



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA:

**“ESTUDIO Y DISEÑO FUNCIONAL DE UN HORNO
CREMATORIO ENERGIZADO TÉRMICAMENTE CON
RESISTENCIAS ELÉCTRICAS”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

NARANJO CONTENTO ANDREA LIZETH

andrea.naranjo02@epn.edu.ec

VELASCO JARAMILLO ENRIQUE JAVIER

enrique.velasco@epn.edu.ec

DIRECTOR:

Ing. OSCAR IVÁN ZAMBRANO OREJUELA, MSc.

ivan.zambrano@epn.edu.ec

FECHA:

Quito, 21 de abril de 2022

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Naranjo Contento Andrea Lizeth** y **Velasco Jaramillo Enrique Javier**, bajo mi supervisión.

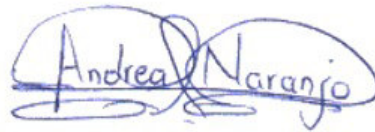
Ing. Oscar Iván Zambrano Orejuela, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Andrea Lizeth Naranjo Contenido**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink that reads "Andrea Naranjo". The signature is stylized with loops and is positioned above a horizontal line.

Autor

DECLARACIÓN

Yo, **Enrique Javier Velasco Jaramillo**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Autor

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado en primer lugar a Dios que me permitió llegar hasta aquí y culminar con éxitos esta etapa.

A mis padres Patricia y Renné que siempre han creído en mí y son mi apoyo incondicional, gracias a su amor, sus consejos y su sacrificio he podido llegar a ser una mejor persona y una profesional.

A mi esposo y compañero de vida Andrés que me ha demostrado todo su amor y su apoyo en mis tiempos de estudio y me ha impulsado a seguir mis sueños y ser mejor cada día para superarnos aún más en nuestro futuro.

A mi hermana Evelyn que me ha acompañado a lo largo de la vida y es una de mis mejores amigas y confidentes.

Y por último a la principal razón de haber culminado mi carrera, a mi amada hija Ainara, que es mi compañera en todo momento que con cada uno de sus besos, abrazos, palabras y travesuras me vuelve a enseñar y recordar lo bonito de vivir y superarse a uno mismo cada día.

Andrea Lizeth Naranjo Contenido

“No te dejes vencer por el desaliento. No permitas que nadie te quite el derecho a expresarte. No abandones las ansias de hacer de tu vida algo extraordinario(...) No dejes nunca de soñar, porque en sueños es libre el hombre”.

Walt Whitman

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mi madre, Isabel, quien con su apoyo incondicional, consejos sabios y paciencia ha sabido guiar mi camino. Ella me ha enseñado que con el corazón predispuesto se pueden alcanzar grandiosos objetivos y ha sido un pilar importante en mi desarrollo personal y profesional.

A mi abuela materna, Lydia, por haber estado muy presente en mi vida desde mi infancia. Su apoyo y cariño han permitido que yo pueda sobreponerme a cualquier obstáculo.

A mi abuelo materno, Reynaldo, que en paz descanse. Siempre aconsejándome y motivándome a seguir, anhelaba con júbilo poder presenciar la culminación de mis estudios.

A Daniela, mi compañía de vida desde el inicio de mi carrera. Ella se convirtió en mi ejemplo de esfuerzo y dedicación para lograr alcanzar esta etapa.

Enrique Javier Velasco Jaramillo

AGRADECIMIENTO

A mis padres por su apoyo moral y económico para culminar mi titulación.

A mi Universidad Escuela Politécnica Nacional por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de ser una de sus profesionales.

A mi tutor de tesis MSc. Iván Zambrano por su paciencia y el habernos brindado el conocimiento y las ayudas necesarias en nuestro proyecto para continuar.

A mis amigos con los que compartí conocimiento y muchas experiencias que fortalecieron nuestra amistad.

A mi compañero de tesis Enrique con quien he compartido el esfuerzo de nuestro trabajo y me impulsaba a seguir con esto cuando desmayábamos para finalmente lograrlo.

Por último, gracias a todas las personas que de una u otra manera me apoyaron y me animaron a seguir adelante.

Andrea Lizeth Naranjo Contento

En primer lugar, quiero agradecer a la vida por haberme ubicado en el momento y en el lugar precisos para conseguir este logro, con todos sus altos y bajos.

A mi familia entera, mi padre, Eduardo, mi madre, Isabel y mi hermana, Andrea Sarahí, por haber soportado todos los sacrificios y esfuerzos que se deben atravesar como estudiante politécnico y haberme alentado siempre para nunca rendirme.

A mi director de tesis, el Ing. Iván Zambrano, MSc., por confiar y creer en nosotros al permitirnos contribuir al Proyecto de Transferencia Tecnológica PTT-20-01 con este trabajo de titulación, así como habernos colaborado con el desarrollo del mismo.

También quiero agradecer especialmente a Daniela, por haberme alentado, en cada día, en cada semestre y en cada etapa de este proyecto, a no echarme nunca para atrás. Con acciones y pocas palabras me recordó siempre que los esfuerzos dan fruto.

A mi abuela, Lydia, porque gracias a su apoyo, moral y económico, ha secundado directamente con la evolución de mi carrera y de este trabajo.

A la Escuela Politécnica Nacional, por ser mi alma máter y brindarme la oportunidad de adquirir conocimiento, experiencias y realización.

A mi compañera de tesis, Andrea Lizeth, por haber entregado su conocimiento y esfuerzo para conmigo y este proyecto. Gracias también por animarme continuar cuando hacía falta.

Finalmente, quiero agradecer también a todos mis amigos, conocidos y demás familiares, politécnicos o no, todos aquellos que han podido contribuir con cualquier idea, gesto o labor en mi formación personal, académica y en el desarrollo de este trabajo.

Enrique Javier Velasco Jaramillo

ÍNDICE

Contenido

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	14
ALCANCE	14
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1. MARCO TEÓRICO	15
1.1. ANTECEDENTES	15
1.2. ESTADO DEL ARTE	15
La Cremación	15
Mecanismos de transferencia de calor en hornos	16
Tipos de hornos	17
Partes de un horno crematorio	19
Materiales refractarios	21
1.3. Benchmarking	23
Caltex, Hornos Industriales	23
Mathews Environmental Solutions	24
Emison (España)	25
Mathews Environmental Solutions (Italia)	25
2. METODOLOGÍA	26
2.1. Análisis funcional y Diseño Conceptual.	29
2.1.1. Análisis Funcional	29
2.2. Estructura Funcional	30
2.3. Diseño Modular	31
2.3.1. Módulo 1: Preparación y posicionamiento	31
2.3.2. Módulo 2: Encendido y funcionamiento	36
2.3.3. Módulo 3: Recolección de restos	41
2.4. Solución Virtual	44
2.4.1. Modelo Tamaño Real	44
2.4.2. Modelo Prototipo de tamaño reducido	45
2.5. Cálculos Térmicos y Geométricos	46
2.5.1. Disposición de los materiales en las capas de revestimiento	46
2.5.2. Cálculos de las pérdidas de calor a través de las paredes en estado estable 46	
2.5.3. Cálculos chimenea	51
2.5.4. Cálculo de columnas de sujeción de la puerta principal	52
2.6. Selección de Materiales y Componentes	56
2.6.1. Modelos 3D	56

2.7.	Diseño estructural de las partes del Incinerador	62
2.7.1.	Dimensiones totales Horno Incinerador	62
2.7.2.	Dimensiones totales Horno Incinerador Prototipo	69
2.8.	Planos de conjunto, detalle y taller	76
2.9.	Análisis de Costos	76
2.9.1.	Costo de Fabricación Tamaño Real.....	76
2.9.2.	Costo de Fabricación Prototipo.....	77
2.9.3.	Costos de Control y Potencia Eléctrica Prototipo.....	78
2.9.4.	Costos de Recolección Prototipo.....	79
2.9.5.	Costo Total del Horno Incinerador	80
2.9.6.	Costo Total del Horno Prototipo.....	80
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	80
3.1.	Análisis de Resultados de Diseño.....	80
3.2.	Análisis de Resultados de Costos.....	81
4.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	81
	Conclusiones.....	81
	Trabajos Futuros	83
	Recomendaciones.....	83
5.	REFERENCIAS	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del ladrillo refractario aislante.....	21
Tabla 2 Propiedades del concreto refractario.....	23
Tabla 3. Especificaciones técnicas	29
Tabla 4. Alternativas Modulo 1.....	35
Tabla 5. Evaluación de cada criterio.	35
Tabla 6. Evaluación de las soluciones respecto a Fácil ingreso del cuerpo.	36
Tabla 7. Evaluación de las soluciones respecto a Resistencia a la carga.	36
Tabla 8. Evaluación de las soluciones respecto a Costo de materiales.....	36
Tabla 9. Evaluación de las soluciones respecto a Fácil adquisición.....	36
Tabla 10. Tabla de conclusiones para el módulo 1	36
Tabla 11. Alternativas Modulo 3.....	42
Tabla 12. Evaluación de cada criterio.	42
Tabla 13. Evaluación de las soluciones respecto a Resistencia a la temperatura.	43
Tabla 14. Evaluación de las soluciones respecto a Resistencia a la carga.	43
Tabla 15. Evaluación de las soluciones respecto a Costo de fabricación.....	43
Tabla 16. Evaluación de las soluciones respecto a Espacio necesario.	43
Tabla 17. Tabla de conclusiones para el módulo 3	43
Tabla 18. Dimensiones totales.....	63
Tabla 19. Dimensiones totales cámara principal.....	63
Tabla 20. Dimensiones totales cámara secundaria.....	65
Tabla 21. Materiales de capas de pared para cámaras.....	69
Tabla 22. Dimensiones totales.....	69
Tabla 23. Dimensiones totales cámara principal.....	70
Tabla 24. Dimensiones totales cámara secundaria.....	72
Tabla 25. Materiales de capas de pared para cámaras.....	76
Tabla 26. Costo materiales horno incinerador.....	76
Tabla 27. Costo de mano de obra.....	77
Tabla 28. Costos de materiales horno prototipo.....	77
Tabla 29. Costo de mano de obra horno prototipo.....	78
Tabla 30. Costos del sistema eléctrico del horno.	78
Tabla 31. Costos de compuerta de recolección	79
Tabla 32. Costo total construcción horno incinerador.....	80
Tabla 33. Costo total prototipo	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de transferencia de calor por conducción	16
Figura 2. Esquema de transferencia de calor por convección	16
Figura 3. Esquema de transferencia de calor por radiación	17
Figura 4. Esquema de horno de resistencias eléctricas.	18
Figura 5. Esquema de horno de arco eléctrico libre.	18
Figura 6. Esquema de horno de inducción.....	19
Figura 7. Esquema de distribución de cámaras en un horno de cremación.	20
Figura 8. Ladrillo refractario.	22
Figura 9. Mortero refractario.	22
Figura 10. Concreto Refractario.....	22
Figura 11. Crematorios a nivel nacional.....	23
Figura 12. Horno CALTEC.....	24
Figura 13. Esquema de horno incinerador.	25
Figura 14. Horno incinerador.	25
Figura 15. Horno Bio Cremation.	26
Figura 16. Incineración por hidrólisis alcalina.....	26
Figura 17. Casa de la calidad.	28
Figura 18. Función global.	30
Figura 19. Estructura funcional del nivel 1.	30
Figura 20. Módulo 1	31
Figura 21. Módulo 2.....	31
Figura 22. Módulo 3.....	31
Figura 23. Carro camilla mortuoria simple.....	32
Figura 24. Carro camilla mortuoria con rodillos.....	33
Figura 25. Introducción manual.....	34
Figura 26. Carro mortuorio autoextraíble.	34
Figura 27. Tablero táctil. Control con tablero táctil.	37
Figura 28. Panel con pulsadores.	37
Figura 29. Resistencia eléctrica de cuarzo.....	38
Figura 30. Resistencias eléctricas Khantal A1	38
Figura 31. Termopar tipo S.....	39
Figura 32. Tabla de LMP de emisiones contaminantes.....	40
Figura 35. Esquema de longitud de chimenea	40
Figura 36. Esquema compuertas giratorias.....	41
Figura 37. Esquema compuerta corrediza.	41
Figura 38. Horno incinerador tipo túnel, tamaño real, con compuerta inferior corrediza	44
Figura 39. Horno incinerador tipo rectangular, tamaño real, con compuertas inferiores giratorias.....	44
Figura 40. Horno incinerador prototipo de tamaño reducido, tipo túnel con compuerta inferior corrediza	45
Figura 41. horno incinerador prototipo de tamaño reducido, tipo rectangular con compuertas giratorias.	45
Figura 42. Disposición de los materiales del revestimiento.	46
Figura 43. Esquema del modelo de transferencia de calor.	47
Figura 44. Resultados de iteraciones térmicas (1/3)	49
Figura 45. Resultados de iteraciones térmicas (2/3)	50
Figura 46. Resultados de iteraciones térmicas (3/3)	50
Figura 47. Esquema de alturas de chimenea mínimas recomendadas	52
Figura 48. Dimensiones bisagra seleccionada.....	53

Figura 49. Diagramas de esfuerzo y pandeo de columna horno tamaño real.....	54
Figura 50. Diagramas de esfuerzo, momento y pandeo de columna horno prototipo..	55
Figura 51. Esquema de cámara principal.....	57
Figura 52. Esquema de cámara secundaria.....	57
Figura 53. Esquema compuerta principal horno tamaño real.	58
Figura 54. Vista superior de solapamiento central de la compuerta	58
Figura 55. Esquema compuerta principal prototipo de tamaño reducido	59
Figura 56. Esquema compuerta inferior para recolección de restos.....	59
Figura 57. Esquema capa de recubrimiento aislante (lana de vidrio)	60
Figura 58. Esquema de carcasa metálica exterior	60
Figura 59. Esquema ensamblaje horno incinerador tamaño real	61
Figura 60. Esquema ensamblaje horno incinerador prototipo de tamaño reducido	61
Figura 61. Esquema replantillo horno prototipo de tamaño reducido.....	62
Figura 62. Esquema modelo horno incinerador.....	62
Figura 63. Disposición de ladrillos cámara principal.....	63
Figura 64. Disposición de ladrillos cámara secundaria.....	64
Figura 65. Disposición de ladrillos pared posterior cierre cámara principal	65
Figura 66. Esquema compuerta inferior	66
Figura 67. Disposición ladrillo refractario en base.....	66
Figura 68. Esquema recubrimiento aislante	67
Figura 69. Esquema de carcasa metálica	68
Figura 70. Esquema de ensamble compuerta principal.....	68
Figura 71. Esquema modelo horno prototipo	69
Figura 72. Disposición de ladrillos cámara principal.....	70
Figura 73. Disposición de ladrillos cámara secundaria.....	71
Figura 74. Disposición de ladrillos pared posterior cierre cámara principal	72
Figura 75. Esquema compuerta inferior	73
Figura 76. Disposición ladrillo refractario en base.....	73
Figura 77. Esquema recubrimiento aislante	74
Figura 78. Esquema de carcasa metálica	75
Figura 79. Esquema de ensamble compuerta principal.....	75

Anexo 1: Casa de la Calidad

Anexo 2: Reporte de SkyCiv de Análisis de Columnas

Anexo 3: Planos de Conjunto, Subconjunto y Detalle del Horno Incinerador de Tamaño Real

Anexo 4: Planos de Conjunto, Subconjunto y Detalle del Horno Incinerador Prototipo de Tamaño Reducido

RESUMEN

El presente trabajo de titulación presenta un estudio de diseño de un horno crematorio energizado con resistencias eléctricas en base al concepto de ingeniería concurrente. De acuerdo con una de las fases de este concepto se propone, además, el diseño de un prototipo de tamaño reducido que reproduzca el mismo fenómeno de incineración que el horno de tamaño real.

Este estudio se desarrolla en tres fases correlacionadas que consisten en: primero, recopilación bibliográfica, estado del arte y estudio térmico en estado estable; segundo, diseño e ingeniería; y tercero, análisis de costos.

En la primera fase se realiza una investigación exhaustiva de hornos crematorios disponibles en el mercado ecuatoriano y mundial, así como un estudio térmico en estado estable para el potencial diseño de espesores de pared refractaria, con el fin de obtener una óptima eficiencia al menor costo posible. En la segunda fase se realiza el diseño propiamente dicho, basándose en los resultados obtenidos en el estudio térmico y estado del arte, determinando especificaciones técnicas de manera que permitan desarrollar un diseño conceptual y modular. Esta fase está constituida de planos de conjunto, detalle y taller y modelado 3D. Y, en la tercera fase se detalla el costo total de construcción y manufactura tanto del horno crematorio real como del prototipo de tamaño reducido.

ABSTRACT

The present degree project presents a design study of a crematory oven energized with electrical resistances based on the concept of concurrent engineering. In accordance with one of the phases of this concept, the design of a reduced-size prototype that reproduces the same incineration phenomenon as the real-size oven is also proposed.

This study is developed in three correlated phases that consist of: first, bibliographic compilation, state of the art and thermal study in steady state; second, design and engineering; and third, cost analysis.

In the first phase, an exhaustive investigation of crematory ovens available in the Ecuadorian and world market is carried out, as well as a thermal study in steady state for the potential design of refractory wall thicknesses, in order to obtain optimal efficiency at the lowest possible cost. In the second phase, the design itself is accomplished, based on the results obtained in the thermal study and the state of the art, determining technical specifications in a way that allows the development of a conceptual and modular design. This phase is made up of assembly, detail and workshop plans and 3D modeling. And, in the third phase, the total cost of construction and manufacturing of both the real crematory oven and the reduced-size prototype are detailed.

“ESTUDIO Y DISEÑO FUNCIONAL DE UN HORNO CREMATARIO ENERGIZADO TÉRMICAMENTE CON RESISTENCIAS ELÉCTRICAS”

INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La industria ecuatoriana para la cremación de cadáveres utiliza, actualmente, hornos crematorios de combustión, emitiendo gases a la atmósfera. Una parte importante de la contaminación emitida se debe a los gases de combustión mezclados con gases de descomposición orgánica.

El diseño de un horno crematorio, cuya generación térmica sea mediante energía eléctrica, reduce en gran medida la emanación de estos gases contaminantes, productos del combustible, y solamente se emiten gases producidos por la descomposición de la materia orgánica.

Ecuador es uno de los países latinoamericanos más afectados actualmente por la pandemia debida al Covid-19. De acuerdo con los datos oficiales del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, existen más de 476 850 casos positivos y 21 953 fallecidos (Ministerio de Salud Pública, 2021), provocando una crisis en los servicios de salud, forenses y funerarios, los cuales se vieron rebosados.

En el país, sobre todo en ciudades grandes, se registra una ocupación elevada de la capacidad de los camposantos debido a la pandemia que se atraviesa actualmente. Adicionalmente, según Barbieri, la descomposición constante por la sepultura de cadáveres en suelos, especialmente adecuados para estos fines, *“libera contaminantes químicos a base de carbono, amoníaco, cloruro, sulfato, sodio, potasio o restos de tratamientos químicos hospitalarios, como la quimioterapia”* (Barbieri, 2016). Esto repercute negativamente en el terreno y en aguas subterráneas.

Resulta coherente asegurar, por lo mencionado, que el diseño de un horno crematorio eléctrico presenta ventajas ambientales y sociales respecto a los hornos de combustión que el mercado actual ofrece.

ALCANCE

En el presente proyecto se pretende diseñar la estructura funcional de un horno crematorio eléctrico. Estos hornos se conforman de tres partes principales: las cámaras de cremación y post cremación, un reactor térmico o fuente de energía y una chimenea (Aternum Ibérica). Con la idea de utilizar energía eléctrica como fuente de energía del horno crematorio, se presentarán propuestas de diseño de las cámaras (principal y de post cremación) con su debido análisis del espesor de las paredes, para que funcionen con resistencias eléctricas en lugar de combustible. Además, se propone también el diseño de un mecanismo de apertura que posibilite acoplar un recolector y triturador de restos con un controlador automático, de manera que el horno permanezca encendido la mayor cantidad de tiempo posible, y no requiera del operador para extraer los restos.

También, se pretende diseñar lo mencionado de tal manera que se optimice la cantidad de materiales utilizados y los costos que esto represente, para la potencial fabricación del horno o de un prototipo de pruebas de tamaño reducido.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar y diseñar funcionalmente un horno crematorio energizado térmicamente con resistencias eléctricas

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros geométricos del horno crematorio que garanticen su funcionalidad, utilización y seguridad.
- Determinar la funcionalidad e implementación de un mecanismo de recolección y molienda de restos incinerados.
- Determinar los parámetros térmicos, en estado estable, de las cámaras de incineración y post – incineración.
- Establecer los parámetros geométricos de un prototipo de tamaño reducido del horno crematorio eléctrico para actividades de experimentación.
- Realizar un análisis de costos del horno crematorio en tamaño real y de tamaño reducido para su potencial construcción.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Como antecedente al presente Proyecto de Titulación se realizó el estudio de comparación de métodos de energización eléctrica de un horno incinerador. Esta comparación analiza la radiación generada por arco eléctrico en contraste con la generada por resistencia eléctrica. Arias y Bolaños utilizan simulación y experimentación para este análisis, llegando a la conclusión de que el método más deseable para energizar un horno, en ámbitos de potencia y eficiencia, es la radiación generada por resistencia eléctrica. (Arias & Bolaños, 2021)

Este proyecto parte con la premisa de utilizar estas conclusiones como punto de partida para el diseño propuesto. Es debido a esto que no se realiza análisis o comparación alguna entre los métodos de energización eléctrica existentes.

Así mismo, dentro de los objetivos del Proyecto de Transferencia Tecnológica PTT-20-01 se encuentra especificado el deseo de diseñar un horno incinerador patológico eléctrico. Es debido a esto que no se analizan otros métodos de incineración de materia orgánica disponibles actualmente.

1.2. ESTADO DEL ARTE

La Cremación

La incineración o cremación es la destrucción de cadáveres y restos humanos por medio de calor en un horno crematorio y que lleva estos restos a ser reducidos a cenizas. A excepción de los cadáveres contaminados por productos radiactivos, cualquier otro cadáver puede ser incinerado independientemente de la causa del deceso. (Ministerio de Salud Pública, 2021)

En la cámara del horno solo puede entrar un cuerpo y, por normativa ética y legal, está prohibido quemar más de un cuerpo al mismo tiempo. Una cámara de incineración puede alcanzar temperaturas entre 750°C y 1.200°C. Durante el proceso de cremación, el ataúd arde primero, junto con el cuerpo, que evapora toda el agua restante. El cuerpo primero se empieza a deshidratar hasta que se seca y se prende de forma natural. (Barbieri, 2016) Lo primero en incinerarse es el pelo y piel, seguido de los músculos que

se contraen para después ser carbonizados. Los tejidos blandos se convierten en polvo mientras que los huesos se carbonizan. (Ministerio de Salud Pública, 2021)

Mecanismos de transferencia de calor en hornos

Se denomina transferencia de calor al traspaso de energía de un cuerpo hacia otro siempre y cuando exista una diferencia de temperatura entre ambos. En los hornos de cremación pueden existir diferentes mecanismos de transferencia como:

Conducción: se da cuando existe un contacto directo entre los dos objetos. Este fenómeno está caracterizado por la Ley de Fourier en donde establece que la velocidad de transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperatura existente. Este proceso es el más destacado entre los sólidos ya que en los líquidos y gases predomina la convección. En la Figura 1 se presenta un esquema de la transferencia de calor por conducción.

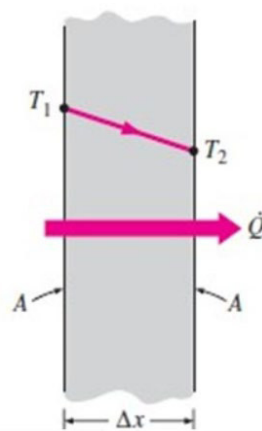


Figura 1. Esquema de transferencia de calor por conducción

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

Convección: se define como la energía transmitida en un líquido o gas como consecuencia del movimiento de las partículas. Este tipo de mecanismo es muy utilizado en la ingeniería debido a que puede usarse como una barrera de aislamiento en tuberías o carcazas de motor. En la Figura 2 se muestra un esquema de la transferencia de calor por convección.

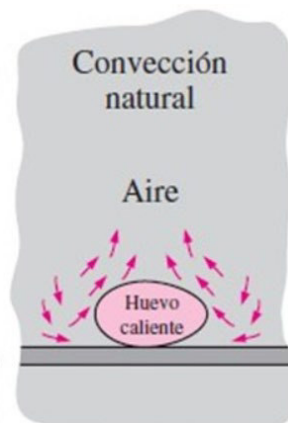


Figura 2. Esquema de transferencia de calor por convección

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

Radiación: es la energía transmitida en todas las direcciones desde un cuerpo que se encuentra a una temperatura dada, a diferencia de la conducción y convección, la radiación no necesita de ningún medio físico para propagarse. En la Figura 3 se muestra un esquema de la transferencia de calor por radiación.

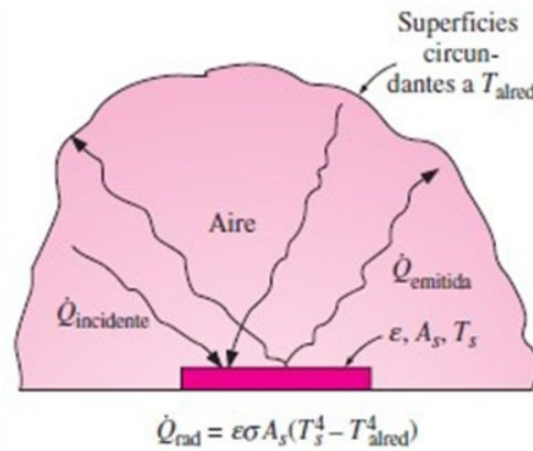


Figura 3. Esquema de transferencia de calor por radiación

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

Tipos de hornos

Hornos eléctricos

Son hornos en los cuales la energía en forma de calor se produce por medio de una corriente eléctrica que atraviesa un conductor, el cual presenta una resistencia que se opone a su paso. El calor producido puede aprovecharse directa o indirectamente, es decir, en el interior del horno o desde la superficie de este. Los hornos eléctricos presentan mayores costos de operación que los hornos de combustión (Universidad Autónoma de Nuevo León, 1990). Sin embargo, presentan algunas ventajas importantes:

- Obtención y variación rápida de temperaturas elevadas que puedan sostenerse por el tiempo necesario y controlarse automáticamente.
- No existe contaminación de la fuente de energía, debido a que no existen productos de combustión.
- Pueden fácilmente eliminarse o añadirse componentes a la fuente de energía.

Hornos de resistencia eléctrica

En este tipo de hornos, la electricidad se convierte en calor debido al paso de la corriente eléctrica a través de una resistencia, la cual, generalmente es compuesta por alambre metálico de cromo, níquel, platino, tungsteno o sus aleaciones. Los alambres se enrollan alrededor de piezas de material refractario o se disponen en el interior de placas refractarias, revestidas superficialmente por un metal. (Pilamonta, 2016)

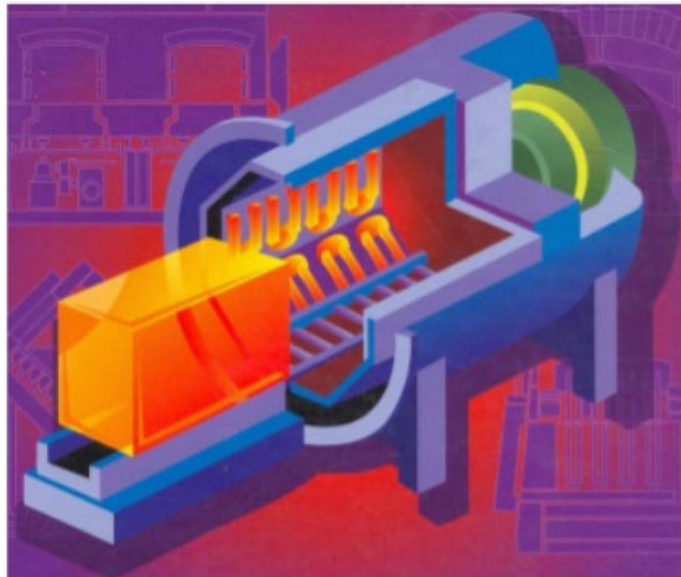


Figura 4. Esquema de horno de resistencias eléctricas.

Fuente: (Pilamonta, 2016)

Hornos de arco

En este tipo de hornos, el calor se obtiene por la energía irradiada o el salto de un arco voltaico entre uno o varios electrodos separados a través de un gas. Normalmente, los materiales utilizados para los electrodos pueden ser metálicos, de carbón o de grafito. (García, 2019)

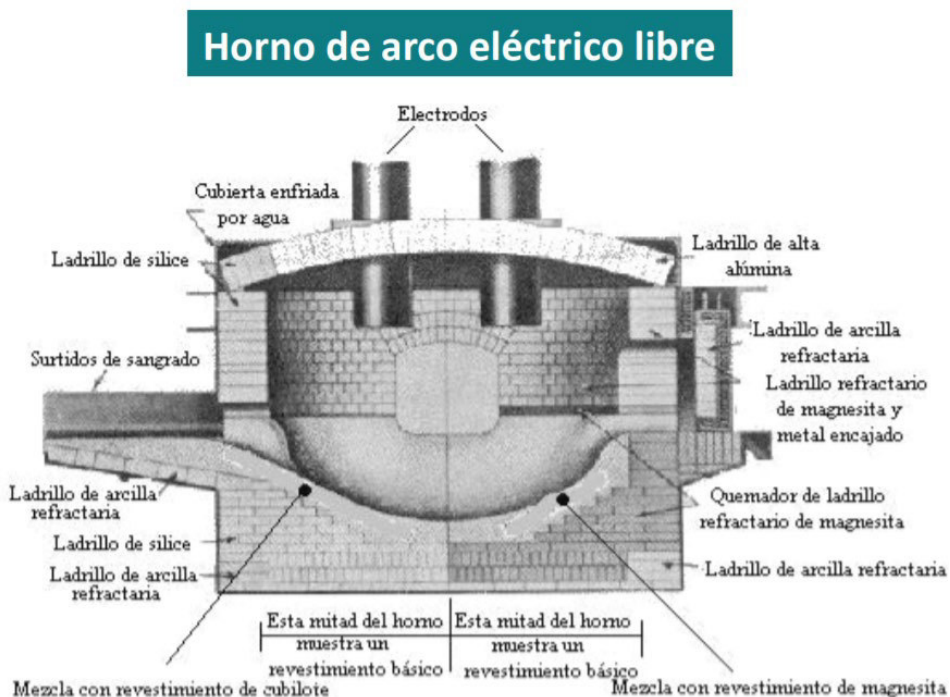


Figura 5. Esquema de horno de arco eléctrico libre.

Fuente: (García, 2019)

Hornos de inducción

Este tipo de hornos está compuesto por dos enrollamientos de alambre de material conductor, tal como un transformador de reducción. La corriente que se induce es debida al campo electromagnético entre dos circuitos, el primario y el secundario. Este último es la fuente de energía del horno, mientras que el circuito primario puede estar construido alrededor del horno. En los hornos de inducción, la variación de temperatura se logra con tan solo regular la tensión del circuito primario. (García, 2019)

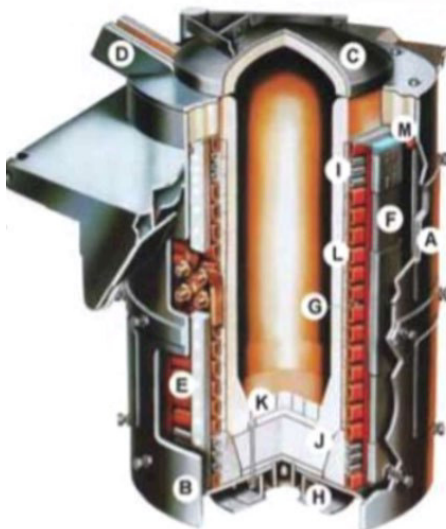


Figura 6. Esquema de horno de inducción.

Fuente: (García, 2019)

Partes de un horno crematorio

Cámara de combustión

Es el lugar, construido de tal manera que permita desarrollar el proceso de cremación del cadáver a través de la energización de los quemadores principales. (Grupo Ambiental GKL SAS, 2019) En el caso de hornos eléctricos, los “quemadores” son reemplazados por resistencias eléctricas, electrodos para arco o enrollamientos de inducción.

Cámara de post-combustión

Esta cámara está diseñada de una forma geométrica particular para asegurar la permanencia de los gases por al menos 2 segundos en su interior. (Grupo Ambiental GKL SAS, 2019) Esto produce una combustión completa de los mismos, con una adición de calor mediante otros quemadores, resistencias o electrodos.

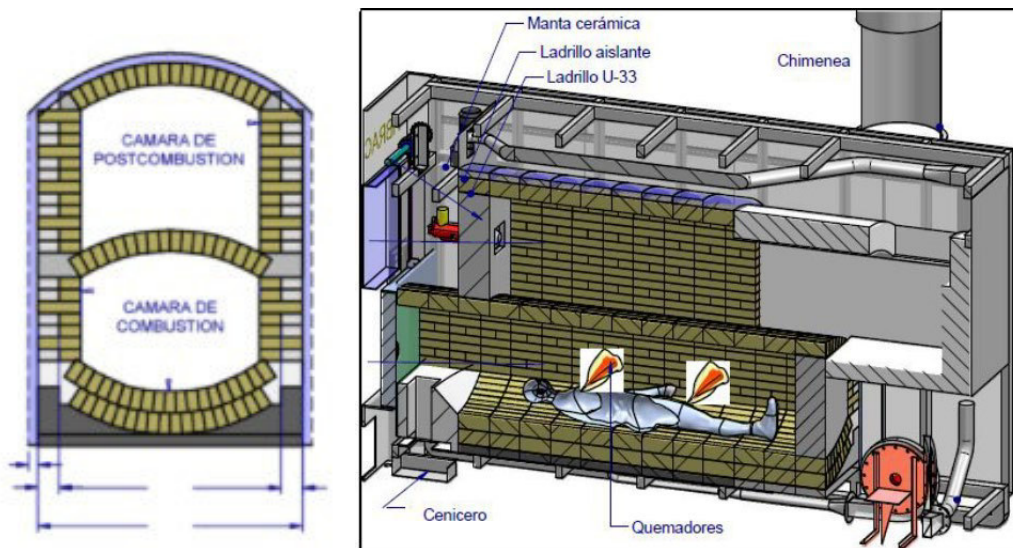


Figura 7. Esquema de distribución de cámaras en un horno de cremación.

Fuente: (Grupo Ambiental GKL SAS, 2019)

Chimenea

La chimenea es el elemento que permite la salida de los gases hacia la atmósfera en condiciones de temperatura tales que se degraden y reduzcan los contaminantes productos de la incineración de la materia orgánica. Debido a esto, su diseño tiende a ser cilíndrico y de gran altura. Además, la chimenea es el sitio donde se colocan medidores de contaminantes. (Gómez, 2015)

La función principal de la chimenea es llevar los gases que se generan debido al proceso de incineración hacia la atmosfera. Para realizar el cálculo de la chimenea es necesario conocer la sección interior, la altura y los materiales que se van a utilizar para su diseño.

Refractarios

Un material refractario se define como “aquel capaz de resistir las temperaturas elevadas sin deterioro de sus propiedades físicas y químicas, así como las condiciones del medio donde opera, durante un periodo de tiempo que resulte económicamente rentable” (Grupo Reyma, 2018). Los materiales refractarios se pueden clasificar según diversos criterios:

- Por su carácter químico: Indica el carácter reactivo del material (ácido, neutro o básico), su comportamiento a alta temperatura y con qué escorias y baños presentarán reacciones químicas.
- Por su composición química: Dependiendo de los porcentajes de constituyentes y aditivos se establecen grupos y subgrupos: sistemas de sílice, sílice-alúmina, materiales aluminosos, en base magnesia, etc., con adiciones de carbón, circonia, carburo de silicio, etc., así como combinaciones de ellos y formulaciones especiales.
- Por su naturaleza química: Clasificación válida para investigación y desarrollo de nuevos productos.
- Por su presentación: Divide los materiales en conformados (ladrillos y piezas prefabricadas) y no conformados (hormigones y materiales varios como, por ejemplo, fibras cerámicas aislantes).
- Por su finalidad: Clasifica los materiales entre densos, expuestos al proceso industrial, y aislantes, cuya misión consiste en mantener el calor dentro de la

unidad para reducir el consumo térmico de combustibles y proteger la carcasa metálica de las altas temperaturas. (Grupo Reyma, 2018)

Materiales refractarios

Los materiales refractarios son aquellos que soportan altas temperaturas sin afectar su estructura, y sin dañar su resistencia y su conductividad térmica. (Souza, 2020)

La selección de los materiales refractarios para una aplicación particular de incineración a alta temperatura debe considerar los siguientes criterios:

1. **Temperatura:** Deben demostrar una clasificación de resistencia a la temperatura superior a la temperatura máxima de servicio esperada en el proceso. El refractario típico elegido para los procesos de incineración exhibiría una clasificación de temperatura de no menos de 900 °C.
2. **Atmósfera:** Deben poseer características que aseguren una operación exitosa en condiciones de servicio tanto reductoras como oxidantes. El refractario elegido para los procesos de incineración sería de una estructura de grano fino con mínimas impurezas de hierro en el material.
3. **Resistencia a la escoria:** Deben ser resistentes a la penetración y adhesión de escoria o metales fundidos que puedan entrar en contacto con la superficie del refractario durante la operación. El refractario elegido para los procesos de incineración sería de una estructura de grano fino de alta densidad.
4. **Resistencia a la abrasión:** El refractario elegido para áreas de alta abrasión dentro de los procesos de incineración exhibiría una estructura de grano extremadamente fino y/o una composición de carburo de silicio, dependiendo de la severidad de la abrasión y la temperatura de trabajo.
5. **Disposición física:** la elección entre ladrillo refractario y concreto refractario moldeable debe hacerse para adaptarse a las diversas formas de cámaras, conductos y aberturas deseadas en el sistema. El refractario típico elegido para los procesos de incineración podría ser ladrillo refractario o concreto refractario moldeable. (Nissen, 2002)

Ladrillos refractarios

La composición química de los refractarios es diferente a la de los ladrillos normales, lo que también influye en el color y su conductividad térmica. Están compuestos por arcilla que contiene principalmente alúmina y sílice, elementos capaces de soportar altas temperaturas. Cuanta más alúmina tenga la mezcla, mayor será la temperatura que soportará el ladrillo y más cara resultará la pieza, lo que será imprescindible en usos industriales. (Souza, 2020)

Tabla 1. Propiedades del ladrillo refractario aislante.

Propiedades del Ladrillo refractario aislante			
Temperatura Equivalente	Densidad Volumétrica	Resistencia a la compresión	Conductividad Térmica
(°C)	(g/cm³)	(Mpa)	(k-cal/mK)
1665	0,56 - 0,64	1 - 1,6	0,266

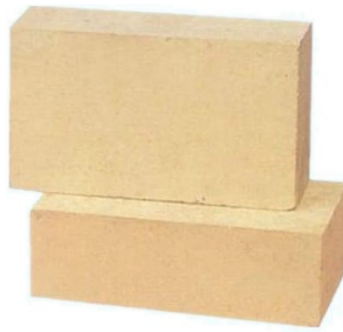


Figura 8. Ladrillo refractario.

Fuente: (Arango, 2010)

Mortero refractario

Además de los bloques de ladrillo, el mortero utilizado también debe soportar altas temperaturas. Suelen estar compuestos por agregados especiales como vermiculita y arcilla refractaria. Al igual que los ladrillos, también puede contener alúmina (Al_2O_3), mullita - zirconia, entre otros. (Souza, 2020)



Figura 9. Mortero refractario.

Fuente: (Refractarios de Colombia, 2020)

Concreto refractario

El concreto refractario es una mezcla seca para hacer concreto con alto porcentaje de alúmina. Ideal para aplicaciones en zonas donde la temperatura no exceda 1500 °C. Conserva sus propiedades mecánicas a altas temperaturas, posee alta refractariedad, resistente a la abrasión y corrosión química. (Refractarios de Colombia, 2020)



Figura 10. Concreto Refractario

Fuente: (Refractarios de Colombia, 2020)

Tabla 2 Propiedades del concreto refractario.

Propiedades del concreto refractario			
Máxima Temperatura	Densidad volumétrica	Resistencia a la compresión	Conductividad Térmica
(°C)	(g/cm ³)	(Mpa)	(k-cal/mK)
1240	1,36 - 1,41	4,5 - 5,5	0,419
Presentación en sacos de 25 y 30 kg			

1.3. Benchmarking

Hornos existentes en el mercado nacional

En el Ecuador no existen compañías que se dediquen a la construcción de hornos crematorios de combustión ni eléctricos. La mayor cantidad de funerarias en el país importan hornos de combustión, desde Argentina, España, Francia, Brasil, Italia y Colombia, para cremación de humanos. Los hornos crematorios eléctricos solamente están presentes en el mercado nacional para la cremación de mascotas, pequeños animales y desechos hospitalarios.

En la Figura 11 se enlistan las ciudades del Ecuador que cuentan con crematorios, solamente de combustión.

Crematorios a Nivel Nacional		
Federación de Funerarias del Ecuador – Sr. Sebastián Barona: 0999456513 / 022432515		
Provincia - Ciudad	Funeraria / Crematorio	Contacto
Guayas - Guayaquil	Parque de La Paz	043709800
Guayas - Guayaquil	Jardines de La Esperanza	0985752905
Guayas - Guayaquil	Junta de Beneficencia	042324060
Pichincha - Quito	Memorial	022978200
Pichincha - Quito	Jardines del Valle	0996275584
Pichincha - Quito	Monteolivo	022462005
Pichincha - Quito	La Paz	0994279361
Pichincha - Quito	Sociedad Funeraria Nacional	022564479
Loja - Loja	Funeraria Jaramillo	072573750
Tungurahua - Ambato	Funeraria Meléndez	0992741987
Tungurahua - Ambato	Funeraria Guerrero	0994984608
Azuay - Cuenca	Camposanto Santa Ana	072888393
Manabí - Manta	Funeraria Santa Marianitas	052620605
Manabí - Portoviejo	Jardines de Manabí	0993237550 / 052441063

Figura 11. Crematorios a nivel nacional.

Fuente: (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2020)

Hornos existentes en el mercado extranjero

Se obtuvo información de tesis, catálogos y artículos que detallan las características de algunos hornos disponibles en el mercado.

Caltec, Hornos Industriales (Argentina)

- Estas unidades son de una robusta construcción y además aseguran una larga vida útil del revestimiento refractario.
- Debido al buen equilibrio que existe entre la calidad de los materiales y la estabilidad dimensional de la estructura, aun en caliente.
- Puerta de guillotina automática o abisagrada manual.
- Control de procesos mediante PLC's o lógica de relés.

- Piso de ladrillos de hormigón o ladrillo refractarios.
- Diseño estructural autoportante con cámara secundaria de post - combustión.
- Promedio de cremaciones de 16 – 24 diarias.
- Potencia instalada: 500 000 kcal/hora.
- Combustible estándar: Gas Natural - Caudal: 55 m³/Hora - Presión 160 mbar.
- Alimentación eléctrica 3 x 380 V + neutro / 3 x 220 V (opcional).
- Entrada de agua para disminución de temperatura por emergencia.
- Tiempo de cremación de 60 – 90 min.

(CALTEC, 2021)



Figura 12. Horno CALTEC.

Fuente: (CALTEC, 2021)

Mathews Environmental Solutions (Italia)

Mathews Environmental Solutions produce hornos con capacidades desde 12000 kg usando gas natural como combustible. Todo su sistema es controlado de forma automática mediante un computador y cuenta con un revestimiento de acero inoxidable (Mathews Environmental Solutions, 2015)

Características del horno:

- Ideal para crematorios nuevos o de bajo volumen.
- Tiempo de cremación máximo 160 min.
- Dimensiones: altura total: 2,54 m, ancho total: 2,01m, longitud total: 4,47 m
- Peso: 23 400 lb. (10 614,1 kg)
- Combustible: gas natural o GLP
- Sistema Eléctrico: 230 voltios, monofásico / trifásico

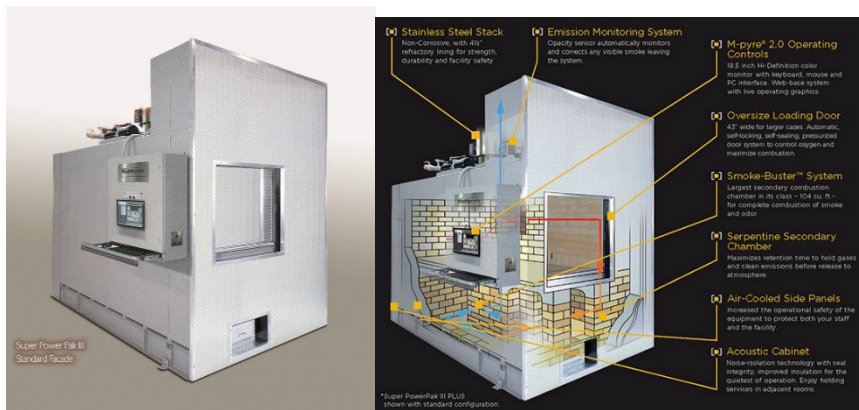


Figura 13. Esquema de horno incinerador.

Fuente: (Matthews Environmental Solutions, 2015)

Emison (España)

El principio de funcionamiento de estos hornos se basa en la descomposición pirolítica, quemando la materia orgánica, que desaparece en forma de gases no contaminantes. El funcionamiento es continuo con cargas sucesivas, manteniendo el horno a la temperatura adecuada.

- Cámara de combustión construida con hormigones refractarios de alta resistencia mecánica.
- Aislamiento mediante fibras minerales y cerámicas de baja masa térmica y gran poder calorífico.
- A la salida de la cámara de combustión los gases pasan por la cámara de postcombustión, un tratamiento con urea y un enfriamiento con aire.
- Puerta de apertura automática, de guillotina, accionada mediante un cilindro neumático o hidráulico.
- Control del horno a través de un microprocesador que se encarga de todas las operaciones.
- Control de temperatura de la cámara está asegurado por uno o más reguladores electrónicos con visualizador digital.

(Emison, 2018)



Figura 14. Horno incinerador.

Fuente: (Emison, 2018)

Mathews Environmental Solutions (Italia)

Lo último en tecnología de cremación ha sido investigada por la industria Matthews. La tecnología Bio Cremation (hidrolisis alcalina) reemplaza el uso de la llama con la utilización de agua, mezclada con una solución alcalina de hidróxido de potasio (KOH).

El cuerpo humano se coloca en una cámara de cremación de acero inoxidable a presión, donde se agrega agua y álcali automáticamente, y la temperatura se eleva a 350 °F (175 °C). El agua, el álcali, el calor y la presión circulan suavemente sobre el cuerpo, causando una reacción que provoca el proceso de cremación. En la Figura 16 se presenta un esquema del proceso de cremación por hidrólisis alcalina. (Matthews Environmental Solutions, s.f.)



Figura 15. Horno Bio Cremation.

Fuente: (Matthews Environmental Solutions, s.f.)

Hidrólisis alcalina

Este aparato diseñado en Escocia es un dispositivo que permite deshacerse de los restos humanos de una forma más ecológica que la cremación o el entierro.

- 1 El cuerpo es colocado en el resomator y automáticamente es pesado por las celdas de carga.
- 2 Se corrigen las cantidades de agua y de hidróxido de potasio, y el contenedor se calienta a 180 °C.
- 3 Después de tres horas el cuerpo se reduce a líquido y calcio fino.
- 4 El calcio fino y comprimido regresa a los familiares como ceniza.

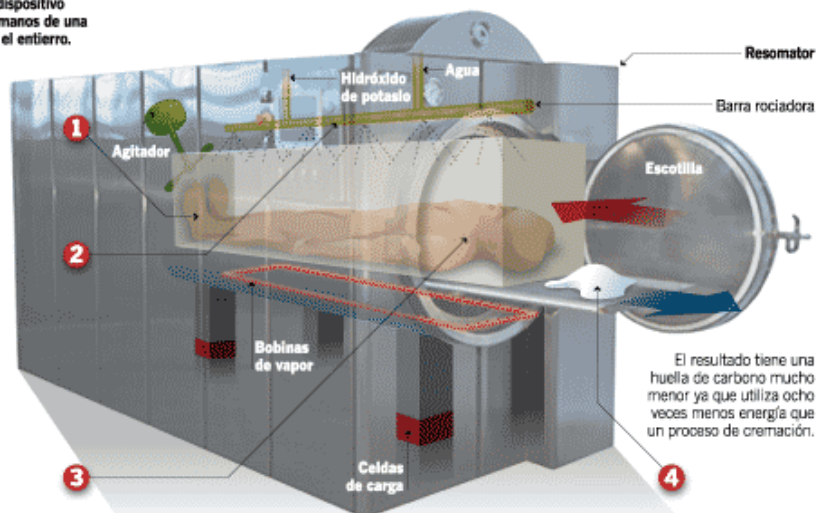


Figura 16. Incineración por hidrólisis alcalina

Fuente: (El Universo, 2010)

2. METODOLOGÍA

Determinación de las especificaciones de la máquina

Consideraciones en la determinación de las especificaciones técnicas de la máquina

El diseño planteado en este trabajo de titulación está enfocado en satisfacer el requerimiento solicitado en el Proyecto de Transferencia Tecnológica PTT-20-01, de la Escuela Politécnica Nacional, el cual consiste en obtener un incinerador eléctrico con un diseño simplificado, una cámara de incineración y una de post incineración, un método de recolección de restos y una chimenea.

Casa de la calidad

La casa de la calidad asiste con la documentación formal del desarrollo lógico a través de la superposición de matrices, donde se traducen las necesidades del usuario en características específicas del producto o máquina. Esta herramienta permite, entre otras cosas, entender mejor las prioridades de los clientes y buscar responder innovadoramente dichas necesidades.

Voz del usuario

De acuerdo con el criterio del usuario, el horno debe contar con las siguientes características:

- Tamaño moderado
- Fácil accionamiento
- Mínimo mantenimiento
- Tiempo de incineración máximo 150 min
- Fácil ingreso del cuerpo
- Trabajo silencioso
- Uso de energía de fácil acceso
- Menor consumo energético
- Mínima contaminación
- Poseer un buen aislante
- Seguridad para el operador

Voz del ingeniero

Una vez conocidos los deseos del usuario se procede a transformar en características técnicas, como:

- Volumen de la cámara
- Fácil operatividad
- Niveles de ruido
- Seguridad industrial
- Fuente de energía
- Tiempo de operación
- Tamaño
- Control ambiental
- Eficiencia

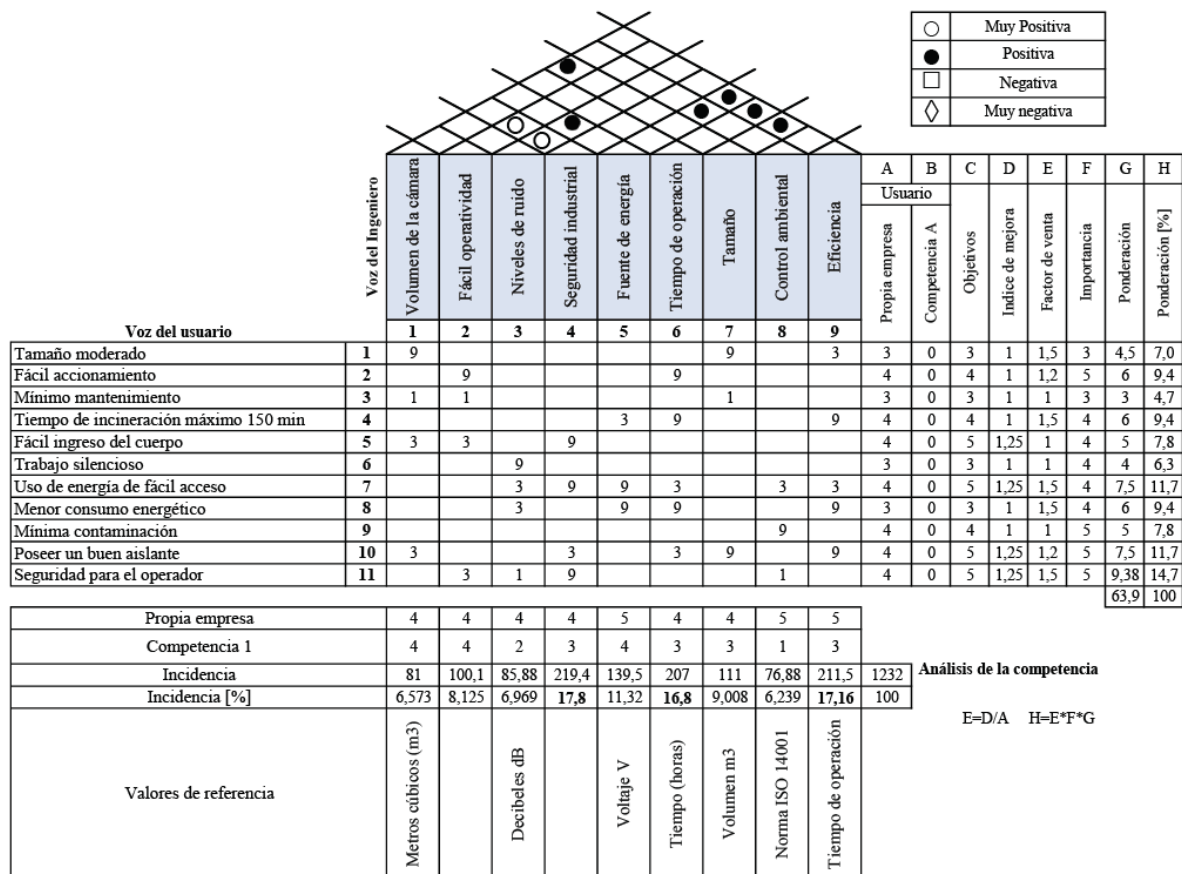


Figura 17. Casa de la calidad.

Fuente: Propia. Anexo 1

Conclusiones de la casa de la calidad

El desarrollo de la casa de la calidad permite obtener información de gran importancia respecto a las especificaciones técnicas que se requiere diseñar y que busca satisfacer con los requerimientos del cliente.

Los requerimientos de más alta importancia para el cliente son:

- Menor consumo energético: Es necesario reducir los costos de operación usando energías de fuentes renovables.
- Mínima contaminación: Es uno de los pedidos más importantes del usuario debido a que se debe cumplir con la reglamentación ambiental para la utilización de incineradores, así como el tratamiento de los gases de post incineración para reducir la contaminación ambiental.
- Poseer un buen aislante: El aislante térmico es esencial para aumentar la eficiencia térmica y disminuir el tiempo de incineración.
- Seguridad para el operador: El desarrollo de toda máquina en la actualidad tiene como objetivo mejorar la seguridad del operador. Un horno incinerador no está exento de este objetivo debido a que trabaja a temperaturas elevadas.

Especificaciones Técnicas

Como parte del Proyecto de Transferencia Tecnológica PTT-20-01, se propone el diseño experimental de un horno incinerador energizado con resistencias eléctricas. Se decide por la construcción de un prototipo experimental de tamaño reducido que garantice el correcto funcionamiento del horno de tamaño real. La decisión de construir un prototipo

de tamaño reducido es debida al costo. En la Tabla 3 se detallan las especificaciones técnicas correspondientes.

Tabla 3. Especificaciones técnicas

Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C	D	Elevar la temperatura interna hasta 1200 °C para una adecuada incineración. Controlar automáticamente la variación de temperaturas. Permitir ingreso de féretro a través de compuerta de acceso. Evitar contaminación ambiental a través de cámara secundaria. Recolección automática de restos. Enfriar gases de escape a través de una chimenea.
Materiales	I	R	Material refractario, aislante y carcasa metálica.
Señales y control	I	R	Control para mantener temperatura a 1200 °C en el tiempo de incineración. Sistema de control para mecanismo de recolección de restos.
Capacidad	C	R	Tamaño real: Incinerar un (1) féretro que incluye cadáver, en un tiempo máximo de 150 minutos. Prototipo de tamaño reducido: Se propone la incineración de una masa de ~25 kg que pueda representar el fenómeno lo más claramente posible.
Dimensiones	I	D	Tamaño real: Dimensiones necesarias para la incineración completa de un féretro con cadáver. Prototipo de tamaño reducido: Dimensiones de menor magnitud, manteniendo los espesores de pared aislante. Los detalles de dimensiones se representan en los planos adjuntos.
Mantenimiento	I	D	Mantenimiento de componentes de control eléctricos y electrónicos.
Aspecto Ambiental y Legal	C+I	R	Cumplir normativa ambiental para control de olores y humo (ISO 14001).

Ref.: C = Cliente; I = Ingeniero; R = Requerimiento; D = Deseo.

2.1. Análisis funcional y Diseño Conceptual.

2.1.1. Análisis Funcional

El análisis funcional es un método que identifica las funciones principales y secundarias del producto a diseñar. Las funciones primarias son aquellas por las que el cliente compra el producto. Las secundarias son aquellas que permiten que la función primaria se ejecute satisfactoriamente. Una vez determinadas todas las funciones secundarias

se procede a plantear posibles soluciones que sean convenientes para desempeñar dichas funciones, para proceder a seleccionar la más viable.

Estas funciones son después agrupadas y desglosadas en módulos lo cual varía con el diseño de cada máquina.

Función Global del producto

La función global de un producto es definida como un sistema que representa la tarea global que cumple el producto a ser diseñado. Se simboliza como una caja negra que permite relacionar los flujos de entrada y de salida. En el caso de este proyecto de diseño se tiene la función global definida en la Figura 18.

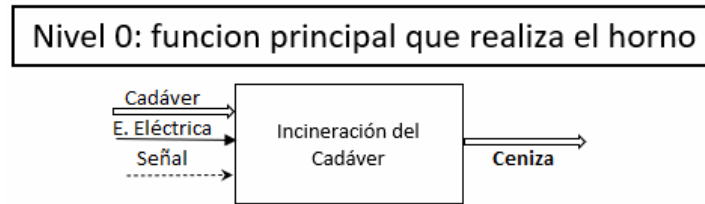


Figura 18. Función global.

Fuente: Propia.

2.2. Estructura Funcional

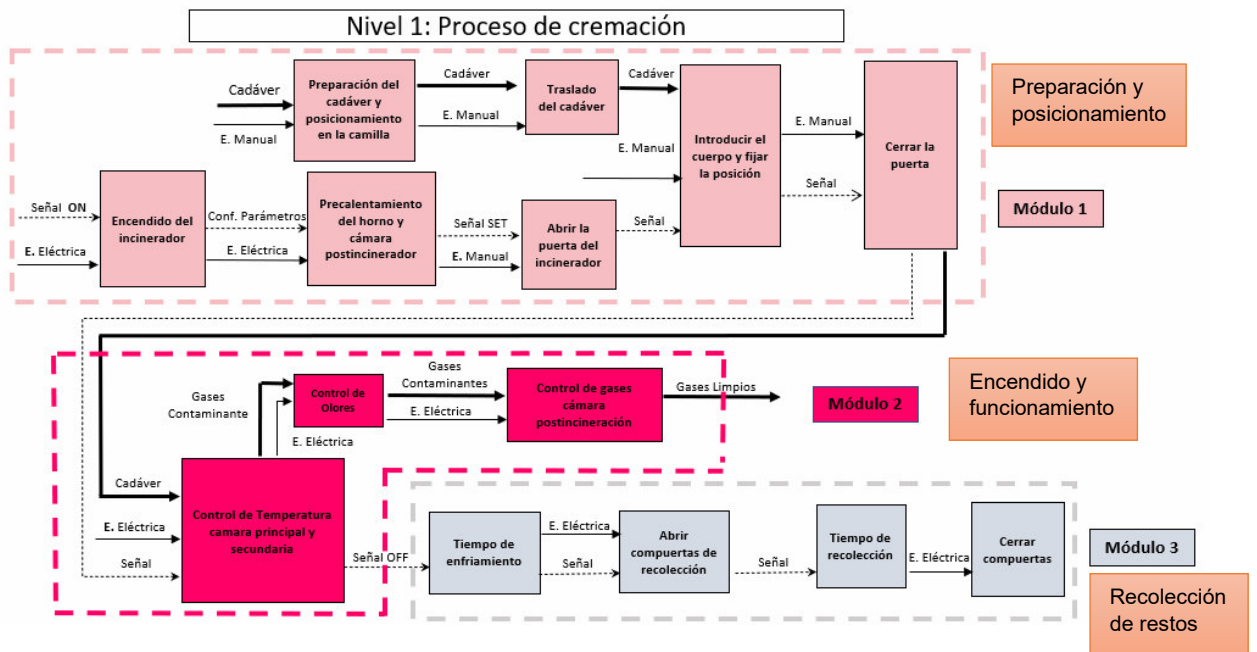


Figura 19. Estructura funcional del nivel 1.

Fuente: Propia

2.3. Diseño Modular

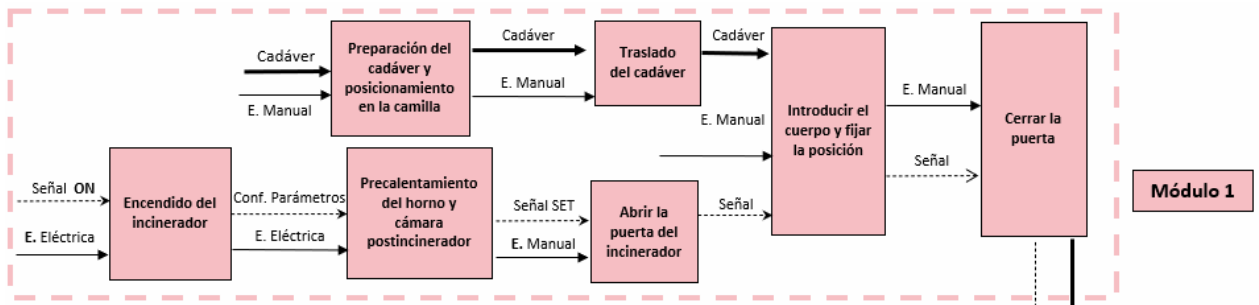


Figura 20. Módulo 1

Fuente: Propia

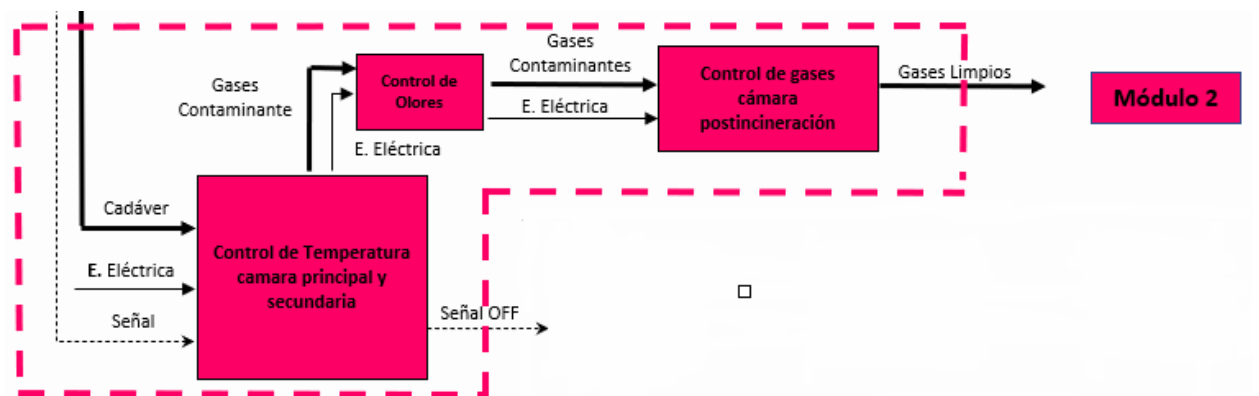


Figura 21. Módulo 2

Fuente: Propia

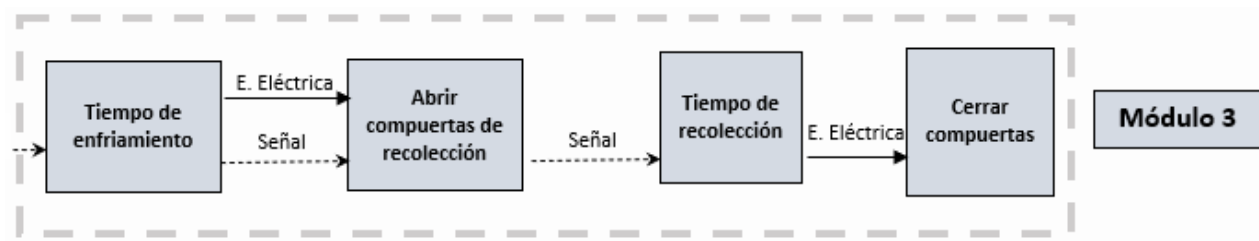


Figura 22. Módulo 3

Fuente: Propia

2.3.1. Módulo 1: Preparación y posicionamiento

Este módulo cumple las siguientes funciones:

- Preparación del cadáver y posicionamiento en camilla
- Traslado del cadáver
- Apertura de la puerta del horno incinerador
- Introducción del cuerpo y fijación de la posición
- Cierre de la puerta del horno incinerador

A continuación, se proponen las posibles soluciones de cada una de estas funciones para luego combinarlas y establecer diferentes opciones de módulos.

Preparación del cadáver y posicionamiento en la camilla

Al cadáver o al féretro se lo recibe en camillas de acero inoxidable propias de las funerarias.

Traslado del cadáver

Esta etapa debe garantizar que el cadáver sea movilizado por el operador de una manera sencilla, segura y represente el menor esfuerzo por parte del mismo.

Carro camilla mortuoria simple

En la Figura 23 se representa un carro camilla mortuorio simple como solución a las funciones descritas.



Figura 23. Carro camilla mortuoria simple.

Fuente: (Roundfin, 2021)

Ventajas

- Fácil de manipular para desbloquear las barandillas.
- Altura del asidero de la camilla entre 91 y 122 cm.
- Fácil disponibilidad en el mercado.
- Capacidad de hasta 150 kg.

Desventajas

- Movilización y transferencia manuales del cadáver.

Carro camilla mortuoria con rodillos y freno

En la Figura 24 se representa un carro camilla mortuoria hidráulico con rodillos.



Figura 24. Carro camilla mortuoria con rodillos.

Fuente: (Medical EXPO, 2021)

Ventajas

- Fácil traslado del féretro y frenado de ruedas.
- Altura del asidero de la camilla entre 26 y 180 cm.
- Fácil disponibilidad en el mercado.
- Capacidad de hasta 200 kg.
- Fácil movilización del féretro.

Desventajas

- Elevado costo.
- Mantenimiento continuo.

Encendido del incinerador

Esta actividad será realizada manualmente mediante el accionamiento de un pulsador ON en el tablero de control.

Pre calentamiento de las cámaras de incineración y post incineración

Este proceso permite que el horno llegue a una temperatura óptima de funcionamiento.

Apertura y cierre de las compuertas del horno incinerador

La apertura y cierre de la compuerta principal del horno se las realizará de manera manual.

Para estas funciones se tienen las siguientes opciones:

Introducción del cuerpo y fijación de posición.

Introducción manual

Ventajas

- No se necesita maquinaria adicional.

Desventajas

- Requiere de esfuerzo manual.
- Riesgo de quemaduras.

En la Figura 25 se representa el proceso de introducción manual.



Figura 25. Introducción manual.

Fuente: (Cruz, 2020)

Rieles extraíbles propios de la camilla.

Ventajas

- Presentes en ciertos modelos de camillas.
- Incluye soportes de levantamiento del féretro.
- Mayor seguridad para el operario.

Desventajas

- Sujetas a corriente eléctrica.
- Necesidad de amplio espacio disponible.
- Costo adicional de mantenimiento.

En la Figura 26 se muestra un carro mortuario extraíble con rieles.



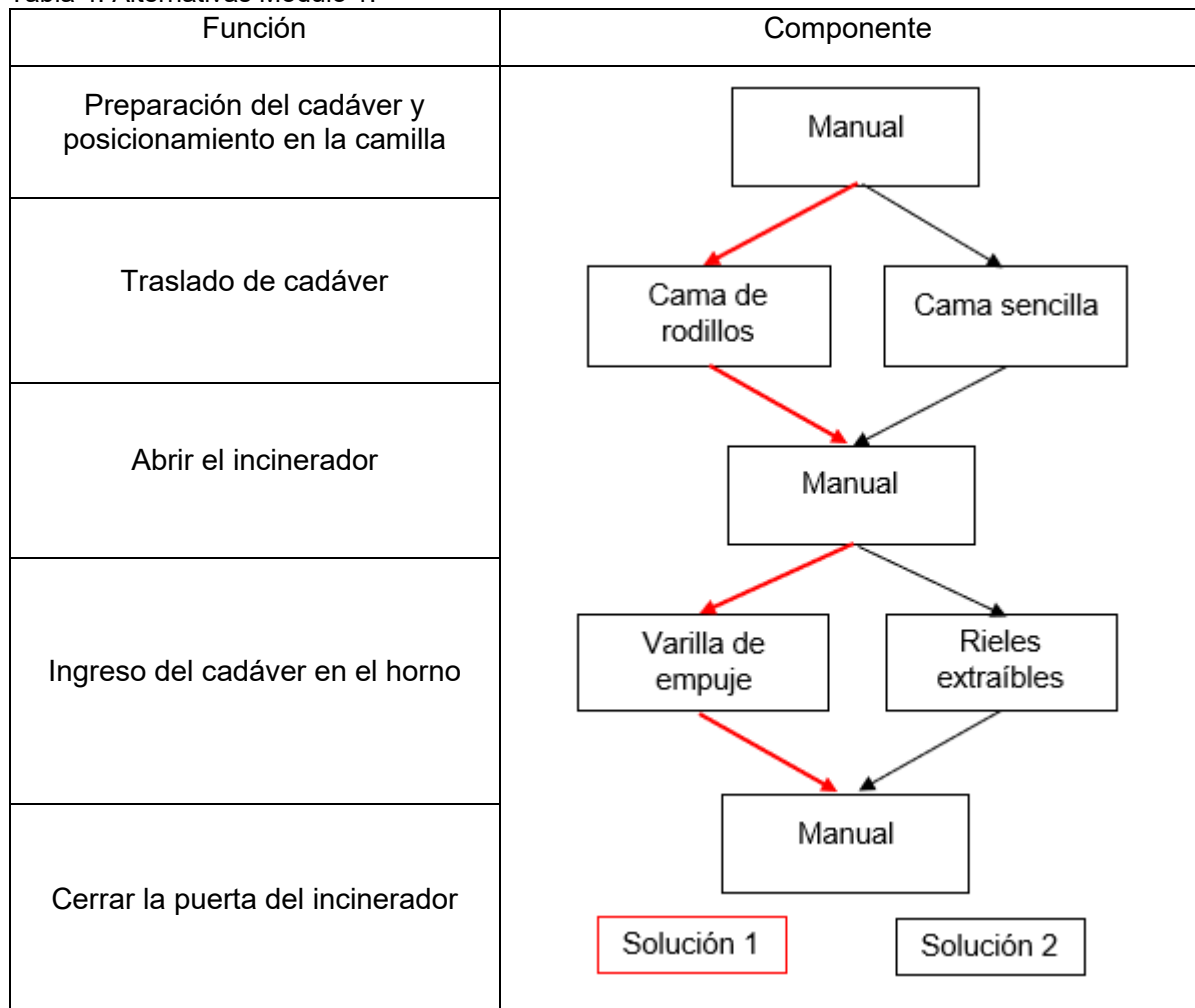
Figura 26. Carro mortuario autoextraíble.

Fuente: (Hermida, 2020)

Alternativas del módulo 1

Para determinar diferentes alternativas de módulos se combinan las soluciones para escoger la más conveniente.

Tabla 4. Alternativas Modulo 1.



Evaluación y Selección del Módulo 1

Para la determinación de la solución más conveniente respecto a las camillas a elegir, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Lista de los criterios de valoración para el módulo 1:

- Fácil ingreso del cuerpo
- Resistencia a la carga
- Costo de materiales
- Fácil adquisición

Tabla 5. Evaluación de cada criterio.

	Fácil ingreso del cuerpo	Resistencia a la carga	Costo de materiales	Fácil adquisición	$\Sigma+1$	Ponderación
Fácil ingreso del cuerpo		1	0.5	0.5	3	0.26
Resistencia a la carga	0.5		0.5	0.5	2.5	0.22
Costo de materiales	1	1		0	3	0.26
Fácil adquisición	1	1	0		3	0.26
				Suma	11.5	1

Fácil ingreso del cuerpo > resistencia a la carga, fácil adquisición = costo de materiales.

Se evalúa cada solución con respecto a los criterios, desde la Tabla 6 hasta la Tabla 9.

Tabla 6. Evaluación de las soluciones respecto a Fácil ingreso del cuerpo.

Fácil ingreso del cuerpo	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.57
Solución 2	0.5		1.5	0.43
			3.5	1
Solución 2 > Solución 1				

Tabla 7. Evaluación de las soluciones respecto a Resistencia a la carga.

Resistencia a la carga	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.57
Solución 2	0.5		1.5	0.43
			3.5	1
Solución 1 > Solución 2				

Tabla 8. Evaluación de las soluciones respecto a Costo de materiales.

Costo de materiales (más barata)	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.43
Solución 2	1		2	0.57
			3.5	1
Solución 2 > Solución 1				

Tabla 9. Evaluación de las soluciones respecto a Fácil adquisición.

Fácil adquisición	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.5
Solución 2	1		2	0.5
			4	1
Solución 1 = Solución 2				

Finalmente, se presentan las conclusiones en la Tabla 10.

Tabla 10. Tabla de conclusiones para el módulo 1

Conclusiones	Fácil ingreso del cuerpo	Resistencia a la carga	Costo de materiales	Fácil adquisición	Σ	Prioridad
Solución 1	0.57	0.57	0.43	0.5	2.07	1
Solución 2	0.43	0.43	0.57	0.5	1.93	2

Según los resultados dados en la Tabla 10, la **Solución 1** es la más adecuada para satisfacer los criterios de evaluación.

2.3.2. Módulo 2: Encendido y funcionamiento

Este módulo cumple las siguientes funciones:

- Encendido del incinerador.
- Pre calentamiento del horno incinerador.

- Control de la temperatura en cámaras principal y secundaria.
- Control de olores.

Control del horno incinerador

Control con tablero táctil electrónico

Ventajas

- Todas las operaciones se encuentran compactas en una sola pantalla.

Desventajas

- Riesgo de daños en la pantalla y alteración de funciones.
- Daño de todo el sistema por una falla.



Figura 27. Tablero táctil. Control con tablero táctil.

Fuente: (GB Ingeniería, s.f.)

Control con panel de pulsadores

Ventajas

- Fácil cambio de pulsadores en caso de fallo.
- Fácil manejo e instalación.
- Económico.

Desventajas

- Riesgo de cortocircuito.



Figura 28. Panel con pulsadores.

Fuente: (CALTEC, 2021)

Pre calentamiento y calentamiento del horno

A continuación, se presentan las posibles soluciones para la función de pre calentamiento y calentamiento.

Resistencias de Niquelina de Cuarzo



Figura 29. Resistencia eléctrica de cuarzo

Fuente: (Resistencias del Oriente Ltda., 2021)

Ventajas

- Eficiente.
- Altas temperaturas 1300 °C.
- Pueden ser controlados.

Desventajas

- Costos de fabricación más elevados.

Resistencias Eléctricas Khantal A1



Figura 30. Resistencias eléctricas Khantal A1

Fuente: (ANPER Ceramics, s.f.)

Ventajas

- Resistente hasta los 1400 °C.
- Antioxidantes.
- Fácil manejo

Desventajas

- El cable necesita ser bobinado (construido) en el sitio.
- Mayor costo de instalación.

Control de Temperatura

Termopar tipo S



Figura 31. Termopar tipo S

Fuente: (Prosondas, 2016)

Ventajas

- Resistente hasta los 1600 °C.
- Rango de medición (-50 a 1500 °C)
- Precisión de 1 °C.

Desventajas

- Necesita protección y aislantes para su uso.

Este trabajo de titulación no contempla la decisión de seleccionar elementos de control eléctrico ni elementos sensores dentro de su alcance. Por lo tanto, **no** se elaboran matrices morfológicas de elementos de esta índole. Sin embargo, dados los estudios del área eléctrica y de potencia dentro del Proyecto PTT-20-01 (Flores & Mena, 2022), se determina que los sistemas adecuados para los elementos descritos son los siguientes:

- Control del horno incinerador: PLC LOGO Módulo 8.3, con un tablero de pulsadores sencillo.
- Precalentamiento y calentamiento del horno: conjunto de resistencias eléctricas de níquelina de cuarzo.
- Control de temperatura: termopar tipo S.

Control de olores y gases

Chimenea

Según un Acuerdo Ministerial del Ministerio del Ambiente y Agua ecuatoriano, bajo la Norma Ambiental Ecuatoriana, en su Anexo 4, señala los Límites Máximos Permisibles (LMP) de emisiones de contaminantes gaseosos para instalaciones de incineración de desechos. Este Acuerdo Ministerial no aprobado se fundamenta en Decreto español 239/2011 con el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y se crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía. El horno diseñado en este proyecto requiere cumplir estos LMP, mostrados en la Figura 32.

CONTAMINANTES	UNIDADES	NIVELES DE EMISIÓN
Partículas sólidas	mg/Nm ³	50
SO ₂	mg/Nm ³	200
NO _x (como NO ₂)	mg/Nm ³	600
CO	mg/Nm ³	625
Flúor total (como HF)	mg/Nm ³	10
Cloro total (como HCl)	mg/Nm ³	10
SH ₂	mg/Nm ³	10
Opacidad	Bacharach	2
Opacidad	Ringelmann	1

Figura 32. Tabla de LMP de emisiones contaminantes

Fuente: (Junta de Andalucía, 2011)

Según Gómez, la opción más adecuada para diseñar la chimenea de un horno incinerador que cumpla con los LMP mostrados, medidos en lugares específicos de la chimenea, es la forma de un cilindro hueco vertical, recubierto de material refractario que tenga una longitud de al menos diez diámetros. (Gómez, 2015) El esquema de lo mencionado se presenta en la Figura 33. Sin embargo, este esquema no refleja la altura real necesaria que precisará la chimenea para cumplir su función adecuadamente. Esta altura se presenta en la sección 2.5.3 Cálculos chimenea.

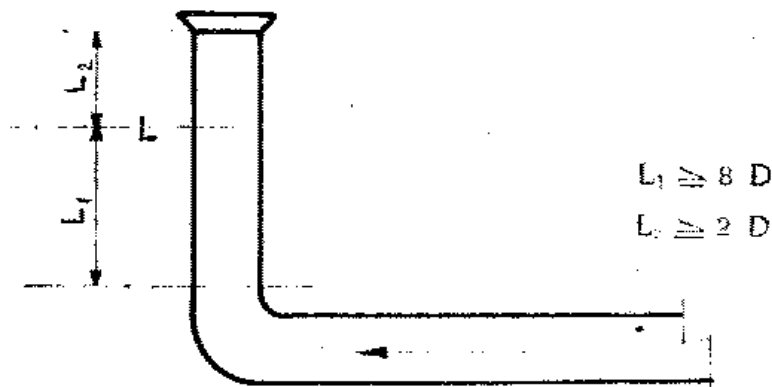


Figura 33. Esquema de longitud de chimenea

Fuente: (Gómez, 2015)

Ventajas:

- Adecuada degradación de los gases contaminantes emitidos.
- Posibilidad de adecuación de elementos de medición de contaminantes.
- Bajo costo relativo.

Desventajas:

- Ligera complejidad de construcción.
- Gran altura necesaria.

2.3.3. Módulo 3: Recolección de restos

Para este módulo se presentan dos soluciones, las cuales son parte de un mecanismo capaz extraer las cenizas del cuerpo sin necesidad de abrir la compuerta principal.

En la Solución 1, las compuertas giran a través de un eje que debe rotar un mínimo de 70° para permitir que las cenizas caigan por efecto de la gravedad hacia una tolva que se encuentra ubicada en la parte inferior del horno, por debajo de la cámara principal. En la Figura 34 se muestra un esquema de la Solución 1.

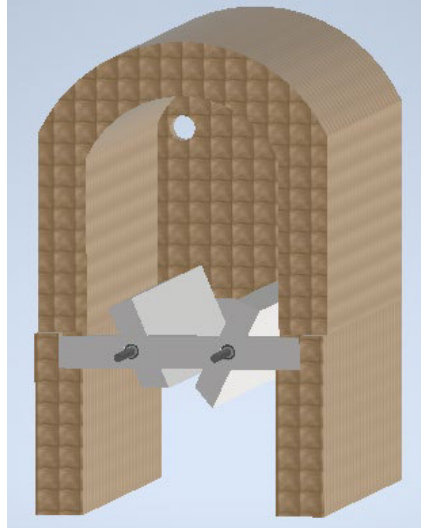


Figura 34. Esquema compuertas giratorias.

Fuente: Propia

La Solución 2 consiste en un mecanismo de compuerta deslizante, que se desplazará hacia el lateral de la cámara principal abriendo así el espacio para que los restos caigan a la misma tolva mencionada anteriormente. En la Figura 35 se muestra un esquema de la compuerta corrediza.

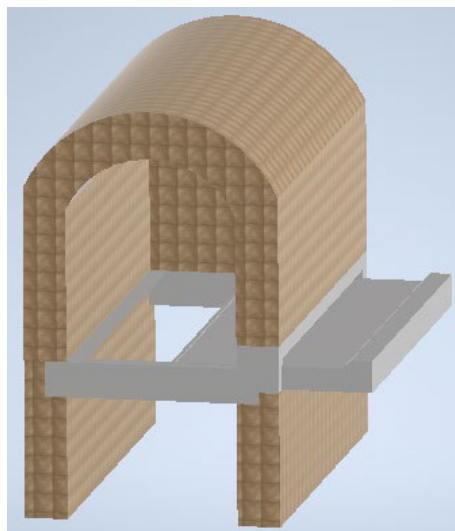


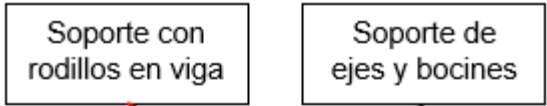
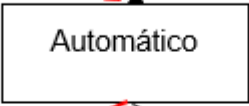
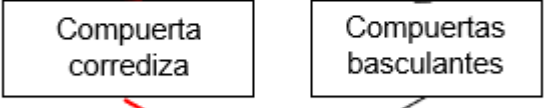

Figura 35. Esquema compuerta corrediza.

Fuente: Propia

Alternativas del módulo 3

Para determinar diferentes alternativas de módulos se combinan las soluciones para escoger la más conveniente.

Tabla 11. Alternativas Modulo 3.

Función	Componente
Soporte de féretro con cadáver durante el tiempo de incineración	
Abrir compuerta inferior	
Evacuación de restos incinerados	
Cerrar compuerta inferior	

Evaluación y Selección del Módulo 3

Para la determinación de la solución más conveniente respecto a la compuerta de evacuación de restos, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Lista de los criterios de valoración para el módulo 3:

- Resistencia de los materiales a la temperatura
- Resistencia a la carga
- Costos de fabricación
- Espacio necesario

En la Tabla 12 se evalúan los criterios anteriormente mencionados.

Tabla 12. Evaluación de cada criterio.

	Resistencia a la T	Resistencia a la carga	Costo de fabricación	Espacio necesario	$\sum+1$	Ponderación
Resistencia a la T	1	0.5	1	1	3.5	0.31
Resistencia a la carga	1	1	1	1	4	0.35
Costo de fabricación	0.5	0.5	1	0	2	0.17

Espacio necesario	0.5	0.5	0		2	0.17
				Suma	11.5	1
Resistencia a la carga > resistencia a la T > costo de fabricación = espacio necesario.						

Se evalúa cada solución con respecto a los criterios, desde la Tabla 13 hasta la Tabla 16.

Tabla 13. Evaluación de las soluciones respecto a Resistencia a la temperatura.

Resistencia a la T	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.5
Solución 2	1		2	0.5
			4	1
Solución 1 = Solución 2				

Tabla 14. Evaluación de las soluciones respecto a Resistencia a la carga.

Resistencia a la carga	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.57
Solución 2	0.5		1.5	0.43
			3.5	1
Solución 1 > Solución 2				

Tabla 15. Evaluación de las soluciones respecto a Costo de fabricación.

Costo de fabricación (más barata)	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.57
Solución 2	0.5		1.5	0.43
			3.5	1
Solución 1 > Solución 2				

Tabla 16. Evaluación de las soluciones respecto a Espacio necesario.

Espacio necesario (mínimo)	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2	0.57
Solución 2	0.5		1.5	0.43
			3.5	1
Solución 1 > Solución 2				

Finalmente, se presentan las conclusiones en la Tabla 17.

Tabla 17. Tabla de conclusiones para el módulo 3

Conclusiones	Resistencia a la T	Resistencia a la carga	Costo de fabricación	Espacio necesario	Σ	Prioridad
Solución 1	0.5	0.57	0.57	0.57	2.21	1
Solución 2	0.5	0.43	0.43	0.43	1.79	2

Según los resultados dados en la Tabla 17, la **Solución 1** es la más adecuada para satisfacer los criterios de evaluación.

2.4. Solución Virtual

2.4.1. Modelo Tamaño Real

Tipo Túnel

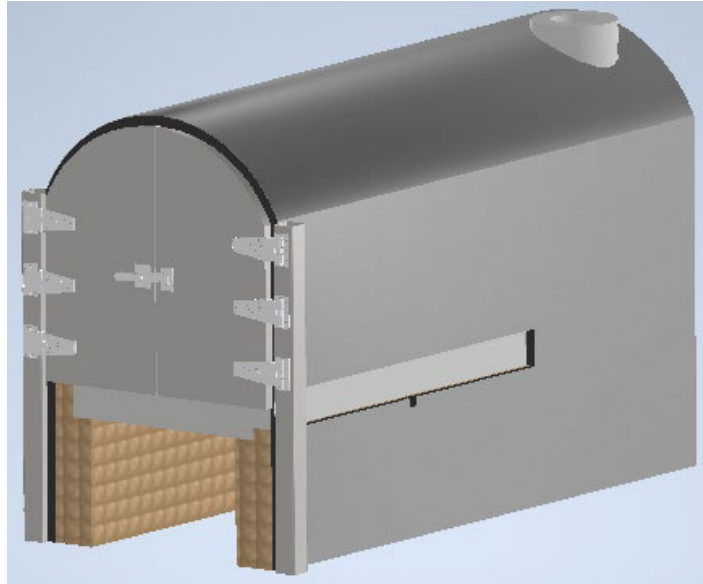


Figura 36. Horno incinerador tipo túnel, tamaño real, con compuerta inferior corrediza

Fuente: Propia

Tipo Rectangular

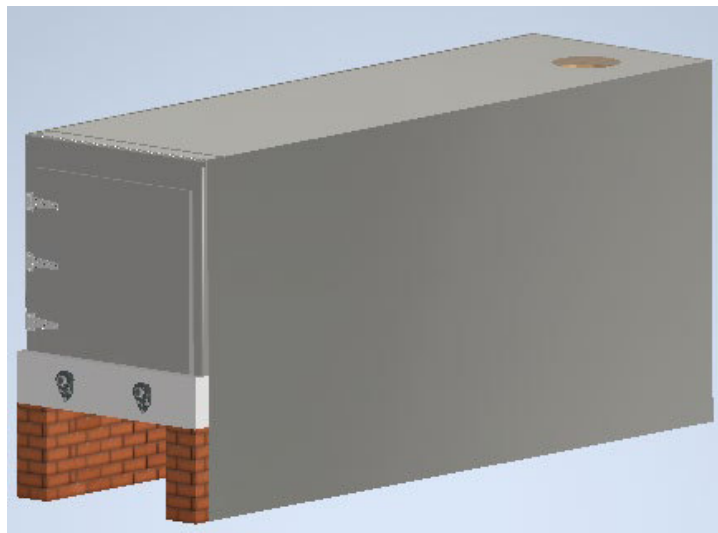


Figura 37. Horno incinerador tipo rectangular, tamaño real, con compuertas inferiores giratorias

Fuente: Propia

2.4.2. Modelo Prototipo de tamaño reducido

Tipo Túnel

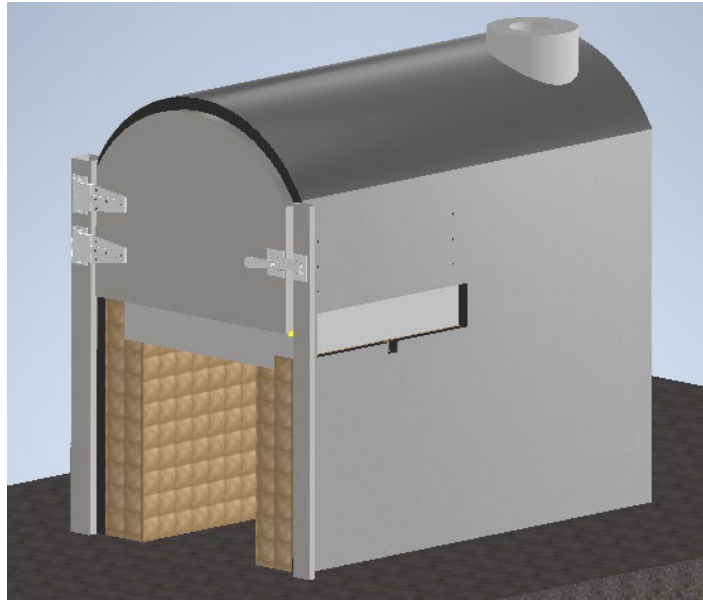


Figura 38. Horno incinerador prototipo de tamaño reducido, tipo túnel con compuerta inferior corrediza

Fuente: Propia

Tipo Rectangular

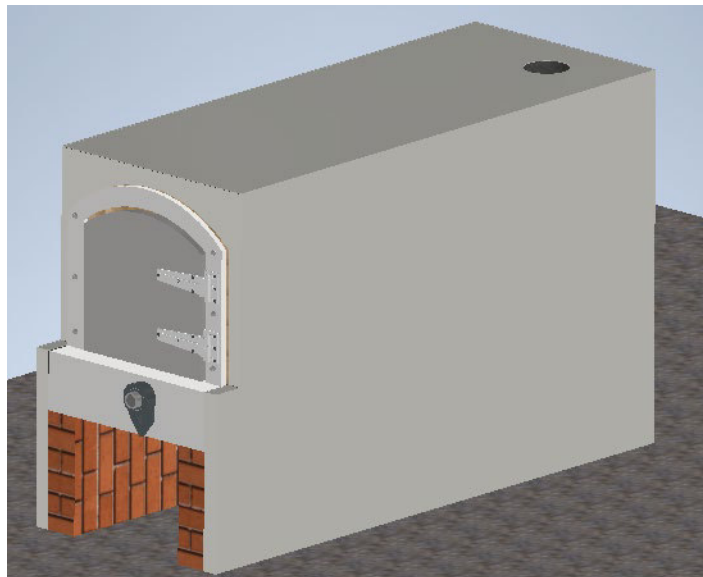


Figura 39. horno incinerador prototipo de tamaño reducido, tipo rectangular con compuertas giratorias.

Fuente: Propia

2.5. Cálculos Térmicos y Geométricos

2.5.1. Disposición de los materiales en las capas de revestimiento

Para elegir la disposición preferencial de los materiales en las capas del revestimiento se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Según Astigárraga (Astigárraga, 1995), en el aislamiento se emplean materiales de conductividades térmicas y densidades decrecientes, desde la cara caliente en el interior del horno, hasta la cara fría en el exterior.

Así, las capas de aislante, desde el interior, estarán dispuestas de la siguiente manera: la primera capa será de ladrillo refractario aislante, continuando con una capa de lana de vidrio y finalmente una plancha de acero.



Figura 40. Disposición de los materiales del revestimiento.

Fuente: Propia

2.5.2. Cálculos de las pérdidas de calor a través de las paredes en estado estable

Para determinar los espesores de las capas de revestimiento del horno se realiza un estudio de la transferencia de calor en estado estable a lo largo de toda la pared. Los parámetros que se consideran son los siguientes:

- Temperatura de operación: 1200 °C
- Temperatura superficial exterior aproximada: 70 °C
- Temperatura ambiental promedio: 21 °C (INAMHI)

Se considera un circuito térmico en el que las resistencias de transferencia de calor por conducción, correspondientes a las capas del revestimiento, están dispuestas en serie. Entre la superficie exterior del revestimiento y el ambiente se tienen dos resistencias en paralelo correspondientes a las resistencias de transferencia de calor por convección y radiación.

De igual manera se tienen dos flujos de calor, uno correspondiente a la conducción en las capas del revestimiento y el otro correspondiente a la convección y radiación en el exterior del revestimiento.

Las variables que intervienen en el cálculo son indicadas en la Figura 41

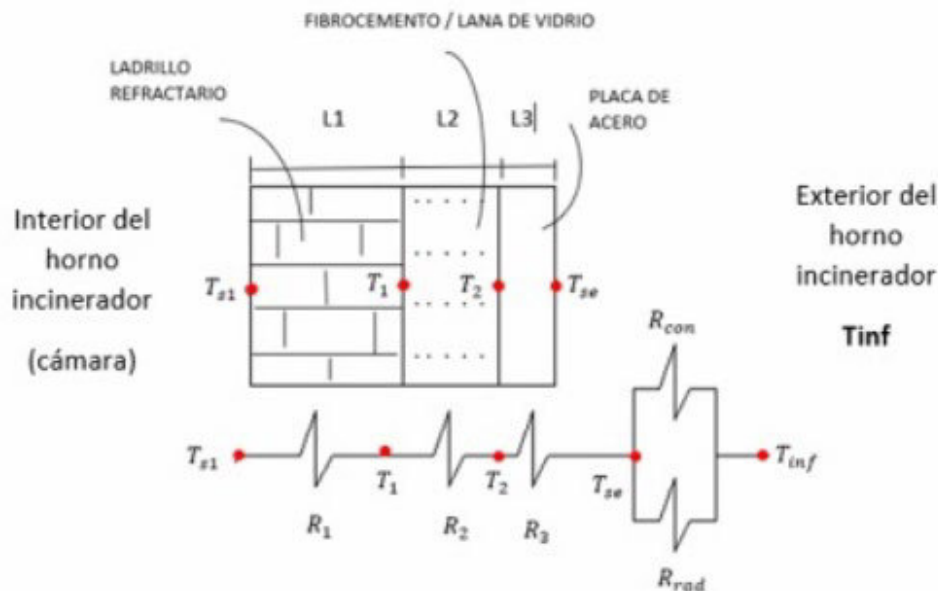


Figura 41. Esquema del modelo de transferencia de calor.

Fuente: Propia

T_{si} : Temperatura superficial interior del revestimiento.

T_1 : Temperatura en la intercara entre el ladrillo refractario aislante y la lana de vidrio.

T_2 : Temperatura en la intercara entre la lana de vidrio y el revestimiento

T_{se} : Temperatura superficial exterior del revestimiento.

T_{inf} : Temperatura exterior del ambiente.

R_1 : Resistencia térmica de conducción del ladrillo refractario aislante

R_2 : Resistencia térmica de conducción de la lana de vidrio.

R_3 : Resistencia térmica de conducción de la plancha de acero.

R_C : Resistencia térmica de convección entre la superficie exterior y el ambiente.

R_r : Resistencia térmica de radiación de la superficie exterior hacia el ambiente.

q_k : Flujo de calor perdido por conducción.

q_{cr} : Flujo de calor perdido por convección y radiación.

Para el cálculo se varían los espesores de las capas del revestimiento de forma conveniente hasta tener la menor pérdida de calor y optimización del espesor de las paredes refractarias.

El espesor de la plancha de acero no varía y tiene una sola disposición. Tampoco varían las dimensiones del espesor de la capa de ladrillos refractarios, debido a que se consideran dimensiones comunes que existen en el mercado: 228 x 114 x 63 mm; y se pueden disponer a lo largo de cualquiera de las 3 dimensiones.

Proceso de cálculo

Para realizar el cálculo se establecen los espesores para cada una de las capas del revestimiento de acuerdo con las condiciones planteadas anteriormente. Se efectúa el cálculo del flujo de calor q_k con una T_{se} (Temperatura superficial exterior del revestimiento) y T_{si} (Temperatura superficial interior del revestimiento). Se deberá elegir el menor flujo de calor que circule por las paredes refractarias y a la vez el menor espesor posible, en virtud de reducir costos de construcción.

A continuación, se presenta el desarrollo de los modelos para el cálculo.

Calor perdido por conducción

$$q_k = \frac{T_{si} - T_{se}}{\sum \frac{L_i}{k_i}}$$

(Ec. 1) (Cengel & Ghajar, 2011)

Donde:

T_{si} : Temperatura superficial interior del revestimiento.

T_{se} : Temperatura superficial exterior del revestimiento.

L_i : Espesor de cada capa de revestimiento del horno.

k_i : conductividad térmica promedio de cada material.

Entonces, el calor perdido por conducción está dado por la expresión.

$$q_k = \frac{T_{si} - T_{se}}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}}$$

(Ec. 2) (Cengel & Ghajar, 2011)

Donde:

L_1, k_1 : Espesor y conductividad térmica del ladrillo refractario aislante, respectivamente.

L_2, k_2 : Espesor y conductividad térmica de la lana de vidrio, respectivamente.

L_3, k_3 : Espesor y conductividad térmica de la plancha de acero, respectivamente.

El número de Nusselt y las propiedades del aire se evalúan a la temperatura media T_p .

El espesor de la cubierta metálica es relativamente delgado y también por su elevada conductividad térmica se asume que $T_3 \cong T_{se}$, por lo tanto, la temperatura media de la capa de aire está dado por:

$$T_p = \frac{T_{se} + T_2}{2}$$

(Ec. 3) (Cengel & Ghajar, 2011)

Calor perdido por convección – radiación

El calor que se pierde por convección – radiación del revestimiento exterior hacia los alrededores está determinado por:

$$q_{cr} = h_{cr} \cdot (T_{se} - T_{inf})$$

(Ec. 4) (Cengel & Ghajar, 2011)

Donde:

h_{cr} : Coeficiente combinado de convección – radiación $h_{cr} = h_c + h_r$

h_c : Coeficiente de convección evaluado a $T_p = \frac{T_{se} + T_{inf}}{2}$

h_r : Coeficiente de radiación, $h_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s + T_{air}) \cdot (T_s^2 + T_{air}^2)$, para este caso se asume que $T_{air} \approx T_{inf}$.

ε : Emisividad de la superficie exterior.

σ : Constante de Boltzman $5.67e-08 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

T_{inf} : Temperatura promedio anual en la ciudad de Quito obtenida de las publicaciones meteorológicas dadas por el INAMHI en julio 2020.

$$T_{inf} \approx 21^\circ\text{C}$$

El calor que se pierde al ambiente por convección y radiación es:

$$q_{cr} = \frac{T_{se} - T_{inf}}{R_{cr}}$$

(Ec. 5) (Cengel & Ghajar, 2011)

T_{se} : Temperatura superficial exterior del revestimiento

R_{cr} : Es la resistencia de convección – radiación

$$R_{cr} = \frac{1}{h_{cr}}$$

(Ec. 6) (Cengel & Ghajar, 2011)

Como parte del estudio térmico dentro del Proyecto de Transferencia Tecnológica PTT-20-01 se realizó el Trabajo de Integración Curricular: “Diseño Térmico de un Incinerador Patológico Eléctrico en Estado Estable” (Collantes, 2022). En este trabajo se obtienen los resultados de los cálculos previamente descritos en este apartado, mostrados en las Figura 42, Figura 43 y Figura 44. Las diferencias entre las iteraciones se formaron mediante la combinación de espesores de cemento refractario y lana de vidrio, y posiciones de ladrillo refractario, variando así, el espesor total de pared y, por tanto, la temperatura exterior y entre capas.

CEMENTO REFRACTARIO	LADRILLO REFRACTARIO 1	LANA DE VIDRIO	ESPESOR TOTAL PARED	COND. TER. CEMENTO REFRACTARIO	COND. TER. LADRILLO REFRACTARIO 1	COND. TER. LANA DE VIDRIO
[m]	[m]	[m]	[m]	K1 [W/m*K]	K2 [W/m*K]	K4 [W/m*K]
0	0	0	0,1	0,487	0,362	0,030
0,02	0,063	0,012	0,158	0,487	0,362	0,030
0,02	0,228	0,015	0,491	0,487	0,362	0,030
0,02	0,063	0,01	0,207	0,487	0,362	0,030
0	0,114	0,015	0,192	0,487	0,362	0,030
0,02	0,114	0,05	0,184	0,487	0,362	0,030
0	0,114	0,05	0,164	0,487	0,362	0,030
0	0,063	0,05	0,113	0,487	0,362	0,030
0,03	0,063	0,05	0,143	0,487	0,362	0,030
0,03	0,063	0,03	0,123	0,487	0,362	0,030
0,03	0,063	0,01	0,103	0,487	0,362	0,030
0	0,063	0,02	0,146	0,487	0,362	0,030
0,03	0,063	0,02	0,176	0,487	0,362	0,030
0,02	0,063	0,01	0,156	0,487	0,362	0,030
0,03	0,063	0,01	0,166	0,487	0,362	0,030
0,03	0,114	0,01	0,154	0,487	0,362	0,030
0	0,114	0,015	0,192	0,487	0,362	0,030
0	0,228	0,015	0,243	0,487	0,362	0,030
0	0,228	0,05	0,278	0,487	0,362	0,030

Figura 42. Resultados de iteraciones térmicas (1/3)

Fuente: (Collantes, 2022)

RES. TER. CEMENTO REFRACTARIO	RES. TER. LADRILLO REFRACTARIO 1	RES. TER. LANA DE VIDRIO	CALOR TOTAL	CALOR SUPERFICIE EXTERNA	Tse real	Tse real
R1 [m2*K/W]	R2 [m2*K/W]	R4 [m2*K/W]	Q1" [W/m2]	Q1" [W/m2]	[K]	[°C]
0,000	0,000	0,000	4060,011	531,910	628,81	355,81
0,041	0,174	0,400	1421,286	531,910	437,24	164,24
0,041	0,630	0,500	622,837	531,910	360,87	87,87
0,041	0,174	0,333	1299,103	531,910	426,24	153,24
0,000	0,315	0,500	1134,081	531,910	411,00	138,00
0,041	0,315	1,667	554,502	531,910	353,80	80,80
0,000	0,315	1,667	565,987	531,910	355,00	82,00
0,000	0,174	1,667	609,306	531,910	359,48	86,48
0,062	0,174	1,667	589,587	531,910	357,44	84,44
0,062	0,174	1,000	907,699	531,910	389,37	116,37
0,062	0,174	0,333	1971,330	531,910	484,02	211,02
0,000	0,174	0,667	1105,266	531,910	408,30	135,30
0,062	0,174	0,667	1042,045	531,910	402,31	129,31
0,041	0,174	0,333	1552,442	531,910	448,79	175,79
0,062	0,174	0,333	1509,562	531,910	445,04	172,04
0,062	0,315	0,333	1580,061	531,910	451,19	178,19
0,000	0,315	0,500	1134,081	531,910	411,00	138,00
0,000	0,630	0,500	992,668	531,910	397,59	124,59
0,000	0,630	1,667	488,373	531,910	346,88	73,88

Figura 43. Resultados de iteraciones térmicas (2/3)

Fuente: (Collantes, 2022)

CALOR CON Tse real	T1	T2	T4	T1	T2	T4 (SUPUESTA)
Q1 [W/m2]	[K]	[K]	[K]	[°C]	[°C]	[°C]
3055,964	1473,00	1473,00	351,45	1200,00	1200,00	78,45
1312,575	1414,67	1167,32	351,45	1141,67	894,32	78,45
617,608	1447,44	1055,15	351,45	1174,44	782,15	78,45
1212,478	1419,68	1193,59	351,45	1146,68	920,59	78,45
1073,862	1473,00	1115,86	351,45	1200,00	842,86	78,45
553,338	1450,24	1275,62	351,45	1177,24	1002,62	78,45
564,196	1473,00	1294,76	351,45	1200,00	1021,76	78,45
604,946	1473,00	1366,96	351,45	1200,00	1093,96	78,45
586,437	1436,70	1334,09	351,45	1163,70	1061,09	78,45
877,008	1417,12	1259,15	351,45	1144,12	986,15	78,45
1738,317	1351,64	1008,56	351,45	1078,64	735,56	78,45
1049,243	1473,00	1280,65	351,45	1200,00	1007,65	78,45
994,787	1408,85	1227,50	351,45	1135,85	954,50	78,45
1417,708	1409,28	1139,11	351,45	1136,28	866,11	78,45
1383,595	1380,07	1117,35	351,45	1107,07	844,35	78,45
1439,548	1375,72	878,14	351,45	1102,72	605,14	78,45
1073,862	1473,00	1115,86	351,45	1200,00	842,86	78,45
951,827	1473,00	847,78	351,45	1200,00	574,78	78,45
490,361	1473,00	1165,41	351,45	1200,00	892,41	78,45

Figura 44. Resultados de iteraciones térmicas (3/3)

Fuente: (Collantes, 2022)

2.5.3. Cálculos chimenea

Determinación del diámetro de la sección transversal

$$S = \frac{Q \cdot T}{273.16 \cdot V \cdot d}$$

(Ec. 7) (Gómez, 2015)

Donde:

S : es la sección, en m^2

Q : es el caudal másico de gases que atraviesan la chimenea, en kg/s .

T : es la temperatura de esos gases en la chimenea, en K .

V : es la velocidad que se quiere que esos gases tengan al atravesar la chimenea, en m/s

d : es la densidad de los humos de combustión en condiciones normales en kg/m^3

Según Gómez, A., la temperatura de los gases en la chimenea se estima a $950\text{ }^\circ\text{C}$, teniendo en cuenta que la cámara secundaria estaría a una temperatura de $1070\text{ }^\circ\text{C}$ (Gómez, 2015). La densidad de los humos se asemeja a los del aire en condiciones normales de 1 atm y $0\text{ }^\circ\text{C}$, lo cual justifica utilizar una densidad de $1,29\text{ kg/m}^3$. Para este tipo de aplicaciones se recomienda utilizar una velocidad de salida de los gases de 10 m/s . (Nissen, 2002) En hornos incineradores a combustión se utilizan dos quemadores los cuales generan un flujo de 0.3 kg/s . (Gómez, 2015) Para fines de este estudio se asume que existe un solo quemador, con un caudal de 0.10 kg/s donde se consideran gases contaminantes del cuerpo, material del féretro (madera, PVC, cartón), y el recubrimiento de estos, mas no la presencia de gases de combustión. Así mismo, teniendo en cuenta que la temperatura de la cámara secundaria es de $1300\text{ }^\circ\text{C}$, se estima que los gases en el inicio de la chimenea estarían a una temperatura de $1180\text{ }^\circ\text{C}$.

$$S = \frac{0.10 \cdot (273.16 + 1180)}{273.16 \cdot 10 \cdot 1.29}$$
$$S = 0.04124\text{ m}^2$$

Se calcula la sección transversal y, asumiendo una chimenea en forma circular, se calcula el diámetro de la chimenea:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

Despejando el diámetro de la ecuación se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.04124}{\pi}}$$

$$D = 0.2291\text{ m}$$

$$D \approx 230\text{ mm}$$

Considerando que se utiliza un caudal de 0.10 kg/s para aproximar el flujo de gases de salida de la chimenea y, teniendo en cuenta que no se producen gases de combustión, se utiliza **250 mm** para asegurar que el diámetro de la chimenea es suficiente para evacuar ese flujo.

Determinación de la altura de la chimenea

Según lo descrito en el apartado 2.3.2, en la sección de Control de olores y gases, se garantiza la degradación de los gases contaminantes emitidos por la chimenea con una altura de mínimo diez diámetros. Sin embargo, la altura mínima recomendada por Gómez es de al menos 8 m (Gómez, 2015), teniendo en cuenta que su diseño es realizado bajo normas ambientales españolas, cuyos Límites Máximos Permisibles (LMP) se asemejan a los enlistados en la Norma Ambiental Ecuatoriana, detallados en las Figura 32, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Bajo estas recomendaciones se establece que la altura mínima de la chimenea propuesta para el presente diseño es de **8 metros** a partir de la salida de la cámara secundaria. Sin embargo, esta altura dependerá del lugar de instalación o construcción del horno teniendo que incrementarse hasta alcanzar una proyección mínima mayor a 3 m sobre la cumbrera del lugar de instalación. (Gómez, 2015) En la Figura 45 se presenta un esquema de lo dicho anteriormente.

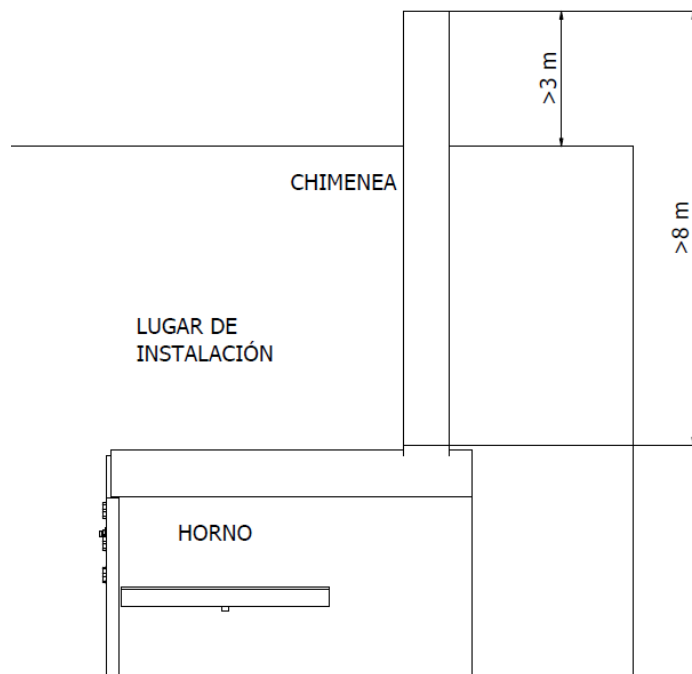


Figura 45. Esquema de alturas de chimenea mínimas recomendadas

Fuente: Propia

2.5.4. Cálculo de columnas de sujeción de la puerta principal

En el diseño propuesto para el horno de tamaño real, las puertas principales serán soportadas por tres bisagras empernadas a una columna a cada lado del horno. Se han seleccionado bisagras para trabajo pesado del catálogo de Refricentral (Refricentral, 2021), cuyas dimensiones se presentan en la Figura 46.

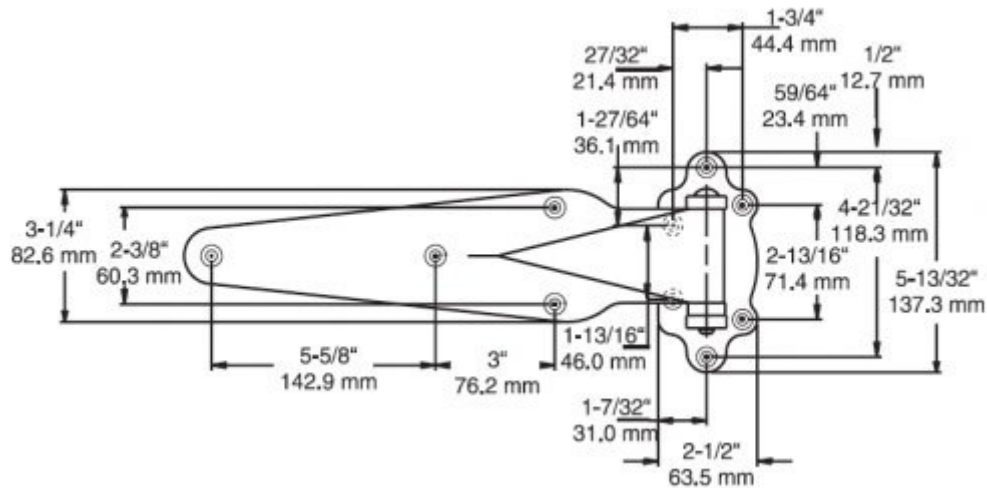


Figura 46. Dimensiones bisagra seleccionada.

Fuente: (Refricentral, 2021)

Considerando que el ancho de la base de la bisagra es de 2,5 in (63,5 mm) se ha asumido una columna tipo tubo cuadrado de dimensiones 120 x 120 x 5 mm, de longitud 1800 mm, con lo cual se garantiza que la base de la bisagra tendrá una superficie plana de apoyo de al menos 100 mm. Con estas asunciones se verifica que la columna resista el peso de cada compuerta, tanto en compresión, como por el pandeo producido por la palanca que provoca la compuerta sobre la columna.

Cálculos para la columna del incinerador de tamaño real

Para el incinerador de tamaño real se utilizarán dos columnas a cada lado de este, debido a que la compuerta principal está dividida en dos piezas, cada una acoplada a su respectiva columna.

Se calcula la resistencia de cada una de las columnas con los siguientes datos iniciales:

- Longitud: $L = 1,80$ m
- Carga puntual: 1,2 kN
- Peso de la compuerta: 172 kg
- Momento: 0,833 kN m

A raíz de estos datos, se obtienen los diagramas de esfuerzo y pandeo de la columna, respectivamente, en la Figura 47, obtenidos mediante el software SkyCiv, cuyo reporte de análisis se adjunta en el Anexo 2.

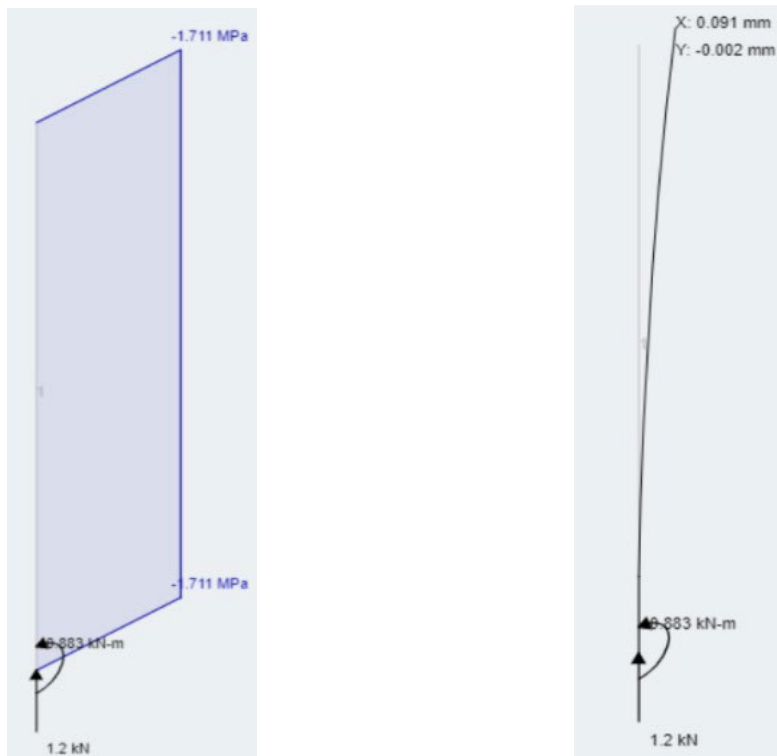


Figura 47. Diagramas de esfuerzo y pandeo de columna horno tamaño real.

Fuente: (SkyCiv, 2021)

Cálculos para la columna del incinerador prototipo

Para el caso del prototipo de tamaño reducido se utilizará una sola columna debido a que la compuerta principal es una sola pieza.

Los datos iniciales para este cálculo son los siguientes:

- Longitud: $L = 1,85$ m.
- Carga puntual: 1,2 kN
- Peso de la compuerta: 85 kg
- Momento: 1,32 kN-m

De igual manera, a través del software SkyCiv se obtienen los diagramas de esfuerzo, momento y pandeo de la columna, respectivamente, mostrados en la Figura 48. El informe se adjunta en el Anexo 2.

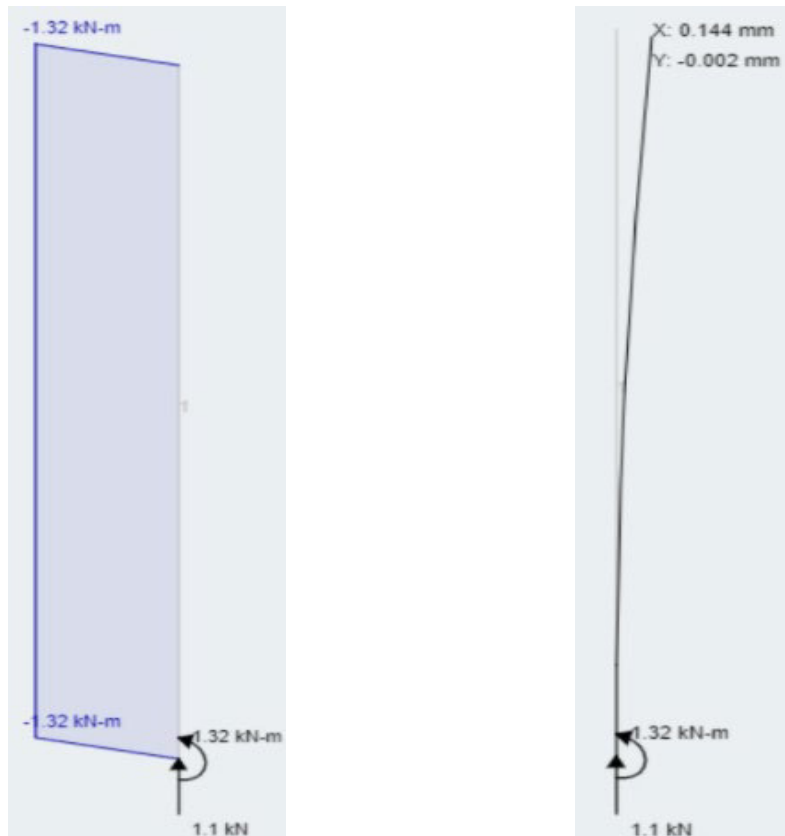


Figura 48. Diagramas de esfuerzo, momento y pandeo de columna horno prototipo.

Fuente: (SkyCiv, 2021)

De acuerdo a la Figura 47, el momento máximo de la columna es de 883 N m. Con este dato se calcula el esfuerzo máximo, con la (Ec. 8).

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

(Ec. 8) (Budynas & Nisbett, 2008)

Donde:

σ : es el esfuerzo normal máximo

M: es el momento de flexión máximo

c: es la fibra más externa respecto al eje neutro.

I: es el segundo momento de área de la sección

Además,

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

(Ec. 9) (Budynas & Nisbett, 2008)

Donde:

$$b = h = 0.12 \text{ m}$$

Entonces,

$$\sigma = \frac{883 \cdot 0.06}{\frac{1}{12} \cdot 0.12^4} = 3.07 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 3.07 \text{ MPa}$$

Con este esfuerzo máximo se obtiene el factor de seguridad por flexión.

$$n_f = \frac{S_y}{\sigma}; S_y = 250 \text{ MPa (ASTM A36)}$$

$$n_f = \frac{250}{3.07}$$

$$n_f = 81.5$$

Este factor de seguridad tan elevado reitera la decisión de utilizar una columna con las dimensiones propuestas, debido principalmente al tamaño que requiere la base de la bisagra para acoplarse.

A continuación, se presenta el cálculo de la carga crítica por pandeo con el fin de compararlo con la carga a la que estará expuesta cada columna debido al peso de la compuerta.

La carga crítica por pandeo se calcula con la ecuación:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

(Ec. 10) (Islachín, 2017)

Donde:

E: Módulo de elasticidad.

I: Momento de Inercia.

L: Longitud

Entonces,

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 190 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0.12^4}{1.8^2}$$

$$P_{cr} = 10 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

Con esto se garantiza que la columna **no** fallará por pandeo.

2.6. Selección de Materiales y Componentes

2.6.1. Modelos 3D

Cámara Principal

De acuerdo a la bibliografía obtenida, la forma más comúnmente utilizada para la construcción de cámaras de incineración en hornos es el tipo túnel. De esta manera se provoca una mejor distribución del calor. El material utilizado en este componente es ladrillo refractario. En la Figura 49 se muestra un esquema del diseño propuesto.

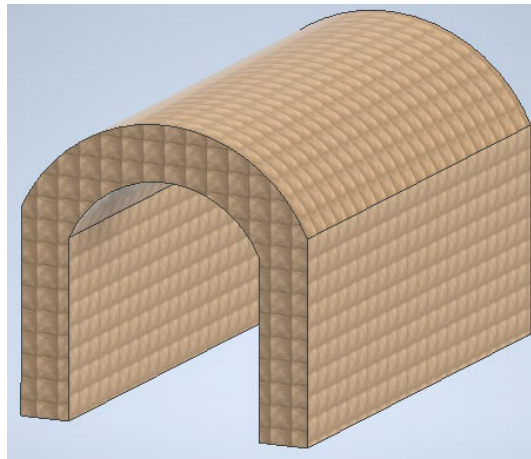


Figura 49. Esquema de cámara principal.

Fuente: Propia

Cámara Secundaria

La cámara secundaria cumple un papel importante en la eliminación de los gases que se generan debidos a la incineración y puede ubicarse en la parte superior de la cámara principal o en la parte posterior de la misma.

Se propone el diseño de una cámara secundaria en la parte posterior de la cámara principal, debido a su facilidad de construcción; de igual manera, el material de esta cámara es ladrillo refractario. Se muestra un esquema de este diseño en la Figura 50.

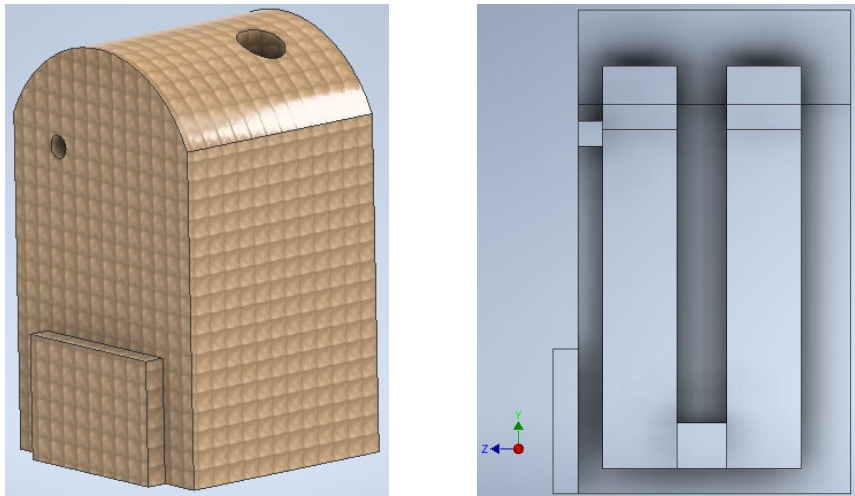


Figura 50. Esquema de cámara secundaria.

Fuente: Propia

Compuerta Principal

Es la compuerta por donde ingresa el cadáver para su posicionamiento en la cámara de incineración. Esta compuerta necesita ser de un material que evite las fugas de calor dentro de la cámara y, a su vez, soporte su propio peso. Por lo tanto, el cuerpo de la compuerta principal será de concreto refractario y tendrá un recubrimiento exterior de plancha metálica.

Se propone el diseño de una compuerta principal sostenida por columnas a través de bisagras. En este caso, lo más recomendable es dividir la compuerta en dos partes, que se solapen una contra la otra para evitar fugas de calor en su parte central.

En la Figura 51 se muestra un esquema de la propuesta de diseño de la compuerta principal, con sus respectivas columnas soportantes y, en la Figura 52 se muestra una vista superior del solapamiento central de las dos piezas.

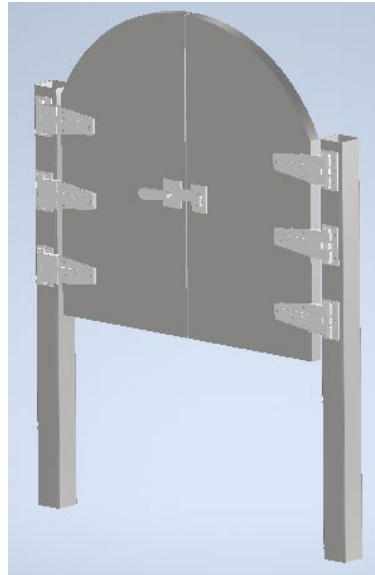


Figura 51. Esquema compuerta principal horno tamaño real.

Fuente: Propia

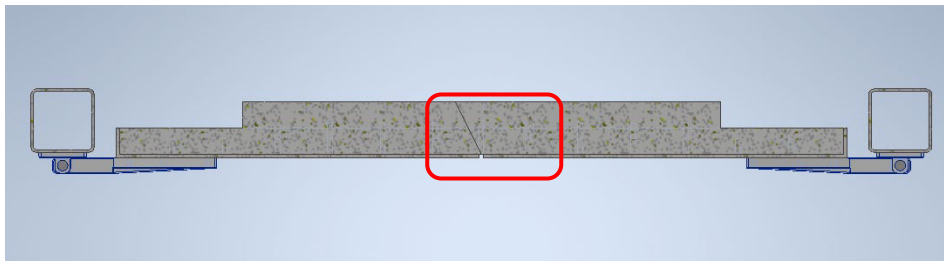


Figura 52. Vista superior de solapamiento central de la compuerta

Fuente: Propia

Para el caso del horno prototipo de tamaño reducido, se propone diseñar la compuerta principal en una sola pieza debido a que es más pequeña y liviana. Por lo tanto, estará soportada en una sola columna a través de bisagras. Sin embargo, contará con una columna liviana en el lateral contrario al de la columna principal, con el fin de sostener la cerradura de la compuerta. En la Figura 53 se presenta el esquema de la compuerta principal del incinerador prototipo de tamaño reducido.

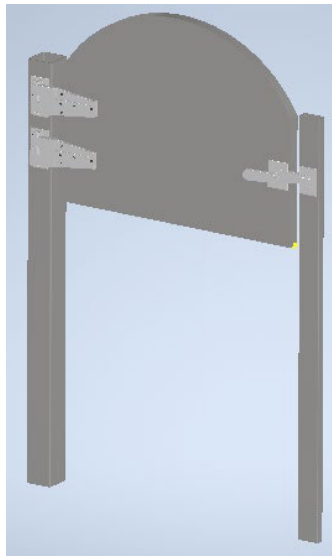


Figura 53. Esquema compuerta principal prototipo de tamaño reducido

Fuente: Propia

Compuertas de recolección de restos

En la actualidad todos los hornos realizan la recolección de restos de forma manual mediante la apertura de la compuerta principal, posterior al enfriamiento del horno. Con la ayuda de una escobilla se recogen las cenizas hacia el frente de la cámara para ser llevados a un molido de restos. Esta actividad requiere de un tiempo prolongado, debido a que se debe esperar que el horno se enfríe lentamente, por lo tanto, es un método poco eficiente.

Dentro del objetivo de salvaguardar la seguridad del operador del horno se propone el diseño de una compuerta mecánica de concreto refractario, que se abre independientemente de la compuerta principal y que está controlada mediante un sistema electrónico para que los restos caigan directamente a la parte inferior del horno y sean recolectados. En la Figura 54 se presenta un esquema de la propuesta de diseño de la compuerta inferior.

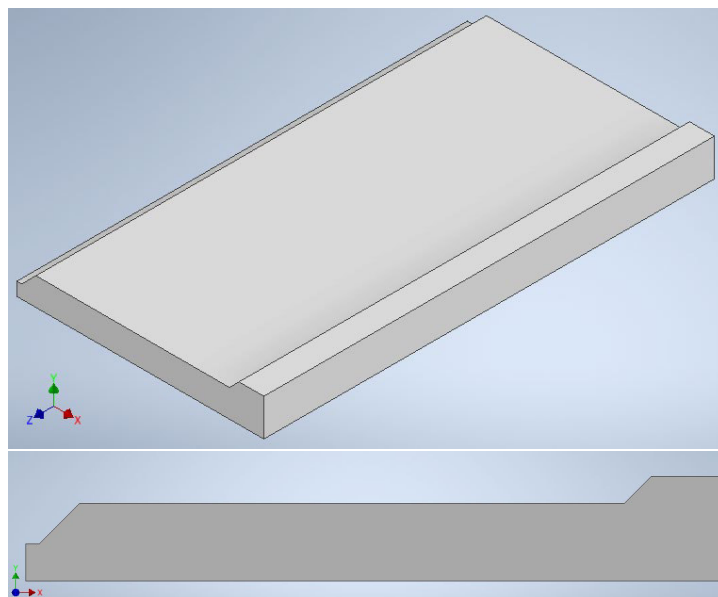


Figura 54. Esquema compuerta inferior para recolección de restos.

Fuente: (Pallo, 2022)

Capa de material aislante

Dado que el material con el que se elaboran las cámaras de incineración y post incineración están compuestas de ladrillo refractario, se requiere un material aislante en el exterior de estas. El material comúnmente utilizado para el propósito de recubrir las cámaras de hornos de alta temperatura es la lana de vidrio. Se generó un modelo de la cobertura aislante y su esquema se lo muestra en la Figura 55.

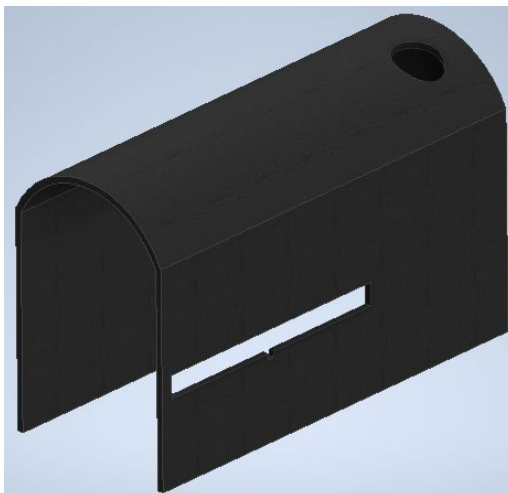


Figura 55. Esquema capa de recubrimiento aislante (lana de vidrio)

Fuente: Propia

Carcasa metálica

De igual manera, se propone el diseño de una capa de material metálico que recubra toda la estructura del horno. Esta capa cumplirá también la función de enlucir la estructura. Un esquema de la propuesta de diseño se presenta en la Figura 56.

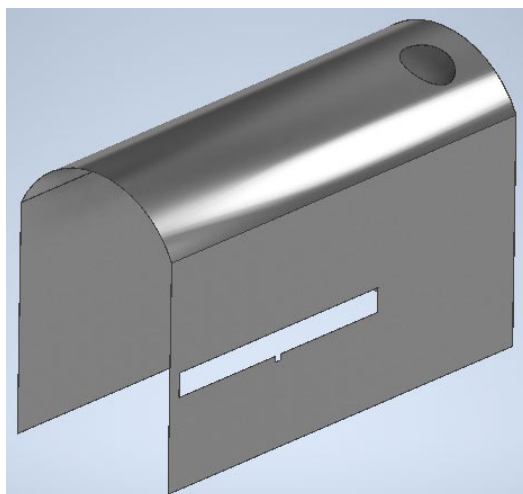


Figura 56. Esquema de carcasa metálica exterior

Fuente: Propia

Ensamblaje del horno

Debido a que el diseño propuesto para la compuerta principal varía entre el horno de tamaño real y el prototipo de tamaño reducido, se presentan ambos esquemas ensamblados, en la Figura 57 y la Figura 58, respectivamente.

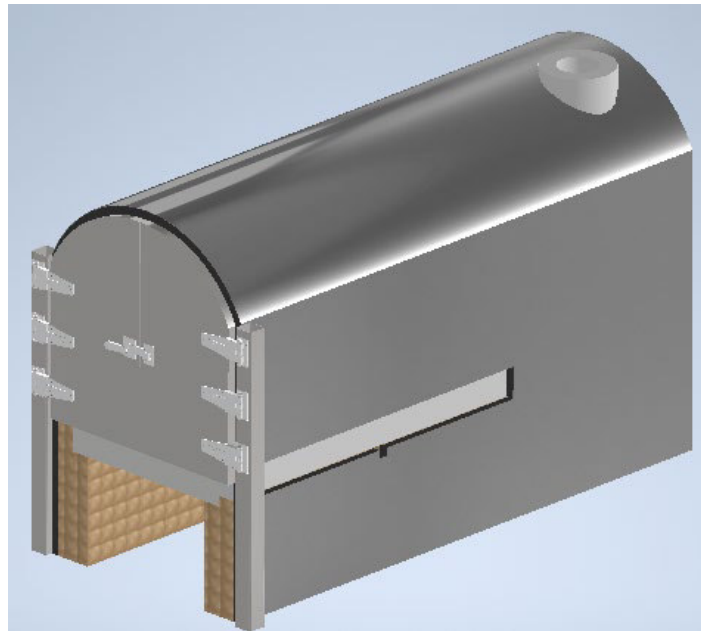


Figura 57. Esquema ensamble horno incinerador tamaño real

Fuente: Propia

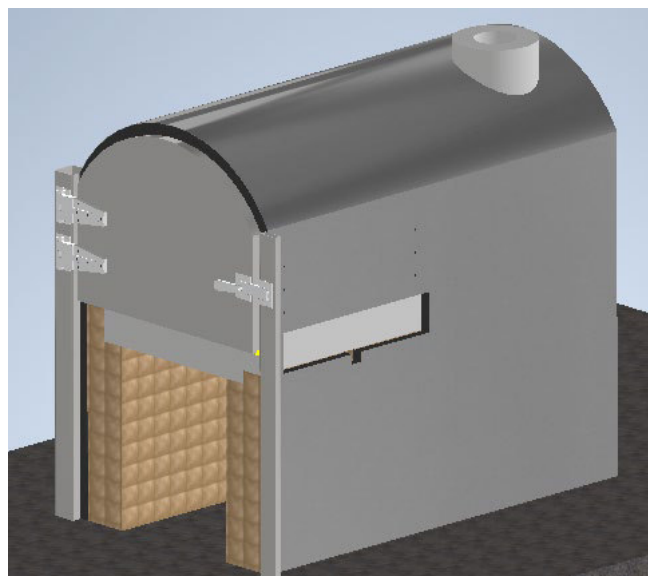


Figura 58. Esquema ensamble horno incinerador prototipo de tamaño reducido

Fuente: Propia

Replanteo horno prototipo de tamaño reducido

Debido a que la construcción del horno prototipo de tamaño reducido, a cargo del Proyecto de Transferencia Tecnológica PTT-20-01, será realizada en un área establecida de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN, se precisa diseñar un replanteo a partir del cual se construirá el horno propiamente dicho. Un esquema sencillo de este elemento se muestra en la Figura 59.

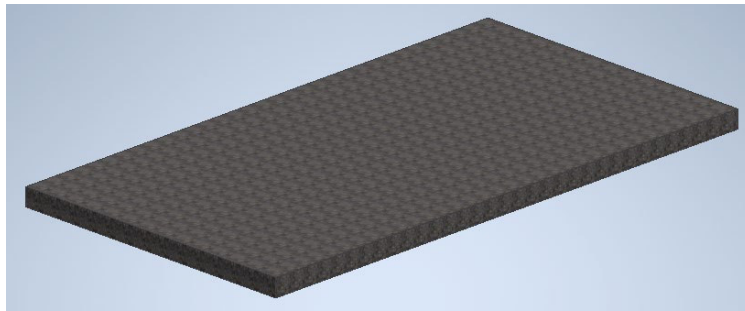


Figura 59. Esquema replantillo horno prototipo de tamaño reducido

Fuente: Propia

Las dimensiones de todos los elementos descritos en esta sección se presentarán en el apartado 2.7.

2.7. Diseño estructural de las partes del Incinerador

Como parte del Proyecto de Transferencia Tecnológica PTT-20-01, se propone el diseño experimental de un horno incinerador energizado con resistencias eléctricas. Este diseño se enfoca en la determinación de todas las dimensiones funcionales del horno incinerador de tamaño real, siendo capaz de incinerar un féretro con cadáver humano. Sin embargo, se decide por la construcción de un prototipo experimental, de tamaño reducido, que garantice el correcto funcionamiento del horno de tamaño real, debido al presupuesto del PTT-20-01 para su construcción. Es por esto que también se presenta el diseño enfocado a las dimensiones funcionales del prototipo.

2.7.1. Dimensiones totales Horno Incinerador

Los estudios de diseño permiten obtener las dimensiones geométricas totales del horno incinerador de tamaño real, las mismas que se detallan en la

Tabla 18. En la Figura 60 se presenta un esquema del modelo 3D del horno prototipo.

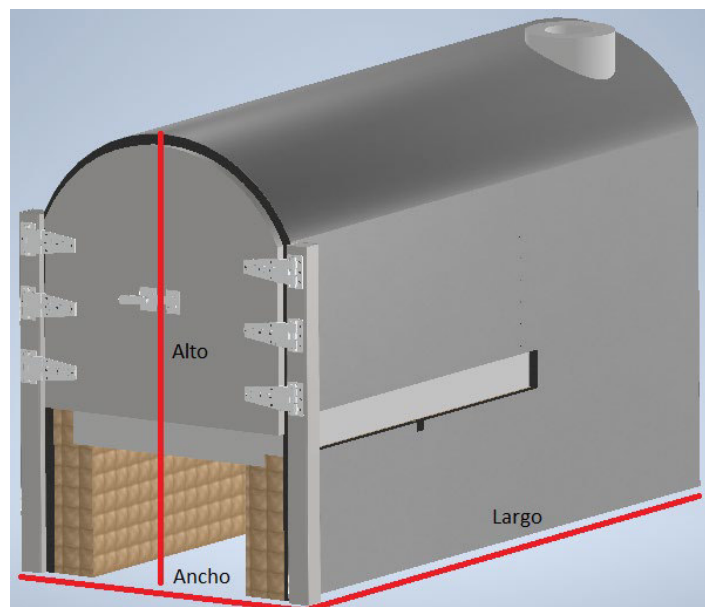


Figura 60. Esquema modelo horno incinerador

Fuente: Propia

Tabla 18. Dimensiones totales

Magnitud	Dimensión	Unidad
Largo Total	3586	mm
Ancho Total	1472	mm
Alto Total	2277	mm

El plano de conjunto del horno incinerador de tamaño real se presenta adjunto en el Anexo 3: Plano COD.CR-001

Detalles

Cámara Principal

En la se presenta un esquema de la disposición de los ladrillos para la cámara principal:

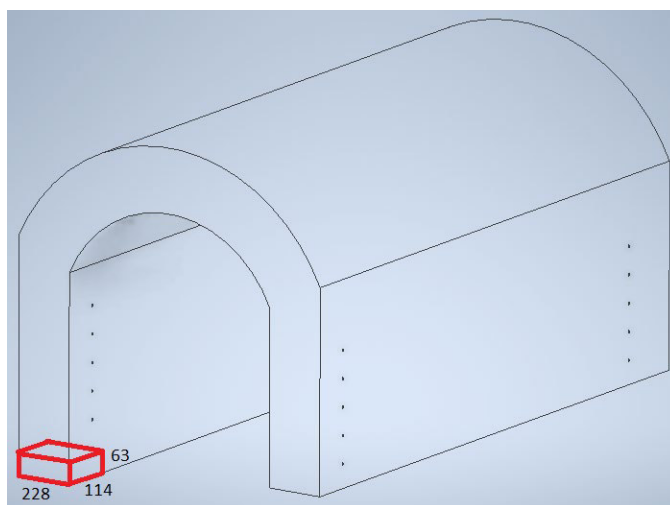


Figura 61. Disposición de ladrillos cámara principal.

Fuente: Propia

La cámara principal debe ser construida con ladrillos refractarios de las siguientes dimensiones:

- Largo: 228 mm.
- Ancho: 114 mm.
- Alto: 63 mm.

La disposición de los ladrillos para la cámara principal es la siguiente:

- Espesor de paredes: 228 mm (largo del ladrillo).
- Largo de paredes: 2280 mm (20 ladrillos de ancho 114 mm).
- Alto de paredes: 819 mm (13 ladrillos de alto 63 mm).

En la Tabla 19 se presentan las dimensiones totales de la cámara principal, cuyo plano de detalle se adjunta en el Anexo 3: Plano COD.CR-018

Tabla 19. Dimensiones totales cámara principal

Magnitud	Dimensión	Unidad
Largo Cámara Principal	2280	mm
Largo Útil Cámara Principal	2116	mm
Ancho Útil Cámara Principal	912	mm
Ancho Total Cámara Principal	1368	mm

Alto Cámara Principal (incluido arco)	1114	mm
Alto Pared Interior Izquierda	819	mm
Alto Pared Interior Derecha	693	mm

Cámara Secundaria

En la Figura 62 se presenta un esquema de la disposición de ladrillos para la cámara secundaria, en las paredes laterales, la pared separadora intermedia y la pared posterior.

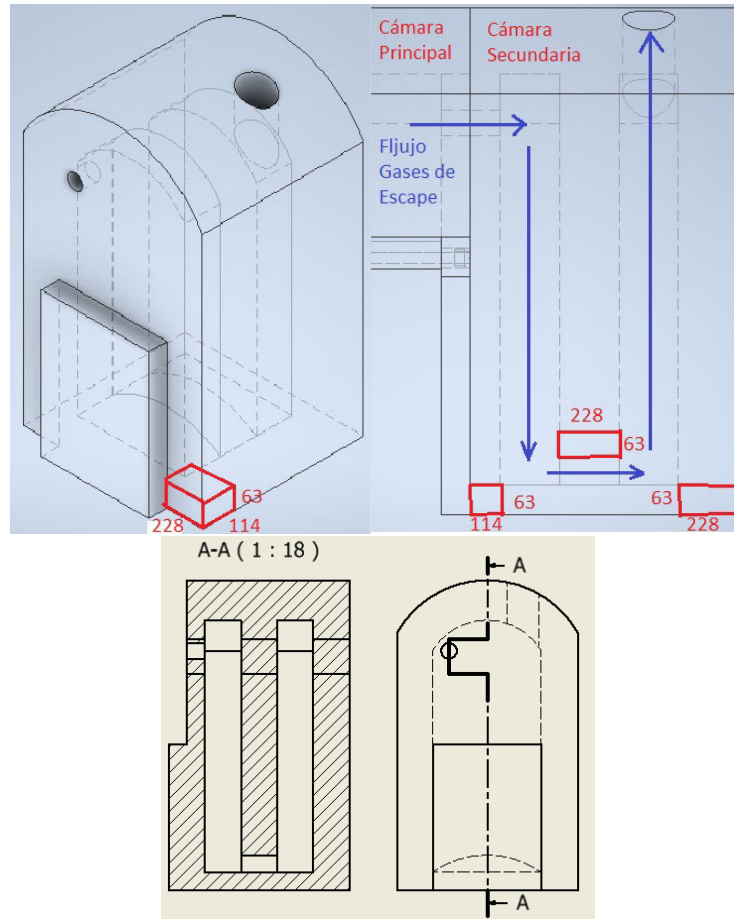


Figura 62. Disposición de ladrillos cámara secundaria

Fuente: Propia

La cámara secundaria debe ser construida con ladrillos refractarios de las mismas dimensiones que los utilizados en la cámara principal.

La disposición de los ladrillos para la cámara secundaria es la siguiente:

- Espesor de paredes laterales: 228 mm (largo del ladrillo).
- Largo de paredes laterales: 1254 mm (11 ladrillos de ancho 114 mm).
- Alto de paredes laterales: 1606 mm (26 ladrillos de alto 63 mm).
- Espesor pared separadora central: 228 mm

En la pared posterior se debe mantener el espesor de 228 mm, mientras que, en la pared delantera, el espesor es de 114 mm.

La cámara secundaria cuenta con dos compartimientos separados por una pared central, cada uno de 342 mm de largo y 912 mm de ancho. Esta pared central cuenta

con un orificio tipo túnel en su parte inferior, que permite conectar el compartimiento delantero con el posterior. Además, se debe generar un orificio de 250 mm de diámetro en la parte superior derecha del compartimiento posterior de la cámara secundaria y un orificio de 120 mm de diámetro en la pared delantera. Estos detalles se los presenta claramente en el plano de detalle adjunto en el Anexo 3: Plano COD.CR-019

En la Tabla 20 se muestran las dimensiones totales de la cámara secundaria.

Tabla 20. Dimensiones totales cámara secundaria

Magnitud	Dimensión	Unidad
Largo Total Cámara Secundaria	1254	mm
Ancho Útil Cámara Secundaria	912	mm
Ancho Total Cámara Secundaria	1368	mm
Alto Cámara Secundaria (incluido arco)	2219	mm
Espesor Pared Central Cámara Secundaria	228	mm

Pared Posterior de Cierre de la Cámara Principal

En la Figura 63 se esquematiza la disposición de los ladrillos para la construcción de la pared posterior.

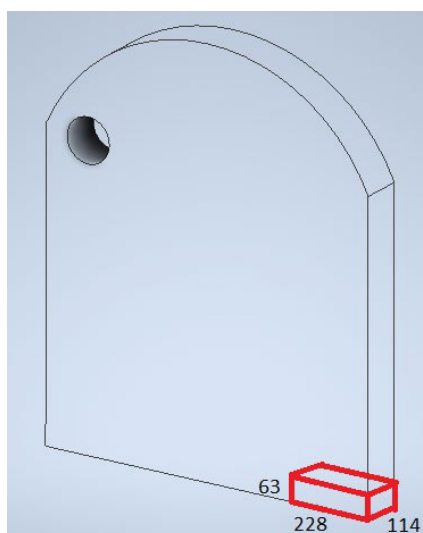


Figura 63. Disposición de ladrillos pared posterior cierre cámara principal

Fuente: Propia

La pared posterior de la cámara principal se debe construir con ladrillos de las mismas dimensiones que las cámaras, obteniendo las siguientes dimensiones de la pared.

- Ancho: 912 mm (4 ladrillos de largo 228 mm).
- Alto: 819 mm (13 ladrillos de alto 63 mm).
- Espesor: 114 mm.

En la pared se debe generar un orificio de 120 mm de diámetro. Estos detalles se adjuntan en el Anexo 3: Plano COD.CR-021

Compuerta Inferior

En la Figura 64 se muestra un esquema de la compuerta inferior que será el piso del horno.

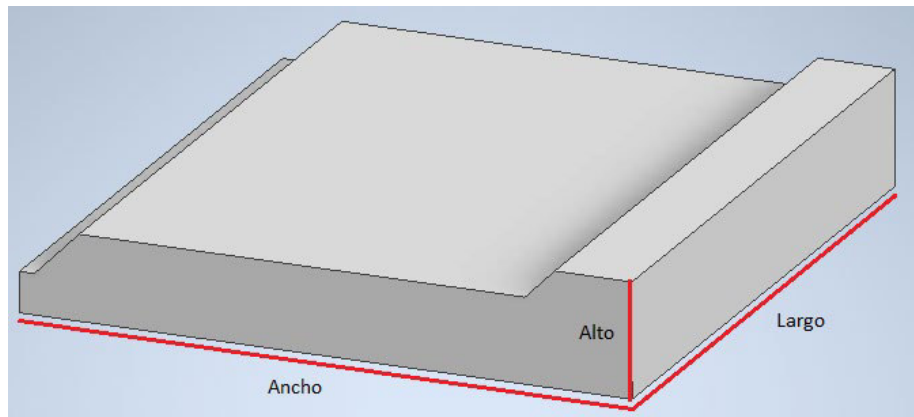


Figura 64. Esquema compuerta inferior

Fuente: Propia

La parte inferior del horno incinerador funcionará como compuerta corrediza con el fin de permitir la salida de los restos incinerados hacia un mecanismo de recolección y posterior trituración. En este sentido, la compuerta inferior deberá estar fabricada de concreto refractario de las siguientes dimensiones:

- Largo: 2066 mm.
- Ancho: 1133 mm.
- Alto: 170 mm.

Además, debe contar con una geometría que evite, al máximo, el escape del calor. Esta geometría compleja se presenta claramente en el adjunto Anexo 3: Plano COD.CR-010

Paredes Base Ladrillo Refractario

En la Figura 65 se muestra el esquema de la disposición de los ladrillos en las paredes de la base del horno.

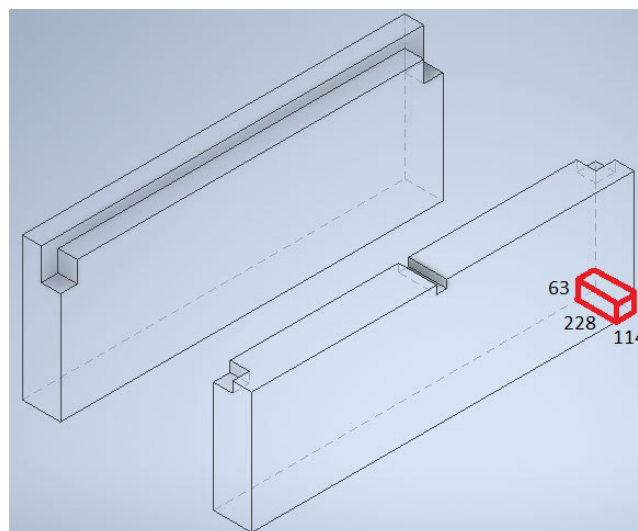


Figura 65. Disposición ladrillo refractario en base.

Fuente: Propia

La base de ladrillo refractario que soportará a la cámara principal constará de dos paredes longitudinales de las siguientes dimensiones cada una:

- Largo: 2280 mm (20 ladrillos de ancho 114 mm).

- Ancho: 228 mm.
- Alto: 850 mm (14 ladrillos de alto 63 mm).

Los detalles de la base se especifican en el Anexo 3: Plano COD.CR-020

Recubrimiento Aislante

En la Figura 66 se representa un esquema del recubrimiento aislante.

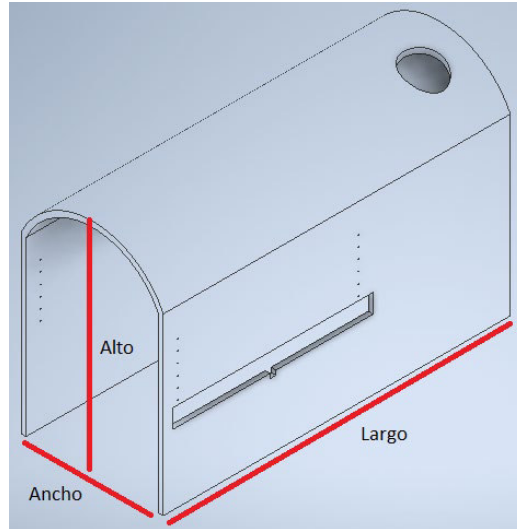


Figura 66. Esquema recubrimiento aislante

Fuente: Propia

Para el aislamiento térmico se ha optado por colocar una capa de material aislante de lana de vidrio en el contorno exterior de todo el material refractario, manteniendo los radios de curvaturas de las cúpulas y las dimensiones de las cámaras primaria y secundaria.

Los detalles del aislamiento térmico se muestran en el adjunto Anexo 3: Plano COD.CR-011, y sus dimensiones totales son las siguientes:

- Largo: 3584 mm.
- Alto: 2275 mm.
- Ancho: 1368 mm.
- Espesor: 50 mm.

Carcasa Chapa Metálica

La capa más externa del horno será elaborada con planchas de acero inoxidable de las siguientes dimensiones totales:

- Largo: 3586 mm.
- Alto: 2277 mm.
- Espesor: 2 mm.

En la Figura 67 se presenta un esquema de la carcasa de chapa metálica.

Los detalles específicos de la carcasa externa se adjuntan en el Anexo 3: Plano COD.CR-012.

Es necesario aclarar que la chapa metálica del recubrimiento exterior del horno (carcasa) deberá ser manufacturado una vez que la estructura refractaria esté

completamente construida y se agregue la capa aislante sobre las cámaras. Esto podría modificar las dimensiones últimas de la carcasa.

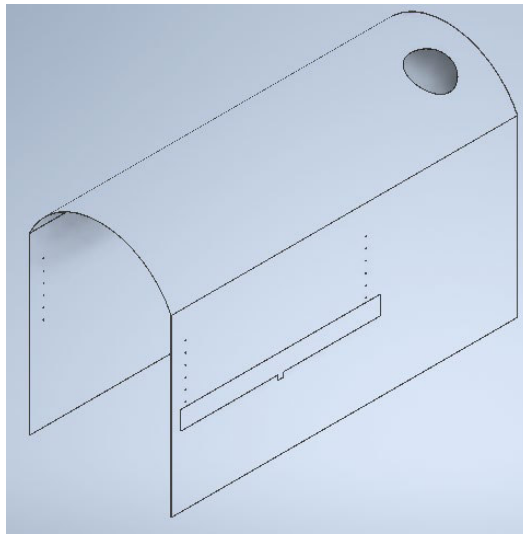


Figura 67. Esquema de carcasa metálica

Fuente: Propia

Ensamble Compuerta Principal

En la Figura 68 se presenta el esquema del ensamble de la compuerta principal.

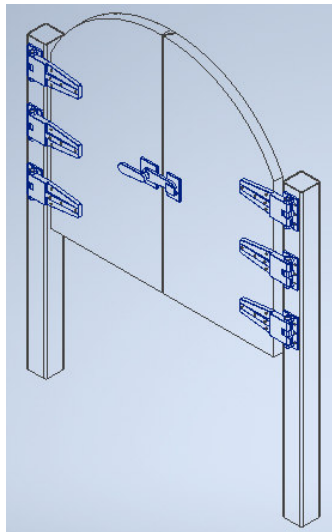


Figura 68. Esquema de ensamble compuerta principal

Fuente: Propia

La compuerta principal estará formada por concreto refractario fundido sobre una carcasa de acero, que cuenta con rigidizadores soldados. En esta carcasa se empernarán las bisagras que estarán soportadas en un perfil estructural de tipo tubo cuadrado a cada lado de la compuerta. Los detalles del ensamble y fabricación de la compuerta se adjuntan en el Anexo 3: Plano COD.CR-002

Dimensiones de espesor de pared

Con estos detalles se estima que el espesor total de la pared de las cámaras principal y secundaria es de 280 mm, conformado de tres capas descritas en la Tabla 21, desde adentro hacia afuera:

Tabla 21. Materiales de capas de pared para cámaras

Material	Dimensión	Unidad
Ladrillo Refractario	228	mm
Lana de Vidrio	50	mm
Lámina metálica de acero negro	2	mm

2.7.2. Dimensiones totales Horno Incinerador Prototipo

Los diseños preliminares permiten obtener las dimensiones geométricas totales del incinerador prototipo de tamaño reducido, las mismas que se detallan en la Tabla 22. En la Figura 69 se presenta un esquema del modelo 3D del horno prototipo.

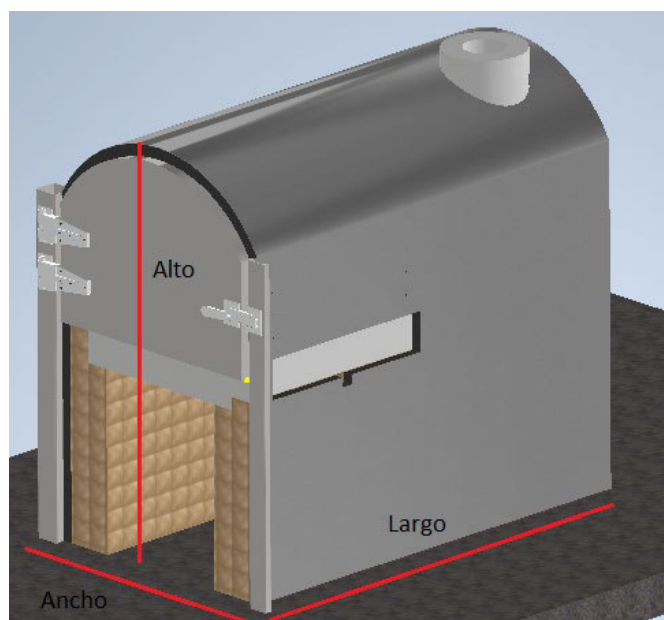


Figura 69. Esquema modelo horno prototipo

Fuente: Propia

Tabla 22. Dimensiones totales

Magnitud	Dimensión	Unidad
Largo Total	2263	mm
Ancho Total	1244	mm
Alto Total	2016	mm

El plano de conjunto del horno prototipo de tamaño reducido se presenta adjunto en el Anexo 4: Plano COD.C-001

Detalles

Cámara Principal

En la Figura 70 se presenta un esquema de la disposición de los ladrillos para la cámara principal:

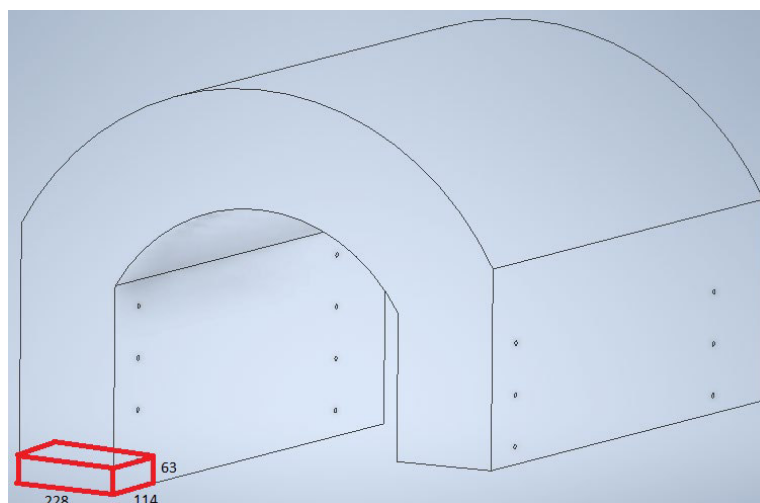


Figura 70. Disposición de ladrillos cámara principal.

Fuente: Propia

La cámara principal debe ser construida con ladrillos refractarios de las siguientes dimensiones:

- Largo: 228 mm.
- Ancho: 114 mm.
- Alto: 63 mm.

La disposición de los ladrillos para la cámara principal es la siguiente:

- Espesor de paredes: 228 mm (largo del ladrillo).
- Largo de paredes: 1140 mm (10 ladrillos de ancho 114 mm).
- Alto de paredes: 441 mm (7 ladrillos de alto 63 mm).

En la Tabla 23 se presentan las dimensiones totales de la cámara principal, cuyo plano de detalle se adjunta en el Anexo 4: Plano COD.C-018.

Tabla 23. Dimensiones totales cámara principal

Magnitud	Dimensión	Unidad
Largo Cámara Principal	1026	mm
Largo Útil Cámara Principal	862	mm
Ancho Útil Cámara Principal	684	mm
Ancho Total Cámara Principal	1140	mm
Alto Cámara Principal (incluido arco)	634	mm
Alto Pared Interior Izquierda	441	mm
Alto Pared Interior Derecha	314	mm

Cámara Secundaria

En la Figura 71 se presenta un esquema de la disposición de ladrillos para la cámara secundaria, en las paredes laterales, la pared separadora intermedia y la pared posterior.

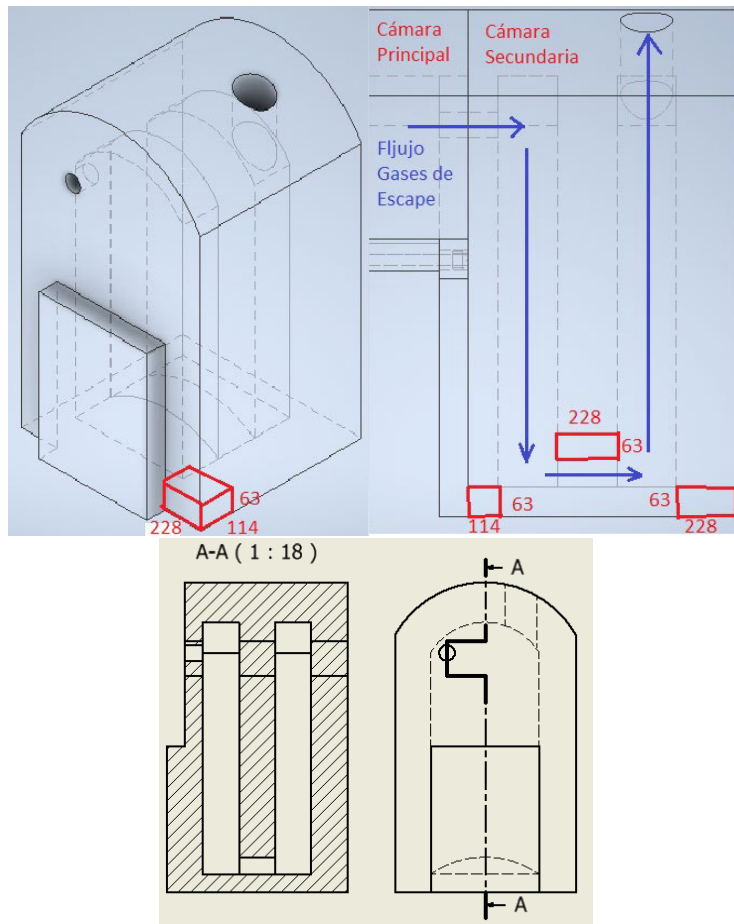


Figura 71. Disposición de ladrillos cámara secundaria

Fuente: Propia

La cámara secundaria debe ser construida con ladrillos refractarios de las mismas dimensiones que los utilizados en la cámara principal.

La disposición de los ladrillos para la cámara secundaria es la siguiente:

- Espesor de paredes laterales: 228 mm (largo del ladrillo).
- Largo de paredes laterales: 1026 mm (9 ladrillos de ancho 114 mm).
- Alto de paredes laterales: 1626 mm (26 ladrillos de alto 63 mm).
- Espesor pared separadora central: 228 mm

En la pared posterior se debe mantener el espesor de 228 mm, mientras que, en la pared delantera, el espesor es de 114 mm.

La cámara secundaria cuenta con dos compartimientos separados por una pared central, cada uno de 228 mm de largo y 684 mm de ancho. Esta pared central cuenta con un orificio tipo túnel en su parte inferior, que permite conectar el compartimiento delantero con el posterior. Además, se debe generar un orificio de 200 mm de diámetro en la parte superior derecha del compartimiento posterior de la cámara secundaria y un orificio de 100 mm de diámetro en la pared delantera. Estos detalles se los presenta claramente en el plano de detalle adjunto en el Anexo 4: Plano COD.C-019.

En la Tabla 24 se muestran las dimensiones totales de la cámara secundaria.

Tabla 24. Dimensiones totales cámara secundaria

Magnitud	Dimensión	Unidad
Largo Total Cámara Secundaria	1026	mm
Ancho Útil Cámara Secundaria	684	mm
Ancho Total Cámara Secundaria	1140	mm
Alto Cámara Secundaria (incluido arco)	1958	mm
Espesor Pared Central Cámara Secundaria	228	mm

Pared Posterior de Cierre de la Cámara Principal

En la Figura 72 se esquematiza la disposición de los ladrillos para la construcción de la pared posterior.

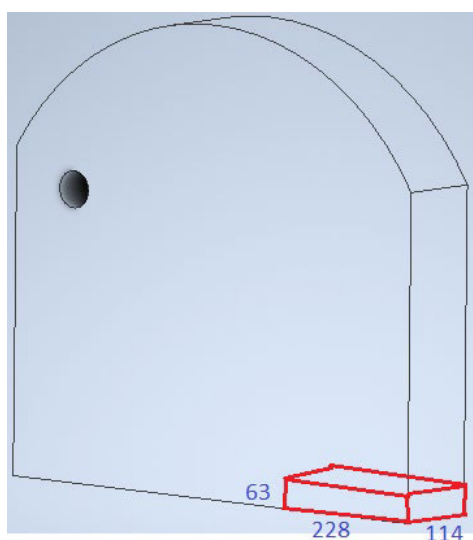


Figura 72. Disposición de ladrillos pared posterior cierre cámara principal

Fuente: Propia

La pared posterior de la cámara principal se debe construir con ladrillos de las mismas dimensiones que las cámaras, obteniendo las siguientes dimensiones de la pared.

- Ancho: 684 mm (3 ladrillos de largo 228 mm).
- Alto: 441 mm (7 ladrillos de alto 63 mm).
- Espesor: 114 mm.

En la pared se debe generar un orificio de 100 mm de diámetro. Estos detalles se adjuntan en el Anexo 4: Plano COD.C-021.

Compuerta Inferior

En la Figura 73 se muestra un esquema de la compuerta inferior que será el piso del horno.

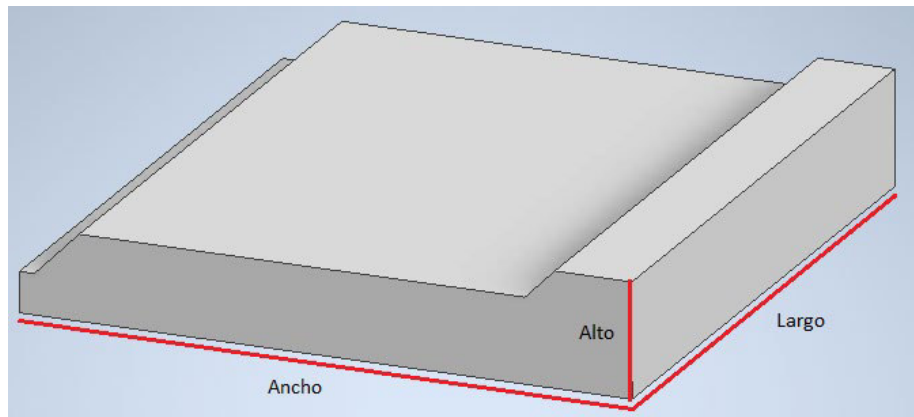


Figura 73. Esquema compuerta inferior

Fuente: Propia

La parte inferior del horno incinerador funcionará como compuerta corrediza con el fin de permitir la salida de los restos incinerados hacia un mecanismo de recolección y posterior trituración. En este sentido, la compuerta inferior deberá estar fabricada de concreto refractario de las siguientes dimensiones:

- Largo: 926 mm.
- Ancho: 905 mm.
- Alto: 170 mm.

Además, debe contar con una geometría que evite, al máximo, el escape del calor. Esta geometría compleja se presenta claramente en el adjunto Anexo 4: Plano COD.C-010.

Paredes Base Ladrillo Refractario

En la Figura 74 se muestra el esquema de la disposición de los ladrillos en las paredes de la base del horno.

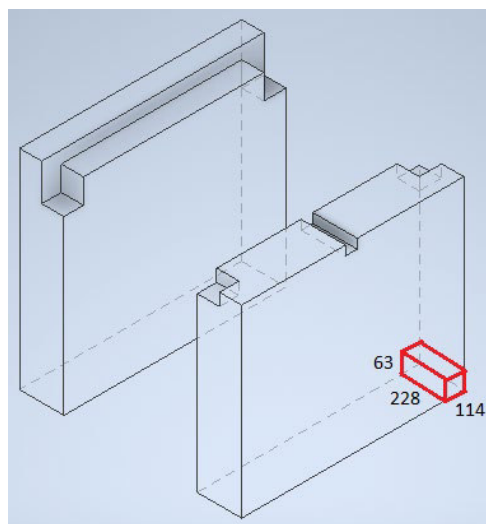


Figura 74. Disposición ladrillo refractario en base.

Fuente: Propia

La base de ladrillo refractario que soportará todo el horno estará construida sobre un replantillo de concreto. Esta base constará de dos paredes longitudinales de las siguientes dimensiones cada una:

- Largo: 1140 mm (10 ladrillos de ancho 114 mm).
- Ancho: 228 mm.
- Alto: 1071 mm (17 ladrillos de alto 63 mm).

Los detalles de la base se especifican en el Anexo 4: Plano COD.C-020.

Recubrimiento Aislante

En la Figura 75 se representa un esquema del recubrimiento aislante.

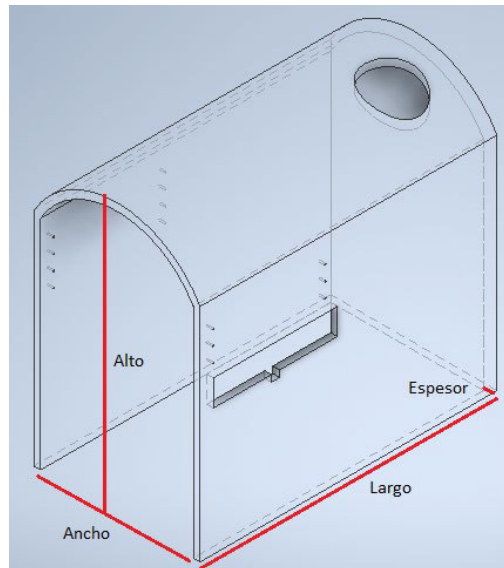


Figura 75. Esquema recubrimiento aislante

Fuente: Propia

Para el aislamiento térmico se ha optado por colocar una capa de lana de vidrio en el contorno exterior de todo el material refractario, manteniendo los radios de curvaturas de las cúpulas y las dimensiones de las cámaras primaria y secundaria.

Los detalles del aislamiento térmico se muestran en el adjunto Anexo 4: Plano COD.C-011, y sus dimensiones totales son las siguientes:

- Largo: 2216 mm.
- Alto: 2014 mm.
- Ancho: 1140 mm.
- Espesor: 50 mm.

Carcasa Chapa Metálica

La capa más externa del horno será elaborada con planchas de acero inoxidable de las siguientes dimensiones totales:

- Largo: 2216 mm.
- Alto: 2016 mm.
- Espesor: 2 mm.

En la Figura 76 se presenta un esquema de la carcasa de chapa metálica.

Los detalles específicos de la carcasa externa se adjuntan en el Anexo 4: Plano COD.C-012.

Es necesario aclarar que la chapa metálica del recubrimiento exterior del horno (carcasa) deberá ser manufacturado una vez que la estructura refractaria esté

completamente construida y se agregue la capa aislante sobre las cámaras. Esto podría modificar las dimensiones últimas de la carcasa.

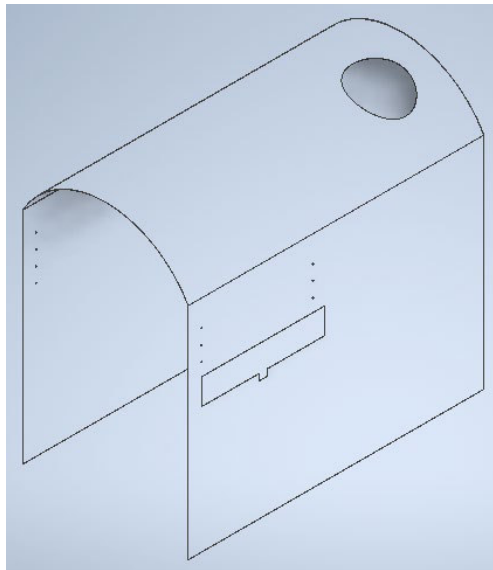


Figura 76. Esquema de carcasa metálica

Fuente: Propia

Ensamble Compuerta Principal

En la Figura 77 se presenta el esquema del ensamble de la compuerta principal.

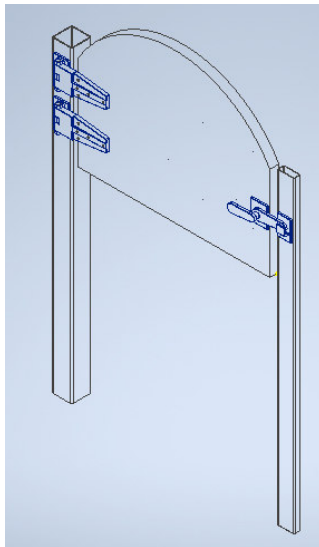


Figura 77. Esquema de ensamble compuerta principal

Fuente: Propia

La compuerta principal estará formada por concreto refractario fundido sobre una carcasa de acero, donde se empotrarán las bisagras que estarán soportadas en un perfil estructural de tipo tubo cuadrado, este último empotrado en la base tipo replantillo de concreto. Los detalles del ensamble y fabricación de la compuerta se adjuntan en el Anexo 4: Plano COD.C-003

Dimensiones de espesor de pared

Con estos detalles se estima que el espesor total de la pared de las cámaras principal y secundaria es de 280 mm, conformado de tres capas descritas en la Tabla 25, desde adentro hacia afuera:

Tabla 25. Materiales de capas de pared para cámaras

Material	Dimensión	Unidad
Ladrillo Refractario	228	mm
Lana de Vidrio	50	mm
Lámina metálica de acero negro	2	mm

2.8. Planos de conjunto, detalle y taller

Los planos resultantes del diseño de la estructura tanto del horno de tamaño real como el de tamaño reducido se adjuntan en los Anexos 3 y 4, respectivamente.

2.9. Análisis de Costos

En el presente capítulo se elabora un estudio de los costos que deben incurrirse para la construcción de la máquina propuesta.

2.9.1. Costo de Fabricación Tamaño Real

Costo Material

En la Tabla 26 se muestra el costo de los materiales necesarios para la construcción de la estructura del horno incinerador de tamaño real.

Tabla 26. Costo materiales horno incinerador

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
Ladrillo Refractario	2900	u	\$ 4,70	\$ 13.630,00
Concreto Refractario	26	saco	\$ 15,00	\$ 390,00
Mortero Refractario	350	kg	\$ 3,00	\$ 1.050,00
Lana de Vidrio	1	rollo	\$ 80,00	\$ 80,00
Cemento	6	saco	\$ 8,11	\$ 48,66
Arena	4	m3	\$ 20,20	\$ 80,80
Bisagras	6	u	\$ 50,00	\$ 300,00
Pernos M6	70	u	\$ 0,80	\$ 56,00
Planchas de Acero 2400x1200x2 mm	10	u	\$ 245,00	\$ 2.450,00
Plancha de Acero 2400x1200x6 mm	1	u	\$ 680,00	\$ 680,00
Varilla Acero corrugado 10 mm	9	m	\$ 9,80	\$ 88,20
Tubo Cuadrado de Acero Estructural 120x120x3/16	4	m	\$ 40,00	\$ 160,00
Cerradura	1	u	\$ 20,00	\$ 20,00
Pintura Alta Temperatura	2	gal	\$ 57,00	\$ 114,00
			TOTAL	\$ 19.147,66

Costo Mano de Obra

En la Tabla 27 se muestra los costos de la mano de obra considerada para la construcción de la estructura del horno incinerador de tamaño real.

Tabla 27. Costo de mano de obra

MANO DE OBRA			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA
C1	Suministro y Fabricación de estructura de ladrillos refractarios	u	\$ 3.100,00
C2	Suministro y Fabricación de piezas de concreto refractario	kg	\$ 870,00
C3	Replanteo de concreto estructural	m3	\$ 50,00
C4	Instalaciones eléctricas de potencia y control	u	\$ 900,00
C5	Ensamblaje de capa aislante	rollo	\$ 20,00
C6	Ensamblaje recubrimiento externo	m2	\$ 300,00
Total			\$ 5.240,00

2.9.2. Costo de Fabricación Prototipo

Costo Material

En la Tabla 28 se muestran los materiales considerados para la construcción de la estructura del horno prototipo, con sus costos estimados.

Tabla 28. Costos de materiales horno prototipo

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
Ladrillo Refractario	1260	u	\$ 4,70	\$ 5.922,00
Ladrillo Tradicional	350	u	\$ 0,50	\$ 175,00
Concreto Refractario	12	saco	\$ 15,00	\$ 180,00
Mortero Refractario	220	kg	\$ 3,00	\$ 660,00
Lana de Vidrio	1	rollo	\$ 80,00	\$ 80,00
Cemento	3	saco	\$ 9,00	\$ 27,00
Arena	2	m3	\$ 20,20	\$ 40,40
Bisagras	2	u	\$ 50,00	\$ 100,00
Pernos M6	25	u	\$ 0,80	\$ 20,00
Planchas de Acero Negro 2440x1220x2 mm	7	u	\$ 75,00	\$ 525,00
Tubo Cuadrado de Acero Estructural 120x120x3/16	3	m	\$ 40,00	\$ 120,00
Tubo Rectangular Acero Estructural 100x40x3	3	m	\$ 30,00	\$ 90,00
Plancha de Acero Negro 2400x1200x6 mm	1	u	\$ 220,00	\$ 220,00

Varilla de acero corrugado 10 mm	6	m	\$ 12,00	\$ 72,00
Cerradura	1	u	\$ 20,00	\$ 20,00
Pintura Alta Temperatura	3	gal	\$ 55,00	\$ 165,00
TOTAL			\$ 8.416,40	

Costo Mano de Obra

En la Tabla 29 se muestra los costos de la mano de obra considerada para la construcción de la estructura del horno incinerador prototipo.

Tabla 29. Costo de mano de obra horno prototipo

MANO DE OBRA			
Código	Descripción	Unidad	Costo Mano de Obra
C1	Suministro y Fabricación de estructura de ladrillos refractarios	u	\$ 1.400,00
C2	Suministro y Fabricación de estructura de ladrillos tradicionales	u	\$ 200,00
C3	Suministro y Fabricación de piezas de concreto refractario	kg	\$ 450,00
C4	Replanteo de concreto estructural	m3	\$ 50,00
C5	Instalaciones eléctricas de potencia y control	u	\$ 500,00
C6	Ensamblaje de capa aislante	rollo	\$ 20,00
C7	Ensamblaje recubrimiento externo	m2	\$ 200,00
Total			\$ 2.820,00

2.9.3. Costos de Control y Potencia Eléctrica Prototipo

En la

Tabla 30 se detallan los costos de los materiales considerados por (Flores & Mena, 2022) para la instalación del sistema eléctrico de potencia y control.

Tabla 30. Costos del sistema eléctrico del horno.

MATERIALES DE CONTROL INDUSTRIAL Y POTENCIA ELÉCTRICA				
	Descripción	Cantidad	Precio	Total
Control industrial	LOGO PLC Modulo 8.3	1	\$ 179,28	\$ 179,28
	Módulo de Expansión Entradas Analógicas LOGO 8	1	\$ 97,96	\$ 97,96
	Acondicionador de señales de entrada de termopar	1	\$ 190,00	\$ 190,00
	Termopar tipo S	10	\$ 60,00	\$ 600,00
	Contactador trifásico CHINT- Nc2	1	\$ 275,00	\$ 275,00
	Contactador bifásico	1	\$ 20,00	\$ 20,00
	Variador Frecuencia	1	\$ 370,00	\$ 370,00

	Motor y cremallera	1	\$ 400,00	\$ 400,00
	Motor reductor	1	\$ 350,00	\$ 350,00
	Finales de carrera	2	\$ 25,00	\$ 50,00
	Pulsadores	2	\$ 2,00	\$ 4,00
Instalaciones de potencia	Resistencia Niquelina Metálica	60	\$ 28,00	\$ 1.680,00
	Cable para altas temperaturas	1	\$ 120,00	\$ 120,00
	Interruptor termomagnético trifásico Square D - KAL36125	1	\$ 300,00	\$ 300,00
	Interruptor termomagnético bifásico	3	\$ 50,00	\$ 150,00
	Interruptor termomagnético monofásico	1	\$ 12,00	\$ 12,00
	Tablero para el control	1	\$ 38,00	\$ 38,00
	Borneras	15	\$ 4,00	\$ 60,00
	Cable THHN 6AWG	1	\$ 210,00	\$ 210,00
	Cable THHN 14AWG	1	\$ 32,36	\$ 32,36
	Tornillos	1	\$ 25,00	\$ 25,00
	Técnico de instalación	1	\$ 450,00	\$ 450,00
	Elementos complementarios para instalación	1	\$ 100,00	\$ 100,00
			TOTAL	\$ 5.773,60

2.9.4. Costos de Recolección Prototipo

En la Tabla 31 se detallan los costos de los materiales considerados por (Pallo, 2022) para la instalación del sistema de apertura y cierre de la compuerta de recolección.

Tabla 31. Costos de compuerta de recolección

MATERIALES COMPUERTA DE RECOLECCIÓN				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
Tubo Estructural 40x2 ASTM A36	6	m	\$ 4,45	\$ 26,70
Ángulo 40x40x4 ASTM A36	3	m	\$ 3,16	\$ 9,48
Plancha 6 mm AISI 304	0,06	m2	\$ 330,09	\$ 19,81
Plancha 3 mm AISI 304	0,08	m2	\$ 165,10	\$ 13,21
Ángulo 50x50x6 AISI 304	8	m	\$ 30,80	\$ 246,40
Ángulo 100x100x6 AISI 304	0,8	m	\$ 55,50	\$ 44,40
Bocín inferior	1	u	\$ 132,00	\$ 132,00
Bocín de desgaste	1	u	\$ 132,00	\$ 132,00
Bocín lateral	1	u	\$ 44,00	\$ 44,00
Apoyo de eje	12	u	\$ 9,50	\$ 114,00
Eje AISI 304 Ø = 1 in	13	u	\$ 25,00	\$ 325,00
Perno 1/2" x 2 1/2"	48	u	\$ 0,50	\$ 24,00
Arandela de presión 1/2"	48	u	\$ 0,50	\$ 24,00
Tuerca hex. 1/2"	48	u	\$ 0,50	\$ 24,00
Perno 9/16" x 5"	4	u	\$ 3,00	\$ 12,00
Arandela plana 9/16"	8	u	\$ 0,50	\$ 4,00
Tuerca hex. 9/16"	4	u	\$ 0,50	\$ 2,00

Arandela plana M16	12	u	\$ 0,20	\$ 2,40
Espárragos 3/8" x 1"	6	u	\$ 3,00	\$ 18,00
Arandela de presión 3/8"	6	u	\$ 0,20	\$ 1,20
Tuerca hex. 3/8"	6	u	\$ 0,30	\$ 1,80
Pasadores de horquilla d = 5mm	12	u	\$ 0,30	\$ 3,60
Engranaje	1	u	\$ 20,00	\$ 20,00
Moto-reductor	1	u	\$ 450,00	\$ 450,00
			TOTAL	\$ 1.693,99

2.9.5. Costo Total del Horno Incinerador

En la Tabla 32 se muestra un resumen del costo de la construcción del horno incinerador, sin considerar los materiales del área eléctrica y recolección de restos. Esto es debido a que los trabajos de (Flores & Mena, 2022) y (Pallo, 2022) no contemplan el horno de tamaño real en sus respectivos estudios.

Tabla 32. Costo total construcción horno incinerador

COSTO TOTAL	
Costo Materiales Refractarios y Estructurales	\$19.147,66
Costo de Mano de Obra de Montaje de Refractarios	\$ 5.240,00
TOTAL	\$24.387,66

2.9.6. Costo Total del Horno Prototipo

En la Tabla 33 se detalla el costo total de los rubros tomados en consideración para su construcción.

Tabla 33. Costo total prototipo

COSTO TOTAL PROTOTIPO	
Costo Materiales Refractarios y Estructurales	\$ 8.416,40
Costo de Materiales de Control Industrial y Potencia	\$ 5.773,60
Costo Materiales Compuerta de Recolección	\$ 1.693,99
Costo de Mano de Obra de Montaje de Refractarios	\$ 2.820,00
TOTAL	\$ 18.703,99

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de Resultados de Diseño

Las dimensiones totales del horno de tamaño real, resultantes del diseño, están en concordancia con las dimensiones de los hornos incineradores por combustión disponibles en el mercado. La dimensión del largo de la cámara principal, de 2116 mm, es suficiente para albergar un ataúd con cadáver humano. La altura de la base está construida de acuerdo a las medidas estándares de las camillas mortuorias disponibles en el mercado.

Inicialmente se asumió colocar concreto refractario como primera capa de pared. En las iteraciones del posterior estudio de Collantes, P. se observa que al combinar los materiales aislantes (concreto refractario, ladrillo refractario y lana de vidrio), la mejor opción es utilizar solamente una capa de ladrillo refractario de 228 mm recubierto con

50 mm lana de vidrio, sin concreto refractario. El estudio térmico de Collantes, P. y eléctrico de Flores y Mena determinaron que el conjunto de espesor de pared de 280 mm con potencia de 15 kW cumple con la temperatura y el tiempo requeridos para incinerar completamente un ataúd con cadáver humano, posterior al tiempo de precalentamiento. Tanto para el horno incinerador de tamaño real como para el prototipo de tamaño reducido se utiliza el mismo espesor de pared.

La compuerta corrediza diseñada conjuntamente con el trabajo de Pallo, C. tiene formas particularmente definidas para cumplir con la tarea de cerrar herméticamente la cámara principal y, también permitir la recolección y caída de los restos incinerados al sistema de traslado y molienda de cenizas. La chimenea de 250 mm de diámetro y mínimo 8 m de altura se determina mediante los cálculos realizados en la sección 2.5.3, tomando como referencia diámetro y altura de un horno incinerador de combustión de dimensiones similares. Además, se presenta el diseño de un replantillo de 6000 x 3200 x 200 mm para el horno prototipo de tamaño reducido, ya que no se dispone de un terreno adecuado para su construcción dentro de la EPN. Para soportar la compuerta principal se seleccionan columnas de tubo cuadrado de 120 x 120 x 5 mm, teniendo en cuenta la cantidad de hilos de rosca que requiere el perno de la bisagra para asegurarse adecuadamente y, también teniendo en cuenta que el tamaño de la base de la bisagra calce fácilmente en la cara de dicha columna.

El sistema de control y potencia del horno prototipo de tamaño reducido, diseñado en el trabajo de Flores y Mena se encuentra automatizado para incineración del cuerpo, recolección y molienda de restos, mediante el uso de componentes eléctricos que, además, garantizan la seguridad del operario. En este estudio se compararon diferentes distribuciones de resistencias en la cámara principal, con lo que se obtuvieron potencias de 6 kW, 15 kW y 21 kW. Se determinó que la potencia más ideal para la carga de ~25 kg, en el tiempo de incineración requerido, es la de 15 kW. Como resultado del diseño propuesto, con resistencias eléctricas se reduce el tiempo de incineración comparado con cremación mediante combustibles fósiles.

3.2. Análisis de Resultados de Costos

El diseño propuesto para el horno de tamaño real contempla solamente el costo de adquisición de materiales estructurales y refractarios con su respectiva mano de obra para construcción. No contempla los costos debidos a los materiales eléctricos de control y potencia ni los mecánicos para el sistema de recolección y molienda, presentados en los trabajos de Flores y Mena, y Pallo, respectivamente. Se evidencia que el costo total del horno de tamaño real presentado en la Tabla 32 no es excesivamente elevado al costo total del horno prototipo de tamaño reducido, presentado en la Tabla 33. Cabe aclarar que este aumento del costo no es excesivo debido a que no se consideran todos los materiales de las otras áreas de estudio mencionadas.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Conclusiones

Arias y Bolaños realizaron un estudio experimental de comparación de métodos de energización eléctrica mediante la construcción de un modelo a escala de la cámara principal de un horno incinerador. Esta experimentación analiza la radiación generada por arco eléctrico en comparación con la generada por resistencia eléctrica. Se llegó a la conclusión de que el método más eficiente para energizar un horno es la radiación generada por resistencia eléctrica. (Arias & Bolaños, 2021).

El diseño propuesto de tamaño real cumple con la funcionalidad de incinerar por completo una masa de ~120 kg correspondiente a un féretro con cadáver humano que ha sido realizado tanatopraxia.

El prototipo de tamaño reducido ha sido diseñado para reproducir el fenómeno de incineración de una masa de ~25 kg con el fin de experimentar el tiempo de incineración, la temperatura máxima de las cámaras, la temperatura mínima del exterior, los olores, el ruido y otros factores que intervienen en el proceso.

El sistema de recolección de restos incinerados diseñado conjuntamente con el trabajo de Pallo, C. es funcional, debido a que cuenta con un sistema completo de recolección y molienda de restos incinerados, con el fin de obtener cenizas.

Los parámetros geométricos que se tomaron en cuenta para el diseño del horno incinerador de tamaño reducido están basados en las dimensiones de un horno eléctrico crematorio de mascotas.

Las dimensiones totales calculadas en el diseño concuerdan con dimensiones establecidas por el mercado para hornos crematorios de combustión, lo que posibilita la alternativa de cambiar los hornos existentes en el país, sin necesidad de readecuar espacios para su funcionamiento.

Con el espesor de pared obtenido en el diseño se garantiza que el horno soporta las temperaturas de trabajo requeridas, tanto interna como externamente. Además, proporciona seguridad al operario con controles de temperatura y recolección de restos totalmente automatizados, evitando así riesgos de trabajo como quemaduras o aspiración de gases contaminantes ya que no es necesario abrir la cámara principal para realizar la molienda de restos incinerados.

Uno de los aspectos solicitados y destacados en la casa de la calidad es que el horno no genere ruido por su funcionamiento, cumpliendo así un requisito necesario establecido en la normativa ambiental del Ecuador. El horno del diseño propuesto no generaría ruido comparado con un horno de combustión debido a que las resistencias eléctricas, como fuente de incineración, no producen sonidos fuertes propios de la combustión.

Las columnas de la compuerta del horno están diseñadas de tal forma que asegura el soporte de la carga debido a que están sobredimensionadas. El sobredimensionamiento se da principalmente para alojar holgadamente a la base de la bisagra seleccionada. Se comprueba su resistencia con la obtención de un factor de seguridad bastante amplio y con el cálculo de la carga crítica que soportarían las columnas, la cual está muy por debajo del límite necesario para provocar pandeo que ponga en riesgo a la estructura total.

De acuerdo a los estudios realizados se opta por diseñar una cámara principal tipo túnel, porque permite que el calor por radiación generado por las resistencias eléctricas se distribuya de una mejor manera dentro de la cámara, para envolver completamente al féretro e incinerarlo.

Con el estudio térmico en estado estable se afirma que la temperatura exterior mínima teórica de 70 °C se obtiene mediante la combinación de solamente ladrillo refractario, ubicado en forma lateral (228mm), y una capa de 50 mm de lana de vidrio.

Inicialmente, la idea de utilizar una capa interior de concreto refractario conjuntamente con ladrillo refractario y lana de vidrio suponía un mejor aislamiento para disminuir la temperatura. Sin embargo, a través de las iteraciones mostradas en las Figura 42,

Figura 43 y Figura 44 se comprueba que no es necesaria esta capa interior. Además, esto representa una disminución en los costos de fabricación.

La construcción de una cámara de post incineración asegura que el flujo de gases producidos tenga una velocidad y temperatura adecuadas para no emanar gases contaminantes al aire, pero no es necesaria porque no existen gases de combustión.

El resultado del diámetro y altura de la chimenea están realizados en base a estudios teóricos de hornos de combustión debido a que no se posee referencias de hornos de cremación eléctricos en el Ecuador. Esto contribuye que los cálculos realizados en este proyecto sea una aproximación no muy exacta para hornos eléctricos.

El replantillo presentado en el diseño del horno prototipo de tamaño reducido satisface la necesidad de un terreno adecuado para su construcción. Es por esto que no es necesario el diseño del replantillo para el horno de tamaño real.

Es más rentable la construcción del horno prototipo de tamaño reducido para experimentación, debido a, principalmente, la utilización de menor cantidad de materiales refractarios. Además, dado el presupuesto máximo del Proyecto de Transferencia Tecnológica PTT-20-01, en el diseño del horno prototipo se emplean solamente materiales necesarios para satisfacer la funcionalidad de incineración, mas no recolección, trituración y estética.

Trabajos Futuros

Realizar la construcción del horno prototipo de tamaño reducido para experimentar que se reproduzca el fenómeno térmico del horno incinerador de tamaño real y así cumplir con uno de los objetivos del Proyecto de Transferencia Tecnológica PTT-20-01.

Diseñar y realizar un protocolo de pruebas de funcionamiento y carga para los hornos.

Plantear un estudio térmico y ambiental para el diseño adecuado de la chimenea y el sistema de control de olores y gases contaminantes.

Plantear un estudio térmico y eléctrico de potencia para optimización del funcionamiento luego de la experimentación del horno prototipo de tamaño reducido.

Diseñar un plan de mantenimiento acorde al horno incinerador de tamaño real, posterior a la experimentación del horno prototipo de tamaño reducido.

Recomendaciones

Fabricar las bisagras que soportan la compuerta en la columna del horno, en lugar de seleccionarlás, para así reducir el tamaño de su base, lo cual permitiría disminuir el tamaño de la cara de la columna y optimizar el costo de este componente.

Verificar si el terreno es adecuado para la construcción del horno incinerador, es decir, totalmente plano para la correcta nivelación de los ladrillos. En el caso de no contar con un terreno plano, se recomienda la construcción de un replantillo de hormigón de al menos 200 mm con un área que abarque toda la superficie inferior del horno.

La cámara secundaria del diseño propuesto cuenta con una pared separadora para aumentar la velocidad del flujo de salida de los gases de incineración. Debido a que el horno no es de combustión, se puede disminuir las dimensiones de la cámara secundaria a un solo compartimiento, sin pared separadora, y a una altura igual que la cámara principal. Esto reduciría el material refractario utilizado para su construcción y, por ende, los costos

La fabricación del diseño propuesto contempla la adquisición de ladrillos refractarios acuñaados para la construcción del arco de las cámaras. Se podría reducir los costos asociados a los materiales y mano de obra fabricando las cámaras con forma rectangular en lugar de túnel.

Se debe verificar que tanto el cadáver como el féretro no contengan metales como acero inoxidable, oro, plata, bronce, titanio, cobalto, paladio, presentes en prótesis, coronas dentales, placas, tornillos, pernos y joyería. Estos materiales son indeseados en el proceso de cremación debido a que aumentan el tiempo de incineración y provocan contaminación en los restos y en el aire.

Para aumentar la vida útil del material refractario de las cámaras, sobre todo de la cámara principal, se debe realizar un análisis del tiempo de precalentamiento adecuado del horno. Un precalentamiento no adecuado puede generar choque térmico o exceso de oxidación en el material refractario, lo que podría causar grietas o fracturas del ladrillo.

Crear un plan de mantenimiento que contemple las actividades de revisión periódica de los componentes eléctricos, materiales refractarios, componentes mecánicos, fugas de calor, pérdidas de potencia, entre otros.

El operario debe utilizar el equipo de protección personal necesario para trabajo en caliente, tanto para el protocolo de pruebas como el funcionamiento del horno.

5. REFERENCIAS

- ANPER Ceramics. (s.f.). *Resistencias eléctricas a medida Kanthal A1*. Obtenido de Anper.net: <https://anper.net/productos/1089/construccion-de-hornos/resistencias-electricas-consultar>
- Arango, E. (22 de Mayo de 2010). *Catálogo de Erecos*. Recuperado el 24 de Julio de 2021, de https://issuu.com/edarvico/docs/catalogo_erecos
- Arias, F., & Bolaños, B. (2021). *Análisis comparativo entre sistemas de incineración patológica mediante radiación generada por arco eléctrico y resistencia eléctrica*. Quito: Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Aternum Ibérica. (s.f.). Hornos Crematorios. Porto.
- Barbieri, A. (1 de Agosto de 2016). *¿Cuánto contamina un cadáver?* Obtenido de LA VANGUARDIA: <https://www.lavanguardia.com/natural/20160801/403463427170/cadaver-contaminacion.html>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- CALTEC. (2021). *Crematorio Caltec*. (CALTEC) Recuperado el 24 de Julio de 2021, de <http://www.caltec.com.ar/crematorios.html>
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Collantes, P. (2022). *Diseño Térmico de un Incinerador Patológico Eléctrico en Estado Estable*. Quito: Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Cruz, H. (03 de Noviembre de 2020). *Morena propone regular emisiones de crematorios de la CDMX*. Obtenido de El Universal:

<https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/morena-propone-regular-emisiones-de-crematorios-de-la-cdmx>

El Universo. (19 de Abril de 2010). *Disolver restos, opción a la cremación y el entierro*. (El Universo) Recuperado el 1 de Agosto de 2021, de <https://www.eluniverso.com/2010/04/19/1/1430/disolver-restos-opcion-cremacion-entierro.html/>

Emison. (10 de Agosto de 2018). *CREMATORIO DE RESTOS DE CEMENTERIO*. (Emison) Recuperado el 3 de Agosto de 2021, de <http://www.emison.com/restos%20de%20cementerio.htm>

Flores, V., & Mena, D. (2022). *Implementación del control de temperatura en lazo cerrado en un horno eléctrico*. Quito: Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

García, C. (30 de Abril de 2019). *Electrometalurgia y Reciclaje de Materiales*. Obtenido de Open Course Ware: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2904/course/section/2733/tema_05.pdf

GB Ingeniería. (s.f.). *Hornos Crematorios*. Obtenido de GB Soluciones Tecnológicas S.A.: <http://www.gbingeneria.com.ar/hornos-crematorios-fabrica-para-residuos-patologicos.php>

Gómez, A. (2015). *DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN HORNO CREMATORIO EN UNA NAVE INDUSTRIAL*. Santander, España: Universidad de Cantabria.

Grupo Ambiental GKL SAS. (21 de Mayo de 2019). *Hornos crematorios*. Obtenido de GKL: <https://grupoambiental-gkl.webnode.com.co/hornos-crematorios/>

Grupo Reyma. (25 de Julio de 2018). *INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES REFRACTARIOS*. (Reyma) Obtenido de <https://www.reyma.com/introduccion-materiales-refractarios/>

Hermida, M. (25 de Enero de 2020). *Pontevedra, crematorio para toda Galicia*. Obtenido de La Voz de Galicia: https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/pontevedra/pontevedra/2020/01/25/pontevedra-crematorio-galicia/0003_202001P25C1992.htm

INEN. (1980). *CÓDIGO DE DIBUJO TÉCNICO-MECÁNICO*. Quito.

Islachín, A. (24 de Noviembre de 2017). *Pandeo de Columnas*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/alexIslachinEnriquez/diapositivas-pandeo-de-columnas>

Junta de Andalucía. (2011). *Decreto 239/2011*. Andalucía: Boletín Oficial.

Matthews Environmental Solutions. (2015). *Human Cremation Equipment*. (Matthews Environmental Solutions) Recuperado el 3 de Agosto de 2021, de <https://matthewsenvironmentalsolutions.com/esp/cremacion/equipo-de-cremacion/human-cremation-na>

Matthews Environmental Solutions. (s.f.). *La próxima generación de sistemas de cremación sin llamas*. (Matthews Environmental Solutions) Recuperado el 3 de Agosto de 2021, de <https://matthewsenvironmentalsolutions.com/esp/cremacion/equipo-de-cremacion/human-cremation-na/product/9-bio2-bio-cremation>

- Medical EXPO. (2021). *Carro mortuario ST91*. Obtenido de Virtual Expo Group: <https://www.medicalexpo.es/prod/comfit-srl/product-112403-745564.html>
- Ministerio de Salud Pública. (31 de Marzo de 2021). *Actualización de casos de coronavirus en Ecuador*. Obtenido de Ministerio de Salud Pública: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/INFOGRAFIA-NACIONALCOVID19-COE-NACIONAL-08h00-3132021.pdf>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2 de Abril de 2020). *Manipulación y disposición final de cadáveres con antecedente y presunción COVID-19*. Recuperado el 24 de Julio de 2021, de <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2020/04/Crematorios.pdf>
- Nissen, W. (2002). *Combustion And Incineration Processes* (Tercera Edición ed.). New York, EE.UU.: Marcel Dekker, Inc.
- Pallo, C. (2022). *Diseño de una máquina para recoger y moler restos óseos incinerados*. Quito: Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Pilamonta, D. (13 de Septiembre de 2016). *Leccion11 Hornos resistencia. Resistencias. Calentamiento*. Obtenido de SlideShare: <https://www.slideshare.net/dpilamontamanay/leccion11hornos-resistenciaresistenciascalentamiento>
- Prosondas. (2016). *Sonda de temperatura termopar tipo S*. Obtenido de Prosondas: <https://prosondas.com/productos/termopares/sonda-temperatura-tipo-s>
- Refractarios de Colombia. (2020). *Productos*. Obtenido de <https://www.refractariosdecolombia.com/>
- Refricentral. (2021). *1214 BISAGRA TRABAJO PESADO*. Obtenido de Catálogo: http://refricentral.com.mx/index.php?route=product/product&manufacturer_id=11&product_id=232&page=19
- Resistencias del Oriente Ltda. (2021). *Resistencias en cuarzo*. Obtenido de <http://www.resistenciasdelorienteltda.com/index.php/resistencias-en-cuarzo>
- Roundfin. (2021). *Mesa de disección de acero inoxidable Mesa de autopsia*. Obtenido de Roundfin: <http://es.roundfin.com/product/stainless-steel-dissecting-table-autopsy-table>
- SkyCiv. (2021). *Calculadora de marcos en línea*. Obtenido de Cloud Engineering Software: <https://skyciv.com/es/free-frame-calculator/>
- Souza, E. (25 de Octubre de 2020). *¿Qué son los ladrillos refractarios y para qué sirven?* (J. Franco, Editor) Recuperado el 13 de Noviembre de 2021, de Arch Daily: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/949969/que-son-los-ladrillos-refractarios-y-para-que-sirven>
- Universidad Autónoma de Nuevo León. (1990). Universidad Autónoma de Nuevo León.

Anexo 1: Casa de la Calidad

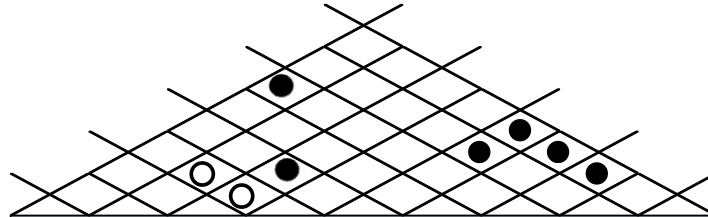
Anexo 2: Reporte de SkyCiv de Análisis de Columnas

Anexo 3: Planos de Conjunto, Subconjunto y Detalle del Horno Incinerador de Tamaño Real

Anexo 4: Planos de Conjunto, Subconjunto y Detalle del Horno Incinerador Prototipo de Tamaño Reducido

**ANEXO 1
CASA DE LA CALIDAD**

○	Muy Positiva
●	Positiva
□	Negativa
◇	Muy negativa



Voz del usuario	Voz del Ingeniero	Volumen de la cámara	Fácil operatividad	Niveles de ruido	Seguridad industrial	Fuente de energía	Tiempo de operación	Tamaño	Control ambiental	Eficiencia	Usuario		C	D	E	F	G	H
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Propia empresa	Competencia A	Objetivos	Indice de mejora	Factor de venta	Importancia	Ponderación	Ponderación [%]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B						
Tamaño moderado	1	9					9		3	3	0	3	1	1,5	3	4,5	7,0	
Fácil accionamiento	2		9				9			4	0	4	1	1,2	5	6	9,4	
Mínimo mantenimiento	3	1	1				1			3	0	3	1	1	3	3	4,7	
Tiempo de incineración máximo 150 min	4					3	9		9	4	0	4	1	1,5	4	6	9,4	
Fácil ingreso del cuerpo	5	3	3		9					4	0	5	1,25	1	4	5	7,8	
Trabajo silencioso	6			9						3	0	3	1	1	4	4	6,3	
Uso de energía de fácil acceso	7			3	9	9	3		3	4	0	5	1,25	1,5	4	7,5	11,7	
Menor consumo energético	8			3		9	9		9	3	0	3	1	1,5	4	6	9,4	
Mínima contaminación	9								9	4	0	4	1	1	5	5	7,8	
Poseer un buen aislante	10	3			3		3	9	9	4	0	5	1,25	1,2	5	7,5	11,7	
Seguridad para el operador	11		3	1	9				1	4	0	5	1,25	1,5	5	9,38	14,7	
																63,9	100	

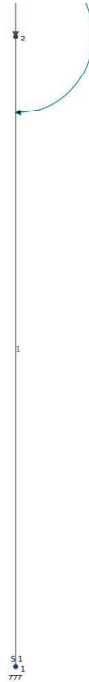
Propia empresa	4	4	4	4	5	4	4	5	5
Competencia 1	4	4	2	3	4	3	3	1	3
Incidencia	81	100,1	85,88	219,4	139,5	207	111	76,88	211,5
Incidencia [%]	6,573	8,125	6,969	17,8	11,32	16,8	9,008	6,239	17,16
Valores de referencia	Metros cúbicos (m3)		Decibeles dB		Voltaje V	Tiempo (horas)	Volumen m3	Norma ISO 14001	Tiempo de operación

Análisis de la competencia

E=D/A H=E*F*G

LINEAR STATIC ANALYSIS REPORT

Thu Jan 27 2022 11:49:25 GMT-0500 (hora de Ecuador)



File Name:
Software: SkyCiv Structural 3D v5.5.3

Included in this Report:

- Job Setup
- Bill of Materials
- Nodal Results
- Member Results

Job Setup

LINEAR STATIC ANALYSIS REPORT

SkyCiv Structural 3D v5.5.3

Date: Thu Jan 27 2022 11:49:25 GMT-0500 (hora de Ecuador)

File Name	
Job Name	Empty
Designer	Empty
Job Description	Empty

Length Units	m
Section Length Units	mm
Force Units	kN
Moment and Torsion Units	kN-m
Pressure Units	kPa
Material Strength Units	MPa
Material Density Units	kg/m ³
Mass Units	kg
Temperature Units	degC
Translation Units	mm
Stress Units	MPa
Nodes	2
Members	1
Plates	0
Meshed Plates	0
Supports	1
Sections	1
Point Loads	1
Distributed Loads	0
Moments	1
Member Prestress Loads	0
Thermal Loads	0
Pressures	0
Area Loads	0
Self Weight	OFF
User Defined Nodal Masses	0
Spectral Loads	0
Member Evaluation Points	9
Extrapolate Plate Results From Gauss Points	YES
General Constraint	RRRRRR
Total Degrees of Freedom	6

NODE COORDINATES (m)

ID	X Coordinate	Y Coordinate	Z Coordinate
1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	1.850	0.000

MEMBERS (deg, mm, m)

F=Fixed, R=Released

ID	Node A	Node B	Type	Section	Angle	Node A Fixity	Node B Fixity	Node A Offsets	Node B Offsets	Cable Length	Offset Axis	Length
1	1	2	Continuous & Normal	1	0.000	FFFFFF	FFFFFF	0, 0, 0	0, 0, 0	-	Local	1.850

SUPPORTS (kN/m, kNm/rad)

F=Fixed, R=Released, S=Spring

B=Both Axes Restraint, N=Negative-Axis Restraint Only, P=Positive-Axis Restraint Only

ID	Node ID	Restraint Code	Direction Code	X Trans Stiffness	Y Trans Stiffness	Z Trans Stiffness	X Rot Stiffness	Y Rot Stiffness	Z Rot Stiffness
1	1	FFFFFF	BBBBBB	-	-	-	-	-	-

MATERIALS (MPa, kg/m³, 10⁻⁶/degC)

Shear Modulus is used for members only.

Ex, Ey, Gxy, Gxz, Gyz are used for orthotropic plates only.

ID	Name	Young's Modulus	Shear Modulus	Density	Poisson's Ratio	Thermal Exp. Coeff.	Young's Modulus X	Young's Modulus Y	Shear Modulus XY	Shear Modulus XZ	Shear Modulus YZ
1	Structural Steel	200000.000	Auto	7850.000	0.270	-	-	-	-	-	-

SECTIONS (mm, mm², mm⁴, deg)

ID	Name	Shape	Depth	Width	Shear Area z (STRESS)	Shear Area y (STRESS)	Shear Area z (TIMO)	Shear Area y (TIMO)	Torsion Radius
1	HSS12x12x3/16	HSS12x12x3/16	304.800	304.800	2223.416	2223.416	-	-	180.718

ID	Centroid y	Centroid z	Area	y-Axis Mol	z-Axis Mol	Torsion Constant	Principal Angle	Non Prismatic
1	152.400	152.400	5258.054	78667739.438	78667739.438	120707113.424	0.000	N

POINT LOADS (kN)

ID	Load			Position (%)	X	Y	Z
	Group	Node	Member		Magnitude	Magnitude	Magnitude
1	LG	2			0.000	-1.100	0.000

MOMENTS (kN-m)

ID	Load			Position (%)	X	Y	Z
	Group	Node	Member		Magnitude	Magnitude	Magnitude
1	LG	2			0.000	0.000	-1.320

Bill of Materials

BILL OF MATERIALS FOR MEMBERS (m, kg)

Section	Material	Quantity	Unit Length	Total Length	Unit Mass	Total Mass
1	1	1	1.850	1.850	76.360	76.360
						76.360

Nodal Results

NODE REACTIONS (kN, kN-m)

Support ID	Node	X Force	Y Force	Z Force	X Moment	Y Moment	Z Moment
1	1	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000	1.320
	Reaction Sum	0.000	1.100	0.000			
	Load Sum	0.000	-1.100	0.000			
	Equilibrium	0.000	0.000	0.000			

MEMBER END FORCES AND MOMENTS (kN, kN-m)

Member	Node	Axial Force	Y Shear	Z Shear	X Torsion	Y Moment	Z Moment
1	1	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320
	2	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320

NODAL DISPLACEMENTS (mm)

Node	X Translation	Y Translation	Z Translation	Total Translation
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.144	-0.002	0.000	0.144

Member Results

INTERNAL MEMBER FORCES AND MOMENTS (m, kN, kN-m)

Red Cells = Maximum value of a result in the member/plate.
Green Cells = Minimum value of a result in the member/plate.

Member	Station Location	Axial Force	Y Shear	Z Shear	X Torsion	Y Moment	Z Moment
1	0.000	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320
1	0.231	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320
1	0.463	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320
1	0.694	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320
1	0.925	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320
1	1.156	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320
1	1.387	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320
1	1.619	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320
1	1.850	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.320

MEMBER DISPLACEMENTS (m, mm, rad)

Red Cells = Maximum value of a result in the member/plate.
Green Cells = Minimum value of a result in the member/plate.

Member	Station Location	Global X Translation	Global Y Translation	Global Z Translation	Total Translation	Global X Rotation	Global Y Rotation	Global Z Rotation
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.231	0.002	-0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	-0.000
1	0.463	0.009	-0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	-0.000
1	0.694	0.020	-0.001	0.000	0.020	0.000	0.000	-0.000
1	0.925	0.036	-0.001	0.000	0.036	0.000	0.000	-0.000
1	1.156	0.056	-0.001	0.000	0.056	0.000	0.000	-0.000
1	1.387	0.081	-0.001	0.000	0.081	0.000	0.000	-0.000
1	1.619	0.110	-0.002	0.000	0.110	0.000	0.000	-0.000
1	1.850	0.144	-0.002	0.000	0.144	0.000	0.000	-0.000

MEMBER LOCAL DISPLACEMENTS (m, mm, rad)

Red Cells = Maximum value of a result in the member/plate.
Green Cells = Minimum value of a result in the member/plate.

Member	Station Location	Local X Translation	Local Y Translation	Local Z Translation	Local X Rotation	Local Y Rotation	Local Z Rotation
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.231	-0.000	-0.002	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	0.463	-0.000	-0.009	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	0.694	-0.001	-0.020	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	0.925	-0.001	-0.036	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	1.156	-0.001	-0.056	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	1.387	-0.001	-0.081	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	1.619	-0.002	-0.110	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	1.850	-0.002	-0.144	0.000	0.000	0.000	-0.000

MEMBER DISPLACEMENT SPAN CHECK (m, mm)

Member	Length	Max Relative Displacement	Span Method 1	Span Method 2
1	1.850	0.144	L/12884	L/12884

MEMBER STRESSES (m, MPa)

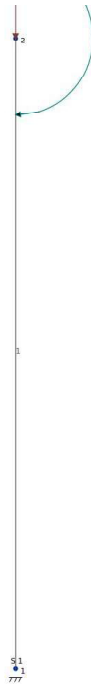
Red Cells = Maximum value of a result in the member/plate.

Green Cells = Minimum value of a result in the member/plate.

Member	Station Location	Axial Torsion	Shear Y Shear Z	Top Mom Z Btm Mom Z	Top Mom Y Btm Mom Y	Ax + Top Mom Z Ax + Btm Mom Z	Ax + Top Mom Y Ax + Btm Mom Y
1	0.000	0.209	0.000	-2.557	0.000	-2.348	0.209
		0.000	0.000	2.557	0.000	2.766	0.209
1	0.231	0.209	0.000	-2.557	0.000	-2.348	0.209
		0.000	0.000	2.557	0.000	2.766	0.209
1	0.463	0.209	0.000	-2.557	0.000	-2.348	0.209
		0.000	0.000	2.557	0.000	2.766	0.209
1	0.694	0.209	0.000	-2.557	0.000	-2.348	0.209
		0.000	0.000	2.557	0.000	2.766	0.209
1	0.925	0.209	0.000	-2.557	0.000	-2.348	0.209
		0.000	0.000	2.557	0.000	2.766	0.209
1	1.156	0.209	0.000	-2.557	0.000	-2.348	0.209
		0.000	0.000	2.557	0.000	2.766	0.209
1	1.387	0.209	0.000	-2.557	0.000	-2.348	0.209
		0.000	0.000	2.557	0.000	2.766	0.209
1	1.619	0.209	0.000	-2.557	0.000	-2.348	0.209
		0.000	0.000	2.557	0.000	2.766	0.209
1	1.850	0.209	0.000	-2.557	0.000	-2.348	0.209
		0.000	0.000	2.557	0.000	2.766	0.209

LINEAR STATIC ANALYSIS REPORT

Wed Jan 26 2022 17:07:16 GMT-0500 (hora de Ecuador)



File Name:
Software: SkyCiv Structural 3D v5.5.3

Included in this Report:

- Job Setup
- Bill of Materials
- Nodal Results
- Member Results

Job Setup

LINEAR STATIC ANALYSIS REPORT

SkyCiv Structural 3D v5.5.3

Date: Wed Jan 26 2022 17:07:16 GMT-0500 (hora de Ecuador)

File Name	
Job Name	Empty
Designer	Empty
Job Description	Empty

Length Units	m
Section Length Units	mm
Force Units	kN
Moment and Torsion Units	kN-m
Pressure Units	kPa
Material Strength Units	MPa
Material Density Units	kg/m ³
Mass Units	kg
Temperature Units	degC
Translation Units	mm
Stress Units	MPa
Nodes	2
Members	1
Plates	0
Meshed Plates	0
Supports	1
Sections	1
Point Loads	1
Distributed Loads	0
Moments	1
Member Prestress Loads	0
Thermal Loads	0
Pressures	0
Area Loads	0
Self Weight	OFF
User Defined Nodal Masses	0
Spectral Loads	0
Member Evaluation Points	9
Extrapolate Plate Results From Gauss Points	YES
General Constraint	RRRRRR
Total Degrees of Freedom	6

NODE COORDINATES (m)

ID	X Coordinate	Y Coordinate	Z Coordinate
1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	1.800	0.000

MEMBERS (deg, mm, m)

F=Fixed, R=Released

ID	Node A	Node B	Type	Section	Angle	Node A Fixity	Node B Fixity	Node A Offsets	Node B Offsets	Cable Length	Offset Axis	Length
1	1	2	Continuous & Normal	1	0.000	FFFFFF	FFFFFF	0, 0, 0	0, 0, 0	-	Local	1.800

SUPPORTS (kN/m, kNm/rad)

F=Fixed, R=Released, S=Spring

B=Both Axes Restraint, N=Negative-Axis Restraint Only, P=Positive-Axis Restraint Only

ID	Node ID	Restraint Code	Direction Code	X Trans Stiffness	Y Trans Stiffness	Z Trans Stiffness	X Rot Stiffness	Y Rot Stiffness	Z Rot Stiffness
1	1	FFFFFF	BBBBBB	-	-	-	-	-	-

MATERIALS (MPa, kg/m³, 10⁻⁶/degC)

Shear Modulus is used for members only.

Ex, Ey, Gxy, Gxz, Gyz are used for orthotropic plates only.

ID	Name	Young's Modulus	Shear Modulus	Density	Poisson's Ratio	Thermal Exp. Coeff.	Young's Modulus X	Young's Modulus Y	Shear Modulus XY	Shear Modulus XZ	Shear Modulus YZ
1	Structural Steel	200000.000	Auto	7850.000	0.270	-	-	-	-	-	-

SECTIONS (mm, mm², mm⁴, deg)

ID	Name	Shape	Depth	Width	Shear Area z (STRESS)	Shear Area y (STRESS)	Shear Area z (TIMO)	Shear Area y (TIMO)	Torsion Radius
1	HSS12x12x3/16	HSS12x12x3/16	304.800	304.800	2223.416	2223.416	-	-	180.718

ID	Centroid y	Centroid z	Area	y-Axis Mol	z-Axis Mol	Torsion Constant	Principal Angle	Non Prismatic
1	152.400	152.400	5258.054	78667739.438	78667739.438	120707113.424	0.000	N

POINT LOADS (kN)

ID	Load			Position (%)	X	Y	Z
	Group	Node	Member		Magnitude	Magnitude	Magnitude
1	LG	2		0.000	-1.200	0.000	

MOMENTS (kN-m)

ID	Load			Position (%)	X	Y	Z
	Group	Node	Member		Magnitude	Magnitude	Magnitude
1	LG	2		0.000	0.000	-0.883	

Bill of Materials

BILL OF MATERIALS FOR MEMBERS (m, kg)

Section	Material	Quantity	Unit Length	Total Length	Unit Mass	Total Mass
1	1	1	1.800	1.800	74.296	74.296
						74.296

Nodal Results

NODE REACTIONS (kN, kN-m)

Support ID	Node	X Force	Y Force	Z Force	X Moment	Y Moment	Z Moment
1	1	0.000	1.200	0.000	0.000	0.000	0.883
	Reaction Sum	0.000	1.200	0.000			
	Load Sum	0.000	-1.200	0.000			
	Equilibrium	0.000	0.000	0.000			

MEMBER END FORCES AND MOMENTS (kN, kN-m)

Member	Node	Axial Force	Y Shear	Z Shear	X Torsion	Y Moment	Z Moment
1	1	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883
	2	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883

NODAL DISPLACEMENTS (mm)

Node	X Translation	Y Translation	Z Translation	Total Translation
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.091	-0.002	0.000	0.091

Member Results

INTERNAL MEMBER FORCES AND MOMENTS (m, kN, kN-m)

Red Cells = Maximum value of a result in the member/plate.
Green Cells = Minimum value of a result in the member/plate.

Member	Station Location	Axial Force	Y Shear	Z Shear	X Torsion	Y Moment	Z Moment
1	0.000	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883
1	0.225	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883
1	0.450	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883
1	0.675	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883
1	0.900	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883
1	1.125	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883
1	1.350	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883
1	1.575	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883
1	1.800	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.883

MEMBER DISPLACEMENTS (m, mm, rad)

Red Cells = Maximum value of a result in the member/plate.
Green Cells = Minimum value of a result in the member/plate.

Member	Station Location	Global X Translation	Global Y Translation	Global Z Translation	Total Translation	Global X Rotation	Global Y Rotation	Global Z Rotation
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.225	0.001	-0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	-0.000
1	0.450	0.006	-0.001	0.000	0.006	0.000	0.000	-0.000
1	0.675	0.013	-0.001	0.000	0.013	0.000	0.000	-0.000
1	0.900	0.023	-0.001	0.000	0.023	0.000	0.000	-0.000
1	1.125	0.036	-0.001	0.000	0.036	0.000	0.000	-0.000
1	1.350	0.051	-0.002	0.000	0.051	0.000	0.000	-0.000
1	1.575	0.070	-0.002	0.000	0.070	0.000	0.000	-0.000
1	1.800	0.091	-0.002	0.000	0.091	0.000	0.000	-0.000

MEMBER LOCAL DISPLACEMENTS (m, mm, rad)

Red Cells = Maximum value of a result in the member/plate.
Green Cells = Minimum value of a result in the member/plate.

Member	Station Location	Local X Translation	Local Y Translation	Local Z Translation	Local X Rotation	Local Y Rotation	Local Z Rotation
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.225	-0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	0.450	-0.001	-0.006	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	0.675	-0.001	-0.013	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	0.900	-0.001	-0.023	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	1.125	-0.001	-0.036	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	1.350	-0.002	-0.051	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	1.575	-0.002	-0.070	0.000	0.000	0.000	-0.000
1	1.800	-0.002	-0.091	0.000	0.000	0.000	-0.000

MEMBER DISPLACEMENT SPAN CHECK (m, mm)

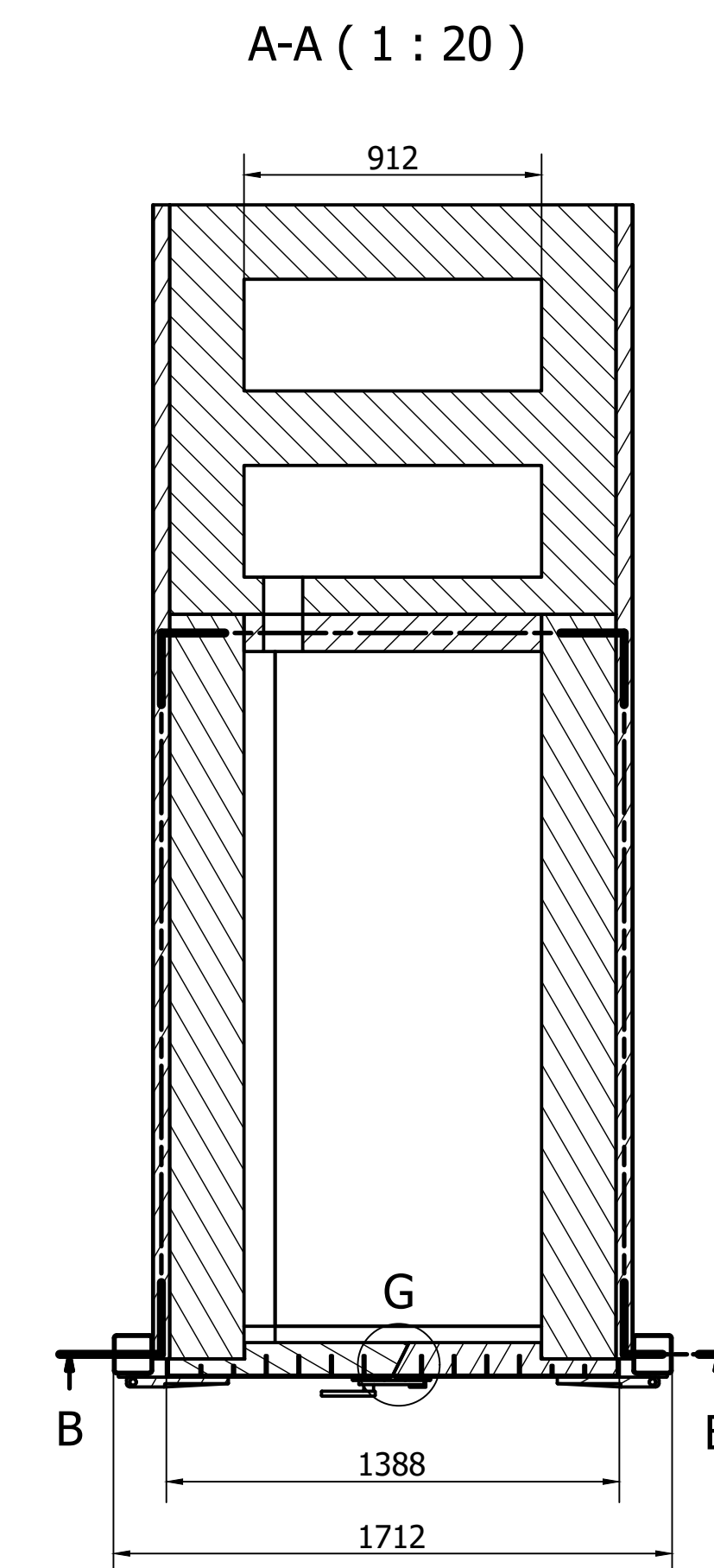
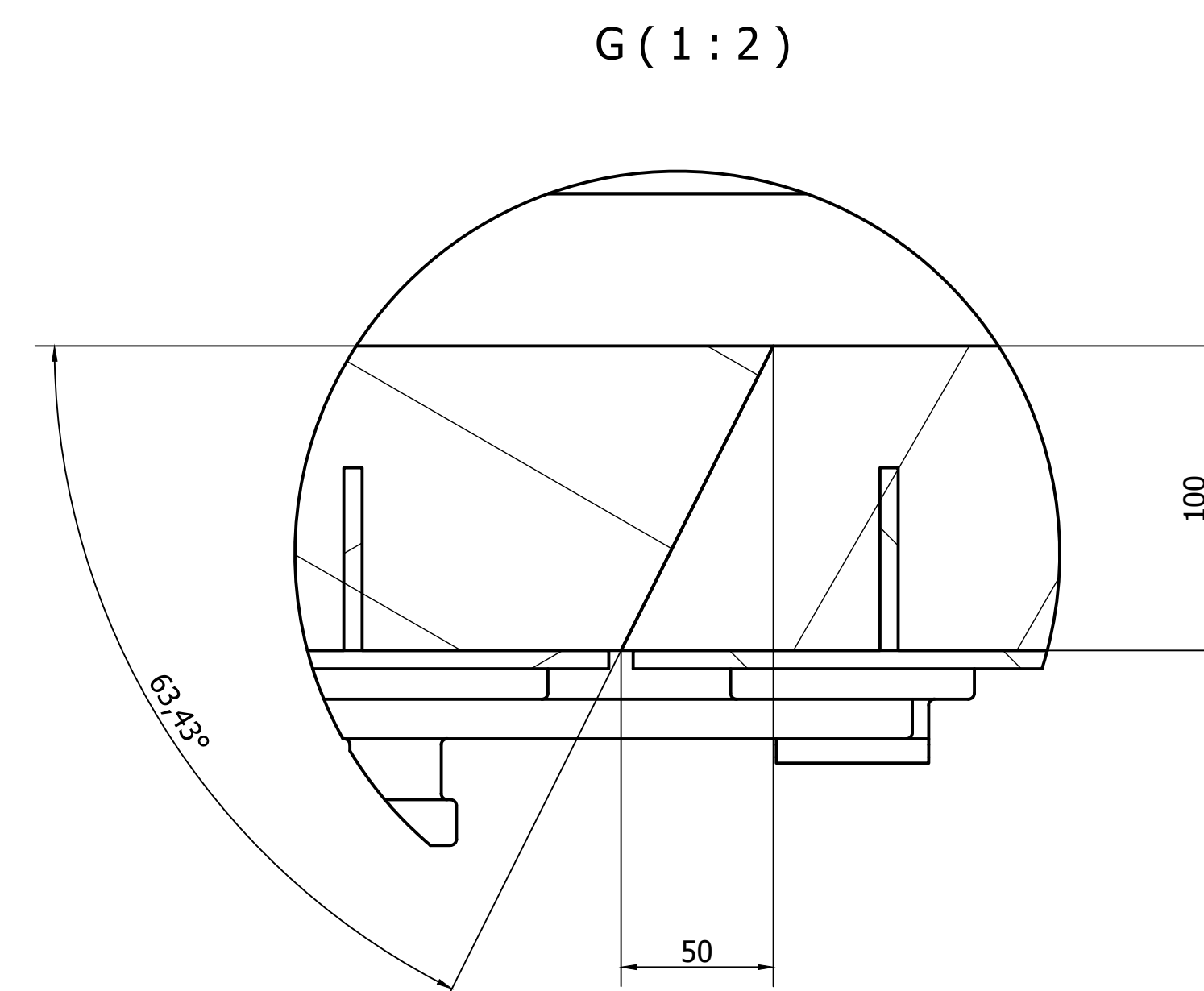
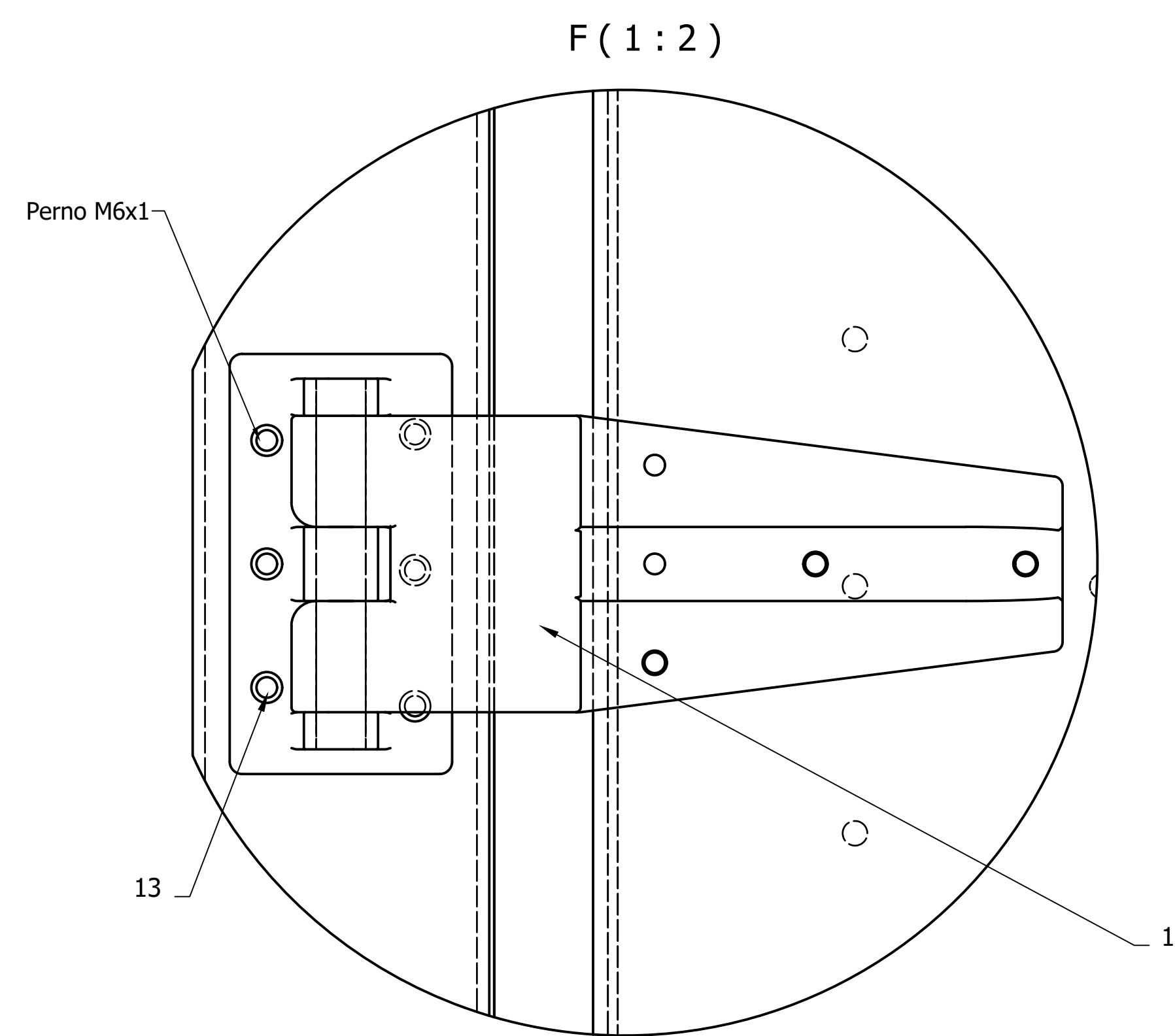
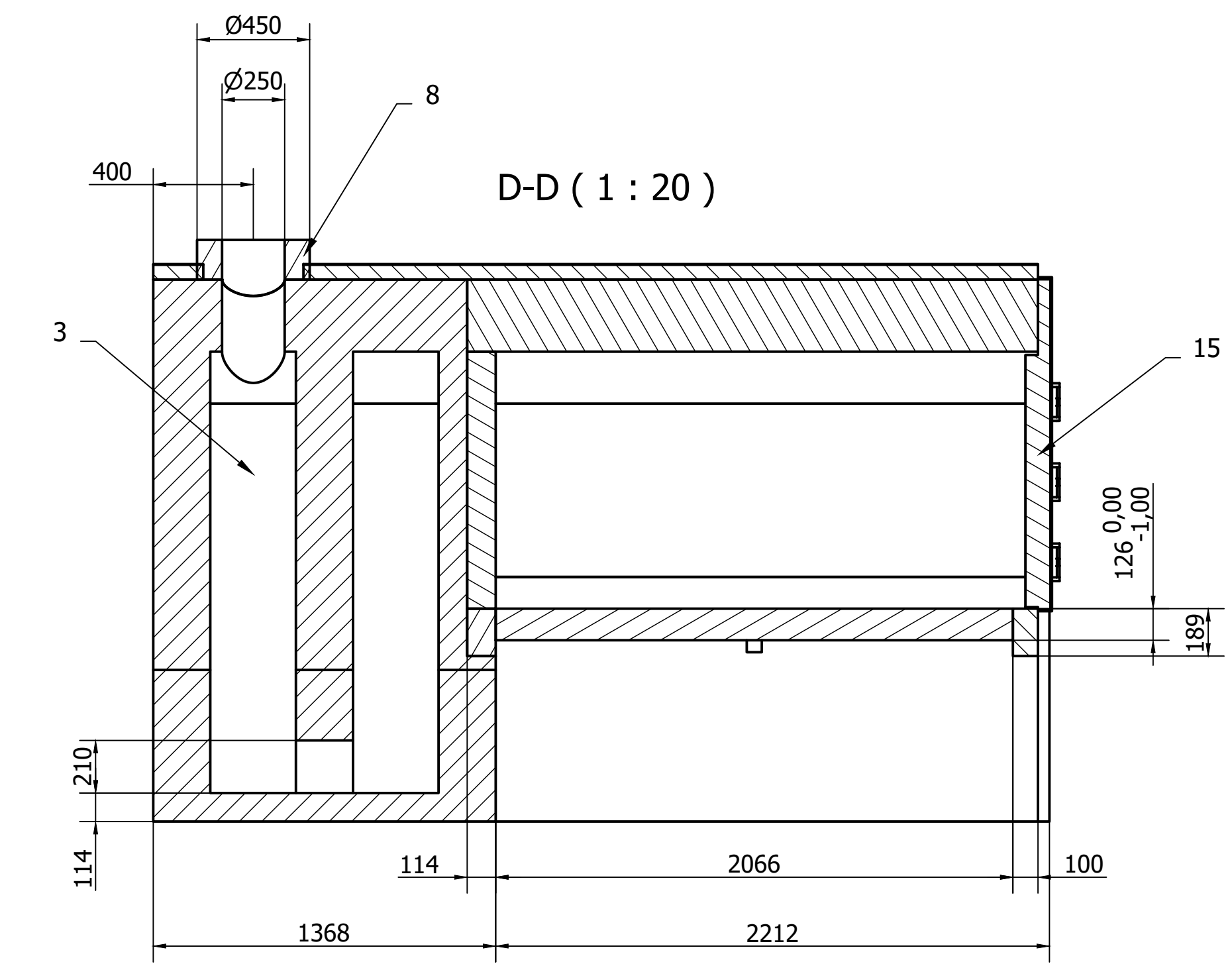
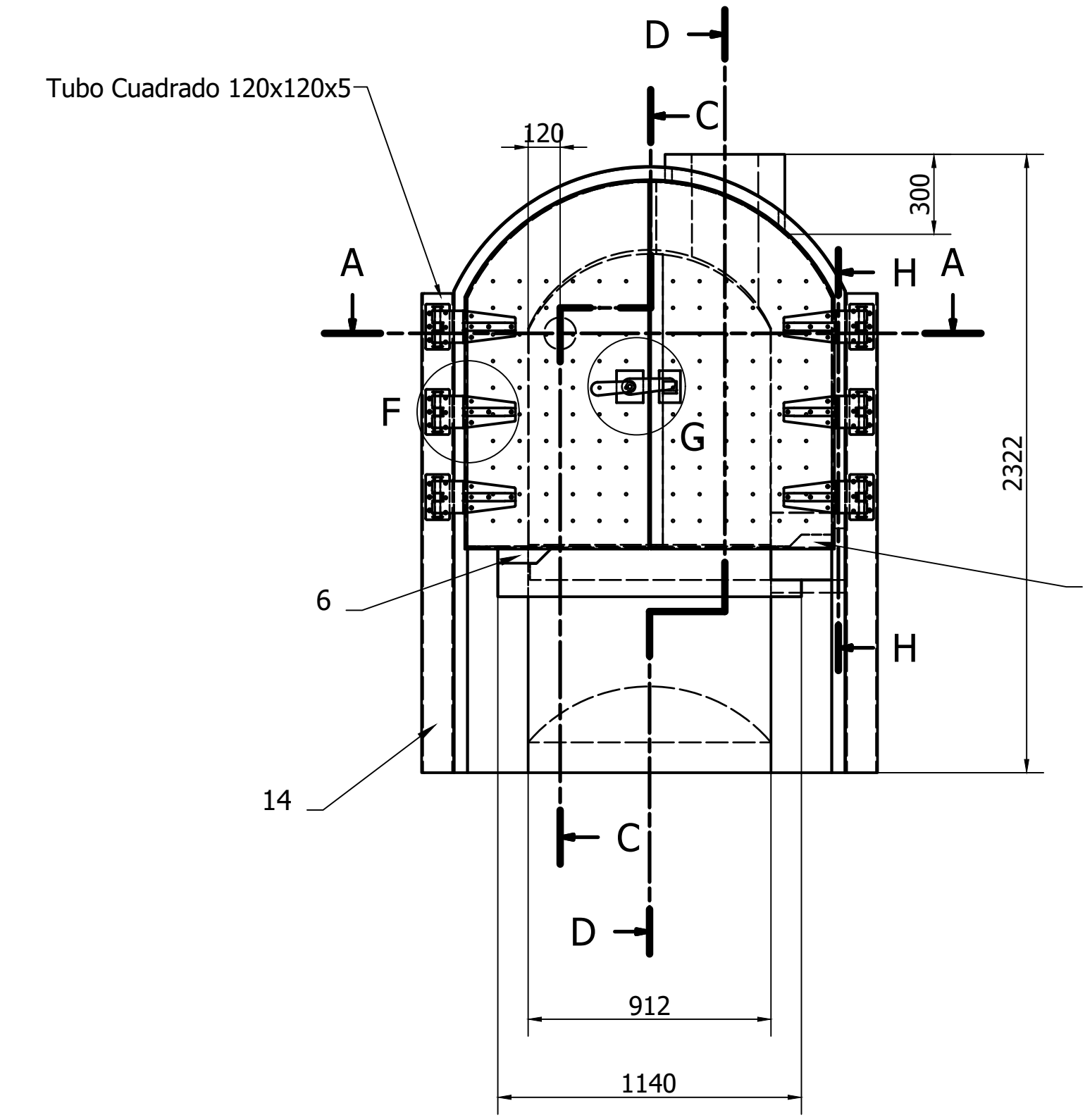
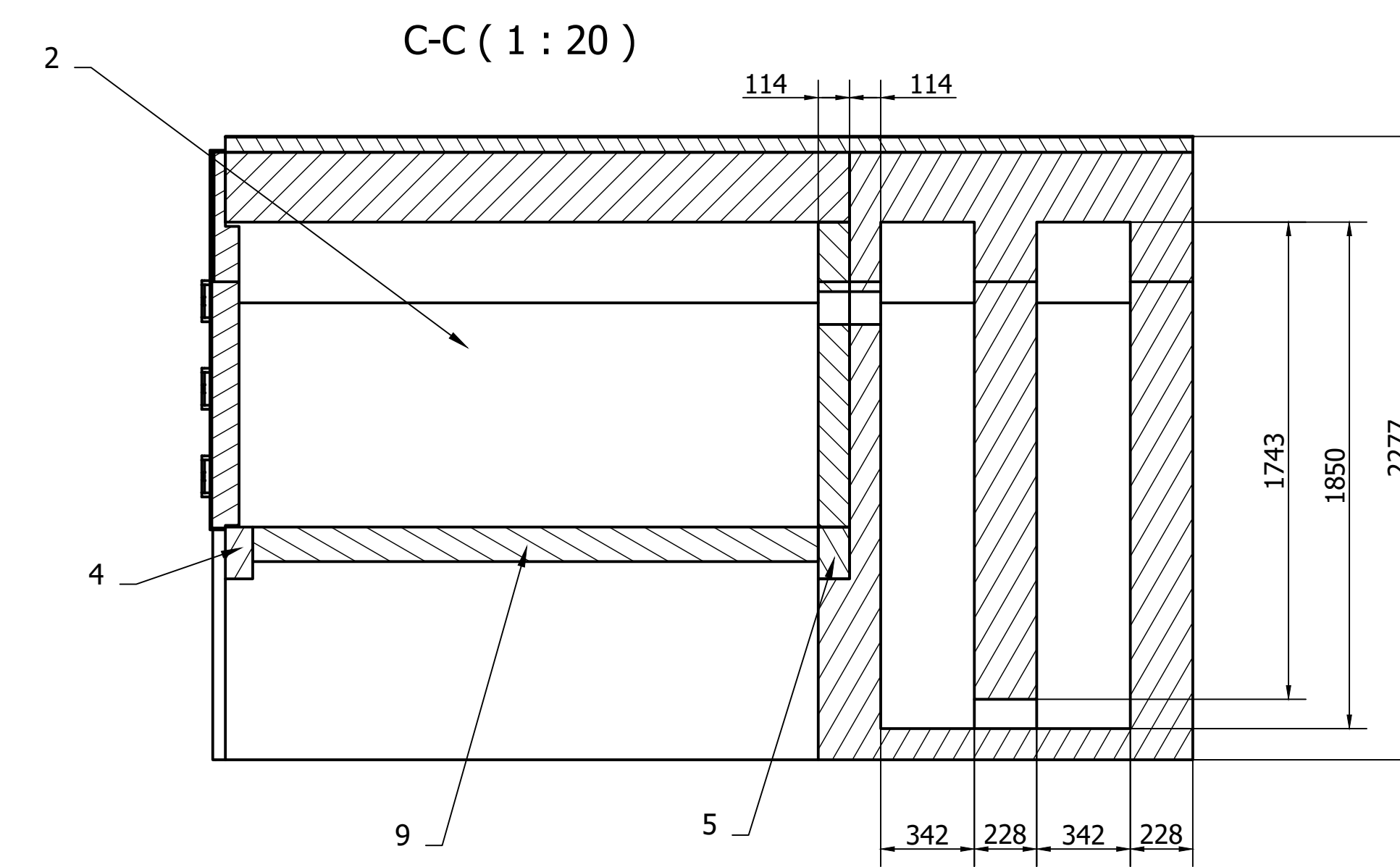
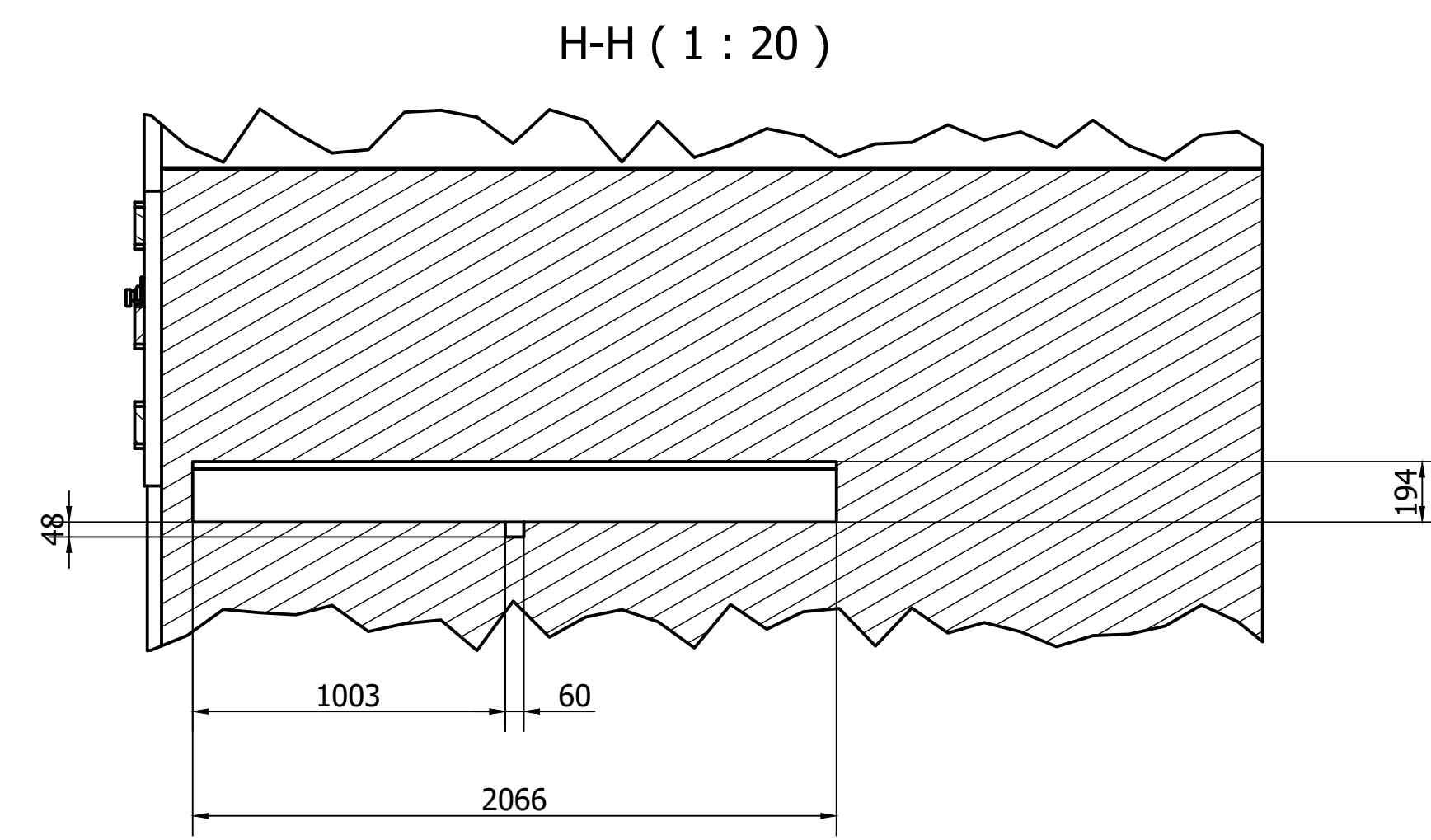
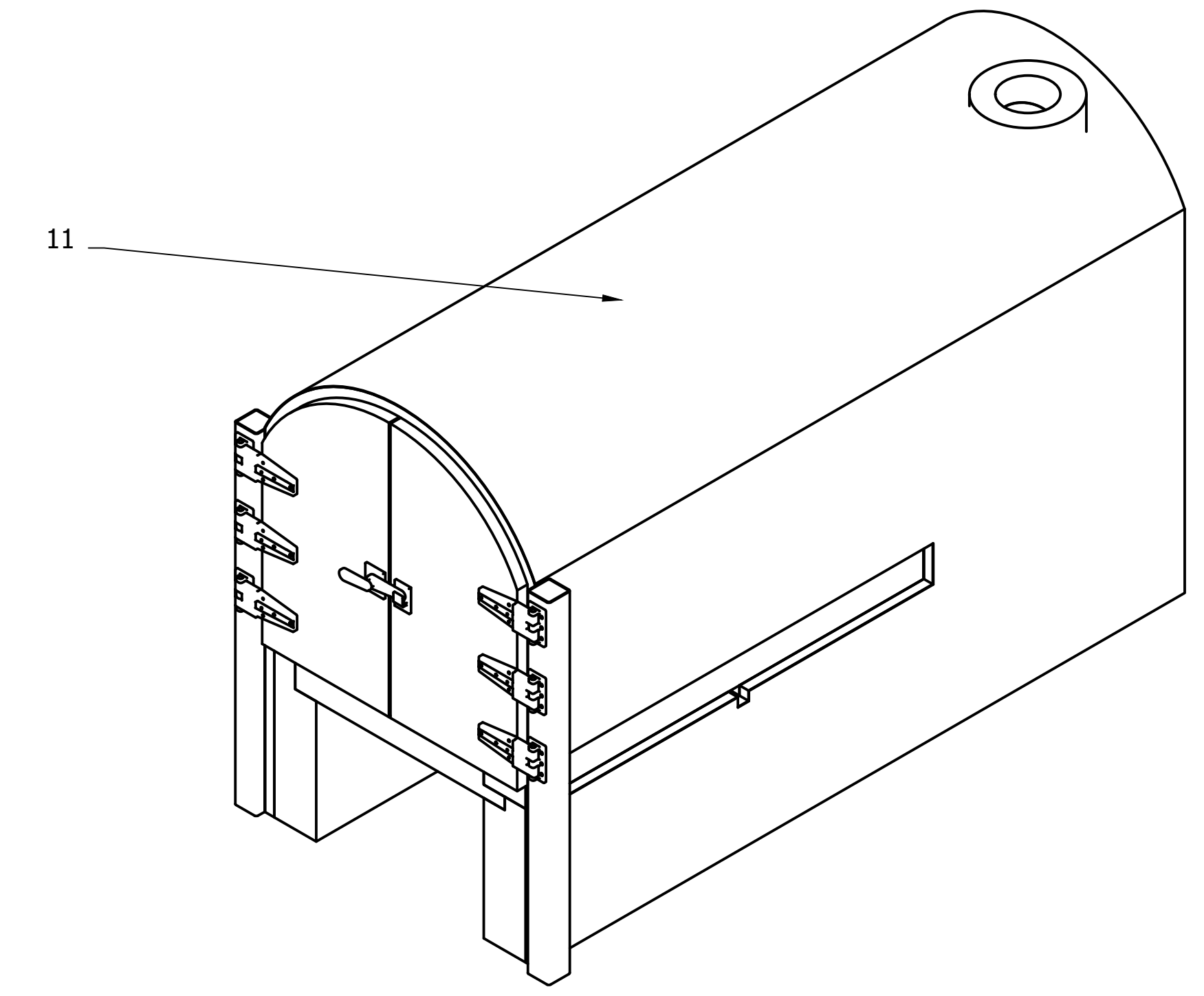
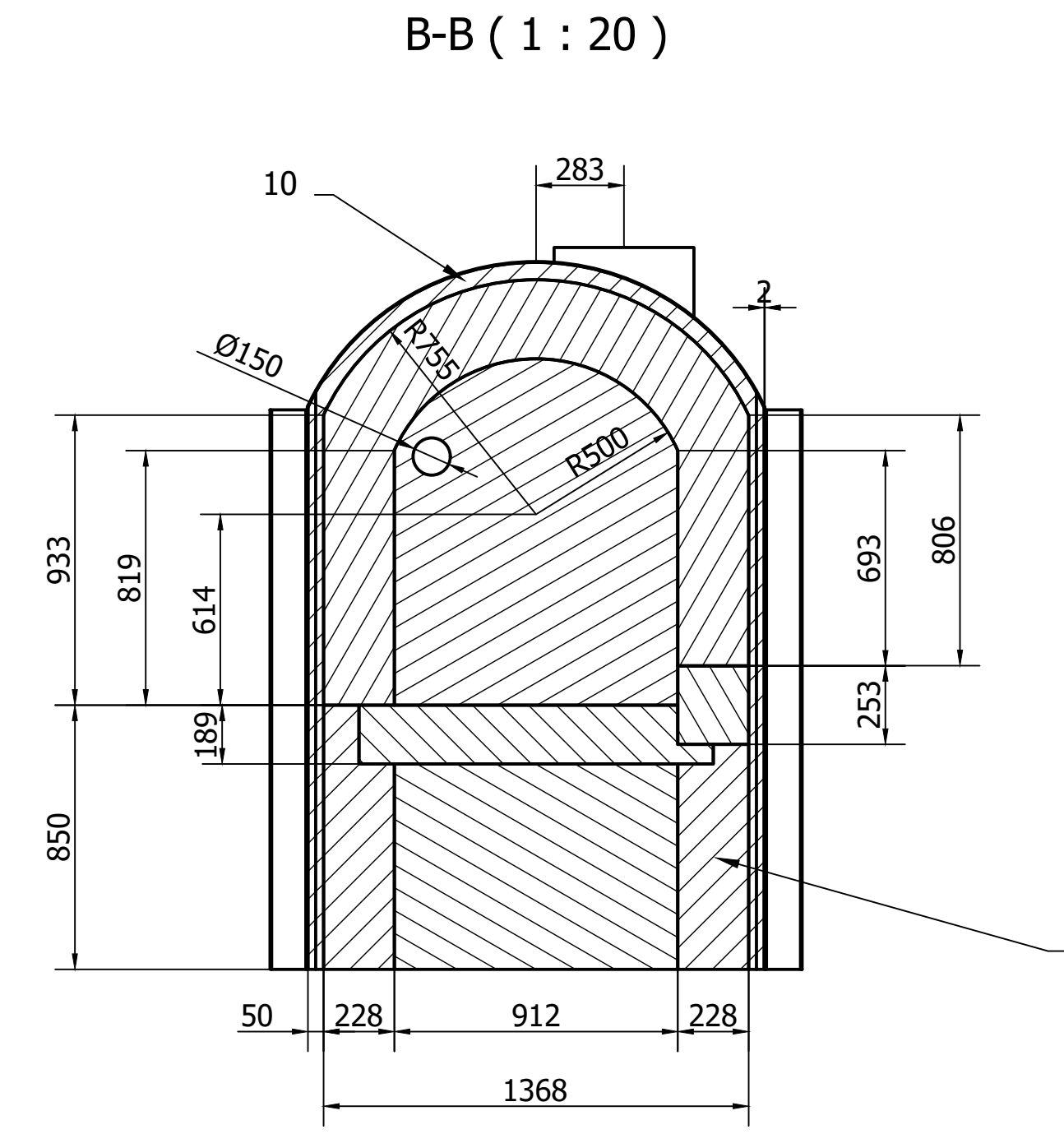
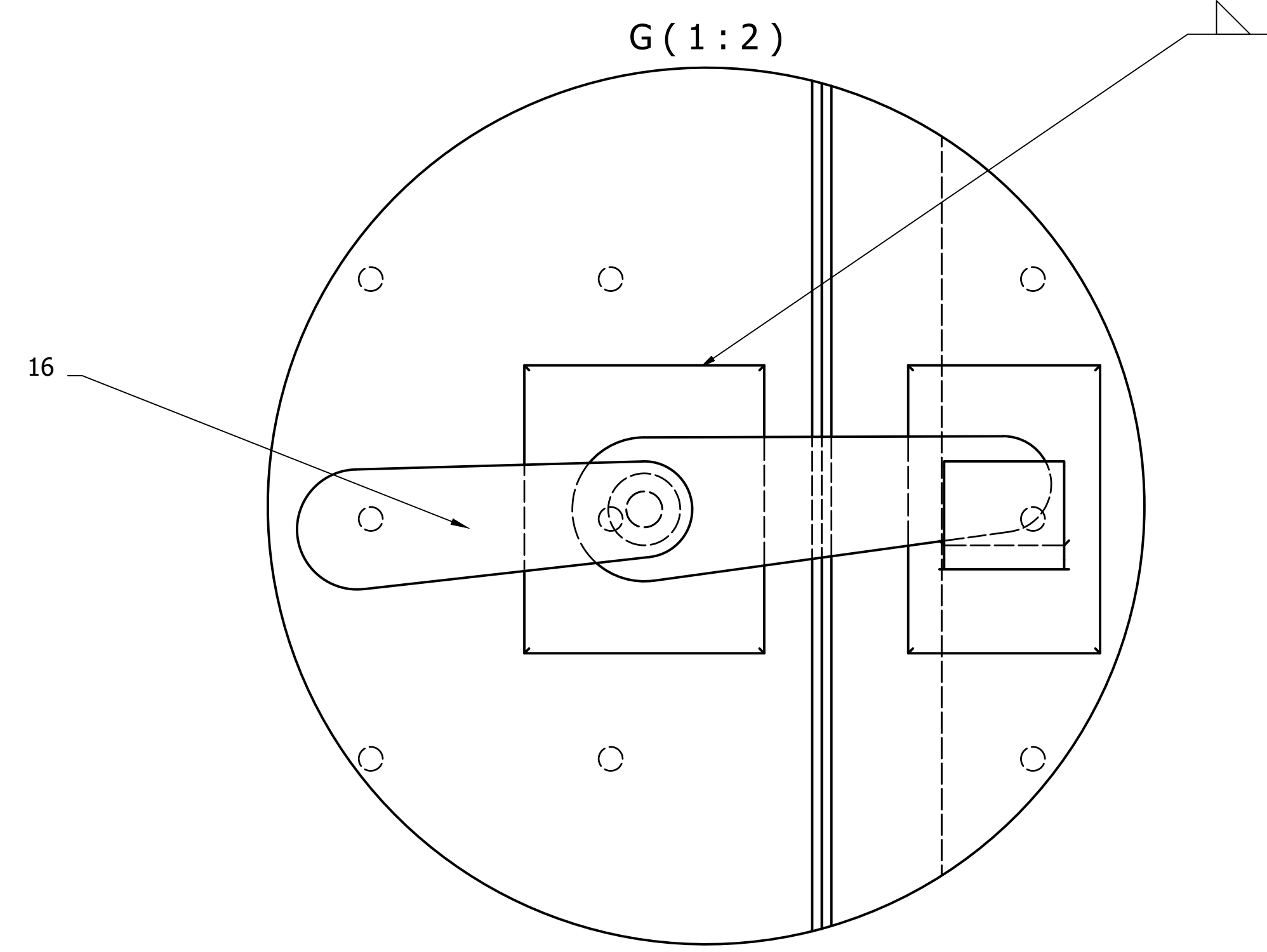
Member	Length	Max Relative Displacement	Span Method 1	Span Method 2
1	1.800	0.091	L/19793	L/19793

MEMBER STRESSES (m, MPa)

Red Cells = Maximum value of a result in the member/plate.

Green Cells = Minimum value of a result in the member/plate.

Member	Station Location	Axial Torsion	Shear Y Shear Z	Top Mom Z Btm Mom Z	Top Mom Y Btm Mom Y	Ax + Top Mom Z Ax + Btm Mom Z	Ax + Top Mom Y Ax + Btm Mom Y
1	0,000	0,228	0,000	-1,711	0,000	-1,482	0,228
		0,000	0,000	1,711	0,000	1,939	0,228
1	0,225	0,228	0,000	-1,711	0,000	-1,482	0,228
		0,000	0,000	1,711	0,000	1,939	0,228
1	0,450	0,228	0,000	-1,711	0,000	-1,482	0,228
		0,000	0,000	1,711	0,000	1,939	0,228
1	0,675	0,228	0,000	-1,711	0,000	-1,482	0,228
		0,000	0,000	1,711	0,000	1,939	0,228
1	0,900	0,228	0,000	-1,711	0,000	-1,482	0,228
		0,000	0,000	1,711	0,000	1,939	0,228
1	1,125	0,228	0,000	-1,711	0,000	-1,482	0,228
		0,000	0,000	1,711	0,000	1,939	0,228
1	1,350	0,228	0,000	-1,711	0,000	-1,482	0,228
		0,000	0,000	1,711	0,000	1,939	0,228
1	1,575	0,228	0,000	-1,711	0,000	-1,482	0,228
		0,000	0,000	1,711	0,000	1,939	0,228
1	1,800	0,228	0,000	-1,711	0,000	-1,482	0,228
		0,000	0,000	1,711	0,000	1,939	0,228

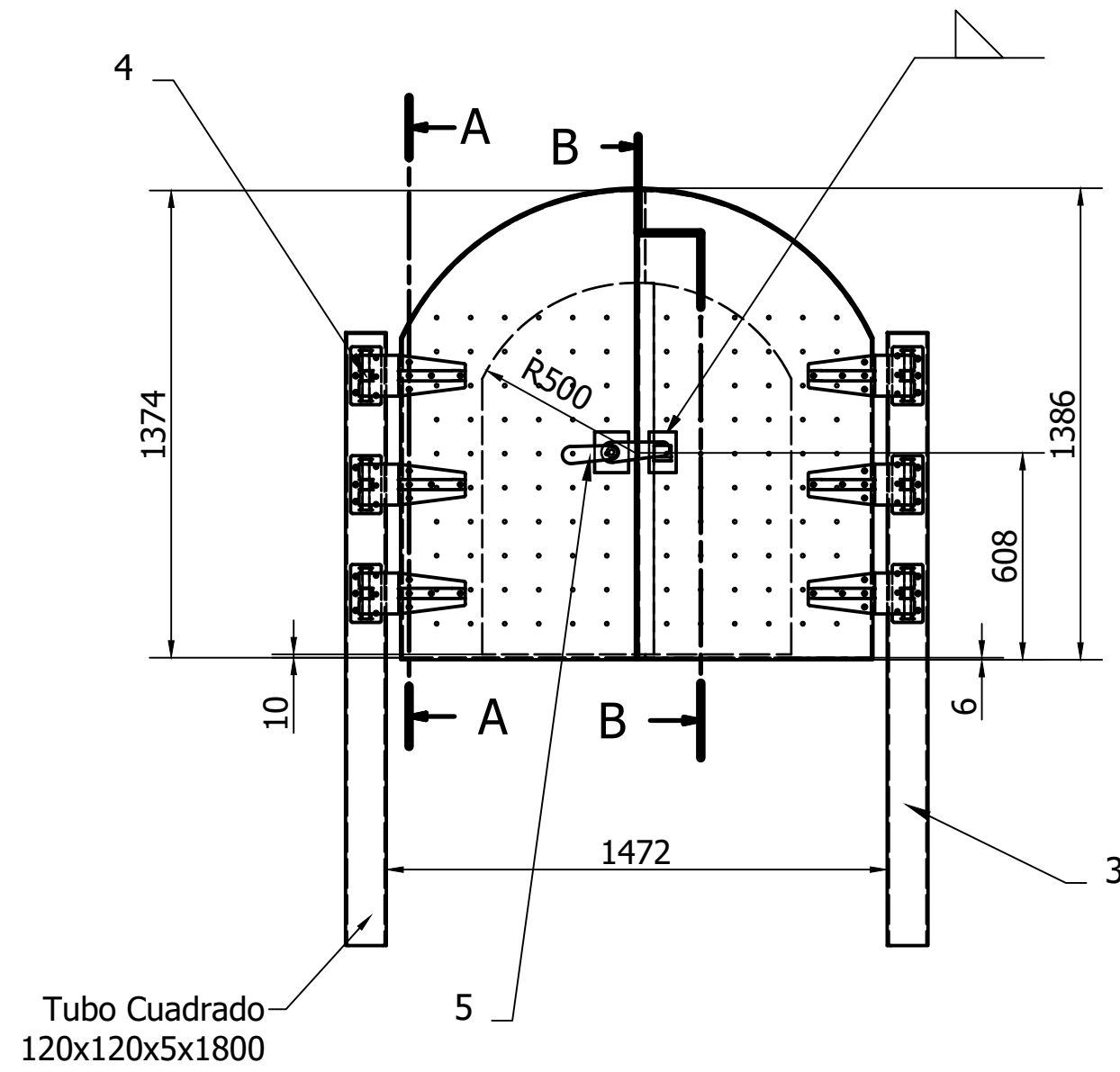
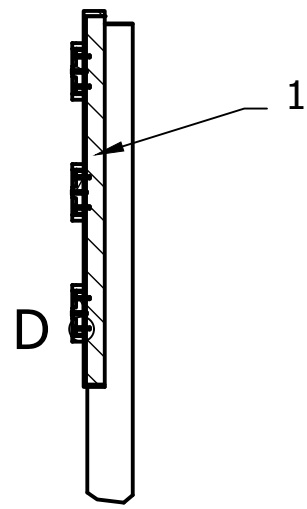


Especificaciones Técnicas	
Característica	Descripción
Temperatura de Trabajo	1200 °C
Carga Máxima	120 kg
Tiempo de Incineración	~150 min
Longitud Total	3586 mm
Ancho Total	1472 mm
Altura Total	2277 mm
Potencia	15 kW
Masa Total Aprox.	9100 kg

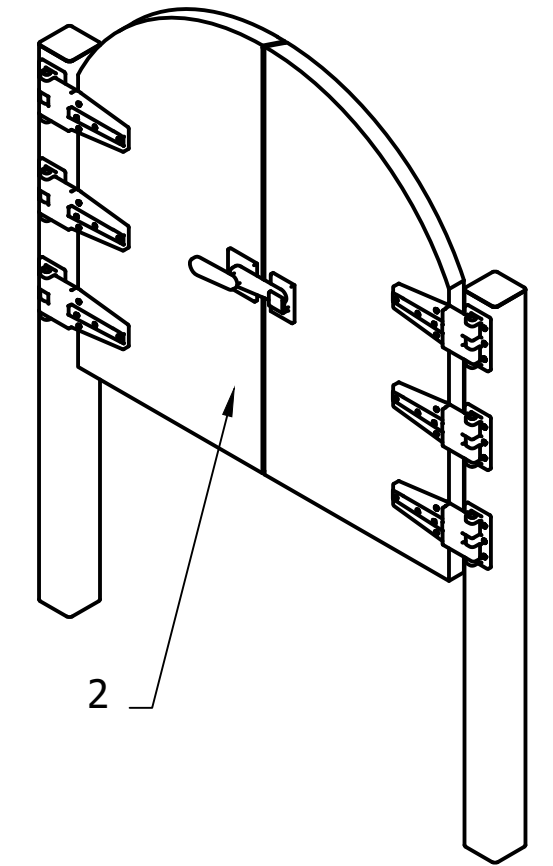
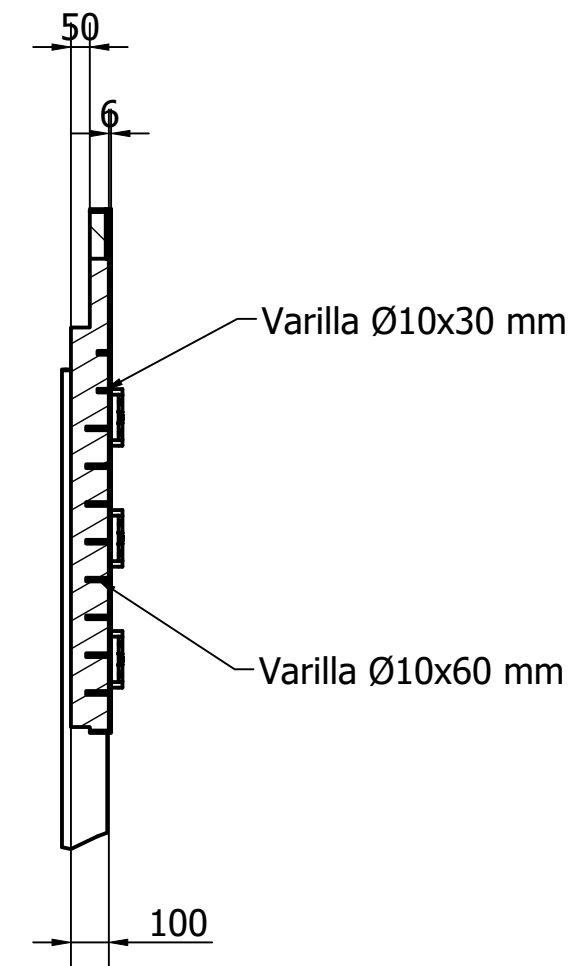
Nº Pieza	Cantidad	Descripción	Material	Observaciones
16	1	Cerradura	Hierro fundido	Elemento de selección
15	1	Compuerta principal	Concreto refractario	Recubierta con chapa metálica espesor 6 mm
14	1	Columna	Acero ASTM A 36	Tubo cuadrado Dim. 120x120x5
13	1	Perno	Acero ASTM A 354	Elemento de selección
12	1	Bisagra	Hierro fundido	Elemento de selección
11	1	Carcasa metálica	Acero Inox AISI 316	Lámina de acero Dim. 2400x1200x2
10	1	Recubrimiento aislante	Lana de vidrio	Elemento de selección
9	1	Compuerta inferior	Concreto refractario	
8	1	Soporte chimenea	Concreto refractario	
7	1	Soporte derecho	Concreto refractario	
6	1	Soporte izquierdo	Concreto refractario	
5	1	Soporte posterior	Concreto refractario	
4	1	Soporte frontal	Concreto refractario	
3	1	Cámara secundaria	Ladrillo refractario	
2	1	Cámara principal	Ladrillo refractario	
1	1	Base	Ladrillo refractario	

EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	Dib. Naranjo A. - Velasco E. Dis. Naranjo A. - Velasco E. Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.	Escala: 1:20 Fecha: 02/02/22
Plano Conjunto Real Compuerta Corrediza		COD.CR-001	

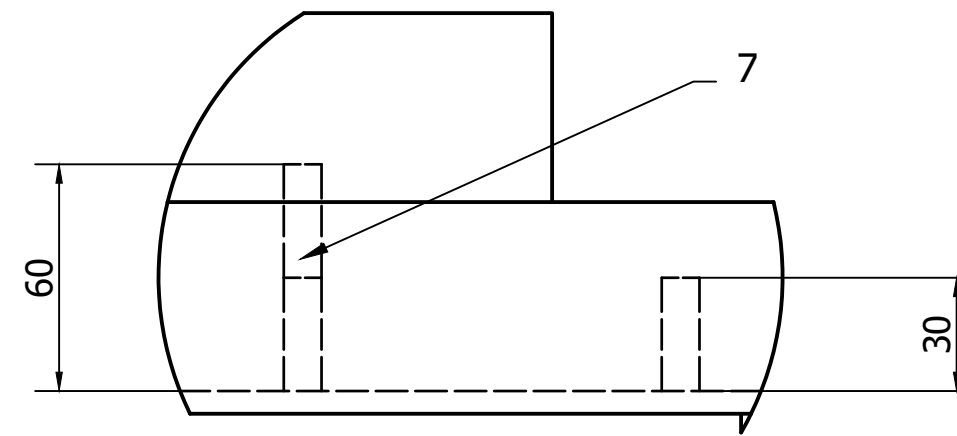
A-A (1 : 20)



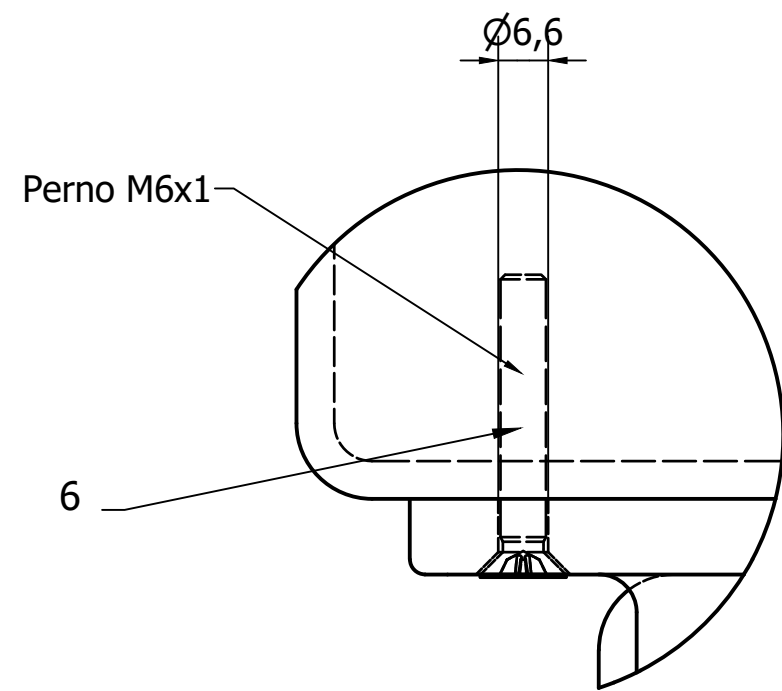
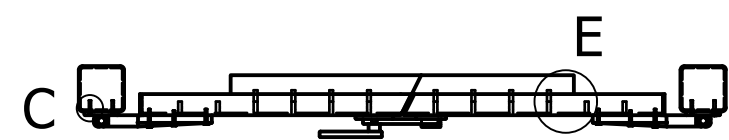
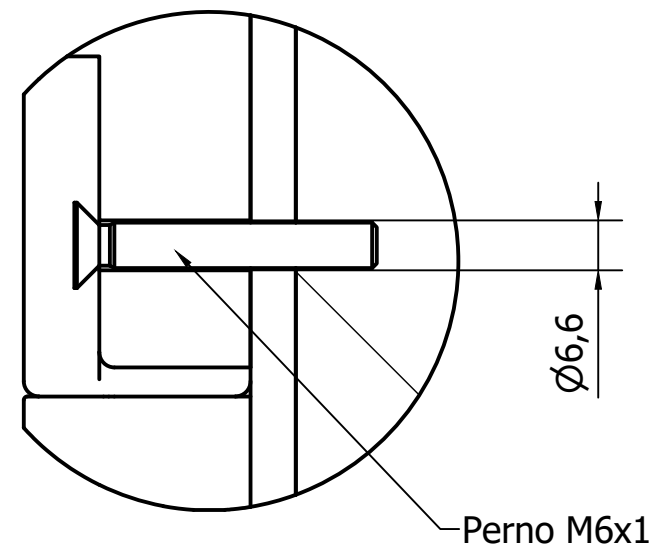
B-B (1 : 20)



E (1 : 2)

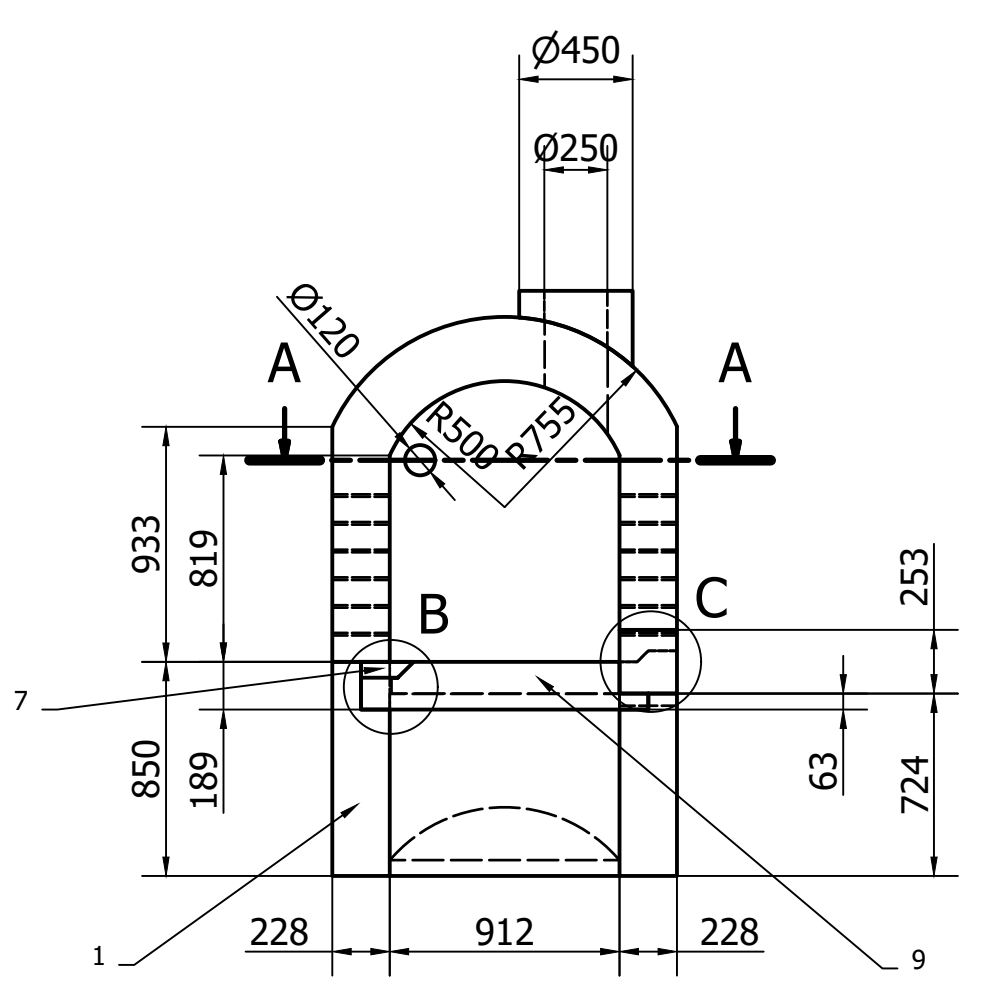
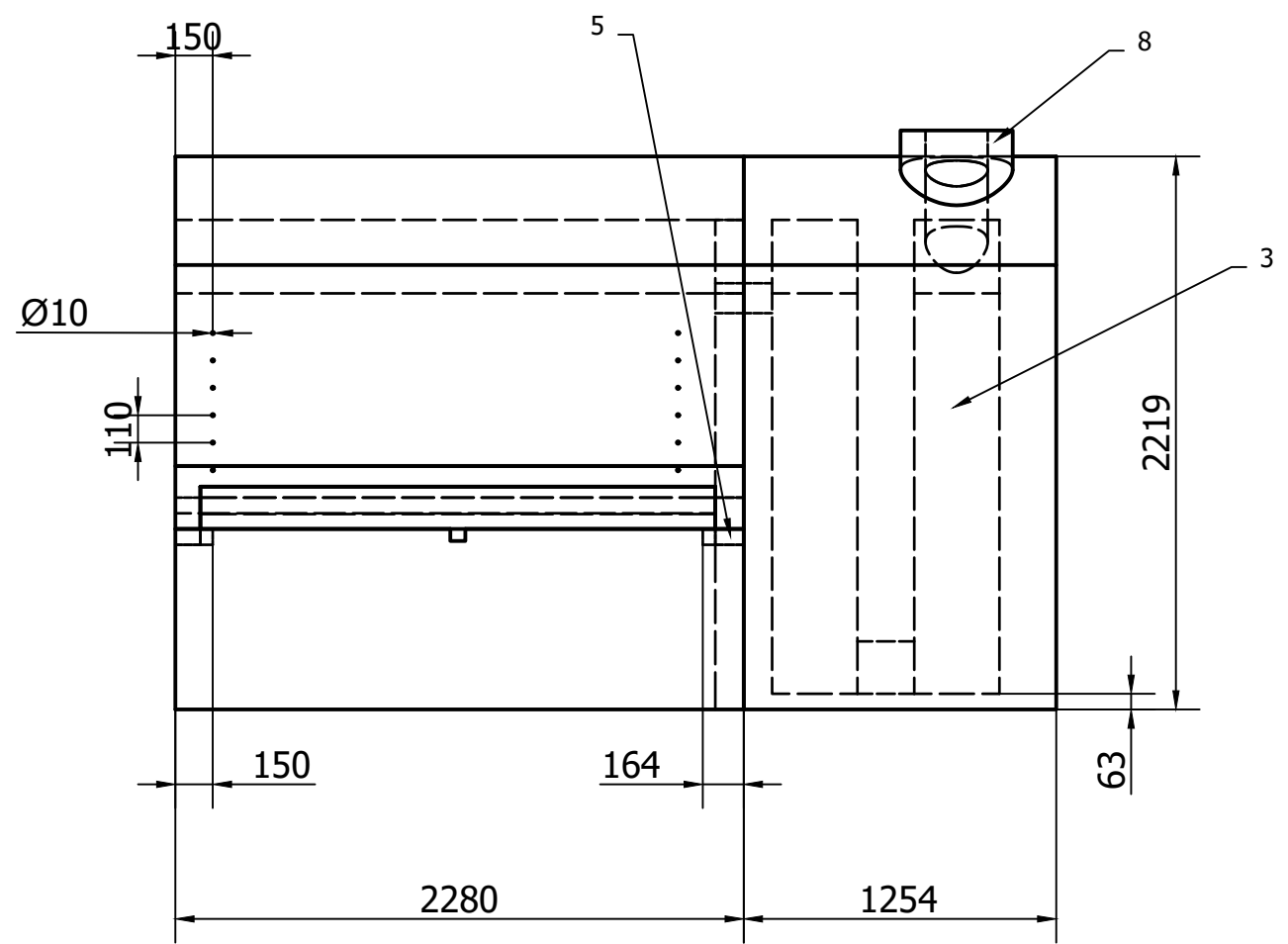


D (1 : 1)

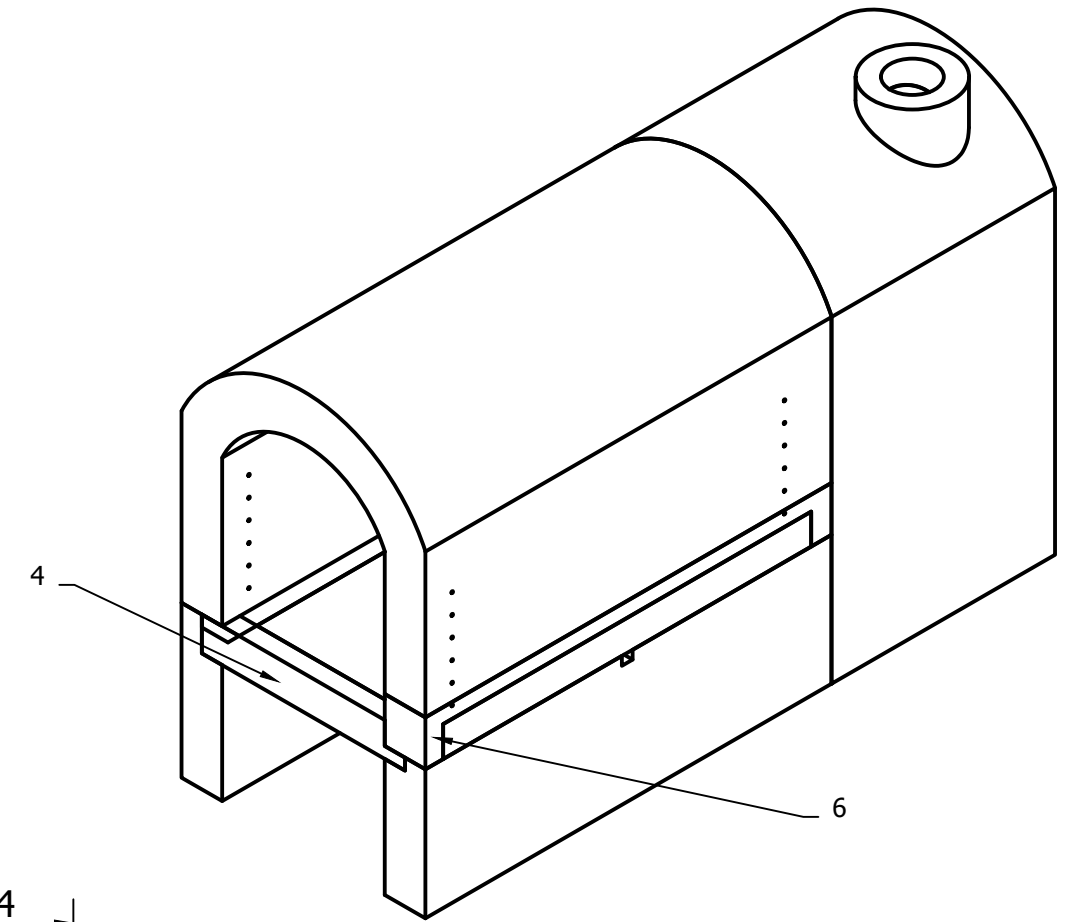


C (1 : 1)

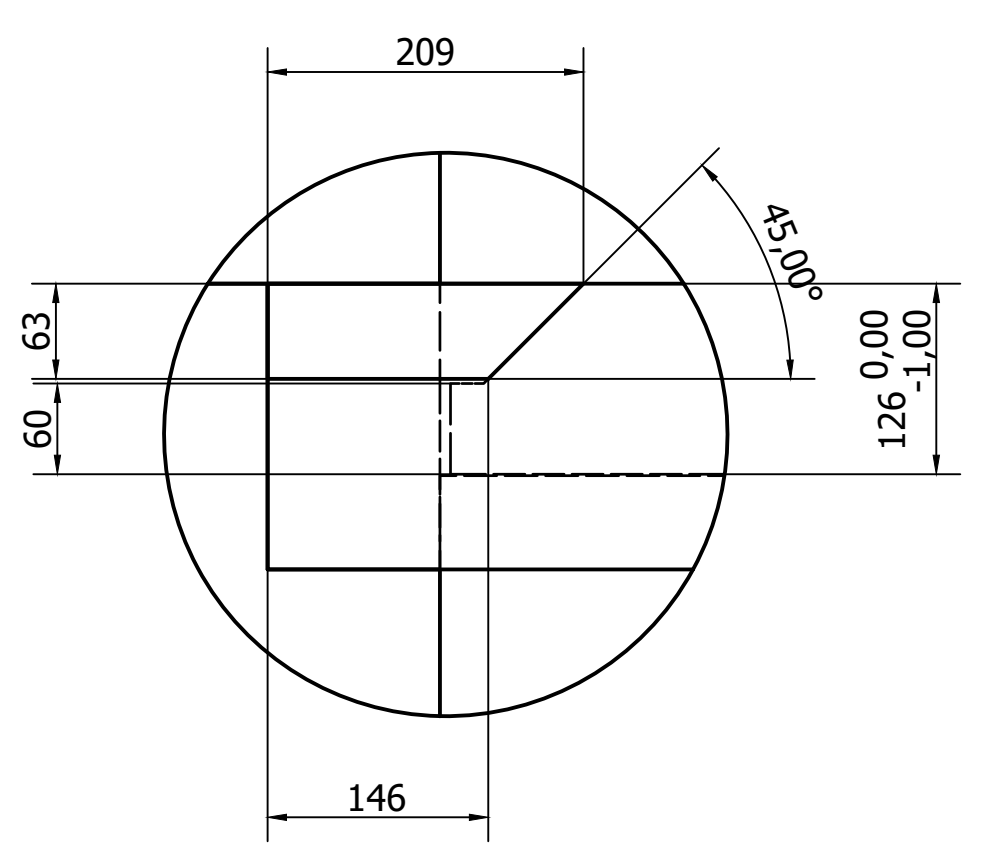
7	120	Rigidizadores	Acero ASTM A 706	Varilla corrugada Diam. 10 mm
6	66	Pernos	Acero ASTM A 354	Elemento de selección
5	1	Cerradura	Hierro fundido	Elemento de selección
4	6	Bisagra	Hierro fundido	Elemento de selección
3	2	Columna	Acero ASTM A 36	Tubo cuadrado Dim. 120x120x5
2	1	Carcasa metálica	Acero Inox AISI 316	Lámina Dim. 2400x1200x6
1	1	Estructura compuerta	Concreto refractario	
N° Pieza	Cantidad	Descripción	Material	Observaciones
EPN			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib. Naranjo A. - Velasco E. Dis. Naranjo A. - Velasco E. Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.
Ensamble Compuerta Principal Tamaño Real			COD.CR-002	Escala: 1:20 Fecha: 24/02/22



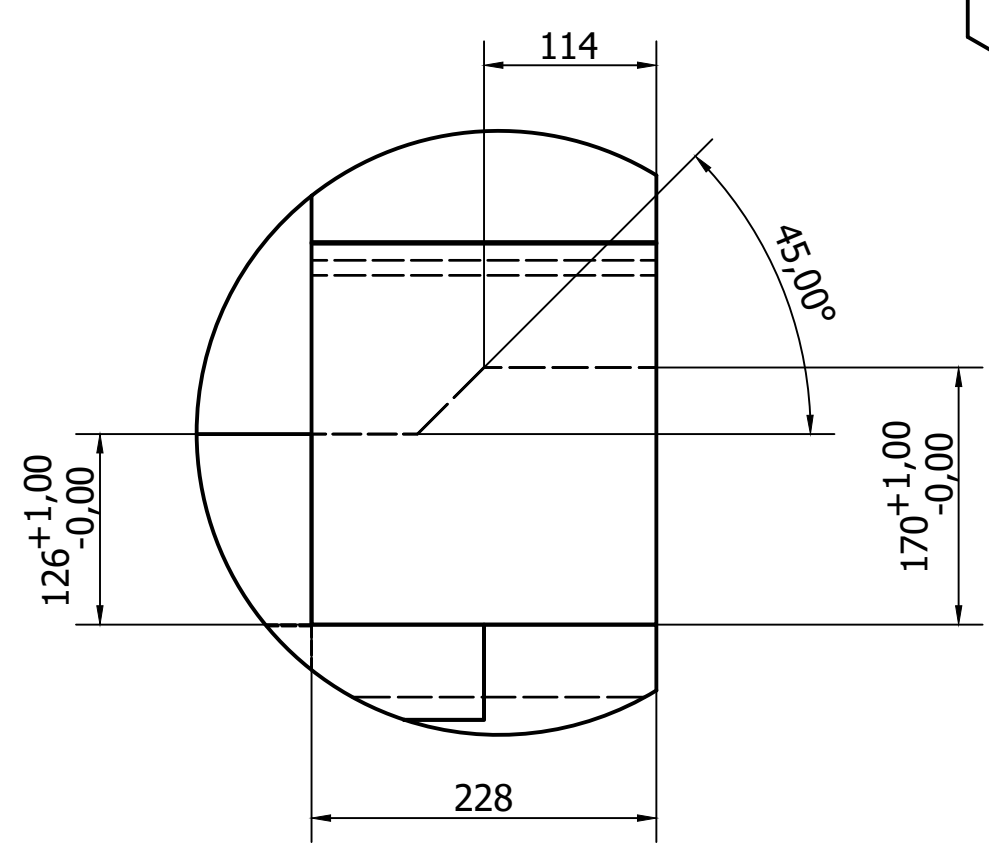
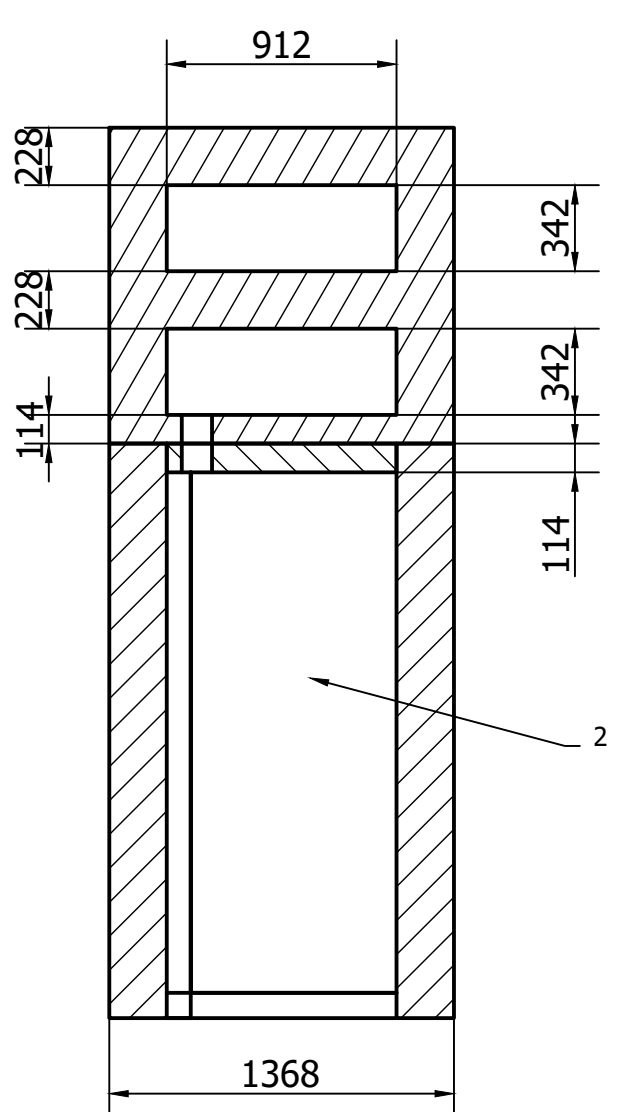
C (1:5)



B (1:5)

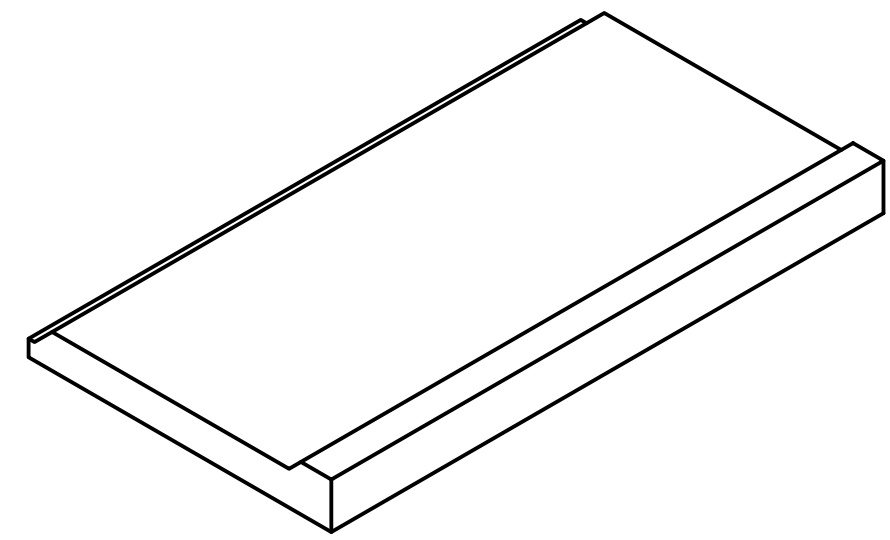
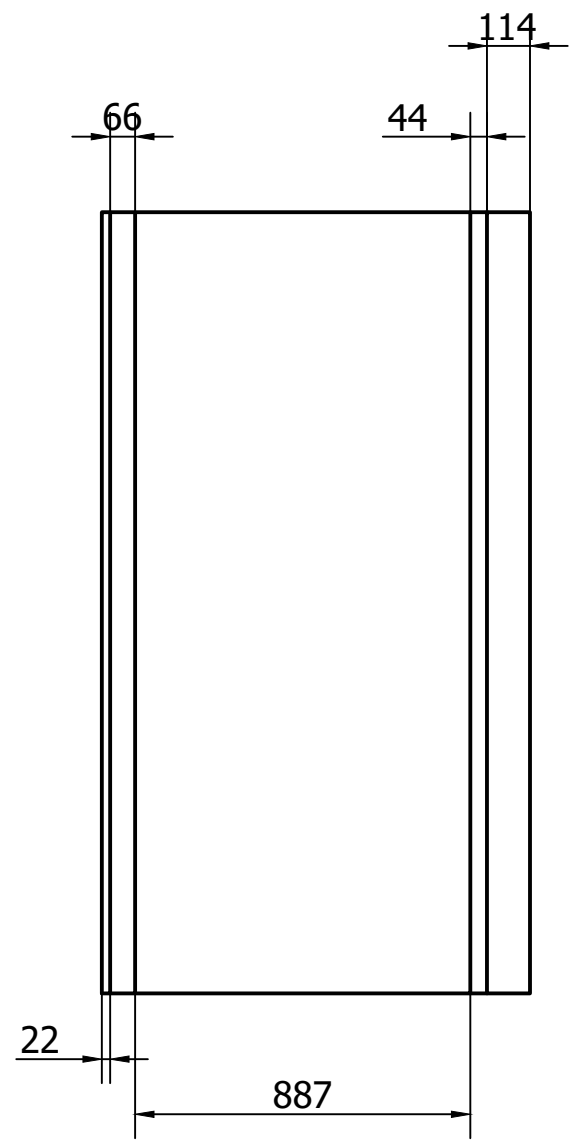
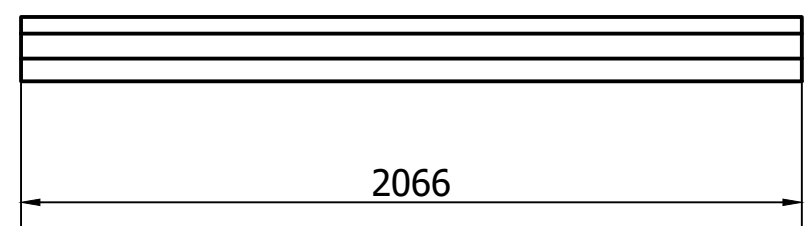
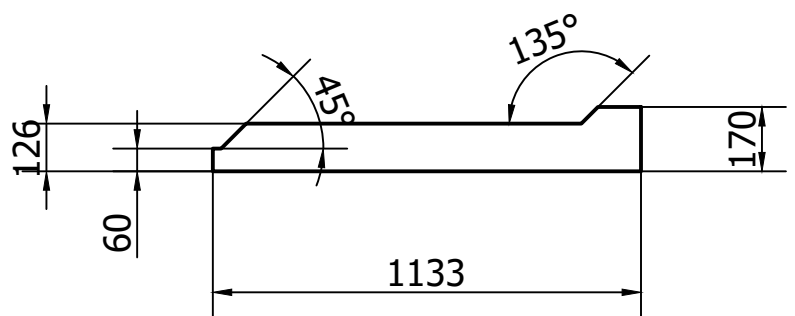
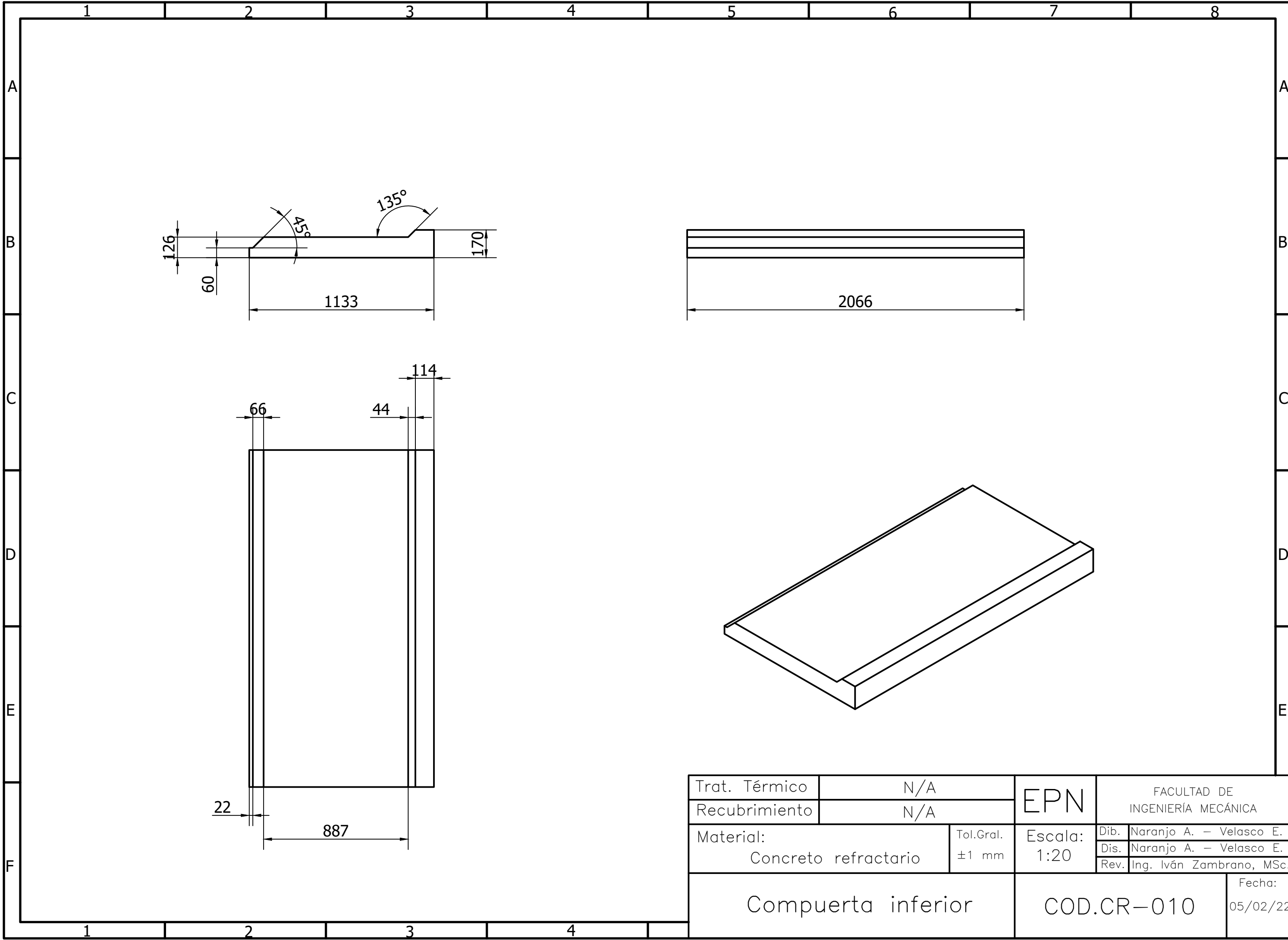


A-A (1:30)

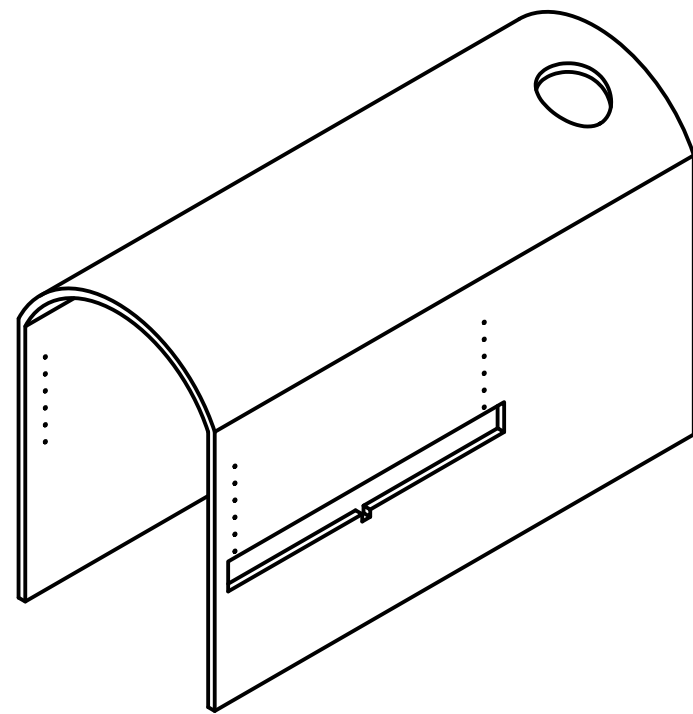
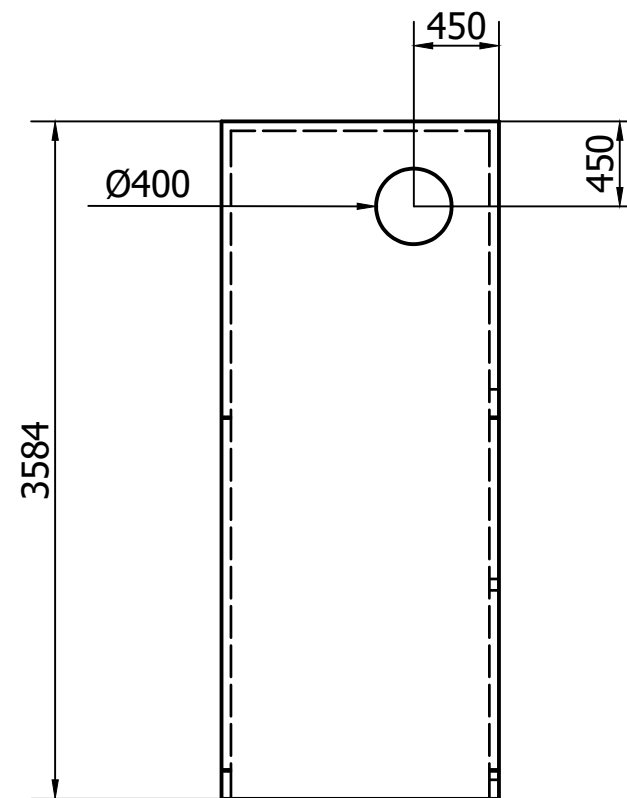
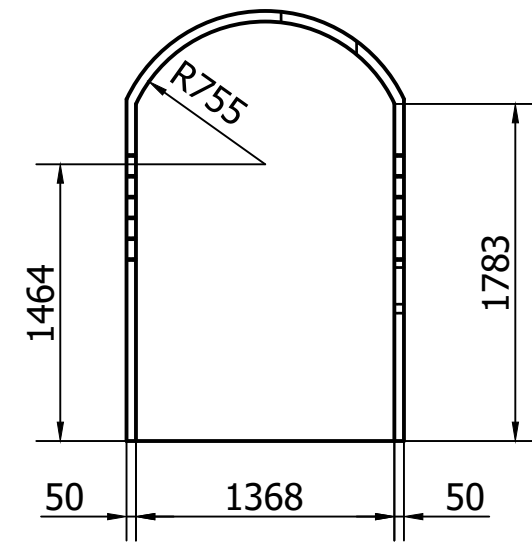
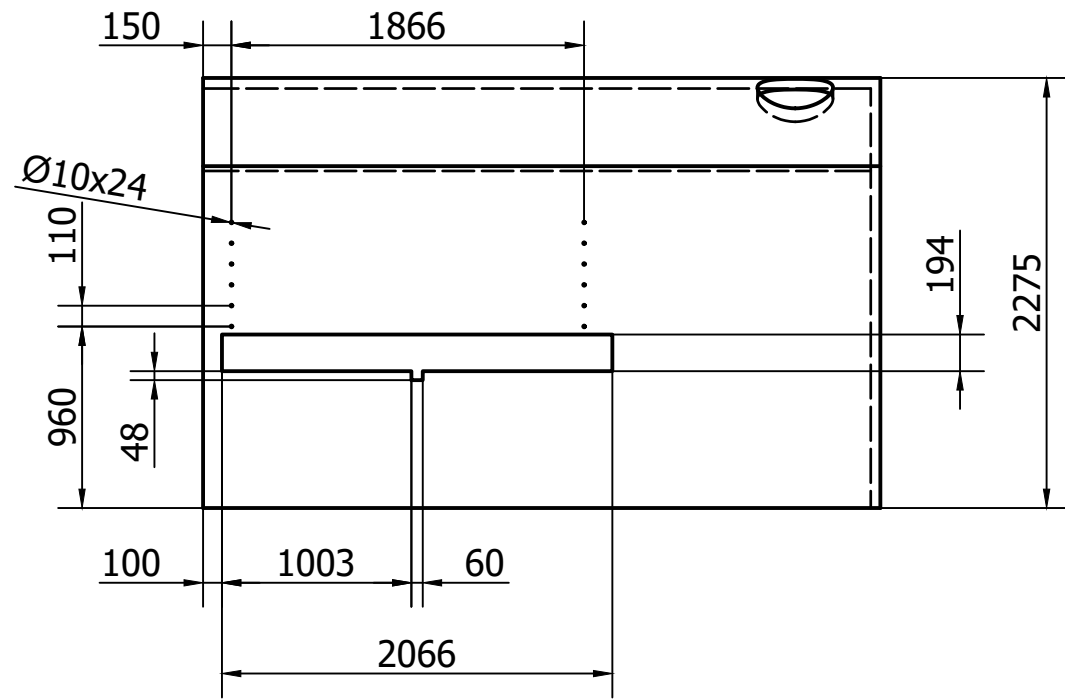


N° Pieza	Cantidad	Descripción	Material	Observaciones
9	1	Compuerta inferior	Concreto refractario	
8	1	Soporte chimenea	Concreto refractario	
7	1	Soporte izquierdo	Concreto refractario	
6	1	Soporte derecho	Concreto refractario	
5	1	Soporte posterior	Concreto refractario	
4	1	Soporte frontal	Concreto refractario	
3	1	Cámara secundaria	Ladrillo refractario	
2	1	Cámara principal	Ladrillo refractario	
1	1	Base	Ladrillo refractario	

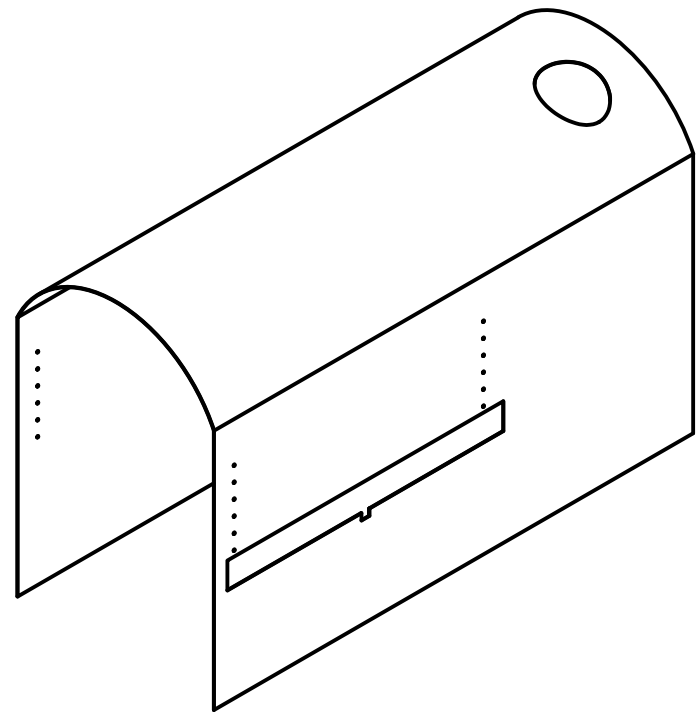
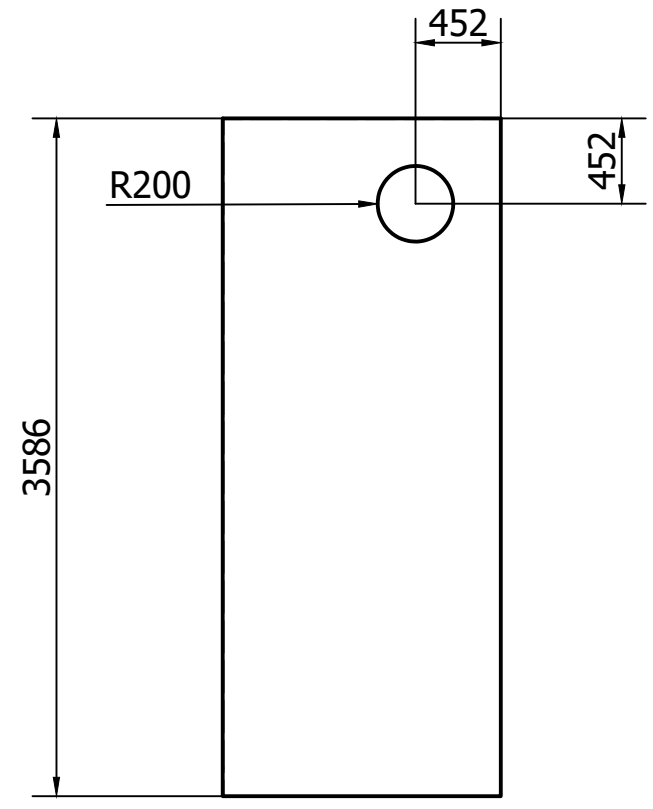
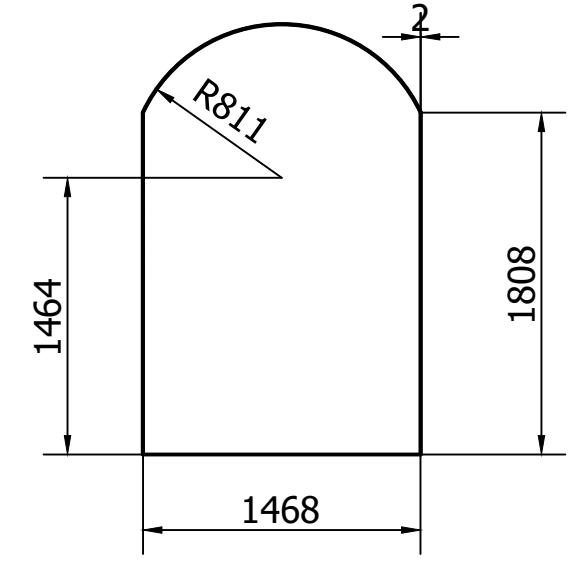
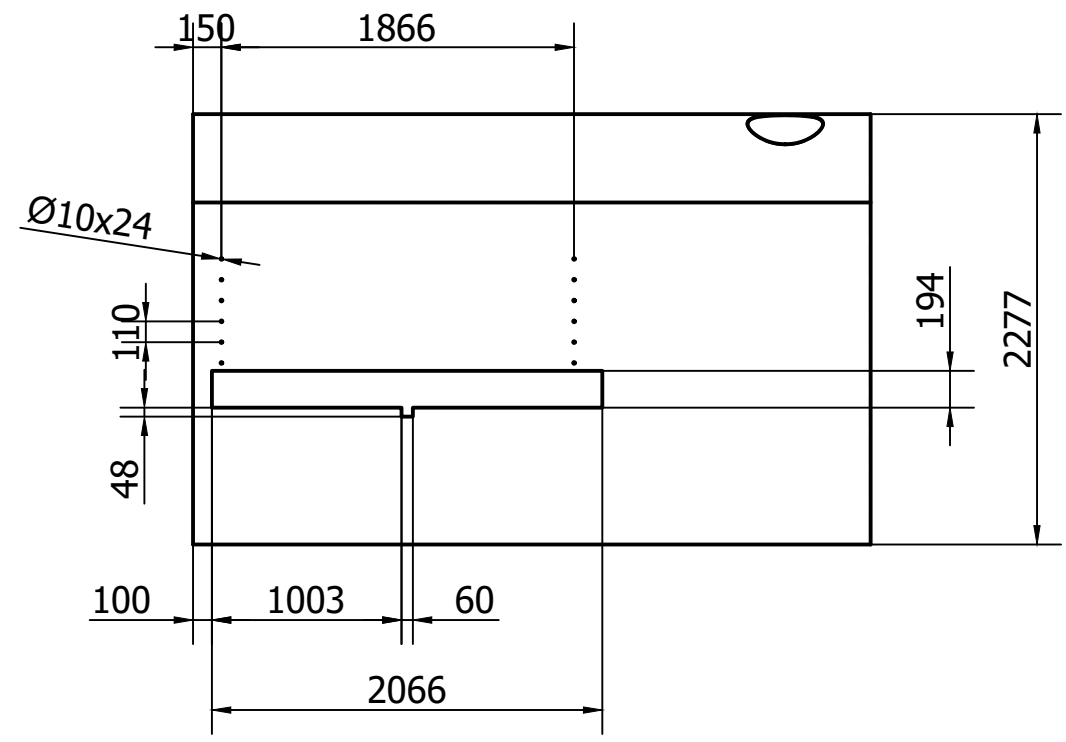
EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib. Naranjo A. – Velasco E.	Escala: 1:30
		Dis. Naranjo A. – Velasco E.	
Ensamble Refractarios Tamaño Real		Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.	Fecha: 25/02/22
		COD.CR-003	



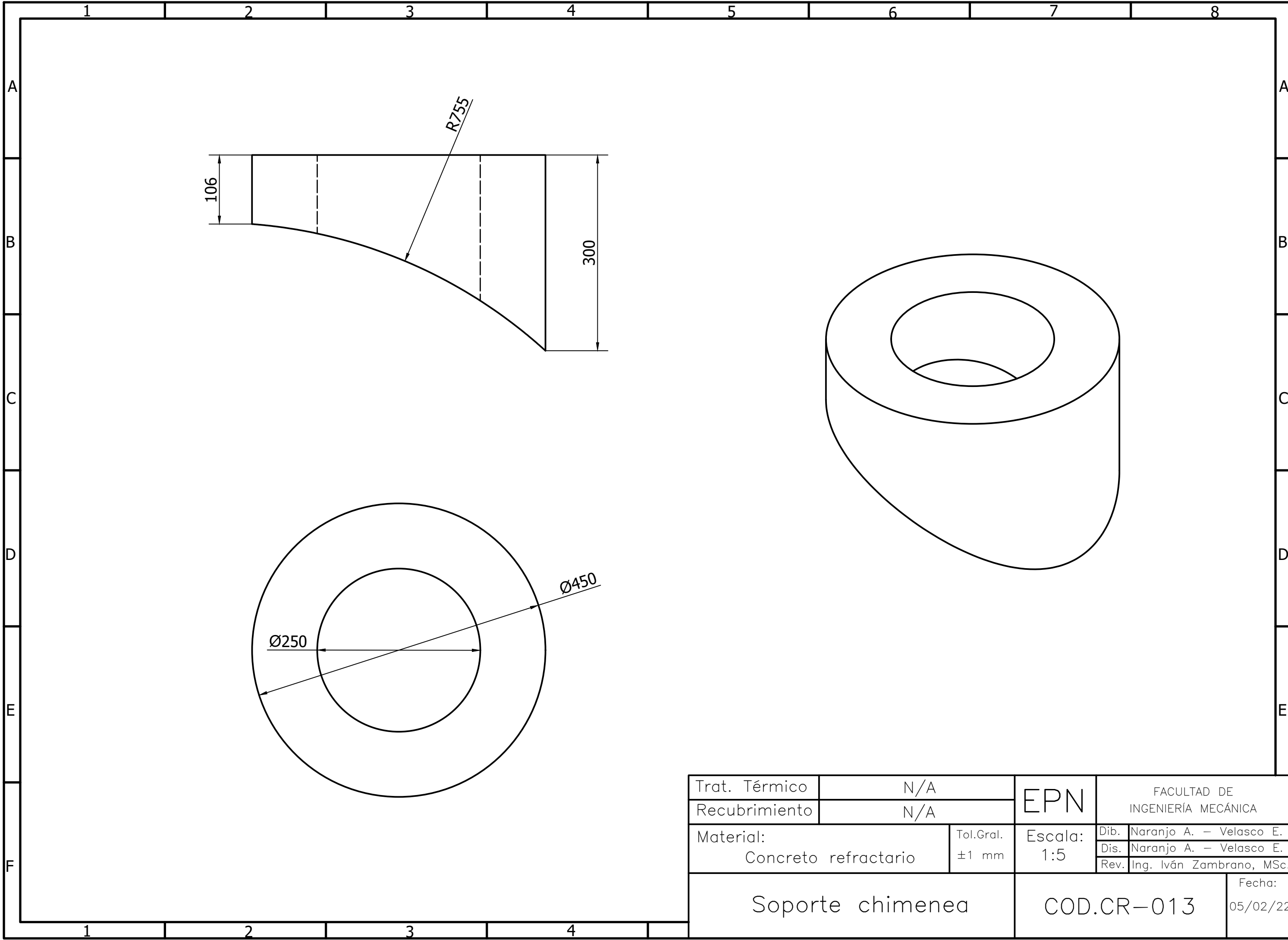
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:20	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Compuerta inferior		COD.CR-010		Fecha: 05/02/22



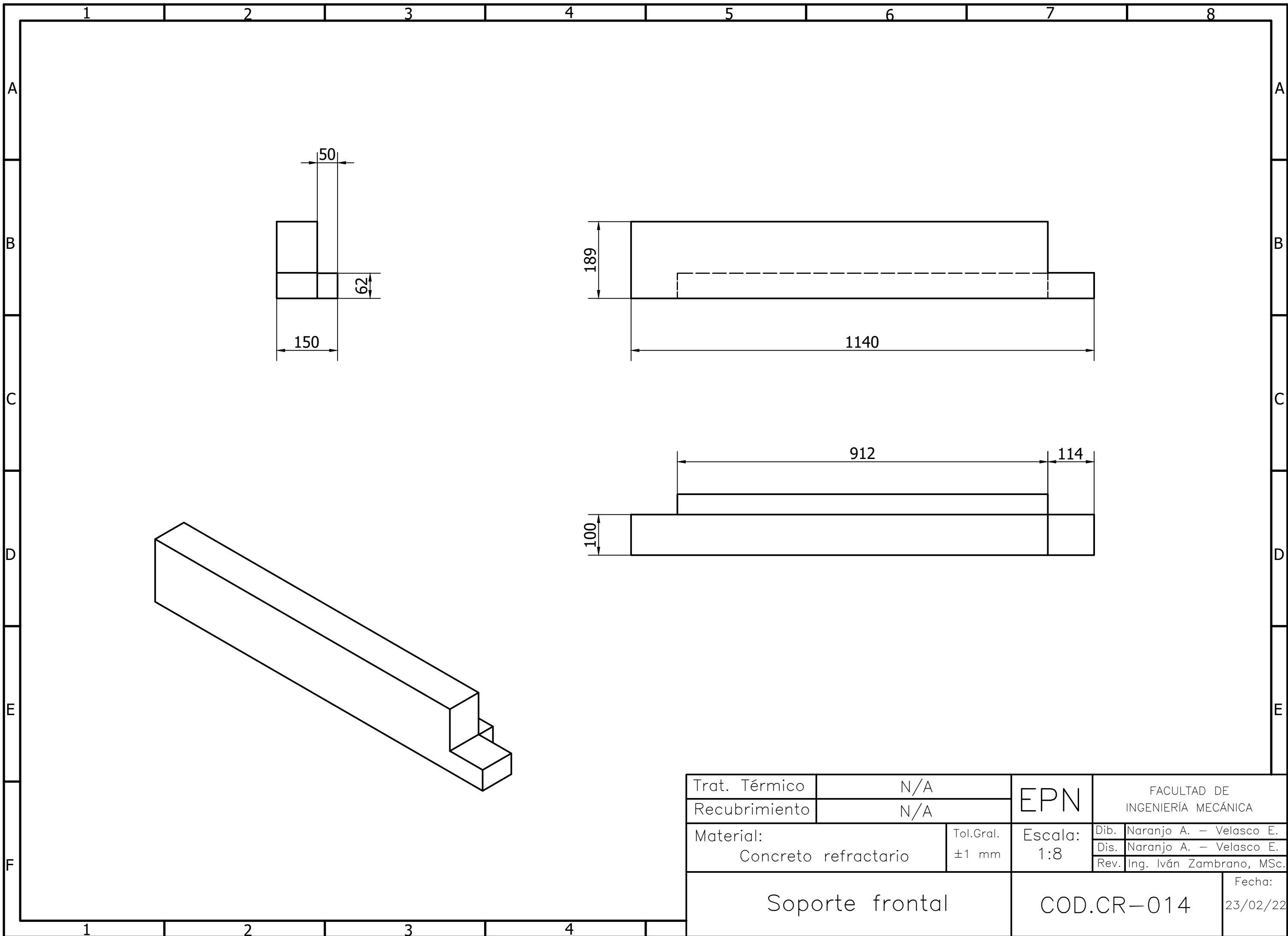
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Lana de vidrio	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:40	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Recubrimiento aislante		COD.CR-011		Fecha: 27/02/22



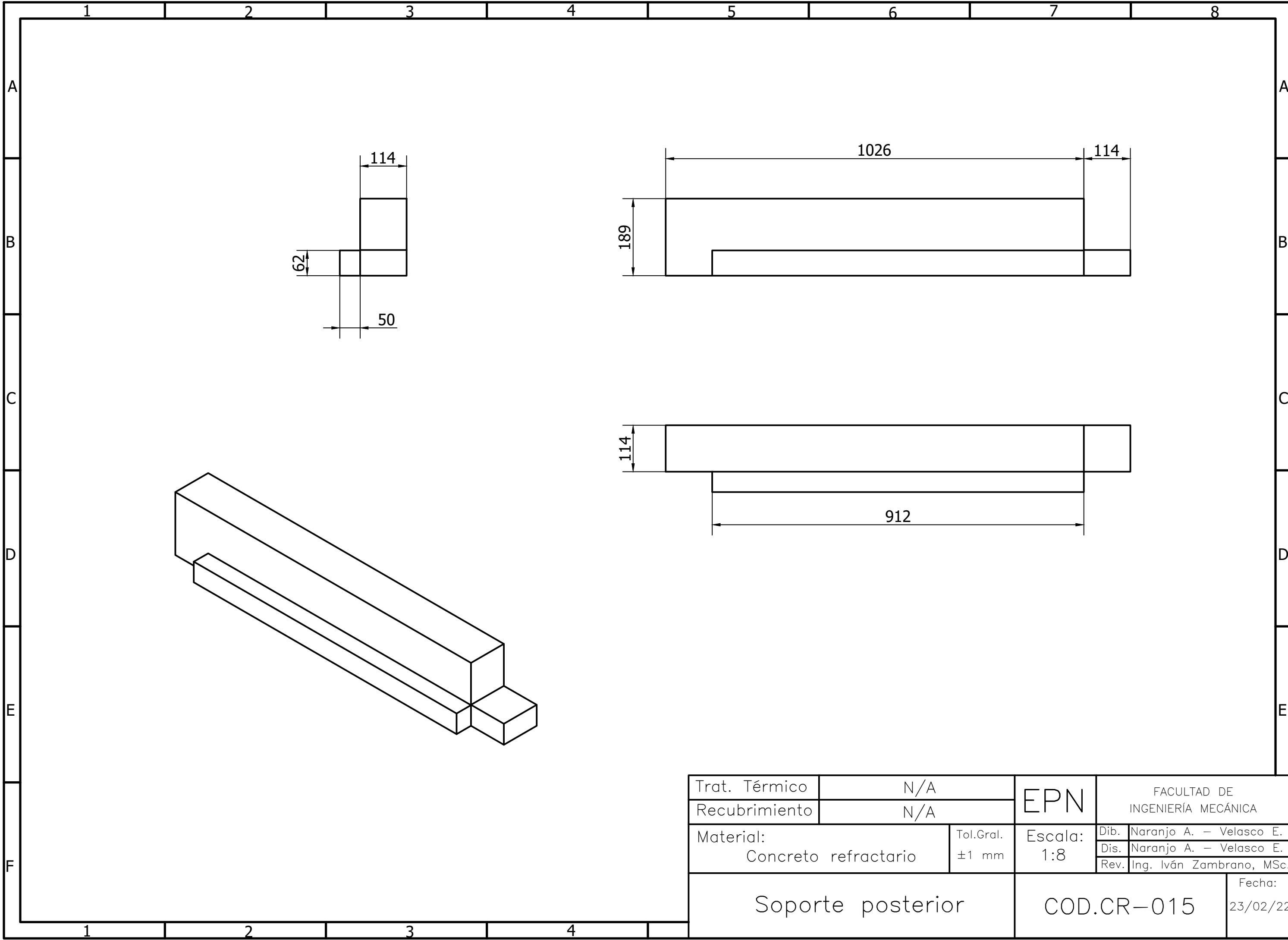
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura alta T.		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Acero Inox AISI 304	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:40	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha:	25/02/22
Carcasa metálica		COD.CR-012		



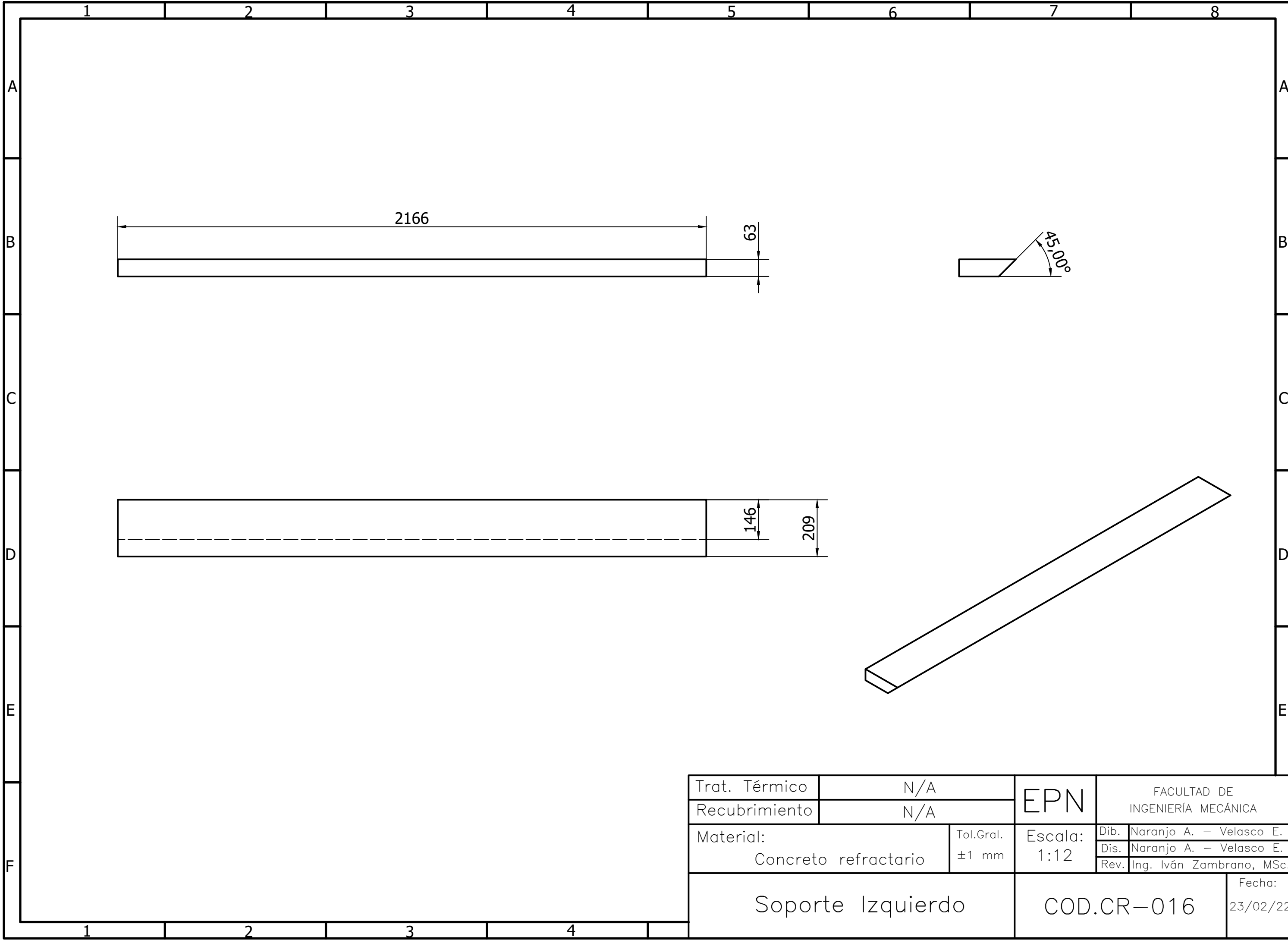
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:5	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 05/02/22	
Soporte chimenea		COD.CR-013		



Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:8	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 23/02/22	
Soporte frontal		COD.CR-014		

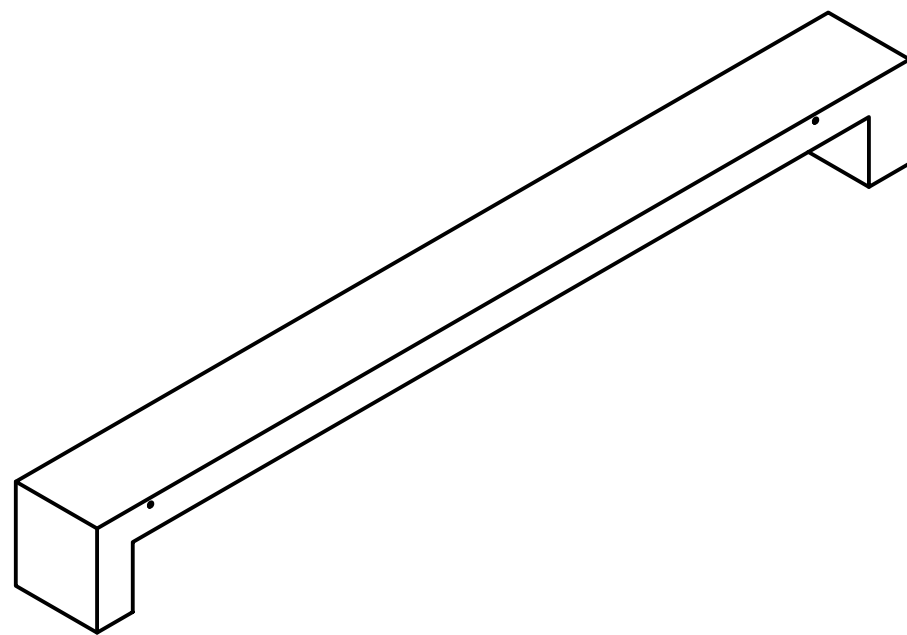
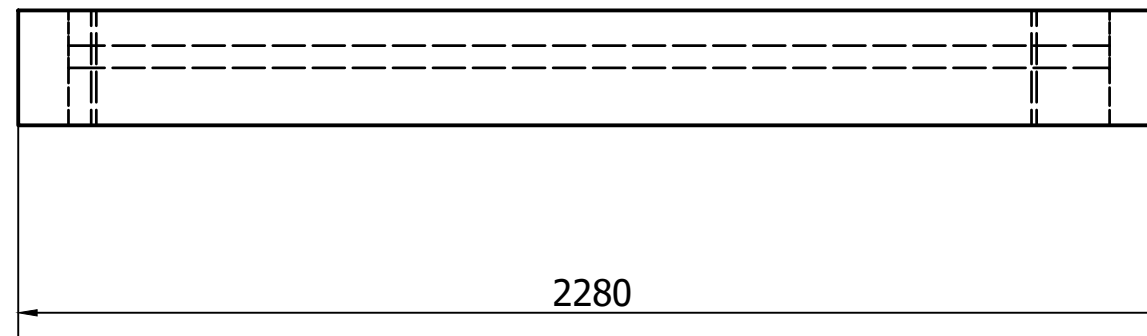
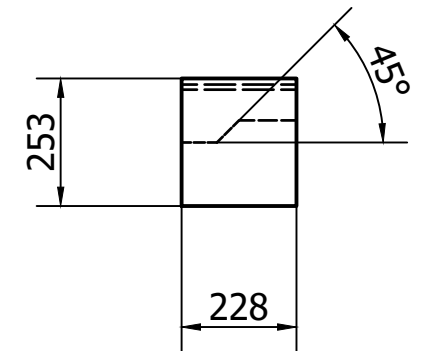
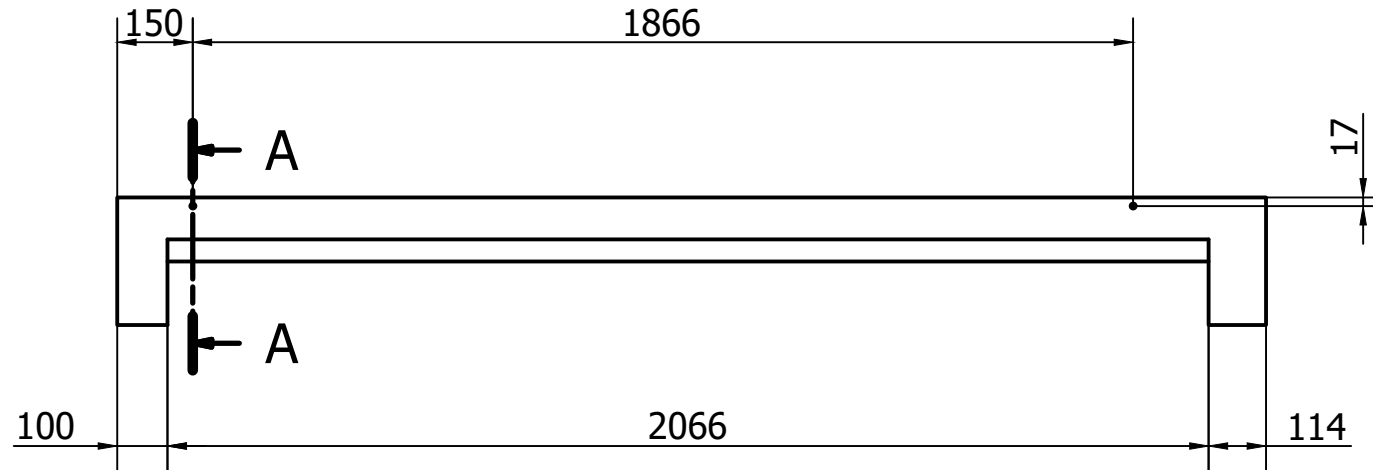
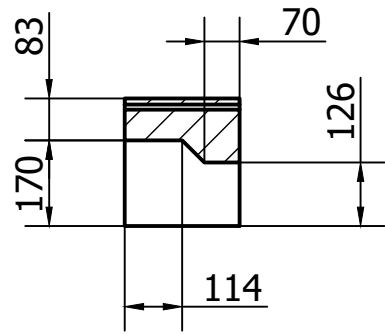


Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:8	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 23/02/22	
Soporte posterior		COD.CR-015		

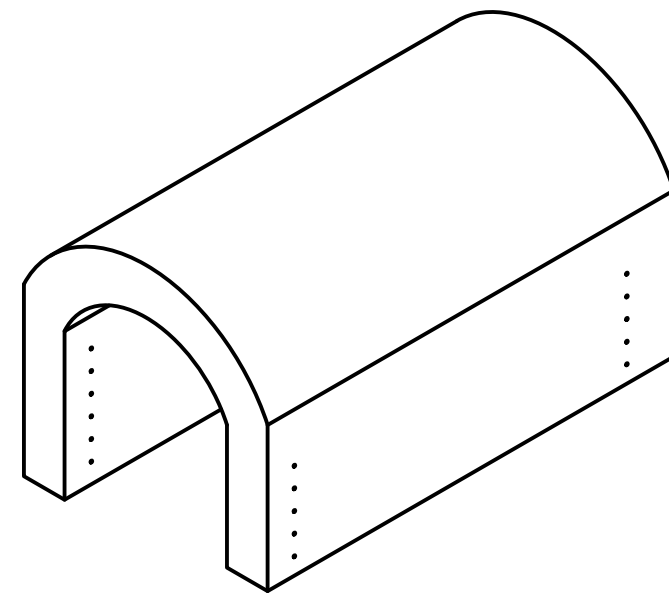
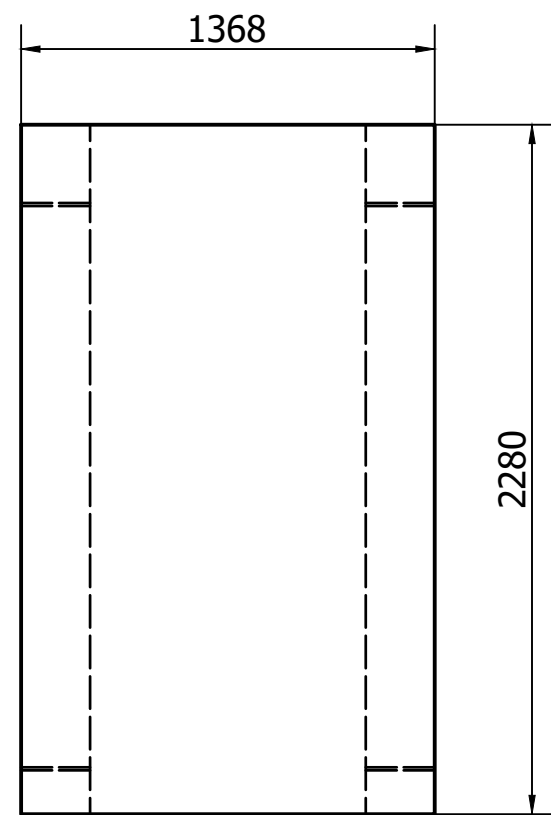
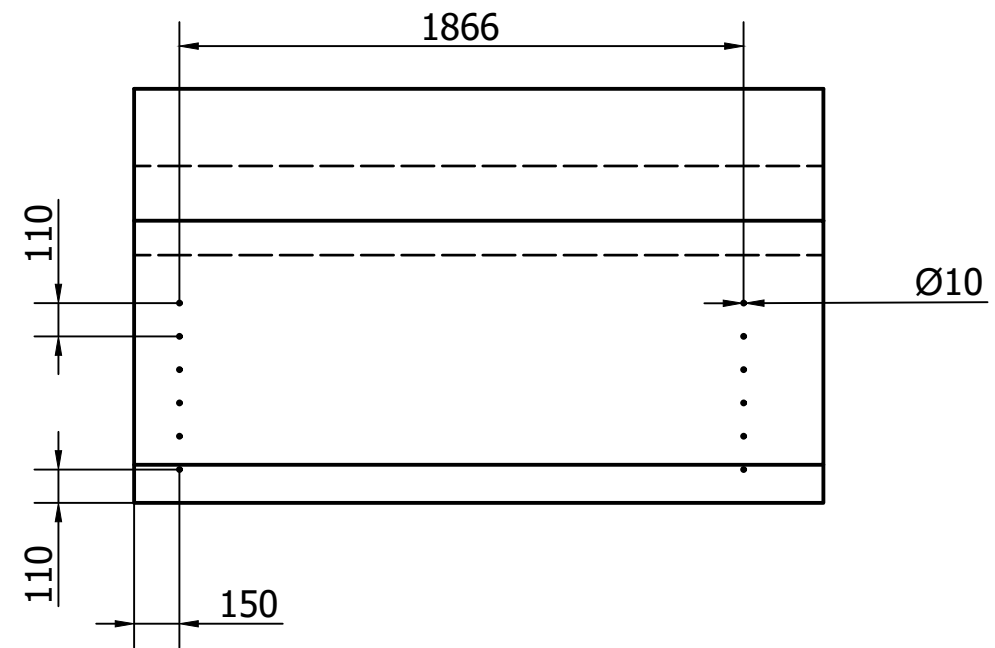
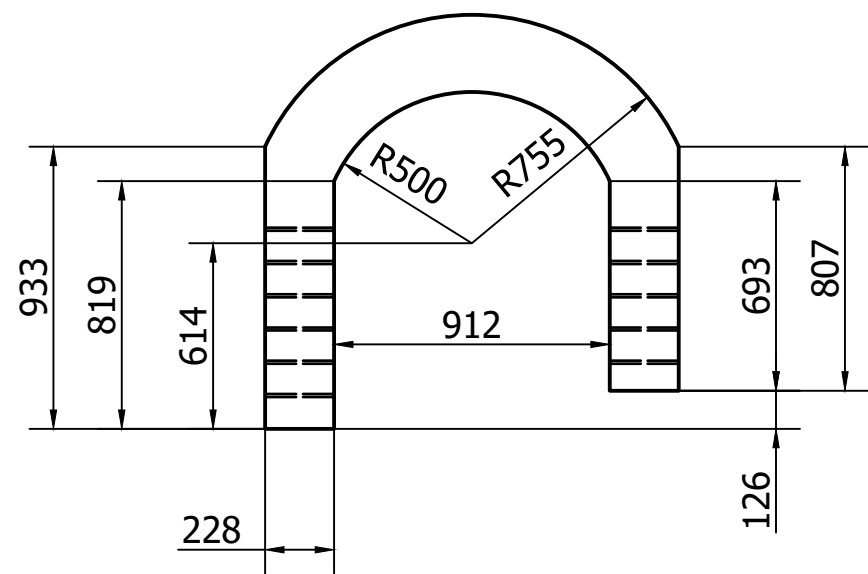


Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:12	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 23/02/22	
Soporte Izquierdo		COD.CR-016		

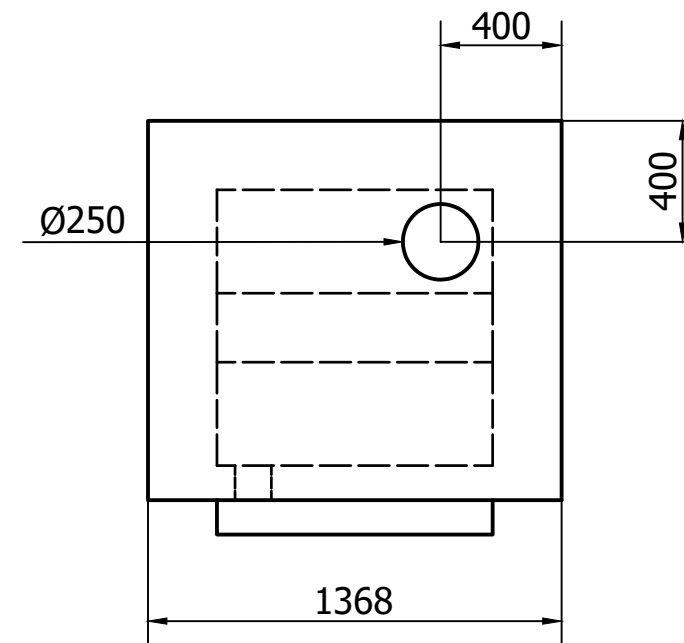
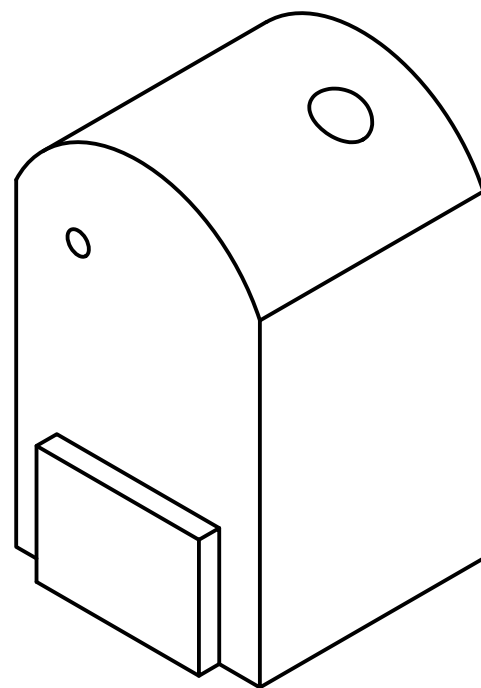
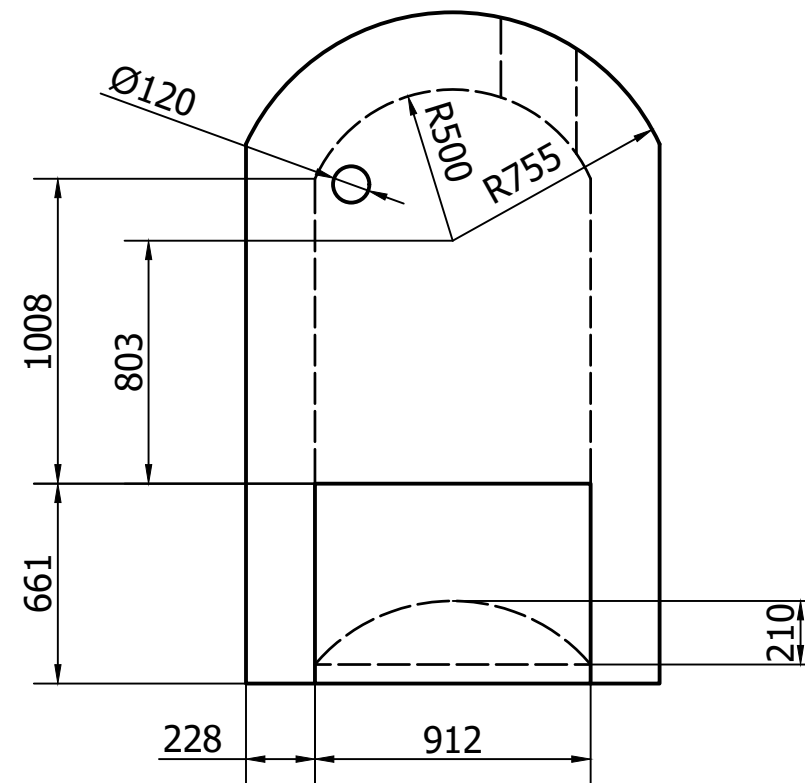
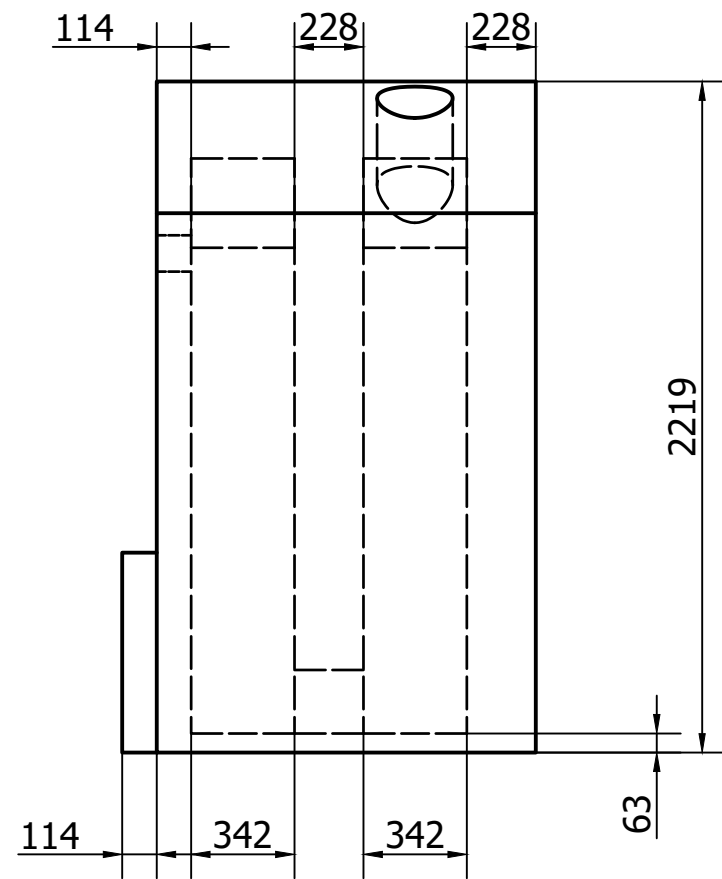
A-A (1 : 15)



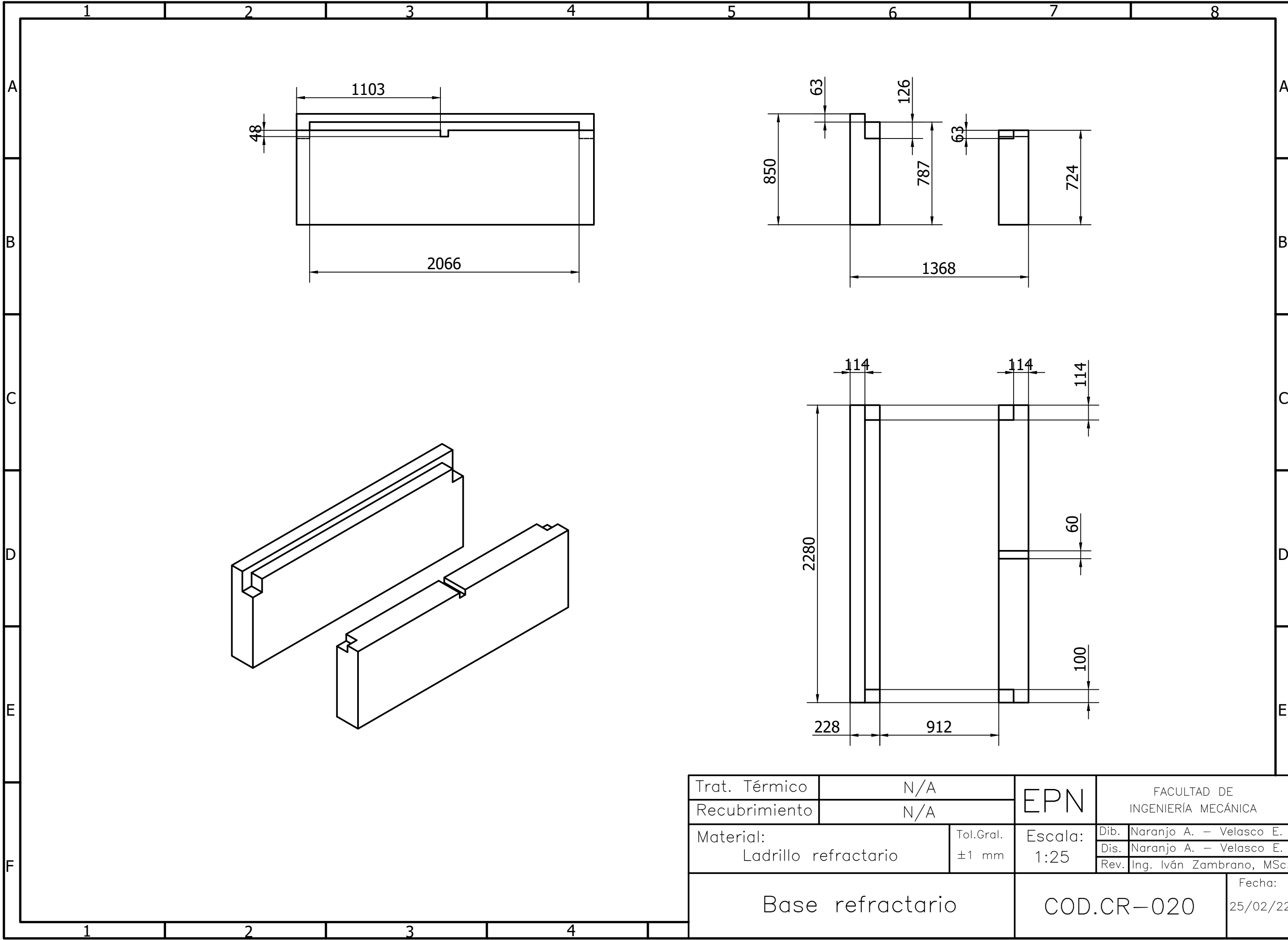
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:15	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Soporte derecho		COD.CR-017		Fecha: 22/02/22



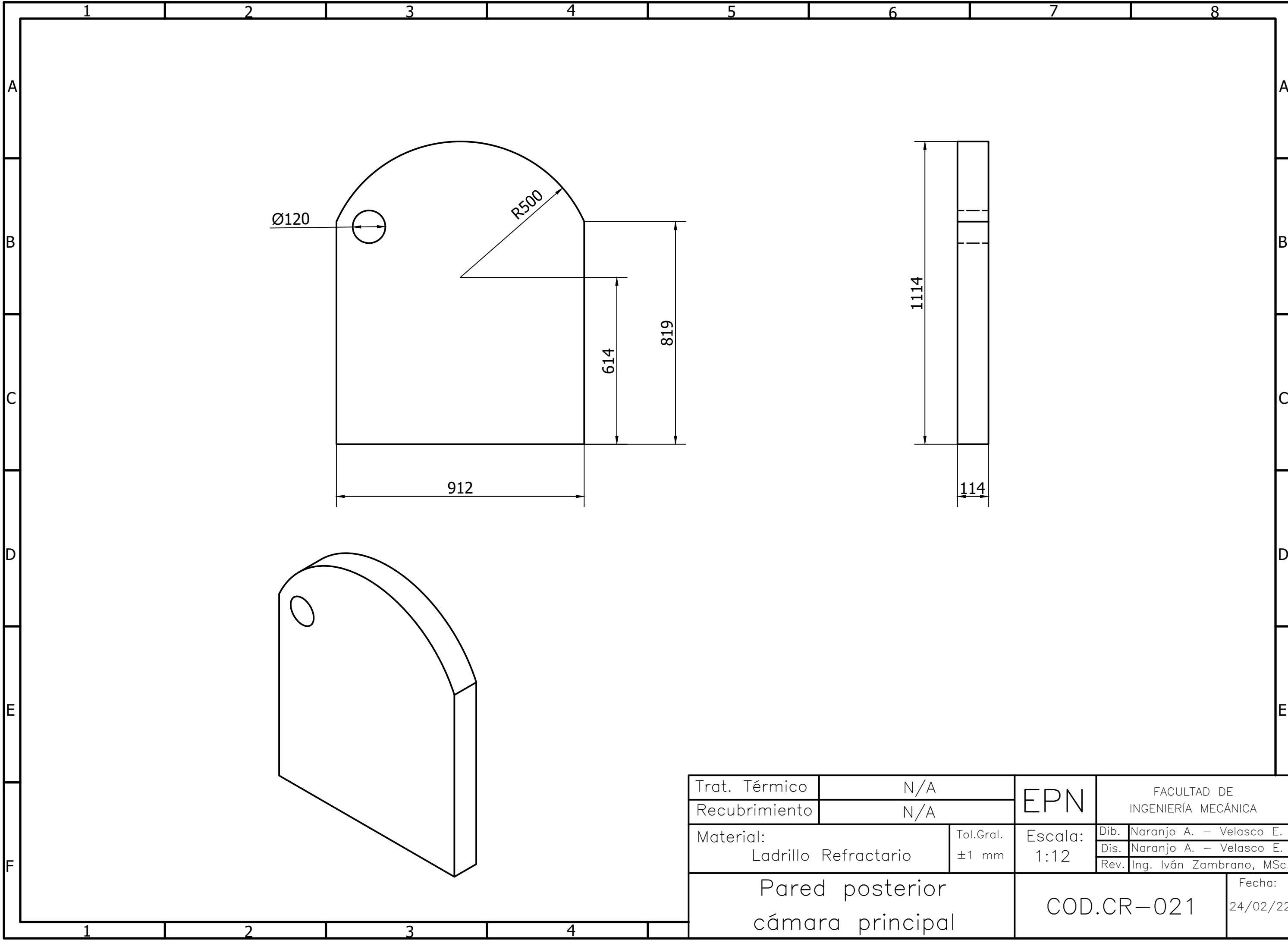
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Ladrillo refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:25	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 24/02/22	
Cámara principal		COD.CR-018		



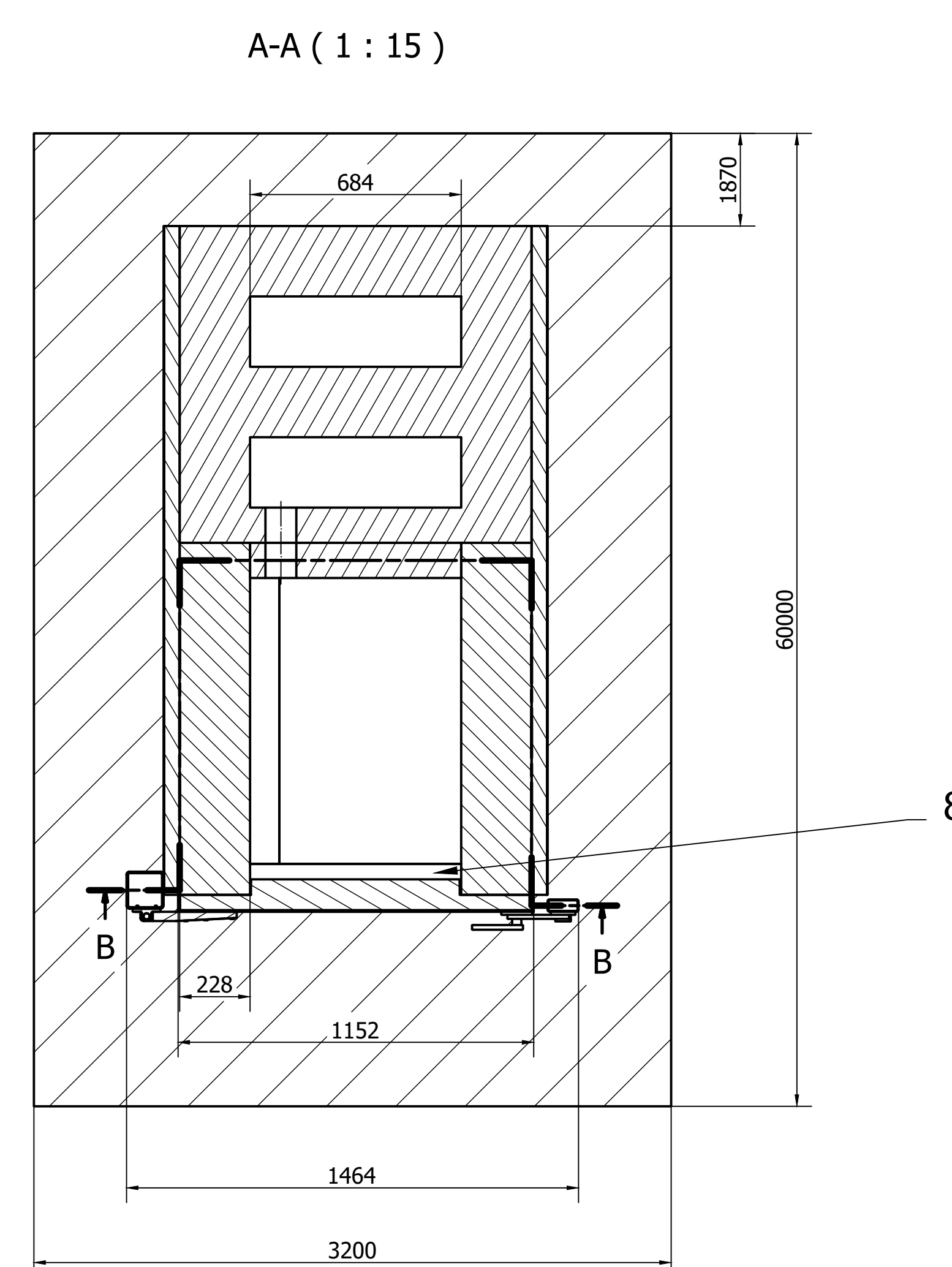
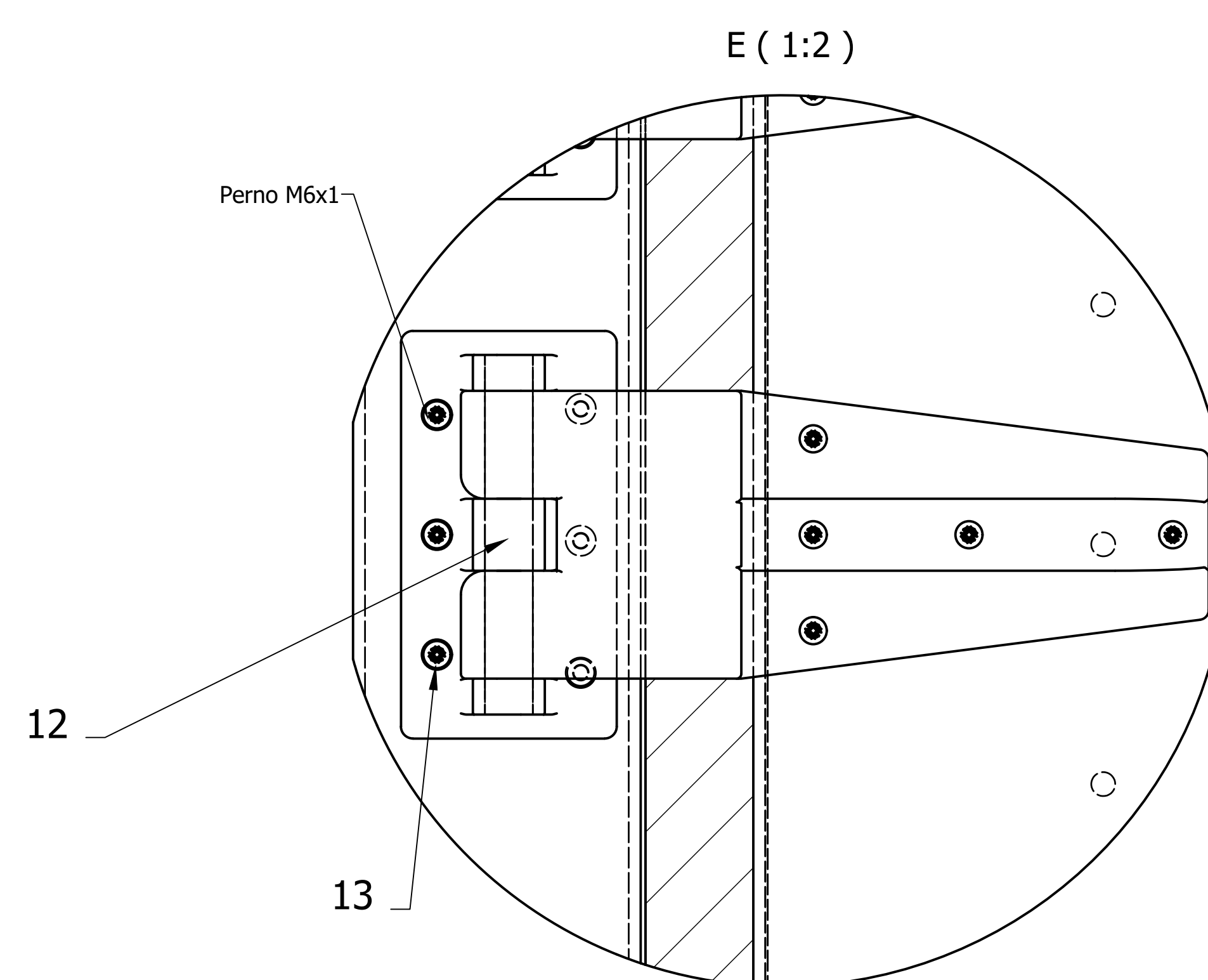
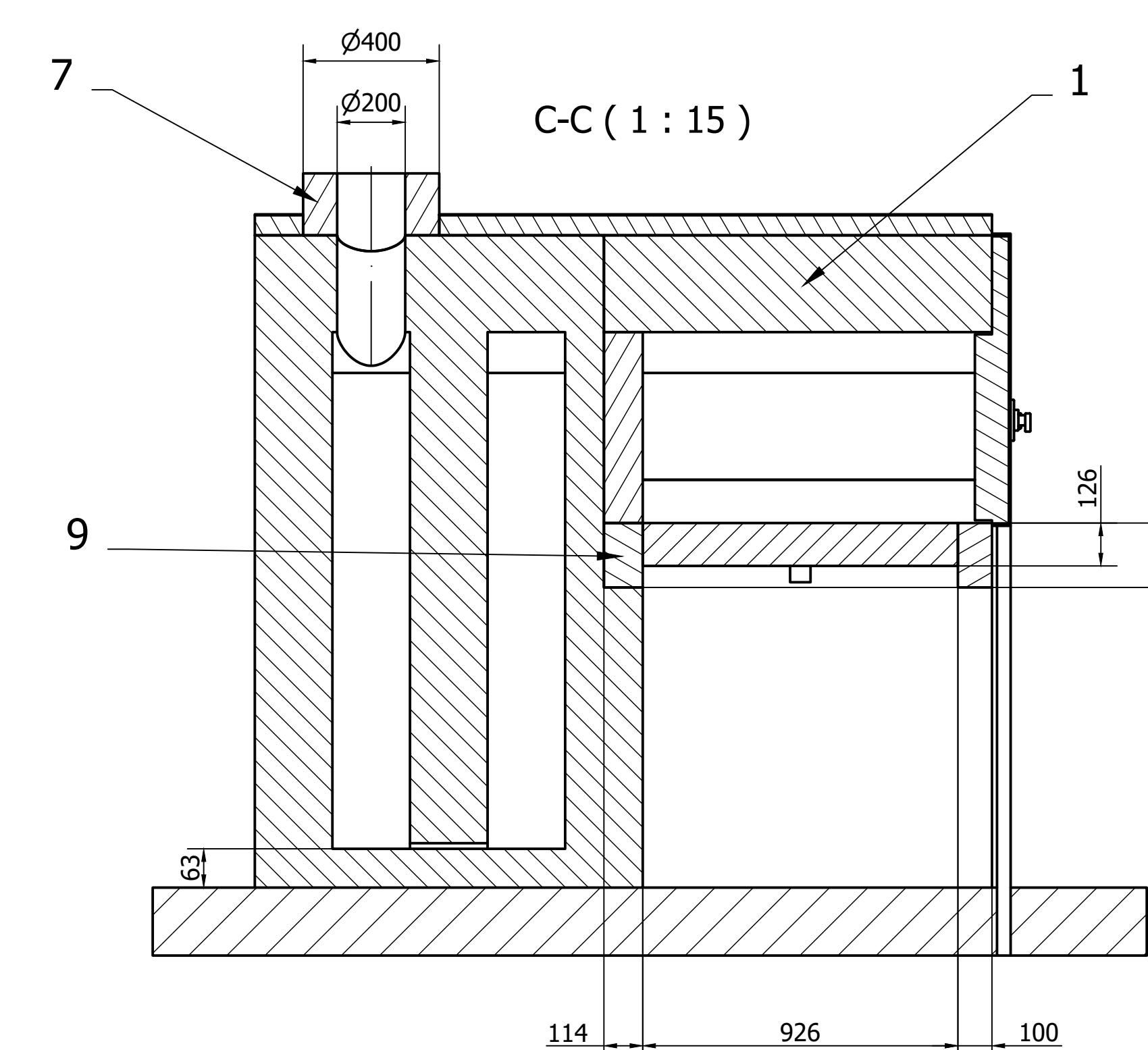
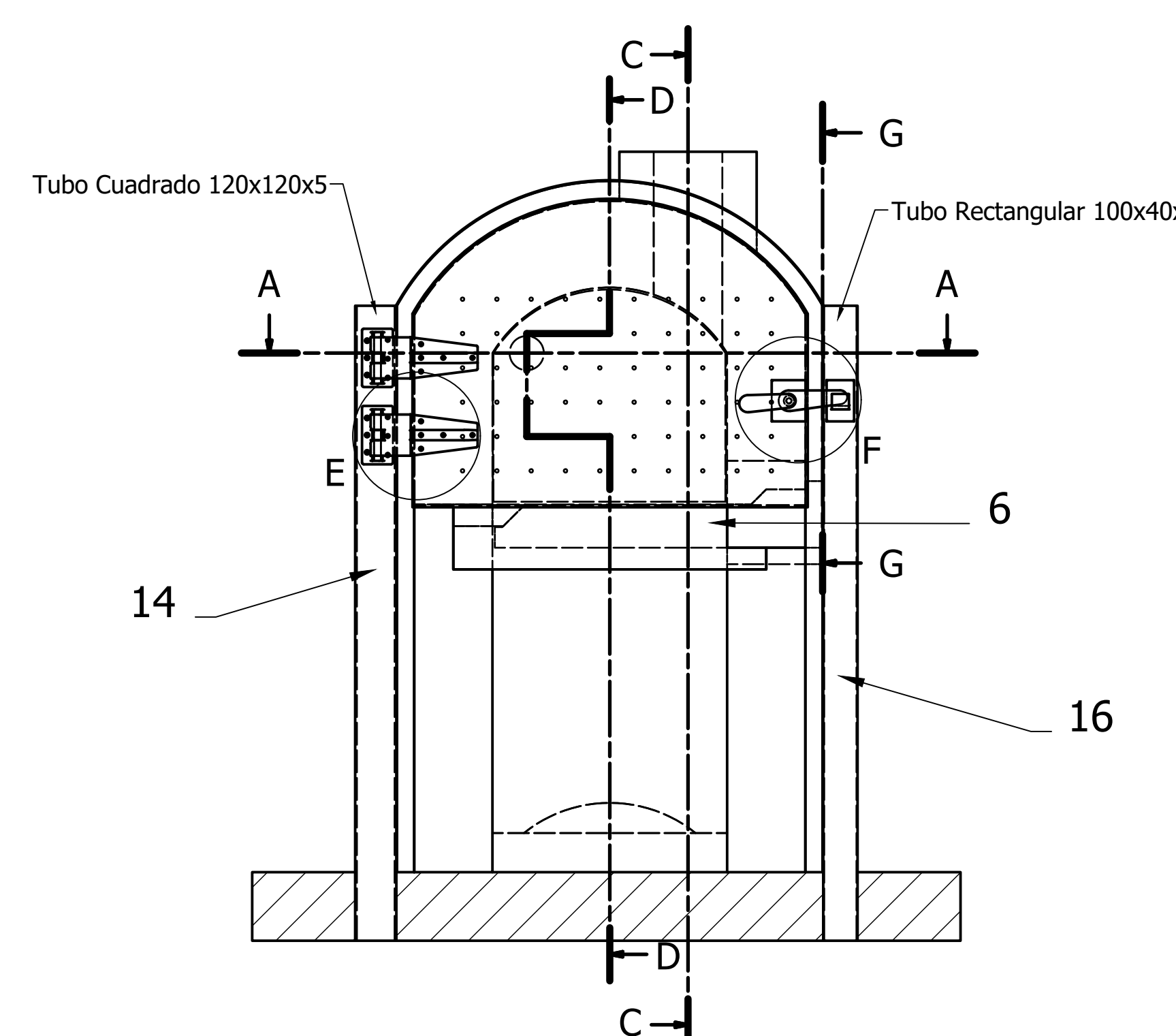
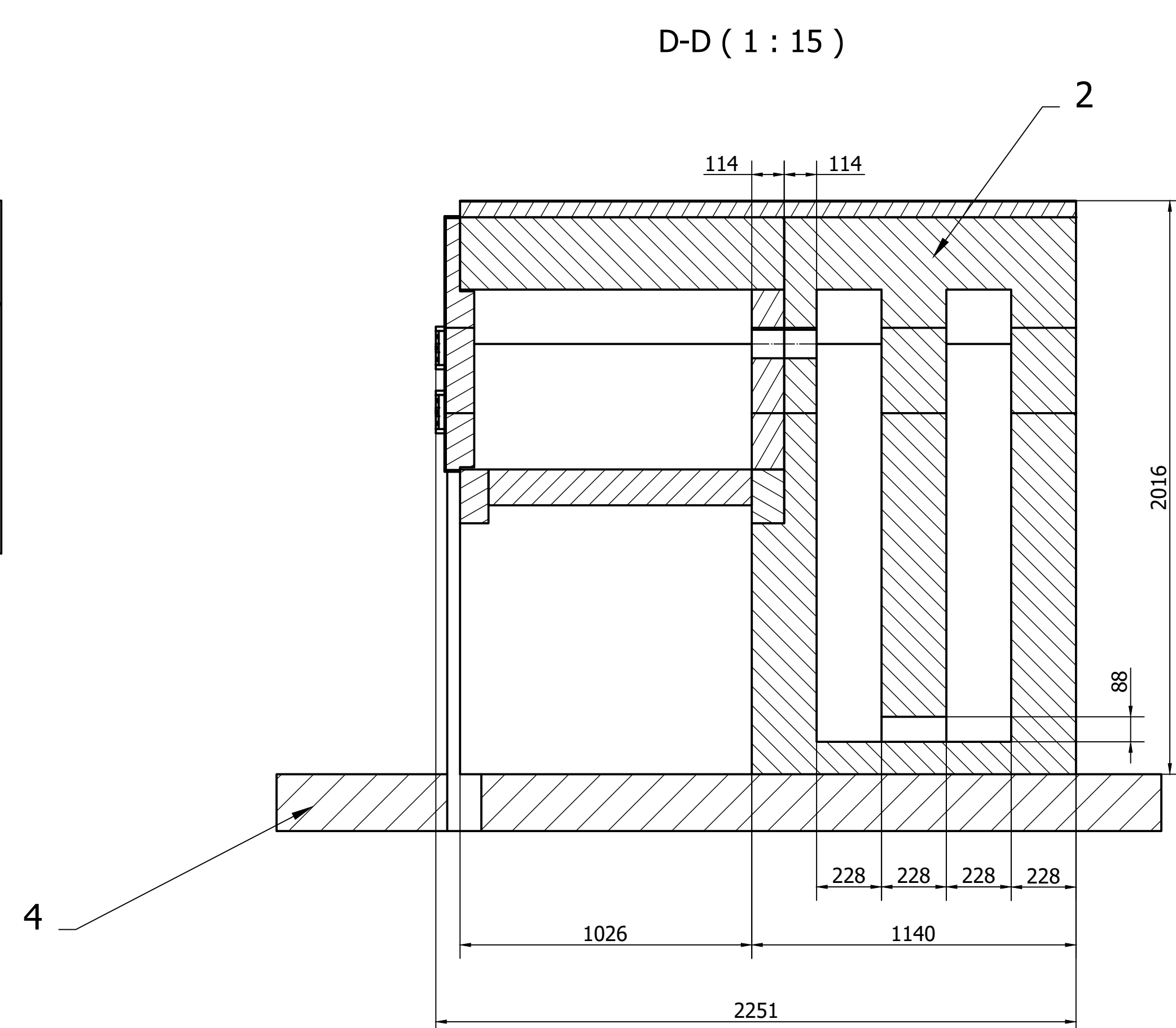
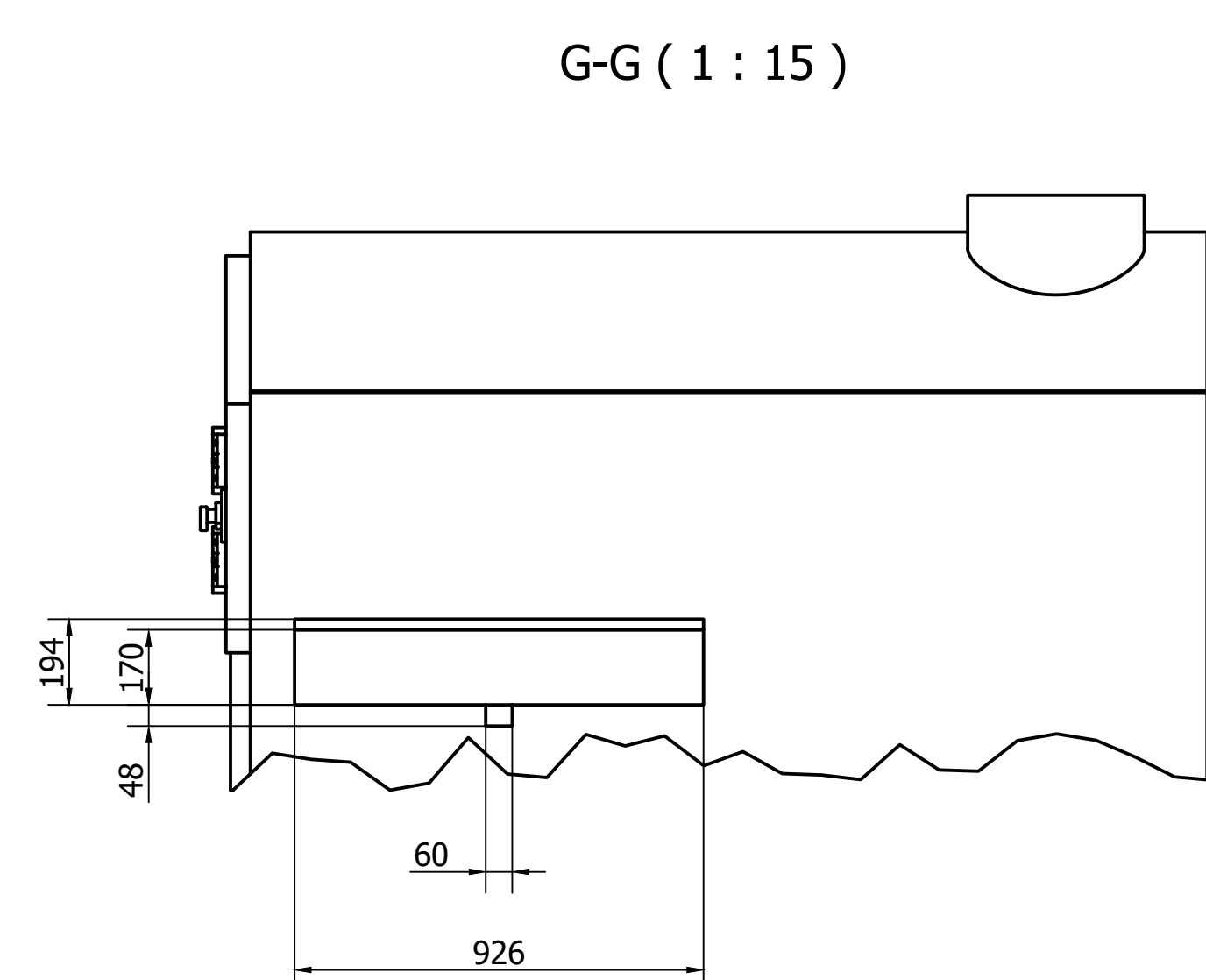
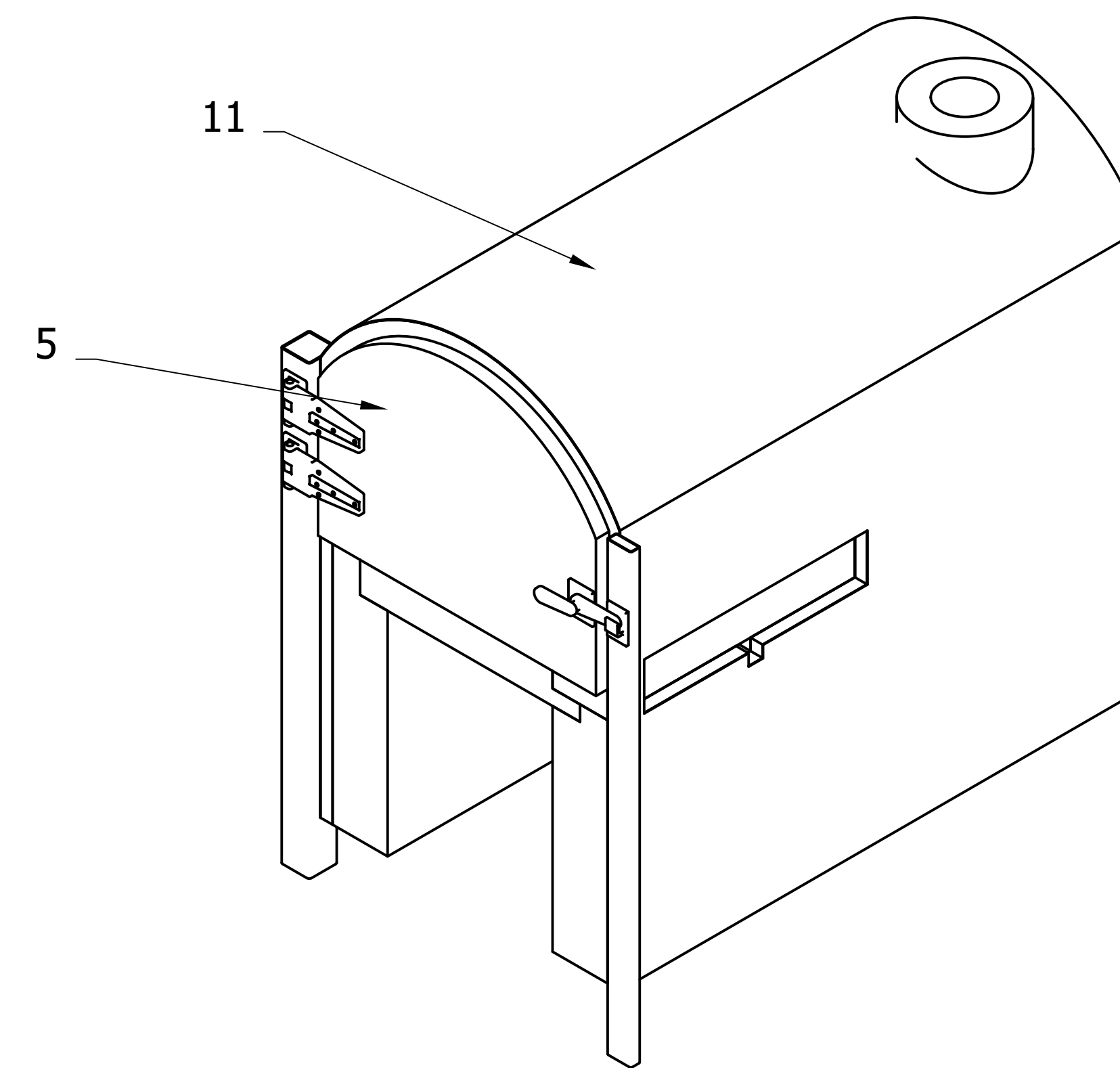
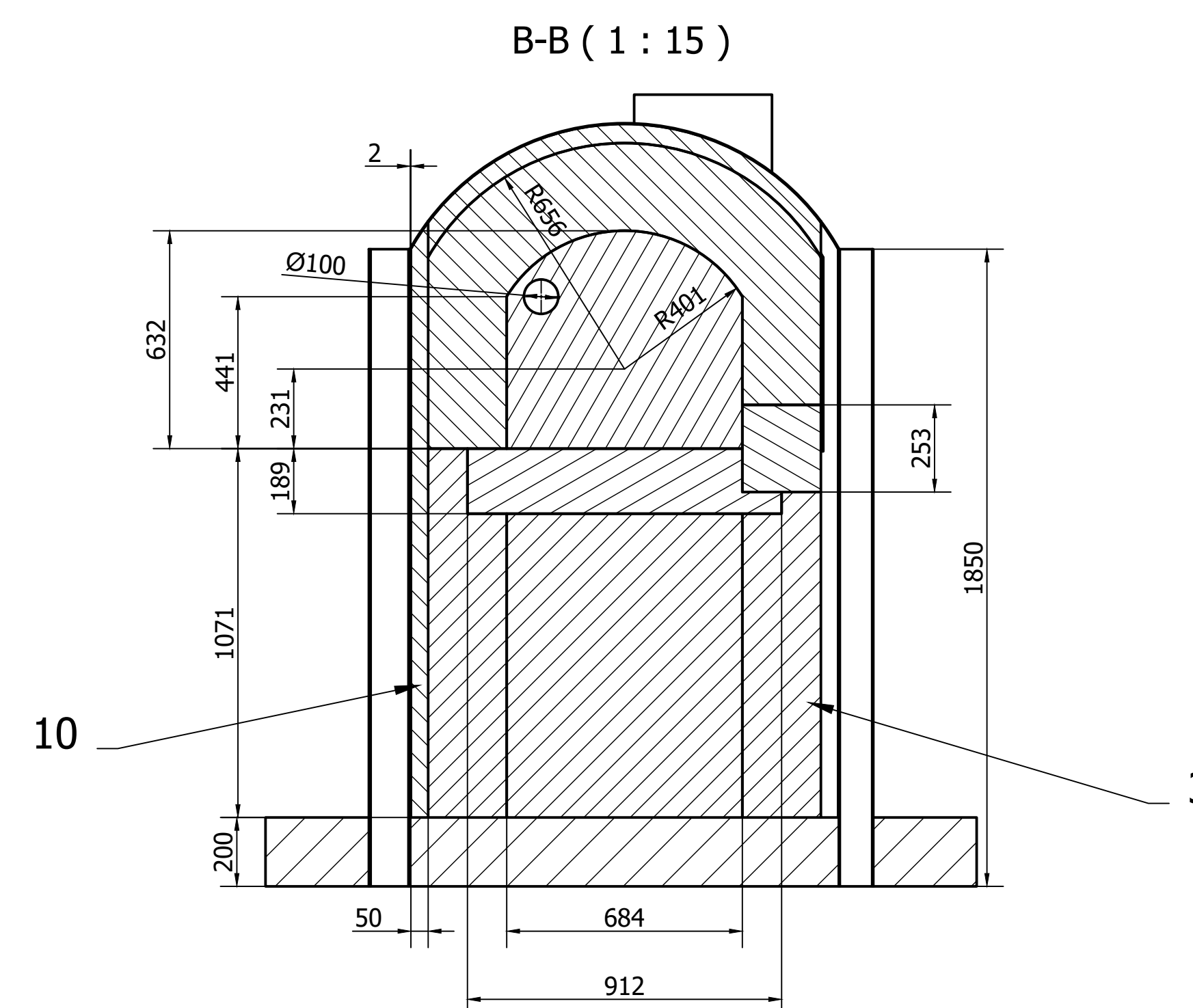
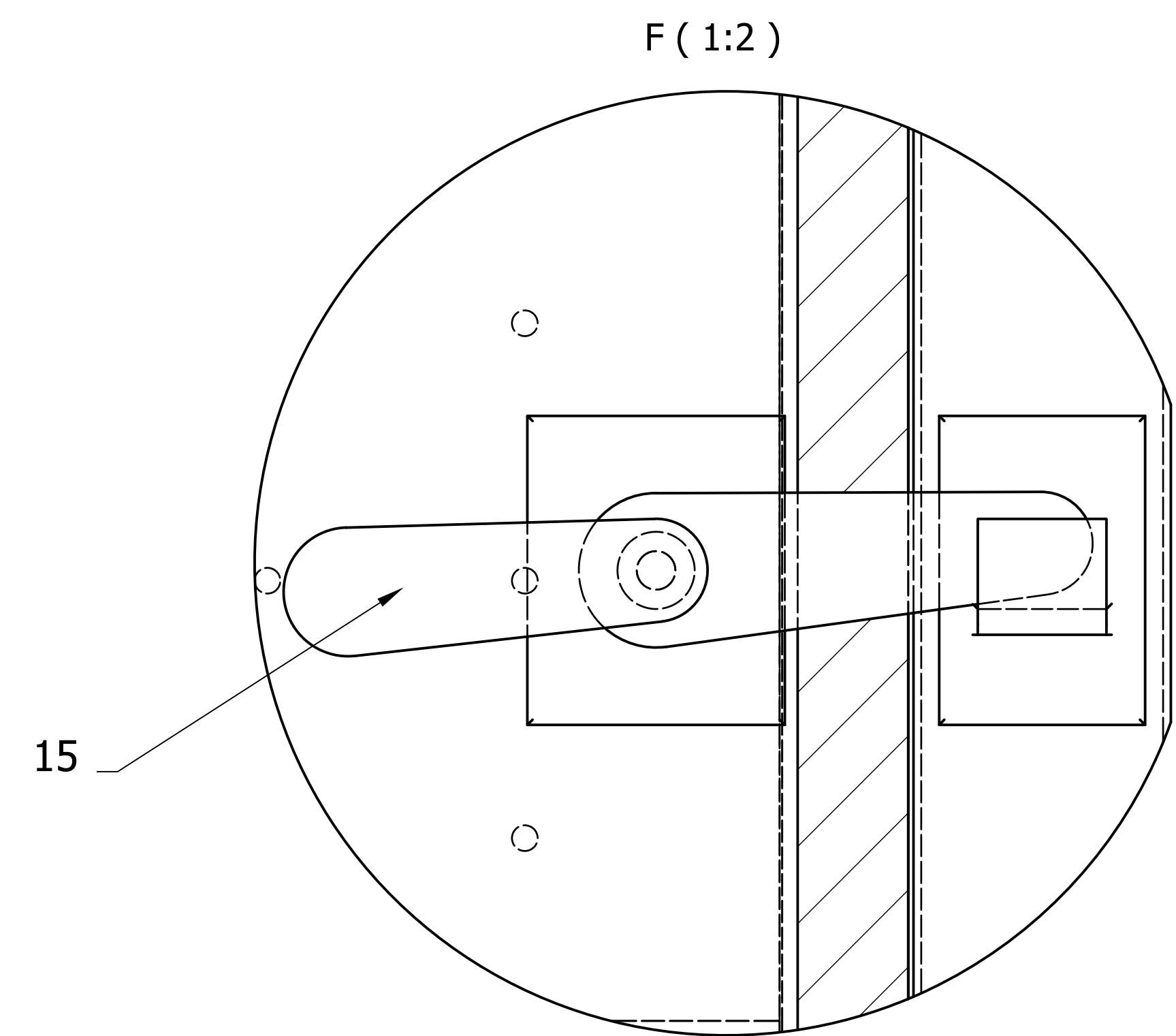
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Ladrillo refractario	Tol.Gral. ± 1 mm	Escala: 1:25	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Cámara secundaria		COD.CR-019		Fecha: 24/02/22



Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Ladrillo refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:25	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 25/02/22	
Base refractario		COD.CR-020		

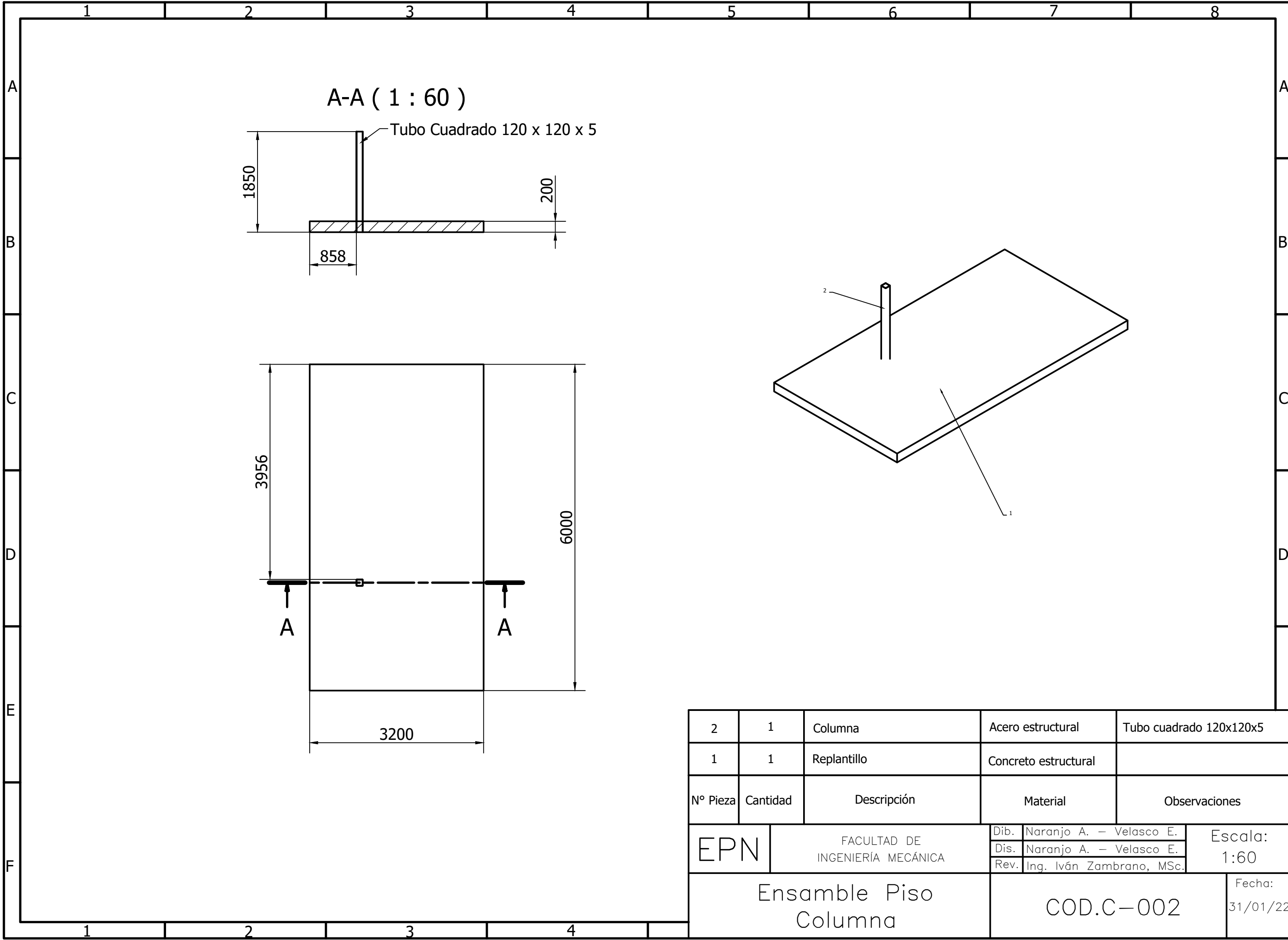


Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Ladrillo Refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:12	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 24/02/22	
Pared posterior cámara principal		COD.CR-021		



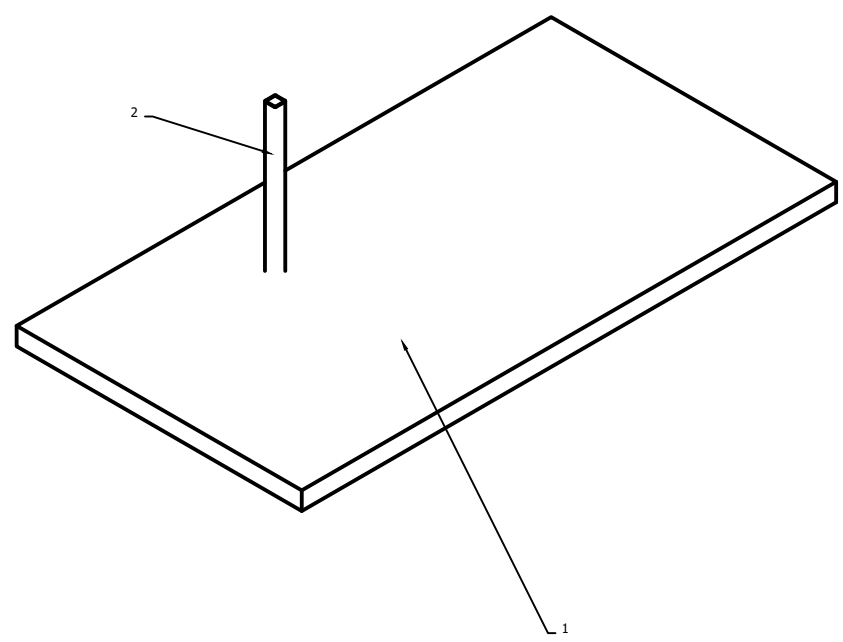
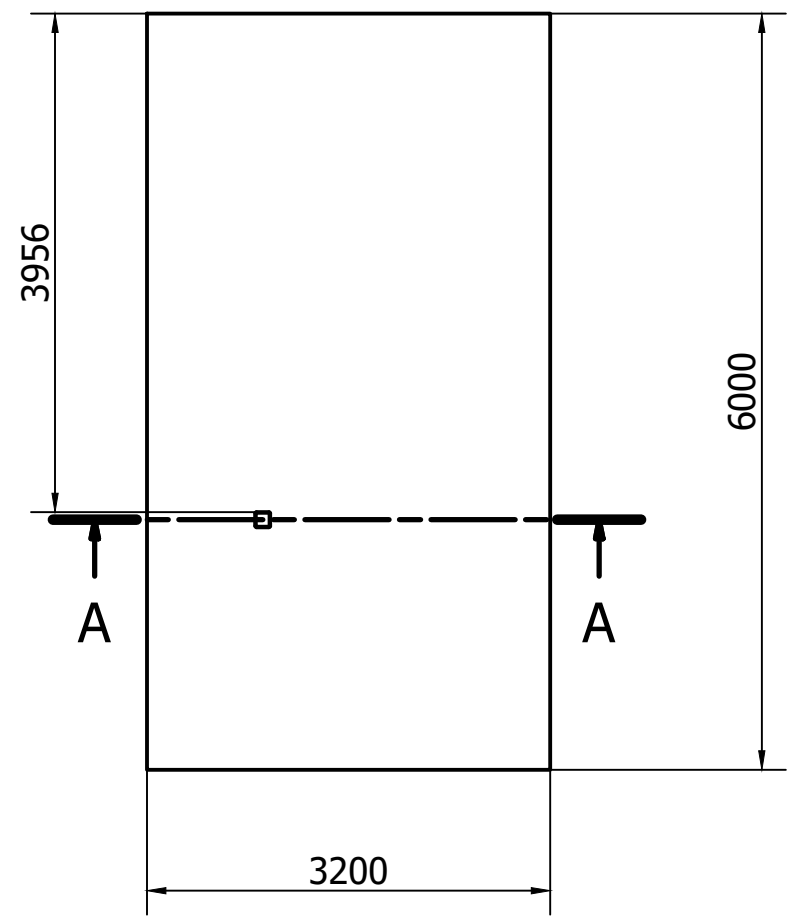
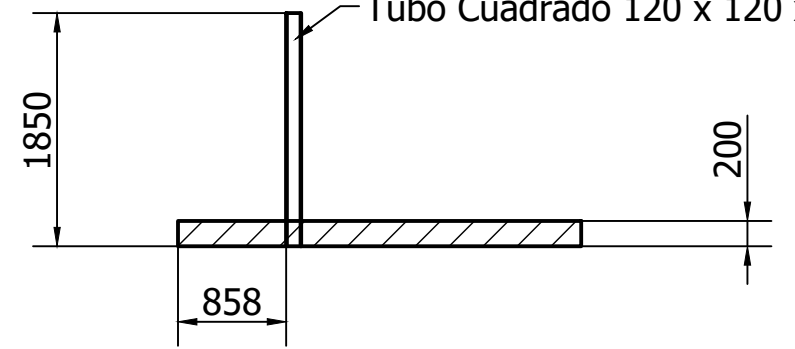
Nº Pieza	Cantidad	Descripción	Material	Observaciones
16	1	Soporte de cerradura	Acero ASTM A36	Tubo rectangular Dim. 100x40x3
15	1	Cerradura	Hierro fundido	Elemento de selección
14	1	Columna	Acero ASTM A36	Tubo cuadrado Dim. 120x120x5
13	22	Perno	Acero ASTM A354	Elemento de selección
12	2	Bisagra	Hierro fundido	Elemento de selección
11	1	Carcasa metálica	Acero Inox AISI 316	Lámina de acero Dim. 2400x1200x2 mm
10	1	Recubrimiento aislante	Lana de vidrio	Elemento de selección 1 rollo
9	1	Soporte posterior	Concreto refractario	
8	1	Soporte frontal	Concreto refractario	
7	1	Soporte chimenea	Concreto refractario	
6	1	Compuerta corredera	Concreto refractario	
5	1	Compuerta principal	Concreto refractario	Recubierta con chapa metálica. Espesor = 6 mm
4	1	Replantillo	Concreto estructural	
3	1	Base	Ladrillo refractario	
2	1	Cámara secundaria	Ladrillo refractario	
1	1	Cámara principal	Ladrillo refractario Concreto refractario	

EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib. Naranjo A. - Velasco E. Dis. Naranjo A. - Velasco E. Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.	Escala: 1:15	Fecha: 01/02/22
Plano Conjunto Prototipo			COD.C-001		

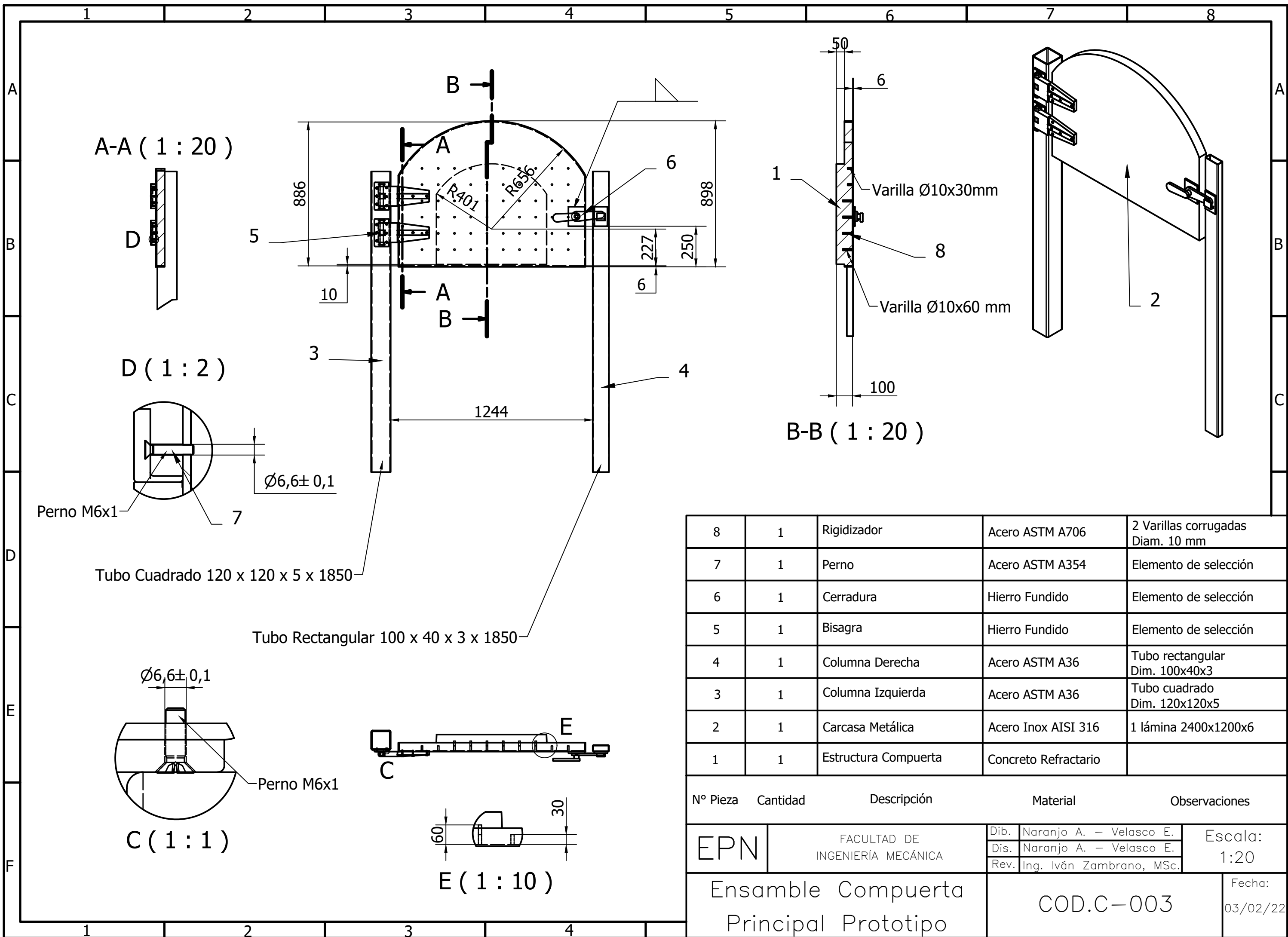


A-A (1 : 60)

Tubo Cuadrado 120 x 120 x 5

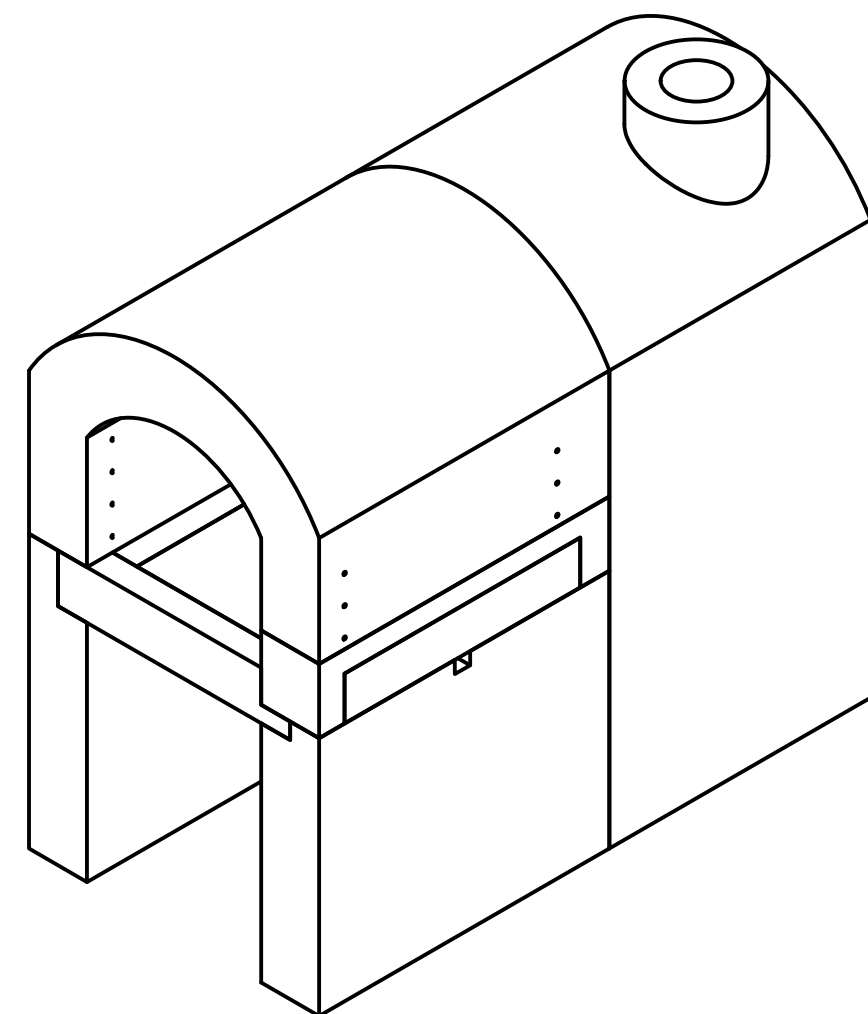
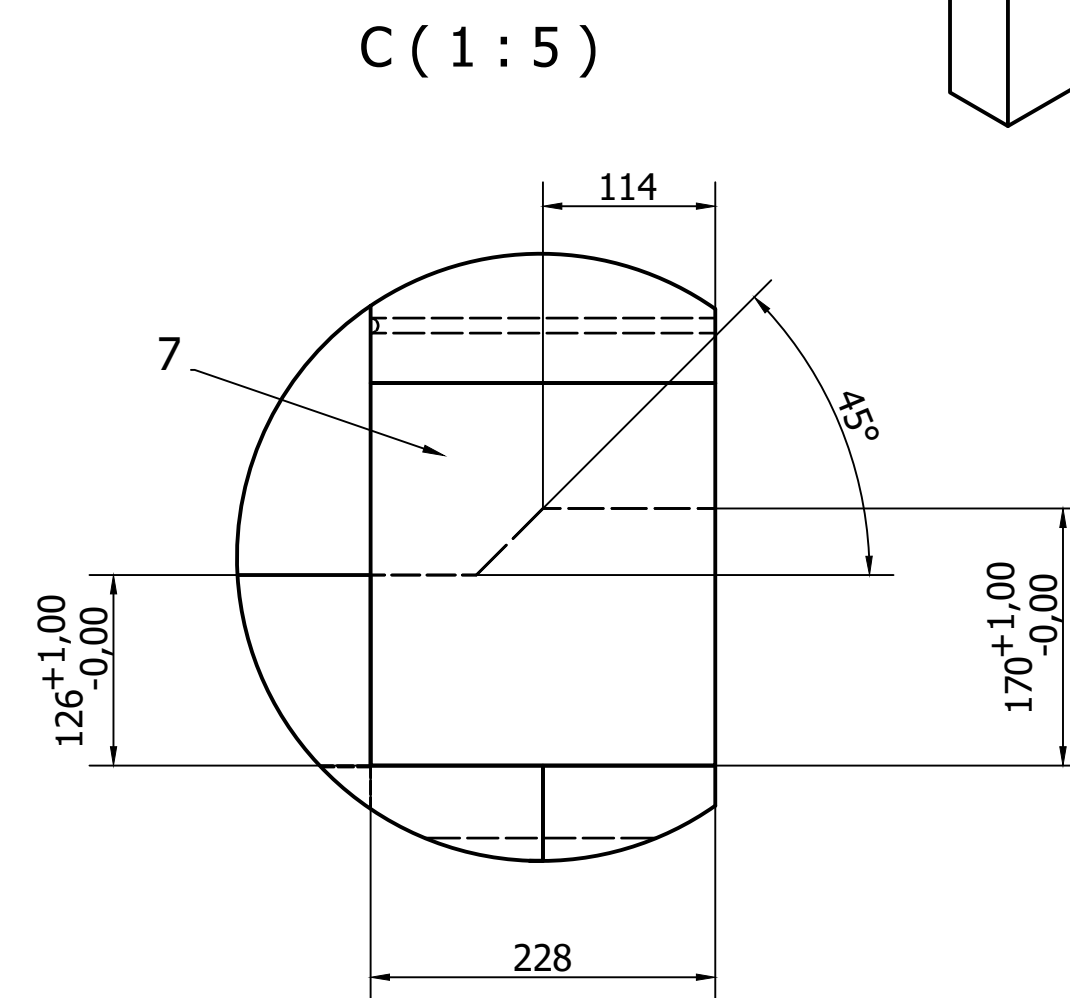
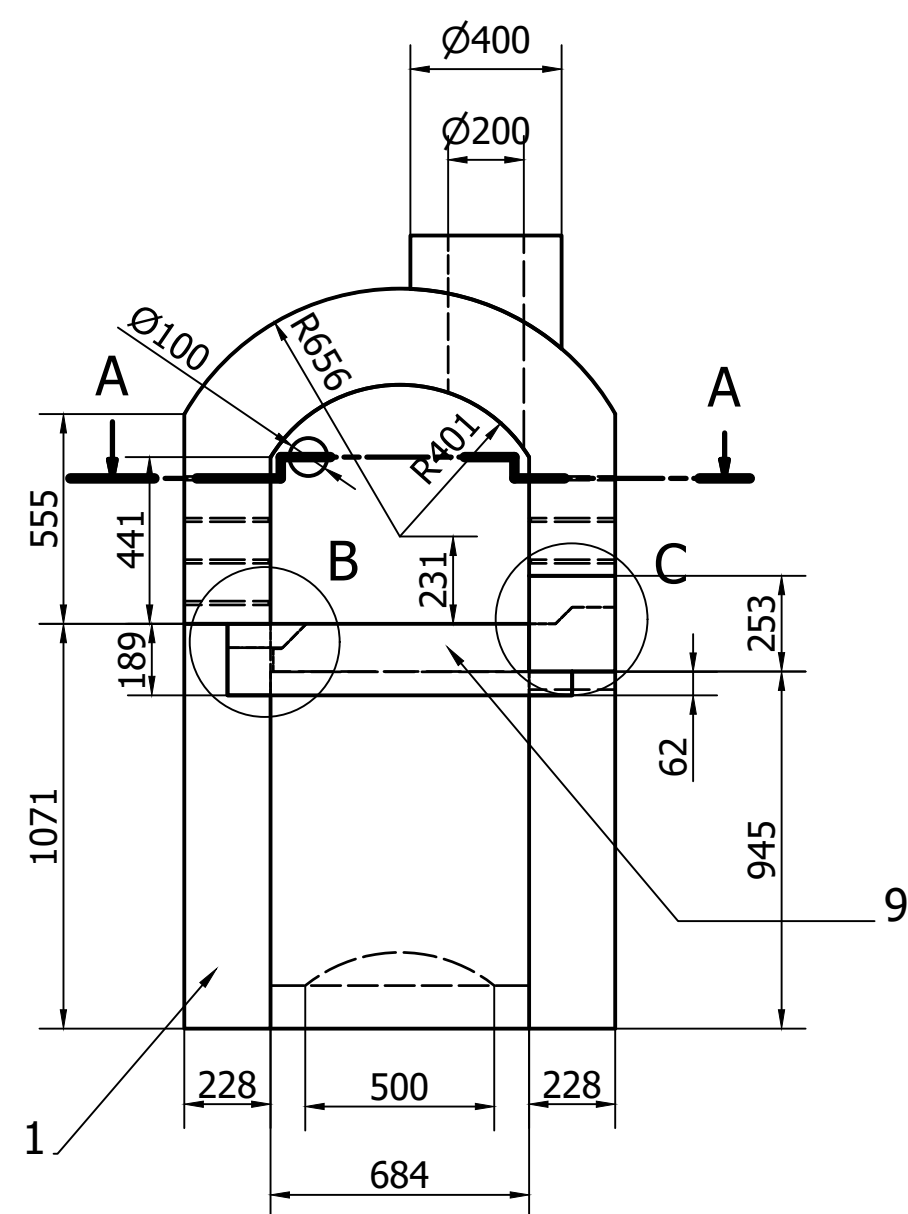
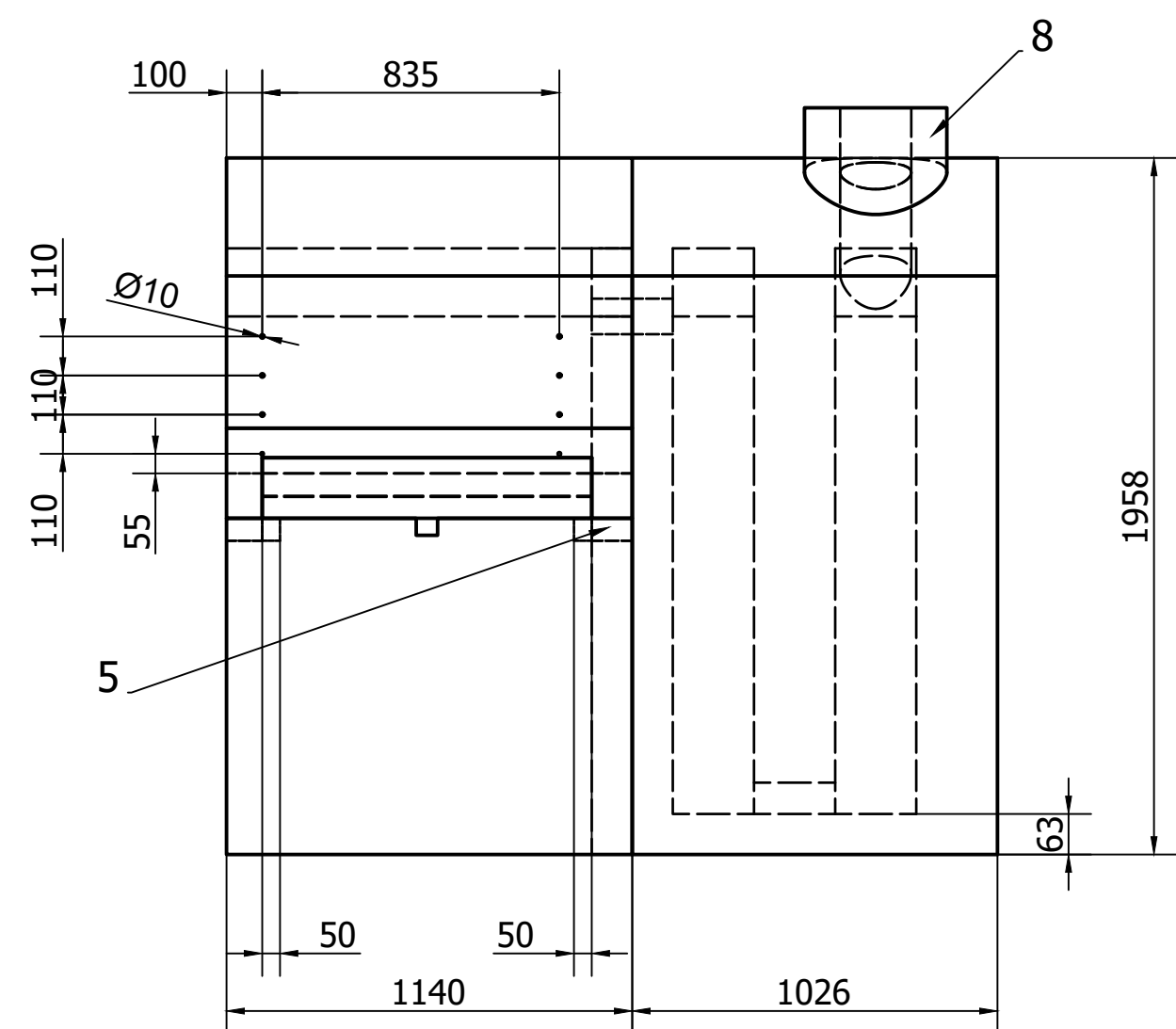


2	1	Columna	Acero estructural	Tubo cuadrado 120x120x5
1	1	Replanteo	Concreto estructural	
Nº Pieza	Cantidad	Descripción	Material	Observaciones
EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Dib. Naranjo A. – Velasco E.	Escala: 1:60
			Dis. Naranjo A. – Velasco E.	
			Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.	
Ensamble Piso Columna			COD.C-002	Fecha: 31/01/22

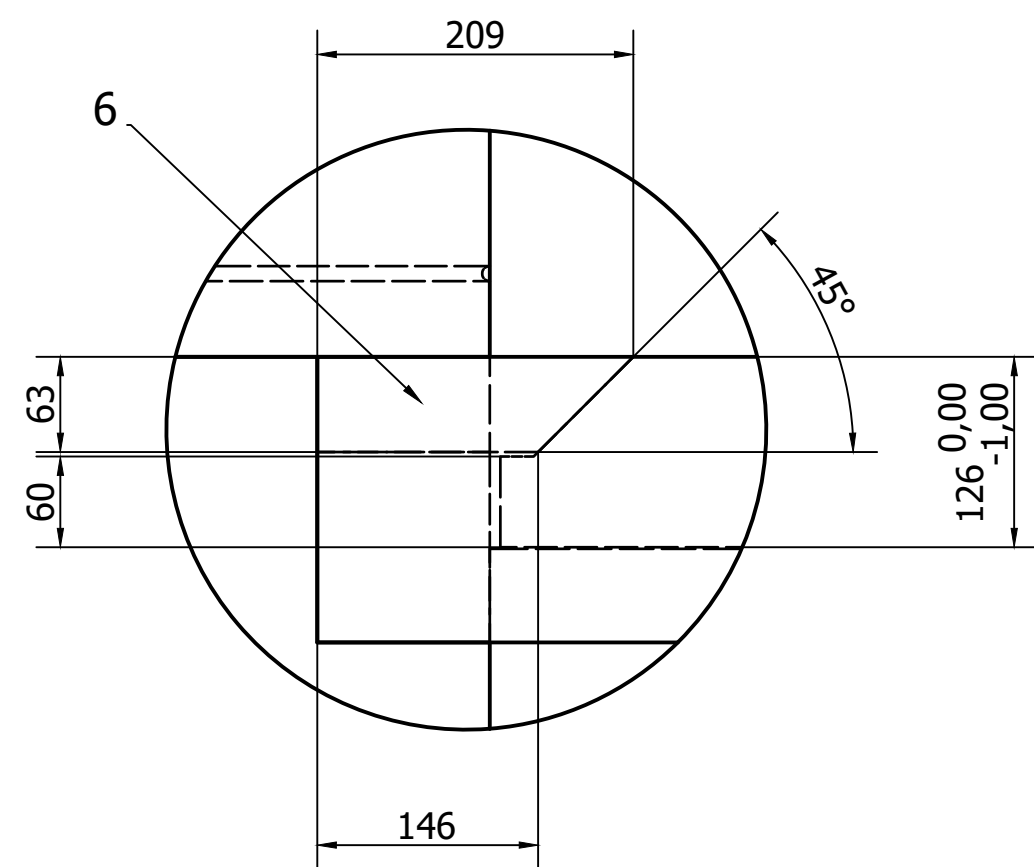


8	1	Rigidizador	Acero ASTM A706	2 Varillas corrugadas Diam. 10 mm
7	1	Perno	Acero ASTM A354	Elemento de selección
6	1	Cerradura	Hierro Fundido	Elemento de selección
5	1	Bisagra	Hierro Fundido	Elemento de selección
4	1	Columna Derecha	Acero ASTM A36	Tubo rectangular Dim. 100x40x3
3	1	Columna Izquierda	Acero ASTM A36	Tubo cuadrado Dim. 120x120x5
2	1	Carcasa Metálica	Acero Inox AISI 316	1 lámina 2400x1200x6
1	1	Estructura Compuerta	Concreto Refractario	

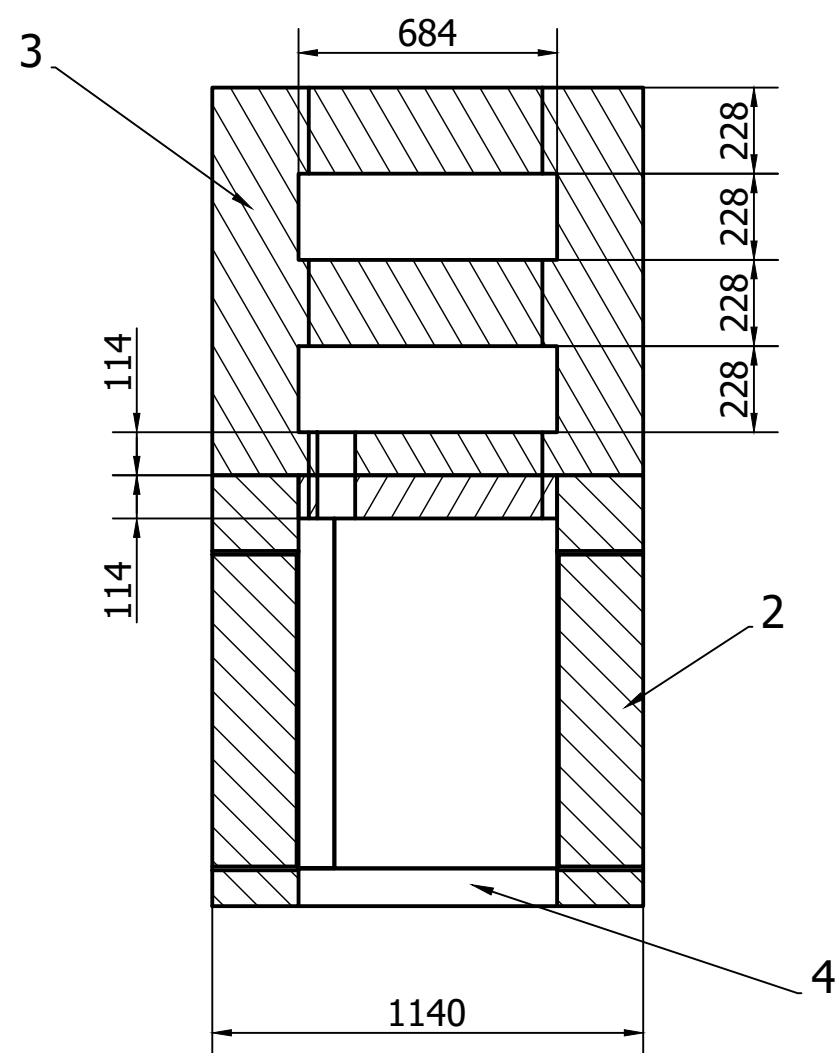
N° Pieza	Cantidad	Descripción	Material	Observaciones
EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA		Dib. Naranjo A. – Velasco E.	Escala: 1:20
			Dis. Naranjo A. – Velasco E.	
			Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.	
Ensamble Compuerta Principal Prototipo			COD.C-003	Fecha: 03/02/22



B (1:5)

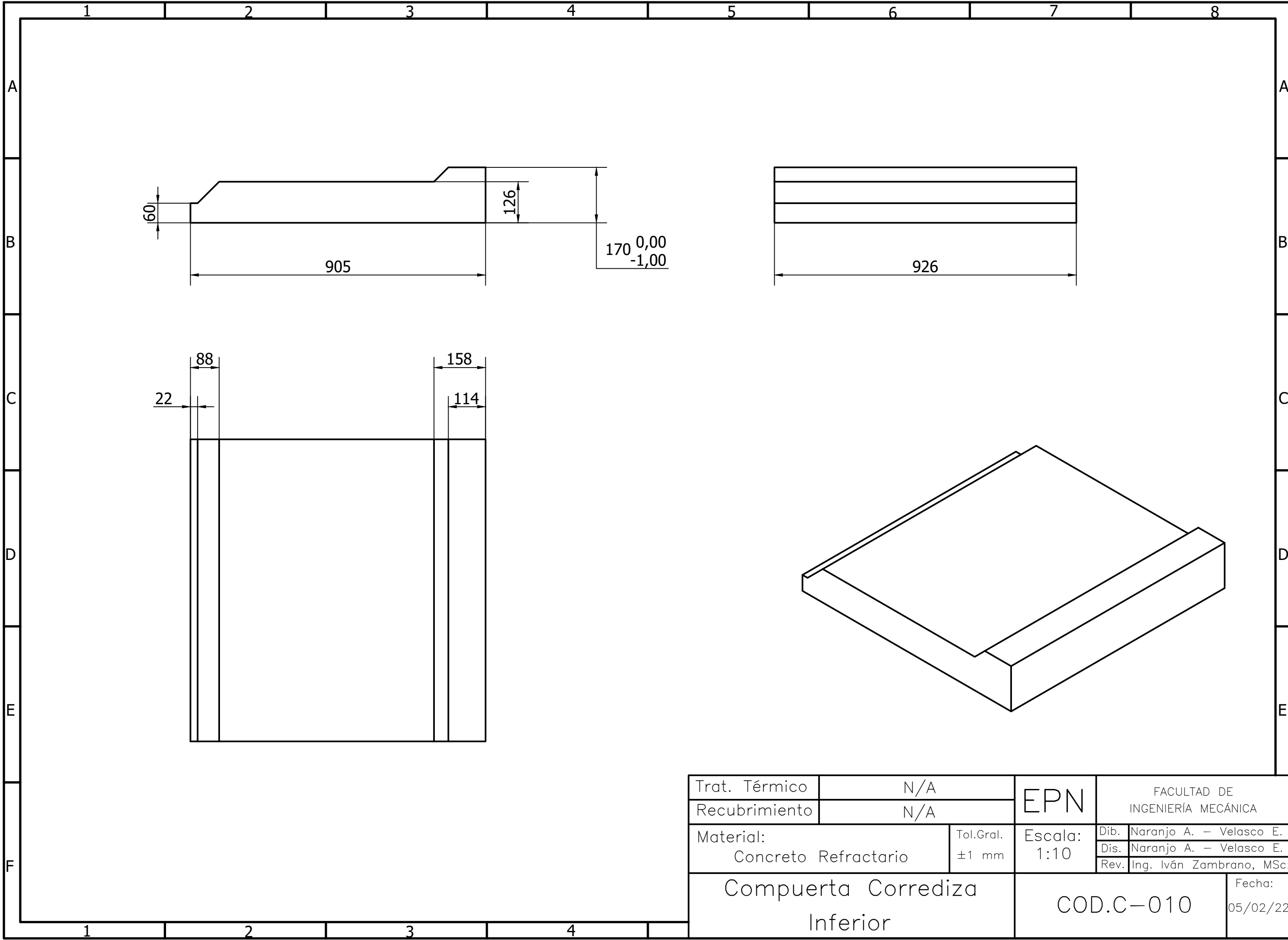


A-A (1:20)

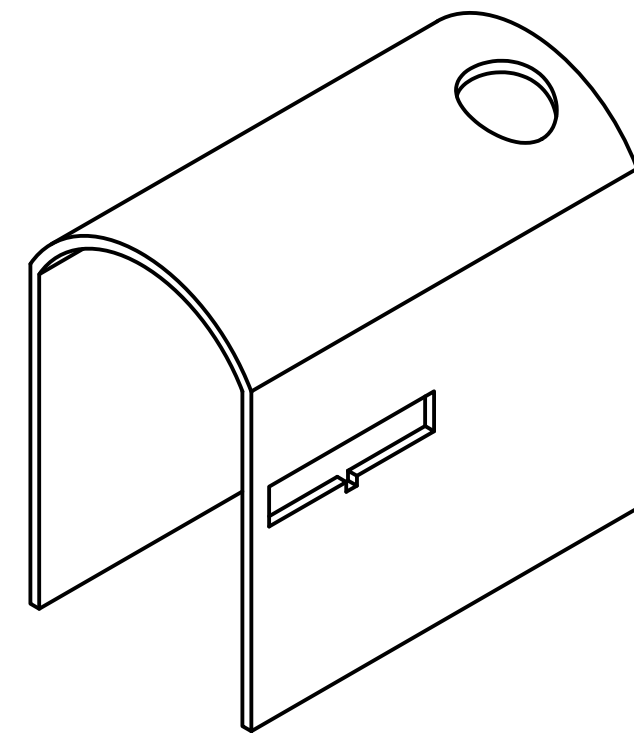
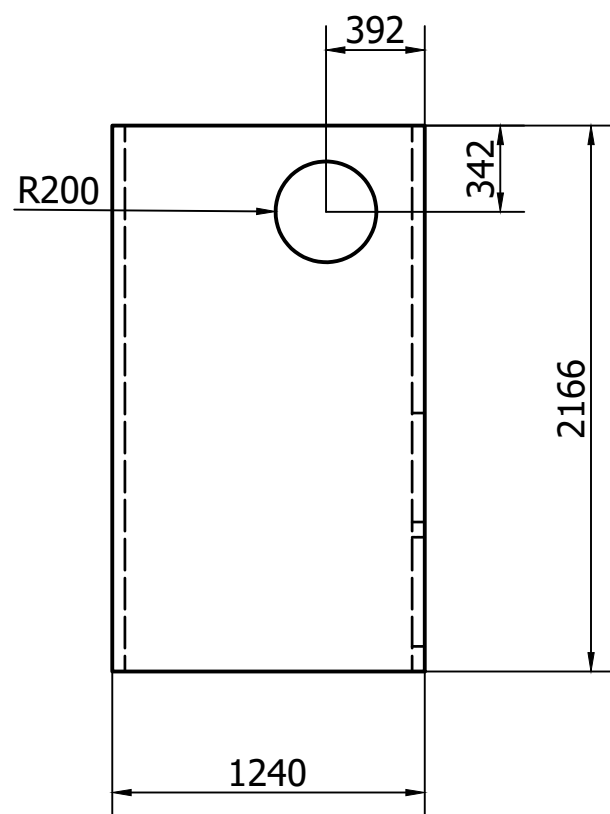
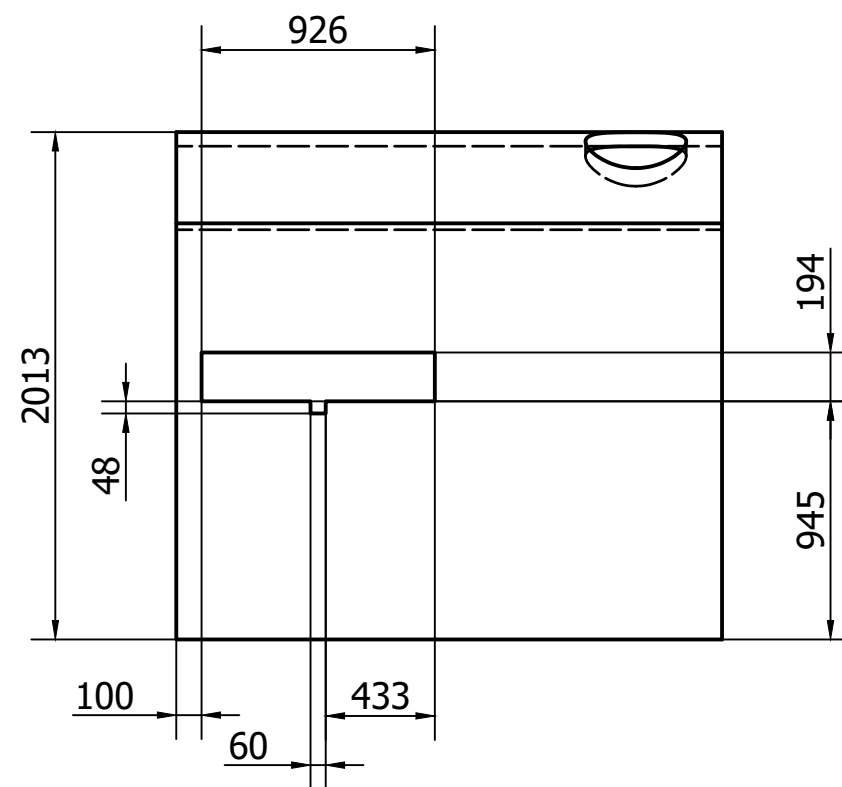
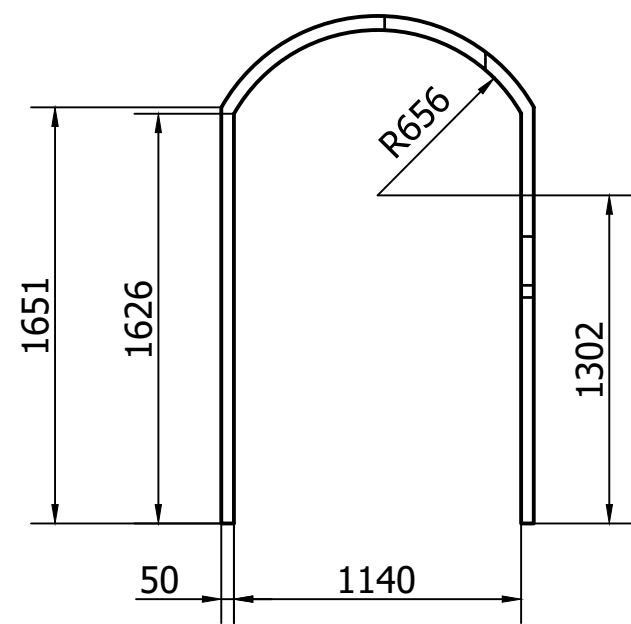


N° Pieza	Cantidad	Descripción	Material	Observaciones
9	1	Compuerta inferior	Concreto refractario	
8	1	Soporte chimenea	Concreto refractario	
7	1	Soporte derecho	Concreto refractario	
6	1	Soporte izquierdo	Concreto refractario	
5	1	Soporte posterior	Concreto refractario	
4	1	Soporte frontal	Concreto refractario	
3	1	Cámara secundaria	Ladrillo refractario	
2	1	Cámara principal	Ladrillo refractario	
1	1	Base	Ladrillo refractario	

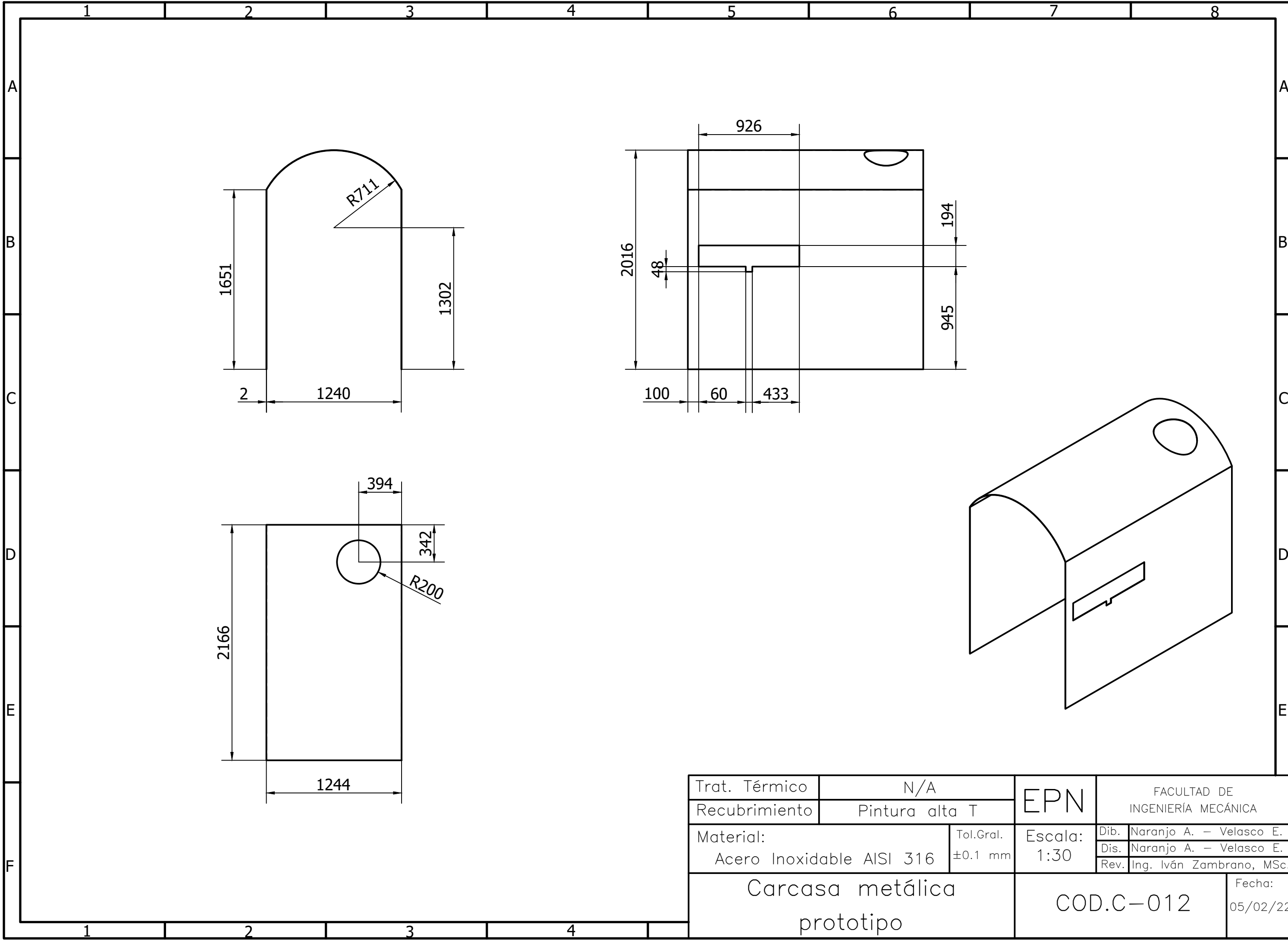
EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib. Naranjo A. - Velasco E.	Escala: 1:20
		Dis. Naranjo A. - Velasco E.	
Ensamblaje refractarios		Rev. Ing. Iván Zambrano, MSc.	Fecha: 10/02/22
		COD.C-004	



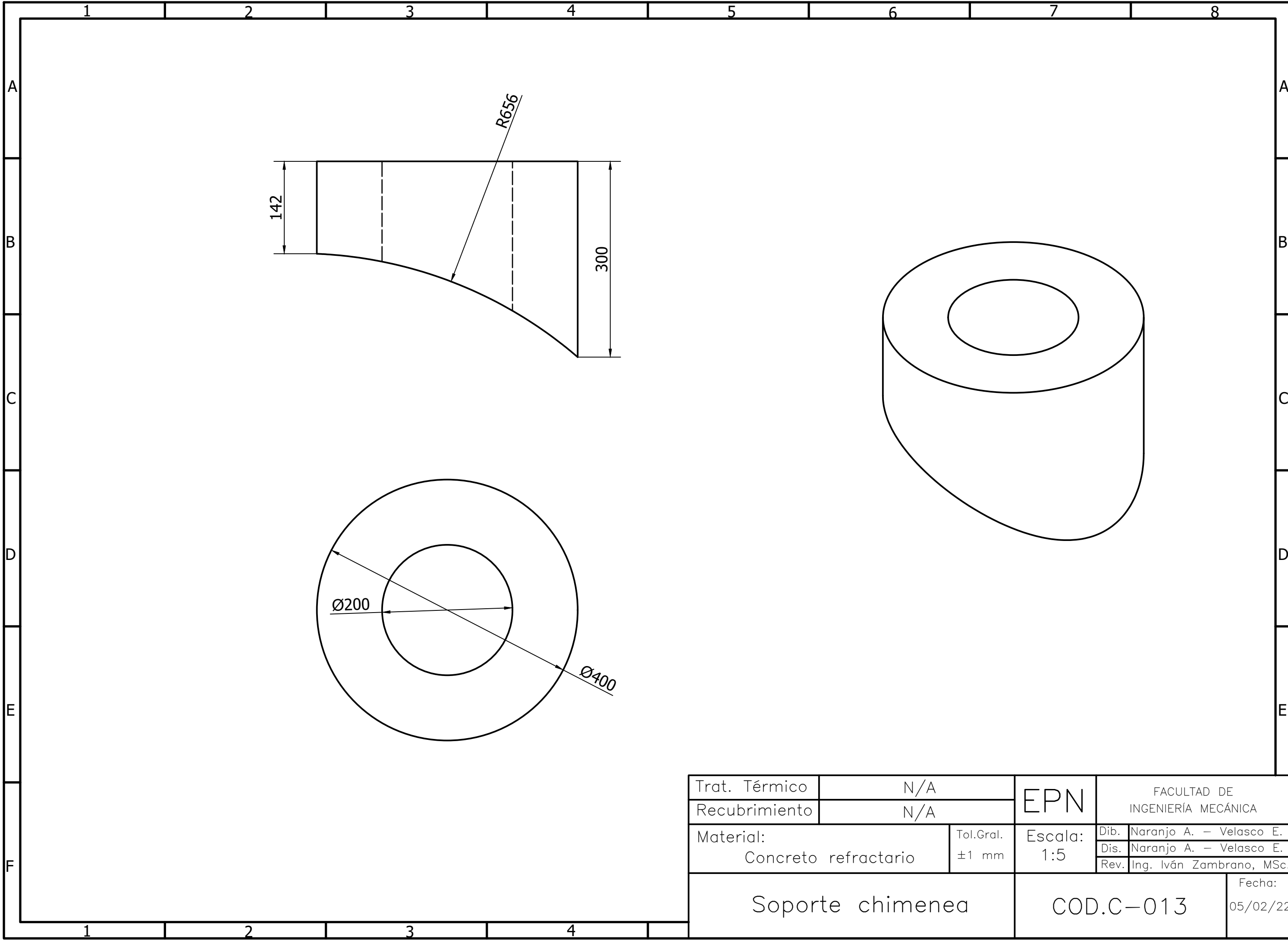
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto Refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:10	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 05/02/22	
Compuerta Corrediza Inferior		COD.C-010		



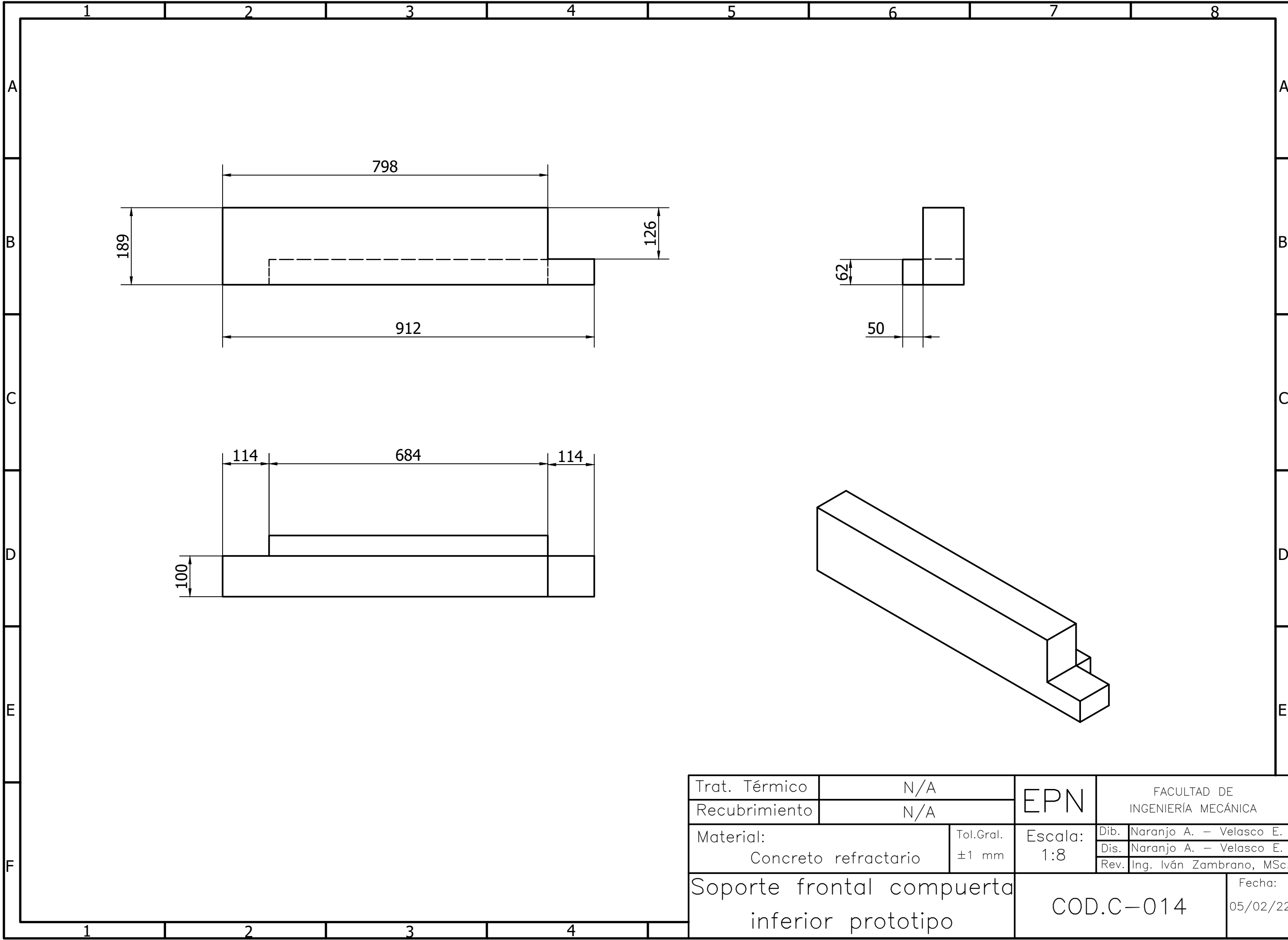
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Lana de vidrio	Tol.Gral. ±5 mm	Escala: 1:30	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 05/02/22	
Recubrimiento aislante prototipo		COD.C-011		



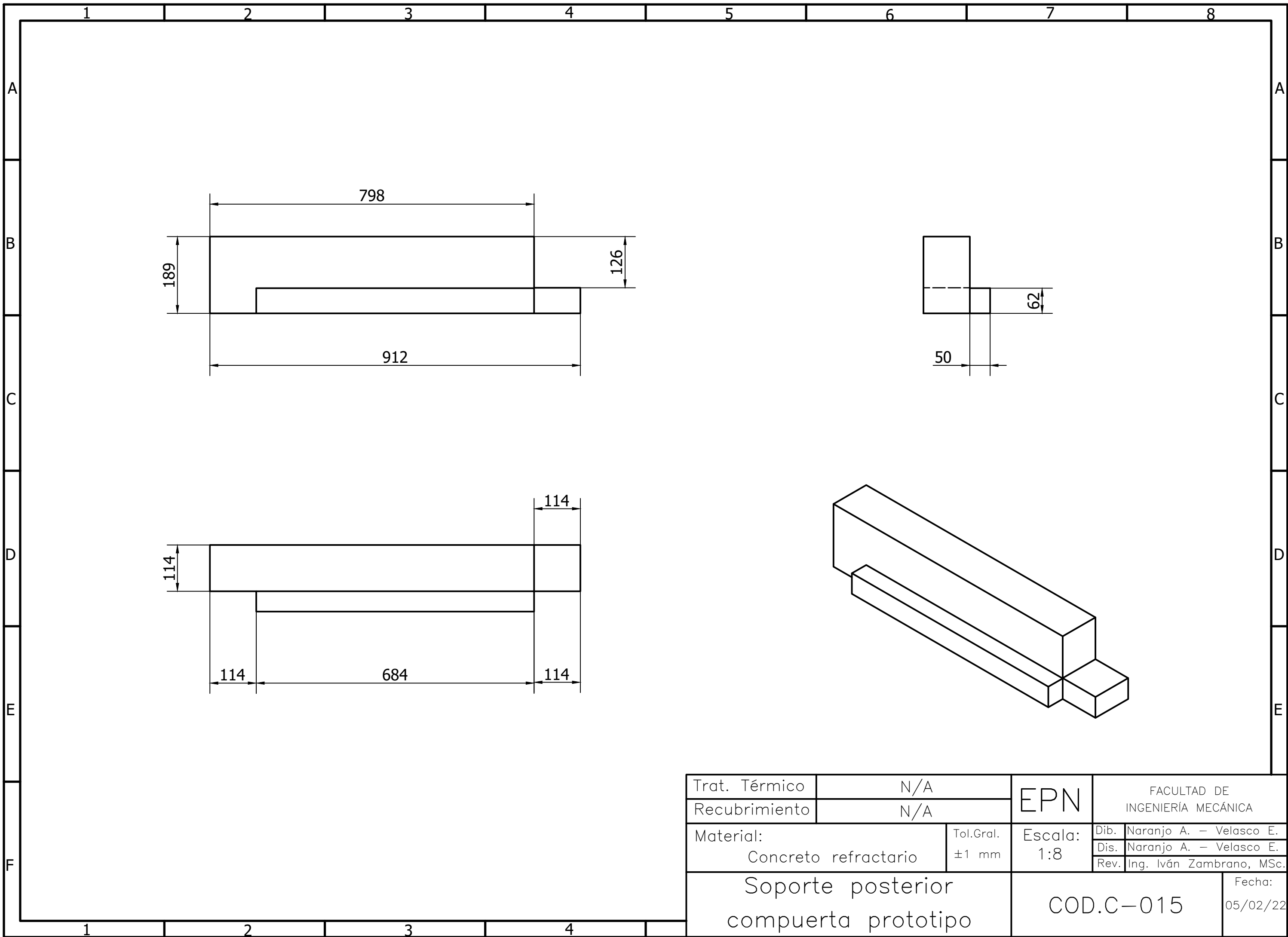
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura alta T		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Acero Inoxidable AISI 316	Tol.Gral. ±0.1 mm	Escala: 1:30	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Carcasa metálica prototipo		COD.C-012		Fecha: 05/02/22



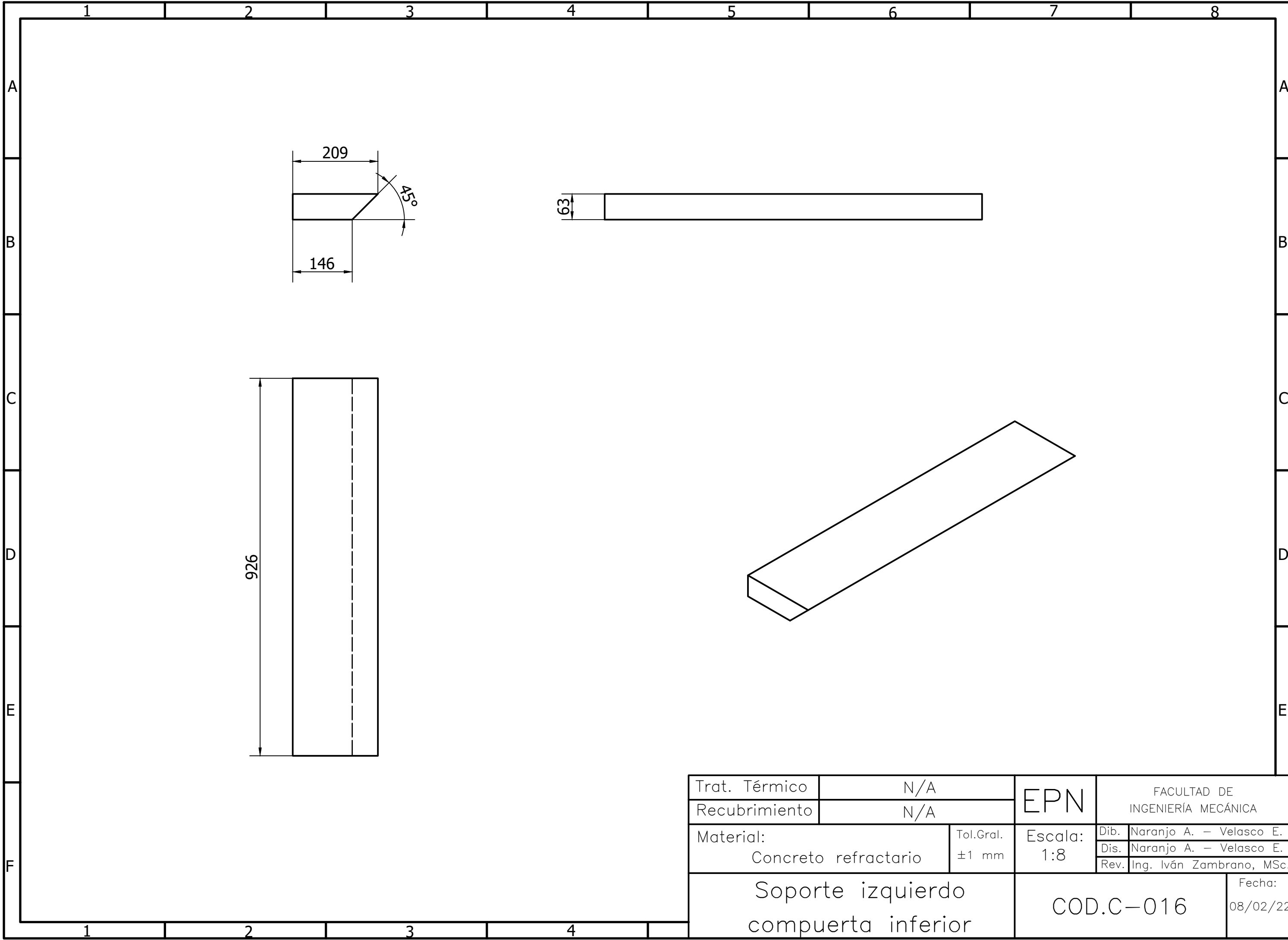
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:5	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 05/02/22	
Soporte chimenea		COD.C-013		



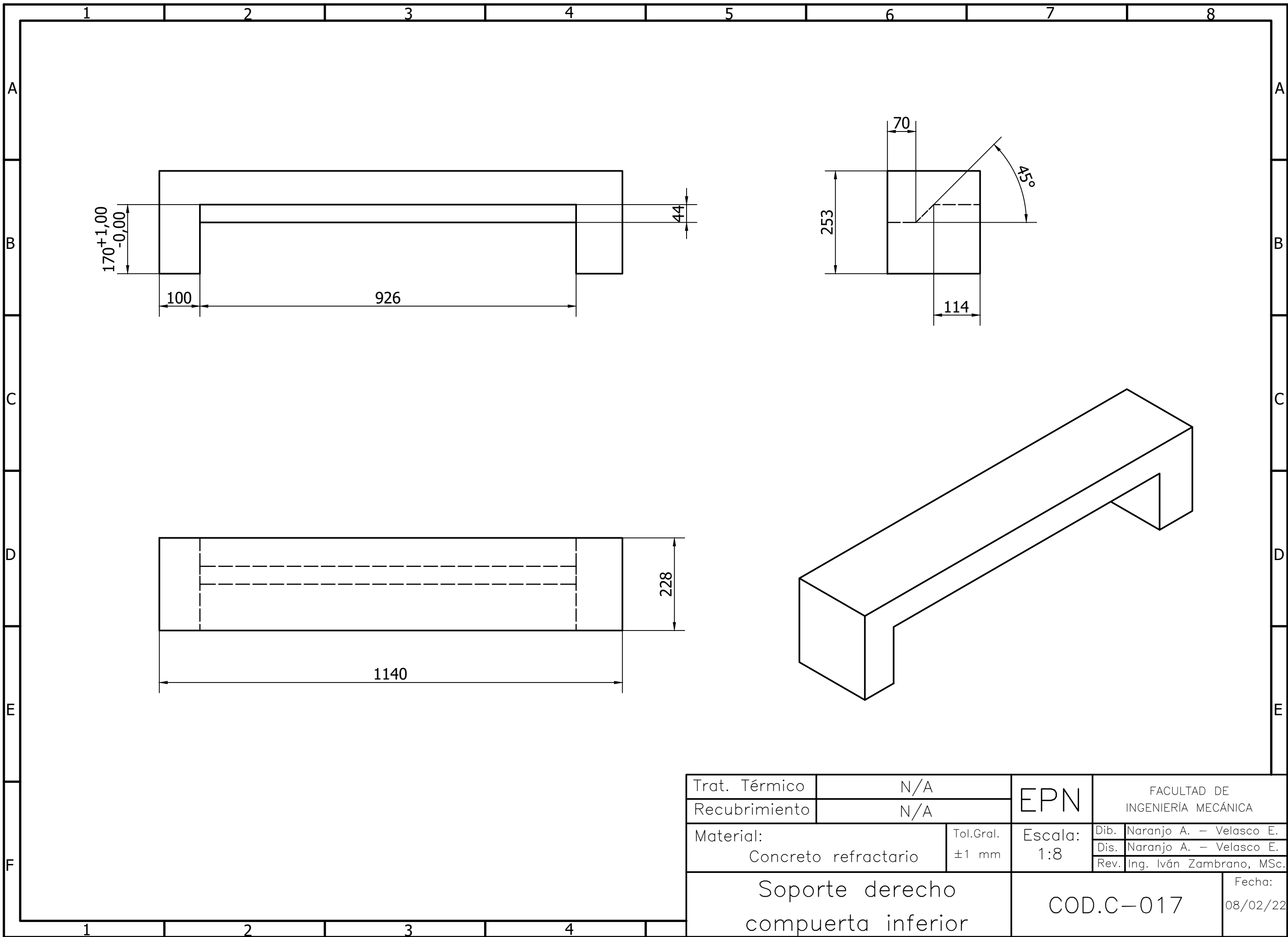
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:8	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 05/02/22	
Soporte frontal compuerta inferior prototipo		COD.C-014		



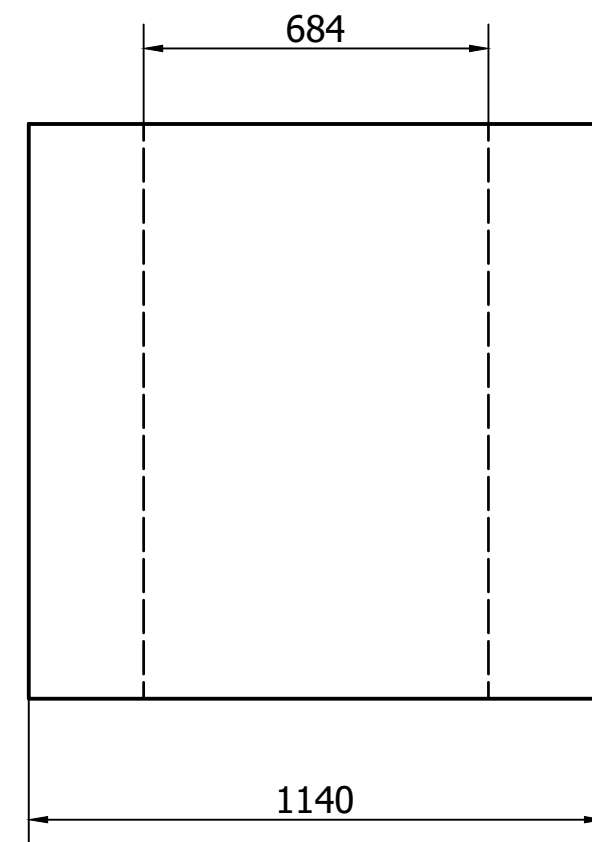
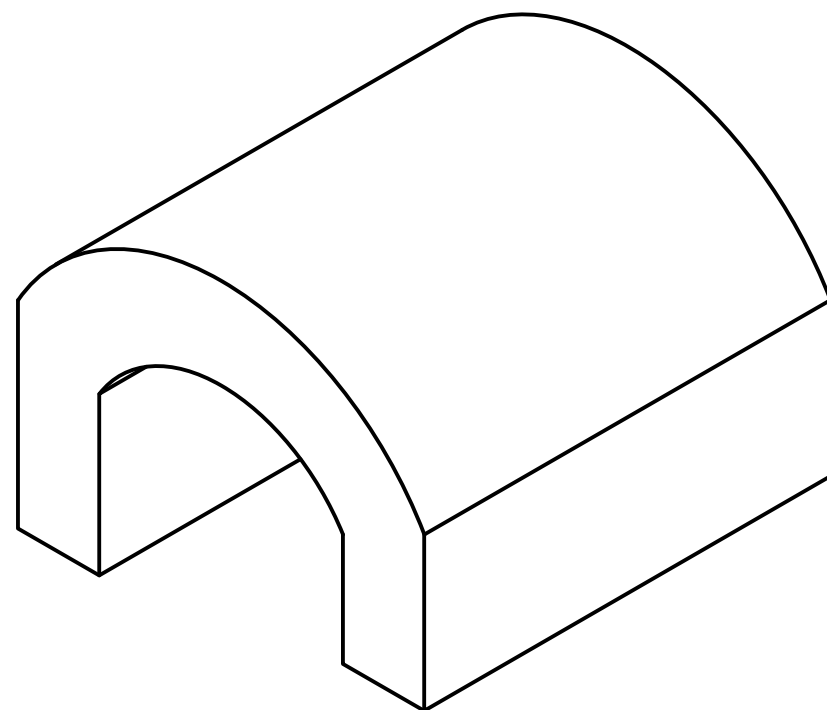
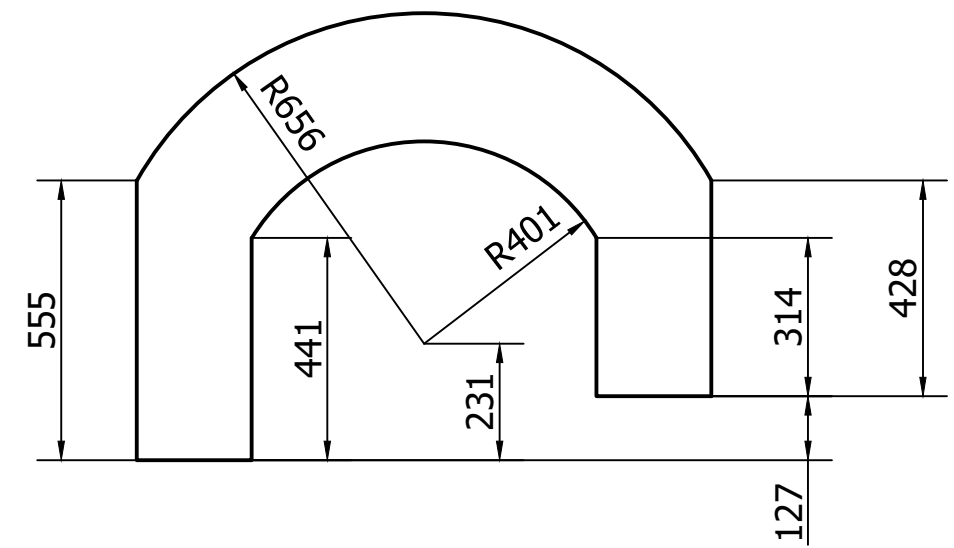
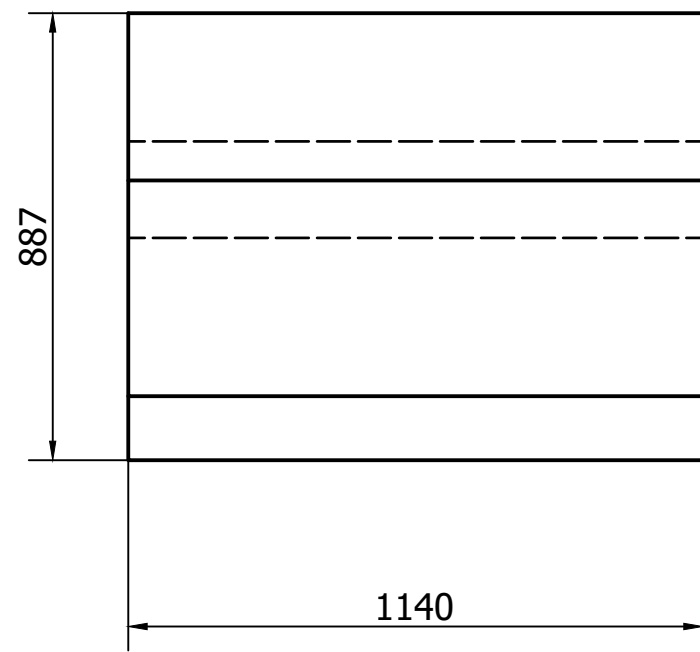
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:8	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 05/02/22	
Soporte posterior compuerta prototipo		COD.C-015		



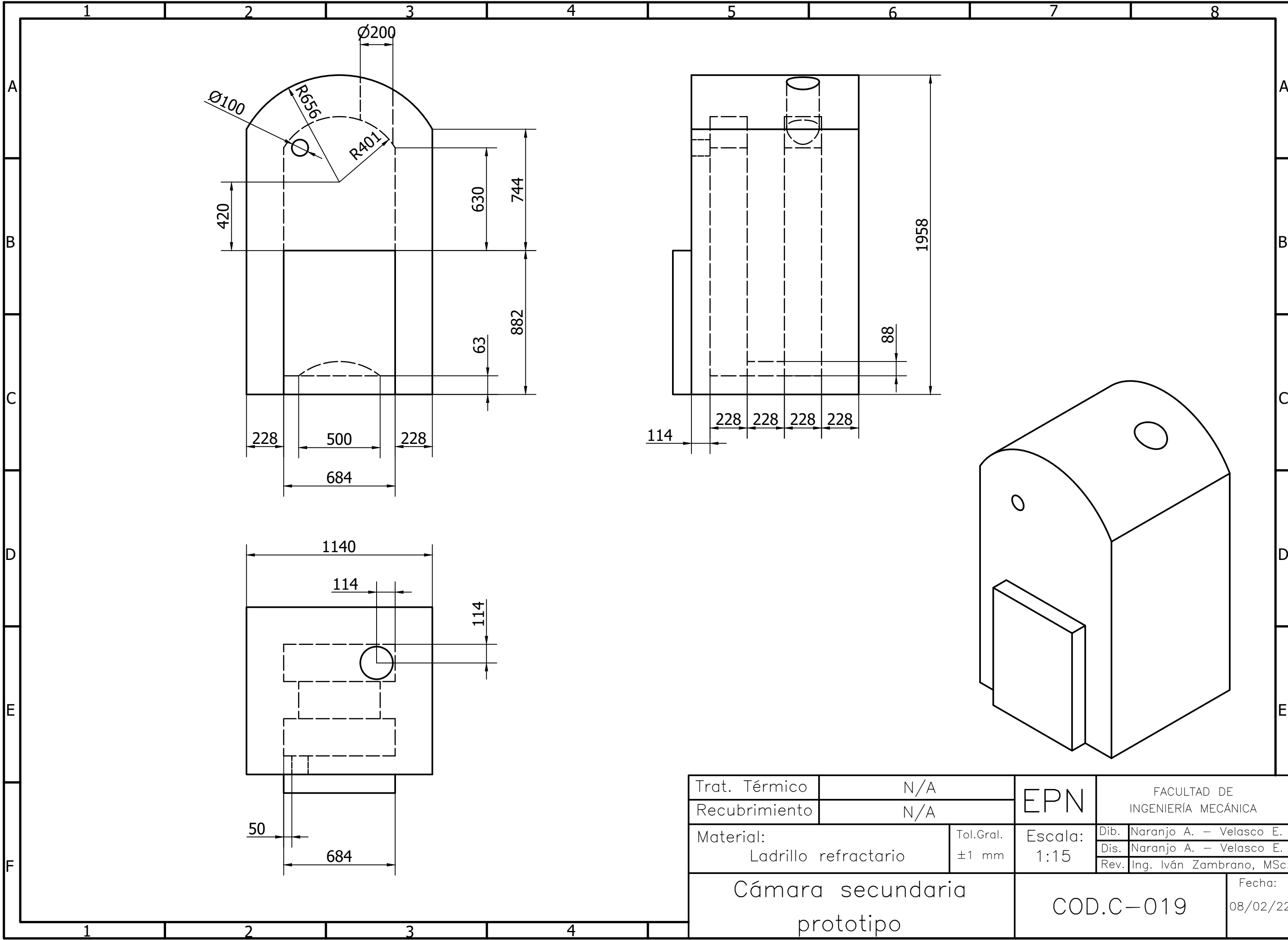
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:8	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 08/02/22	
Soporte izquierdo compuerta inferior		COD.C-016		



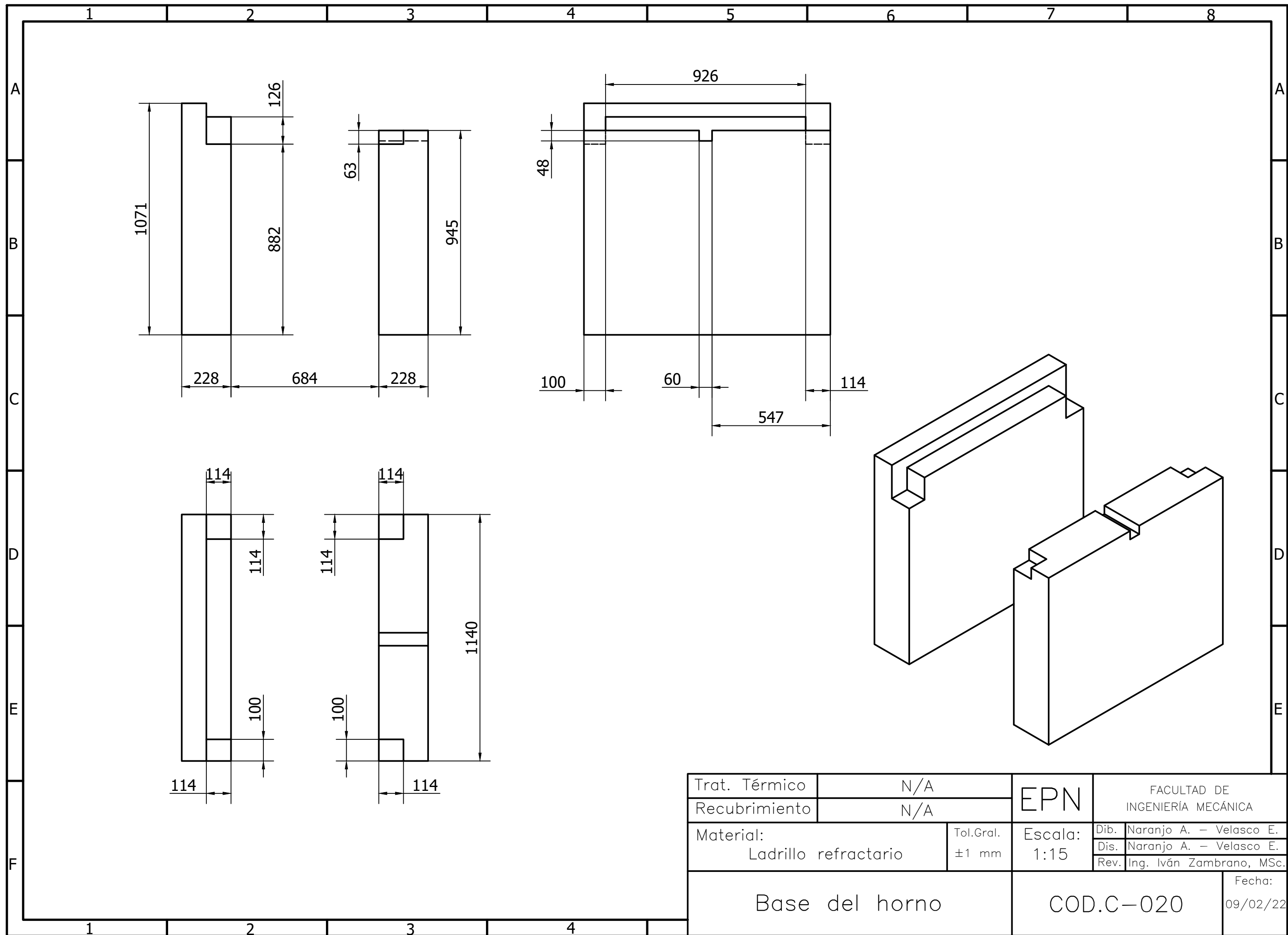
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Concreto refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:8	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 08/02/22	
Soporte derecho compuerta inferior		COD.C-017		



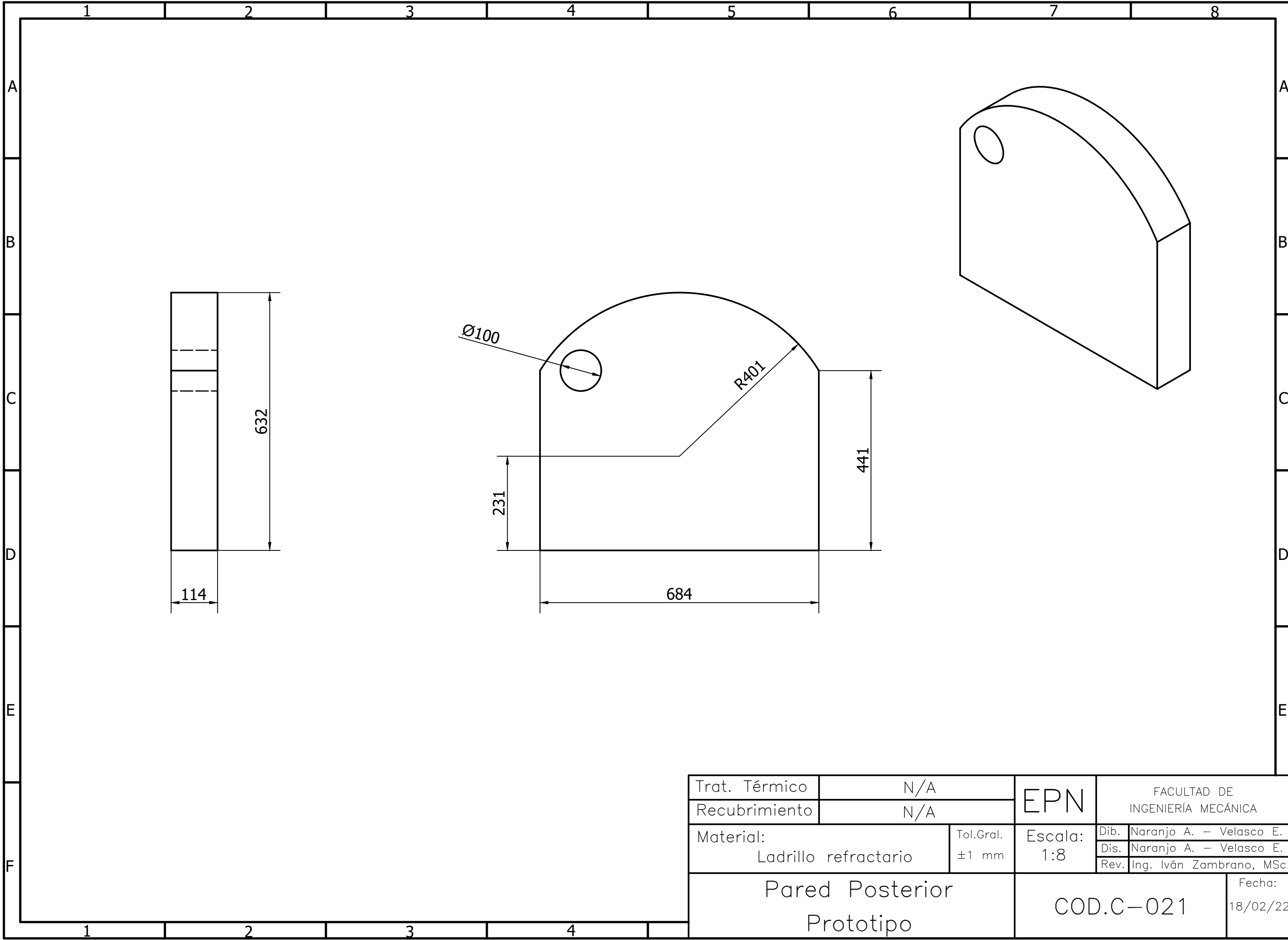
Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Ladrillo refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:15	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Cámara principal prototipo		COD.C-018		Fecha: 08/02/22



Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Ladrillo refractario	Tol.Gral. ± 1 mm	Escala: 1:15	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
Cámara secundaria prototipo		COD.C-019		Fecha: 08/02/22



Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Ladrillo refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:15	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 09/02/22	
Base del horno		COD.C-020		



Trat. Térmico	N/A	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	Naranjo A. – Velasco E.
Material: Ladrillo refractario	Tol.Gral. ±1 mm	Escala: 1:8	Dis.	Naranjo A. – Velasco E.
			Rev.	Ing. Iván Zambrano, MSc.
			Fecha: 18/02/22	
Pared Posterior Prototipo		COD.C-021		