGENIERÍA MECATRÓNICA		
METODO DE PROYECCIÓN	ENSAMBLE HORNO CREMATORIO	ESCALA 1:10
20150744	ENRIQUEZ PAREDES, XAVIER ADRIÉ	FECHA: 2023.11.03 LÁMINA: AO

COTA NOMINAL COTA MÁXIMA COTA MÍNIMA