

DISEÑO DE CUBA DE FUNDICIÓN PARA PROCESO DE GALVANIZADO POR
INMERSIÓN EN CALIENTE

DAVID GUILLERMO HUERTAS RODRÍGUEZ
EDWARD ESTEBAN RODRÍGUEZ QUITO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
TUNJA, BOYACÁ
2022

DISEÑO DE CUBA DE FUNDICIÓN PARA PROCESO DE GALVANIZADO POR
INMERSIÓN EN CALIENTE

TRABAJO DE GRADO

DAVID GUILLERMO HUERTAS RODRÍGUEZ
EDWARD ESTEBAN RODRÍGUEZ QUITO

PH. D. YINA FAIZULLY QUINTERO GAMBOA
MAG. JUAN RODRIGO SALAMANCA SARMIENTO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
TUNJA, BOYACÁ
2022

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 26 de mayo del 2022

DEDICATORIA

Dedicamos con todo el corazón esta tesis a nuestras madres, padres y abuelos, pues sin ellos no lo habiéramos logrado. Sus bendiciones a lo largo de nuestra vida nos protegen y nos llevan por el camino de la rectitud y honradez, por eso les damos nuestro trabajo como ofrenda de vuestra paciencia y amor, los amamos.A.A.

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente, agradecemos a Dios por permitirnos culminar un gran logro y etapa de nuestra vida, a nuestros amigos los cuales nos acompañaron y motivaron para el desarrollo de nuestro trabajo.

Gracias a los ingenieros Juan Rodrigo Salamanca y a la Ingeniera Yina Faizully Quintero por orientarnos y darnos sugerencias en el transcurso del semestre para el desarrollo y solución de problemas, dedicándonos su tiempo para aclarar dudas y culminar nuestro proyecto.

También, agradecemos a los ingenieros Fabian Higuera, Fernando Acosta, Carlos León y Leonardo Cely por darnos sugerencias y asesorías que fueron importantes y de gran ayuda para el desarrollo del trabajo.

Para finalizar, agradecemos a la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, por brindarnos los mejores docentes y laboratoristas, porque gracias a su calidad humana, misión y visión nos formaron con la mejor calidad para ser los mejores ingenieros mecánicos.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
1 OBJETIVOS	14
1.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 ANTECEDENTES	15
3 MARCO REFERENCIAL	16
3.1 MARCO HISTÓRICO	16
3.2 MARCO CONCEPTUAL	17
3.3 MARCO LEGAL	23
4 DESARROLLO DEL PROYECTO	24
4.1 CAPITULO 1 BÚSQUEDA Y SELECCIÓN	24
4.2 CAPÍTULO 2 DIMENSIONES DEL HORNO Y SELECCIÓN DEL QUEMADOR. 26	
4.2.1 SELECCIÓN DEL QUEMADOR	26
4.2.2 DIMENSIONES DEL HORNO	33
4.2.3 CAPACIDAD	34
4.3 ANÁLISIS COMPUTACIONAL	41
4.3.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	47
4.3.2 PERDIDAS DE CALOR A TRAVÉS DE PAREDES PLANAS	54
4.4 COSTO SOBRE LOS MATERIALES E INSTRUMENTOS EN EL DISEÑO DE LA CUBA	60

5	CONCLUSIONES	63
6	RECOMENDACIONES	64
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
8	ANEXOS	67
8.1	ANEXO A1: SELECCIÓN DE MATERIALES MEDIANTE EL SOFTWARE GRANTA EDUPACK.....	67
8.2	ANEXO A2 DIMENSIONES BIGAS H.....	84
8.3	ANEXO A3: SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	92
8.4	ANEXO A4: PLANOS	97

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Construcción de Horno para fundición de Zinc Partes. _____	25
Figura 2 Propiedad térmica de los materiales aislantes Edison Vega. _____	25
Figura 3 Cámara de combustión propuesta por Edison Vega. _____	25
Figura 4 Referencia del quemador industrial QR 2600 _____	33
Figura 5 Tabla de dimensiones mínimas y máximas de cubas para galvanizado. _____	33
Figura 6 Dimensiones para el diseño de la cuba. _____	34
Figura 7 Ejercicio de flexión por carga distribuida y apoyos simples. _____	37
Figura 8 Momento máximo _____	37
Figura 9 Búsqueda de materiales Granta Edupack. _____	39
Figura 10 estructura en bigas H para la cuba de fundición. _____	40
Figura 11 Dimensionamiento del horno _____	41
figura 12 Creación de los archivos fem y sim. _____	42
figura 13 Crear solución. _____	42
figura 14 Creación y activación de funciones de la solución. _____	43
Figura 15 Creación de malla CTETRA10 en 56 cuerpos _____	44
figura 16 Asignación de material _____	45
Figura 17 restricciones de movimiento en los 6 ejes. _____	45
figura 18 Restricciones y cargas. _____	46
Figura 19 tamaño de malla 17mm _____	47
Figura 20 Refinamiento a 10 mm _____	47
Figura 21 Desplazamiento nodal 1. _____	48
Figura 22 Desplazamiento nodal 2 _____	49
Figura 23 Parámetros para optimización geométrica. _____	50
figura 24 Definición de parámetros para optimización. _____	51

Figura 25 resultado optimización geométrica con tiempo de solución de 9 horas 20 minutos.	51
figura 26Calidad analítica y deformación mediante mallado de 6mm	52
Figura 27 Esfuerzo máximo nodal promediado, von mises.	53
Figura 28 Transferencia de calor en paredes de capas múltiples	54
Figura 29 Espesores de materiales térmicos.	55
Figura 30 Conductividad térmica de los materiales aislantes.	55
Figura 31 Pasos iniciales.	67
figura 32 Límite de precio	68
figura 33 Limite de elasticidad	68
figura 34 Limites térmicos	68
Figura 35 Catalogo de bigas H.	84
Figura 36 Vigas H 220 y 120	85
Figura 37 Modelo de estructura en Vigas H	85
Figura 38 Procedimiento de simulación para estructura.	86
Figura 39 Resultados simulación estructura.	87
Figura 40 Tipos de juntas según la norma API 650.	88

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Propiedades del zinc.....	26
Tabla 2: Recalculo de calor y tiempo para selección de quemador.	32
Tabla 3 Cálculos mediante Excel de pérdidas de calor.	58
Tabla 4 Costos unitarios y totales del proyecto.....	60
Tabla 5 Estudio técnico y de construcción.....	61
Tabla 6 Cronograma de construcción.....	62
Tabla 7 Calculo de kilogramos de electrodos necesarios para la estructura.	90
Tabla 8 Selección alternativas sobre quemadores industriales.	92
Tabla 9 Selección de alternativas dimensiones de la cuba.....	93
Tabla 10 Selección de alternativas para estructura de la cuba.....	93
Tabla 11 Criterio de selección de material para la estructura y cuba.....	94
Tabla 12 Selección de materiales y evidencia de cotizaciones.....	95
Tabla 13Calculo de kilogramos de electrodos necesarios para la cuba	97

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXOS.....	67
ANEXO A1: SELECCIÓN DE MATERIALES MEDIANTE EL SOFTWARE GRANTA EDUPACK.....	67
ANEXO A2 DIMENSIONES BIGAS H.....	84
ANEXO A3: SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	92
ANEXO A4: PLANOS.....	97

RESUMEN

El siguiente proyecto se desarrolla en el área de ingeniería mecánica y está fundamentado por una metodología de calidad en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, para el revestimiento de piezas metálicas de alta durabilidad y mínimo mantenimiento.

Iniciaremos describiendo esta técnica de recubrimiento de un activo, desde que inicia en el proceso, hasta que sale totalmente recubierto de zinc, luego nos enfocaremos en la cuba, la cual desarrolla un papel fundamental para obtener la mejor calidad en el acabado de los productos, a la cual le generaremos los cálculos de calor necesarios, los cuales serán aproximaciones para escoger un quemador con la potencia necesaria y materiales, los cuales evitaban que hayan grandes cantidades de pérdidas para crear un diseño eficiente.

De esta manera, con los materiales escogidos, se realizará un modelo CAD y se harán simulaciones para ver el comportamiento estructural y verificar que la cuba sea capaz de soportar los esfuerzos que ejerce el zinc sobre ella.

Para finalizar, se tomará en cuenta el valor monetario de los materiales y activos necesarios para el diseño, dando una aproximación de costos en el momento, ya que pueden variar en el tiempo, con los cuales la empresa MELECEC.S.A.S podrá tomar una decisión sobre el estudio técnico para una construcción futura.

PALABRAS CLAVE: Galvanizado, Inmersión, Cálculos, Diseño, Simulación, Pérdidas, Calor.

INTRODUCCIÓN

El galvanizado por inmersión en caliente es una técnica para proteger metales de su estado natural usada desde hace más de 250 años, evita que el aire, la humedad y las condiciones ambientales de alta corrosión dañen importantes piezas de acero, previniendo la reacción electroquímica la cual hace que el material pierda masa y se descomponga con el tiempo.

Es un proceso el cual consiste en sumergir una pieza de metal en un baño de zinc fundido a 420,2°C con la finalidad de protegerlas de la corrosión mediante la formación de capas de zinc y hierro metalúrgicamente unidas, de esta manera las piezas adquieren una capa con un espesor específico y ciertas propiedades mecánicas y químicas que ayudan a aumentar la vida útil de estas, siendo unos de los mejores recubrimientos por su alta durabilidad y bajo mantenimiento.

La industria del galvanizado por inmersión en caliente, es avanzada técnicamente y bajo norma se dedica a los recubrimientos, para proteger de la corrosión a piezas importantes tanto de acero como de hierro con mejor adherencia y aleación que podrían ofrecer las pinturas; aunque, en Colombia es una técnica nueva que se está empezando a implementar, lo cual deja un número limitado de empresas que prestan el servicio en el país.

Por lo tanto, presente proyecto se desarrolla con la intención de establecer el diseño de una bañera para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente como futura solución al problema que genera la falta de empresas que presten este servicio y que afectan a los pequeños contratistas, ya que los costos de sus obras se ven incrementados por el transporte de pieza a otras regiones del país y demoras en los tiempos de entrega.

Se espera, además, que con la implementación de este proyecto no solo se beneficien los contratistas de la ciudad de Tunja, sino que el departamento de Boyacá se vea impactado de manera positiva dando un aporte para su proyección e investigación a nivel nacional.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer un estudio de viabilidad técnico de una cuba de fundición para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente para la empresa MELECEC.S.A.S

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar antecedentes y seleccionar las alternativas.
- Definición de los aspectos de diseño y capacidad de instalaciones.
- Establecer diseño y validación mediante software de elementos finitos.
- Evaluación de costos del proyecto

2 ANTECEDENTES

Para el siguiente trabajo se realizó una búsqueda de información con el tema de interés y otros similares, con varios tipos de documentos, ya que se encuentra poca información con cálculos y pérdidas de calor para fundición de zinc. A continuación, se presentan algunos documentos:

Los autores Escobar Ruiz y Miguel Alejandro en su trabajo de grado ***Modelación y simulación del proceso de fundición de zinc y aluminio*** plantean un modelo y simulación de los procesos de fundición de zinc y aluminio mediante las propiedades de los metales y toma de muestras en la variación de tiempo identificando el dimensionamiento y pérdidas de calor del horno comparándolas con simulación.¹

En el trabajo de grado ***Diseño y Construcción de un Horno de Combustión Industrial Para Fundir Aluminio***, los autores exponen el Diseño y la construcción de un Horno mediante el cálculo de calor y pérdidas de calor para la comprobación y comparación de datos teóricos y experimentales.²

El autor Edison Javier Cardenal en su trabajo de grado ***Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas, para Fundición de Metales Blandos*** plantea alternativas mediante cálculos para el diseño de un horno basculante con materiales refractarios evitando pérdidas de calor para su construcción.³

Los autores Espejo Valdez, Frank Anderson, Gonzalo Alonso en su trabajo de grado ***Influencia del Tipo de Molde y la Temperatura de Colada Sobre la Resistencia a la Tracción, Ductilidad y Dureza de la aleación del Zinc*** plantean el cambio de propiedades químicas y mecánicas al elevar por encima de 500°C la temperatura de colada.⁴

¹Alejandro, Escobar Ruiz Miguel. 2021. "Universidad Técnica de Cotopaxi." *Universidad* "Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi: Modelación y Simulación Del Proceso de Fundición Para El Zinc y Aluminio." n.d. Accessed May 25, 2022. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8196>.

²Corliss, Marc L., E. Christopher Lewis, and Amir Roth. 2003. "Dise." *ACM SIGARCH Computer Architecture News* 31, no. 2: 362–73. <https://doi.org/10.1145/871656.859660>.

³CARDENAL, EDISON JAVIER VEGA. n.d. "Repositorio Universidad Santo Tomas: Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas, Para Fundición de Metales Blandos." Accessed May 25, 2022. <https://repository.usta.edu.co/jspui/handle/11634/37775>.

⁴Espejo Valdez, Frank Anderson, and Gonzalo Alonso Valverde Bocanegra. n.d. "Influencia Del Tipo de Molde y de La Temperatura de Colada Sobre La Resistencia a La Tracción, Ductilidad y Dureza de La Aleación Za-27 (Zinc – 27% Aluminio)." Accessed May 25, 2022. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9303>.

3 MARCO REFERENCIAL

3.1 MARCO HISTÓRICO

En 1742 el químico francés P.J Malouin hizo la primera inmersión de acero en zinc fundido, demostró que el acero adquiriría un recubrimiento que lo protegía de la corrosión con gran eficiencia y a su principio lo llamo “galvanización en caliente”

Las siguientes invenciones de Stanislaus Sorel fue una apuesta al poder decapar el acero mediante un proceso económico en 1836, esto abrió las puertas al proceso industrial del galvanizado en caliente, fue quien le dio el manifiesto de “protección galvánica”, también protección tipo barrera, los cuales genera el recubrimiento de zinc sin alterar el acero mientras se mantiene una superficie del mismo.

también al mismo tiempo había descubierto la protección catódica o de ánodo de sacrificio y por esta razón empleo en su patente el manifiesto de “galvanitation” presentada en el año de 1837, de esta manera la galvanización por inmersión en caliente es un proceso acreditado a lo largo de un tiempo aproximado de más de 200 años cuyo empleo y eficiencia están aprobadas y reglamentadas.

La galvanización se aplicó inicialmente en utensilios domésticos y artículos agrícolas con dimensiones pequeñas, pero fue creciendo exponencialmente por su eficacia a piezas de mayor tamaño y a productos como alambres y chapas.

Al día de hoy en plantas modernas de galvanización se recubren una gran variedad de piezas de una gran variedad de tamaños y ámbitos como en la ingeniería mecánica, civil, en la construcción, en la agricultura, en el transporte de energía eléctrica, en las comunicaciones, y los servicios.⁵

⁵“Historia de La Galvanización, Una Respuesta a La Corrosión.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.e-zigurat.com/blog/es/galvanizacion-respuesta-corrosion/>.

3.2 MARCO CONCEPTUAL

Diseño Mecánico

Consiste en diseñar piezas, componentes, productos o sistemas de naturaleza mecánica. Por ejemplo, los diseños de varios elementos de la máquina, como ejes, cojinetes, embragues, engranajes y sujetadores, entran en el ámbito del diseño mecánico.⁶

Simulación estructural

La simulación estructural computacional implica el desarrollo de modelos matemáticos que describen el comportamiento de materiales, componentes y sistemas estructurales. La investigación consiste en formular ecuaciones de gobierno que describen los comportamientos físicos, la creación de métodos para resolver los problemas de intensidad numérica, y el desarrollo de herramientas avanzadas de visualización para interpretar de manera eficaz y eficiente los resultados.⁷

Corrosión

Es el proceso de destrucción o deterioro químico de un material por la reacción con el medio que lo rodea.

Zinc

Se usa como revestimiento contra la corrosión en el acero, para fabricar componentes de precisión, como material de construcción para producir bronce y caucho, en la elaboración de productos farmacéuticos y cosméticos, en fertilizantes y suplementos alimenticios.

Drenaje

Orificios o perforaciones que se realizan a los artículos que serán galvanizados en caliente, estos permiten la entrada y salida del zinc.⁸

⁶Bi, Zhuming. 2018. "Applications—Solid Mechanics Problems." *Finite Element Analysis Applications*, January (January), 281–339. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809952-0.00008-X>.

⁷"Computational Structural Simulation." n.d. Accessed May 25, 2022. <https://cee.engin.umich.edu/research/facilities/structural-simulation/>.

⁸Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. 2013. "Guía Práctica de Galvanizado Por Inmersión En Caliente," 64

Galvanizado.

Proceso por el cual se cubre un metal con otro, evitando la abrasión y la corrosión además de brindar longevidad; dos procesos se desprenden de este, el galvanizado continuo y el galvanizado por inmersión en caliente.⁹

Galvanizado por inmersión en caliente

Productos de hierro y acero son la materia prima que se protege contra la corrosión, esto se hace mediante un baño de Zinc a una temperatura de 450 °C, a esta temperatura lo que se genera es una aleación entre el Zinc y la materia prima.

Proceso de galvanizado por inmersión en caliente

1. Alistamiento del material

Proceso que asegura que las soluciones aplicadas tengan un libre flujo por la pieza, esto es asegurado por el drenaje adecuado de la misma, para lograrlo, refuerzos esquineros y fijaciones deberán ser cortados con un mínimo de 19.05 milímetros de longitud, igualmente, se deben proporcionar aberturas de ½" (13mm) de diámetro en planchas exteriores de forma de acero laminado, para garantizar la entrada del Zinc fundido en el proceso de galvanizado y de drenaje durante la extracción.

Para obtener un drenaje adecuado, los agujeros de ventilación deben realizarse cerca a los extremos y diagonalmente opuestos entre sí.

2. Amarre y colgado de las piezas

Para continuar con el proceso, se debe hallar el ángulo de inclinación para asegurar un colgado correcto, éste es determinado gracias al tipo de material que se desea galvanizar.

3. Desengrase

Actividad importante, la cual asegura que la pieza esté libre de contaminantes orgánicos como grasa, aceite y tierra que se adhieren a la superficie metálica.

⁹Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. 2013. "Guía Práctica de Galvanizado Por Inmersión En Caliente," 64

4. Decapado

Utilizando ácido hidroclicrico al 17%, se busca eliminar el óxido presente en la pieza; eliminando el óxido lo que se obtiene es que el galvanizado se realice sobre una superficie químicamente limpia.¹⁰

Proceso el cual tarda entre 10 a 20 min, para realizarlo la pieza debe estar libre de impurezas, calamina, pintura, polvo y demás productos que impidan realizar un galvanizado óptimo.

5. Enjuague

La etapa encargada de eliminar ácidos adheridos.

6. Fundente

Se aplica un baño de cloruro de zinc y cloruro de amonio, la cual facilita la adherencia del Zinc a la superficie del material.

7. Secado

Mediante aire caliente, la estructura o pieza es secada y prepara para galvanizar.

8. Galvanizado en caliente

Utilizando Zinc al 99.9% se realiza un baño a la pieza, sumergiendo está en un periodo de tiempo suficiente, hasta llegar a la temperatura de 450°C.

9. Enfriamiento

En la etapa final, se sumerge la pieza en agua a temperatura ambiente para que se enfríe y así poder realizar su respectiva inspección.

¹⁰Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. 2013. "Guía Práctica de Galvanizado Por Inmersión En Caliente," 64

Transferencia de calor

Es el movimiento de calor a través del borde del sistema debido a una diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno.¹¹

Convección

Movimiento de moléculas de fluido de regiones de temperatura más alta a regiones de temperatura más baja.

Radiación

Es el resultado del movimiento aleatorio de moléculas en la materia. El movimiento de electrones y protones cargados es responsable de la emisión de radiación electromagnética.¹²

Perdidas de calor

Es el movimiento intencional o no intencional del calor de un material a otro. Esto puede suceder a través de la conducción, convección y radiación. La conducción a menudo ocurre cuando un componente aislado o no aislado está en contacto directo con otro componente. La convección ocurre cuando su tubería, calentador eléctrico u otro componente tiene una barrera de aire alrededor de ella. La radiación ocurre cuando no hay contacto y el calor se mueve como ondas.¹³

¹¹“What Is Heat Transfer? Conduction, Convection, Radiation and FAQs.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://byjus.com/physics/heat-transfer-conduction-convection-and-radiation/>.

¹² “What Is Heat Transfer? Conduction, Convection, Radiation and FAQs.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://byjus.com/physics/heat-transfer-conduction-convection-and-radiation/>.

¹³ “Thermal Environment of the Intensive Care Nursery - ClinicalKey.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.clinicalkey.es/#!/content/book/3-s2.0-B9780323567114000353>.

NX

Es una solución integral potente y flexible que le ayuda a ofrecer productos mejorados de forma más rápida y eficaz. NX pone a su disposición soluciones de diseño, simulación y fabricación de próxima generación que permiten a las empresas aprovechar todo el valor de los duplicados generales.¹⁴

Quemador industrial

Dispositivos empleados para mezclar combustible y aire (u oxígeno) para llevar a cabo una combustión controlada, al tiempo que proporciona un patrón distintivo de llama y liberación de calor. El calor generado se utiliza para gestionar la temperatura dentro de una cámara de combustión a los puntos de ajuste de la aplicación.¹⁵

Horno de fundición

Un horno de fundición funde materiales metálicos en un recipiente forrado que mantiene el material a fundir y proporciona la energía necesaria para fundirlo.¹⁶

Cuba de fundición

Recipiente hecho de material refractario, que se emplea para fundir alguna materia a temperatura muy elevada.¹⁷

¹⁴ NX | Siemens Software." n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/products/nx/>.

¹⁵ "What Is Industrial Burner? | Linquip | Linquip." n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.linquip.com/industrial-directories/784/burner>

¹⁶ "Foundry Furnace | Buy an Industrial Electric Foundry Furnace from Sent Rotech." n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.sentrotech.com/applications/foundry-furnaces-ovens/>.

¹⁷ "Crisol | Definición | Diccionario de La Lengua Española | RAE - ASALE." n.d. Accessed May 25, 2022. <https://dle.rae.es/crisol>.

GLP

Gas Licuado del Petróleo- GLP es un combustible que proviene de la mezcla de dos hidrocarburos principales: el propano y butano y otros en menor proporción. Es obtenido de la refinación del crudo del petróleo o del proceso de separación del crudo o gas natural en los pozos de extracción.¹⁸

Ladrillo refractario

Son aquellos que pueden soportar altas temperaturas sin que el calor dañe su estructura, resistencia o conductividad térmica.¹⁹

Concreto aislante

Es un sistema de encofrado para hormigón armado generalmente hecho con un aislamiento térmico rígido que se mantiene en su lugar como un sustrato interior y exterior permanente para paredes, pisos y techos.²⁰

Flexión

El esfuerzo de flexión se calcula por la ecuación $S_b = Mc/I$, donde S_b es el esfuerzo de flexión en libras por pulgada cuadrada, M es el momento máximo de flexión en libras-pulgadas, I es el momento de inercia del objeto en (pulgadas), y c es la distancia en pulgadas de la base del objeto a su eje neutro.

Momento máximo de flexión

El momento máximo de flexión se produce en una viga, cuando la fuerza de cizallamiento en esa sección es cero o cambia el signo porque en el punto de contra flexión el momento de flexión es cero.²¹

¹⁸ “¿Qué Es El GLP? - GASNOVA.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.gasnova.co/sobre-el-glp/que-es-el-glp/>.

¹⁹ “What Are Refractory Bricks and What Are They For? | Arch Daily.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.archdaily.com/950115/what-are-refractory-bricks-and-what-are-they-for>.

²⁰ “Insulating Concrete| Concrete Construction Magazine.” n.d. Accessed May 25, 2022. https://www.concreteconstruction.net/how-to/insulating-concrete_o

²¹ “Comprehensive Structural Integrity: Cyclic Loading and Fatigue - Google Libros.” n.d. Accessed May 25, 2022. https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=4QpTNVu_UeYC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Comprehensive+Structural+Integrity&ots=T1Rw-bmp3X&sig=dhYrjNcS-M9wya55d__rjw8hJGg#v=onepage&q=Comprehensive+Structural+Integrity&f=false.

3.3 MARCO LEGAL

NSR-10, "Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente". Ley 400 de 1997, Decreto 926 de 2010. Título C. Concreto Estructural. Título F. Estructuras Metálicas, Título I. Supervisión Técnica

NTC 3320 de 2008, esta norma cubre los requisitos para recubrimientos de zinc (galvanizado) en caliente de productos de hierro y acero, flejes, perfiles, fundiciones, planchas y barras, fabricadas por procesos de laminación, prensado y forja. Norma homologada de la Norma Internacional Americana ASTM A-123.

NTC 2076 de 1998, esta norma está destinada a la aplicación en elementos que son centrifugados, con el fin de eliminar todo exceso de zinc del baño galvanizante que pueda presentar el material metálico específicamente se establece para elementos de tornillería, herrajes y accesorios pequeños. Norma homologada de la Norma Internacional Americana ASTM A-153.

ASTM A 780, describe el procedimiento de reparación con pinturas que contienen polvo de zinc.

Norma Técnica Colombiana NTC 3242 (ASTM A-143 – 03). Protección contra la fragilización

Norma Técnica Colombiana NTC 3240 (ASTM A384-02). Protección contra la distorsión.

ASTM A385 – 05. Práctica para ofrecer un acabado galvanizado de alta calidad

Norma técnica Colombiana NTC 4011-13 (ASTM A653/653M-11). Productos planos de Acero Recubiertos con Zinc (Galvanizados) o Recubiertos con Aleación Hierro Zinc mediante procesos en Caliente.

Norma Técnica Colombiana NTC 4013 (ASTM A767 / A 767M – 05). Barras de refuerzo galvanizados en caliente.

Normas Europeas ISO 1461, 2063 (ASTM A780 – 01). Reparación de áreas dañadas y sin recubrir de piezas galvanizadas en caliente.

American Welding Certification AWS D1.1. Norma Técnica de Soldadura.

GTC 110. Guía Colombiana para la inspección visual de soldaduras.²²

²²Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. 2013. "Guía Práctica de Galvanizado Por Inmersión En Caliente," 64

4 DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo del presente proyecto y el cumplimiento de su objetivo general correspondiente a “Establecer un estudio de viabilidad técnico de una cuba de fundición para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente para la empresa MELECEC.S.A.S”; se planteó una metodología estructurada de 4 capítulos, los cuales se relacionaron con los objetivos específicos de la siguiente manera:

- Capítulo 1 define la selección y búsqueda de un horno para el estudio.
- Capítulo 2 define las dimensiones del horno y selección del quemador.
- Capítulo 3 define el análisis computacional para la validación de datos teóricos.
- Capítulo 4 define el costo sobre los materiales e instrumentos en el diseño de la cuba.

Por lo siguiente, a medida en que se desarrolla cada capítulo se detallarán por completo los procedimientos.

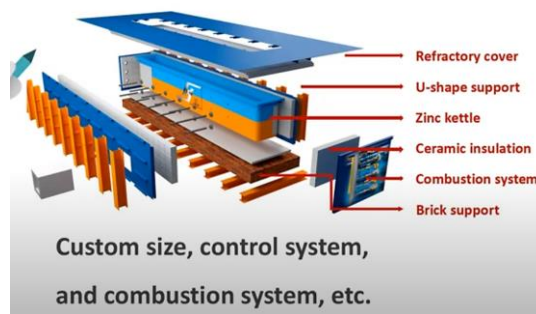
4.1 CAPITULO 1 BÚSQUEDA Y SELECCIÓN

En la industria del galvanizado los hornos son una parte fundamental en el proceso; su construcción dispone de un crisol rectangular de acero el cual es calentado por quemadores de gas GLP y protegido mediante paredes de ladrillo o bloques refractario para evitar pérdidas de calor y mantener la temperatura como lo muestra la figura 1.

Ya que existe muy poca información sobre el diseño de cubas de fundición y las empresas existentes en Colombia, limitan y evitan compartir su conocimiento empírico sobre el proceso, se tomó la decisión de buscar diseños de hornos con características similares donde se reacondicionarán para la piscina de galvanizado.

Continuando, la empresa MELECEC.S.A.S nos pide una piscina de galvanizado definiendo unas dimensiones y condiciones iniciales, limitando la búsqueda a encontrar materiales y el equipo necesario para el diseño de la cuba, de esta manera se buscó y selecciono la alternativa que presenta Edison Vega en su trabajo de grado “Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas, para Fundición de Metales Blandos” donde describe los materiales con sus propiedades y su modelo que se muestran en las Figuras 3 y 4.

Figura 1 Construcción de Horno para fundición de Zinc Partes.



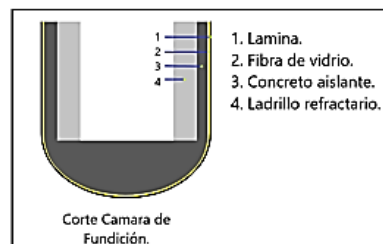
Fuente: BEIHAI HDG EQUIPMENT²³

Figura 2 Propiedad térmica de los materiales aislantes Edison Vega.

$K_{ladrillo}$	Conductividad Térmica del ladrillo	1,34(W/m ² *K).
$K_{concreto}$	Conductividad Térmica del concreto aislante	0,075(W/m ² *K)
K_{fibra}	Conductividad Térmica de la fibra de vidrio	0,036(W/m ² *K)
K_{chapa}	Conductividad Térmica de la chapa metálica	50.2(W/m ² *K)
$r1$	Radio interior de la cámara de fundición	0,115 m

Fuente: Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas.²⁴

Figura 3 Cámara de combustión propuesta por Edison Vega.



Fuente: Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas.²⁵

²³“BEIHAI HDG EQUIPMENT.” n.d. Galvanización En Caliente. <http://spanish.hotdipgalvanizing-equipment.com/sale-13382263-high-velocity-furnace-hot-dip-galvanizing-production-line-equipment-manufacture-burner-zinc-kettle-pot.html>.

²⁴ CARDENAL, EDISON JAVIER VEGA. n.d. “Repositorio Universidad Santo Tomas: Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas, Para Fundición de Metales Blandos.” Accessed May 25, 2022. <https://repository.usta.edu>

²⁵ CARDENAL, EDISON JAVIER VEGA. n.d. “Repositorio Universidad Santo Tomas: Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas, Para Fundición de Metales Blandos.” Accessed May 25, 2022. <https://repository.usta.edu>

4.2 CAPÍTULO 2 DIMENSIONES DEL HORNO Y SELECCIÓN DEL QUEMADOR.

4.2.1 Selección del quemador

Continuando, en el proceso de fundición; es necesario establecer la cantidad de masa y propiedades del zinc para determinar la cantidad de energía y el tiempo requeridos para el cambio de fase en el metal; Según Escobar Ruiz en su trabajo de grado, el zinc está en el grupo número 12 de la tabla periódica por ser un metal de alta nobleza su símbolo es (Zn) con una densidad de $7138 \frac{kg}{m^3}$, su masa atómica es 65,38 unidades y su número atómico es 30, es un metal que tiene la posición 24 en abundancia de la tierra, representando un 0,0075% de la corteza, su mayor utilidad está el galvanizado de productos, y sus propiedades se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Propiedades del zinc

Propiedades	Valores
Estructura metal plateado o grisáceo	fcc
Peso atómico	65,37123
Masa específica en 20°C (g/cm ³)	6,52487
Contracción de solidificación (%)	15,8
Temperatura de Fusión °C	420,2
Temperatura de ebullición °C	907,3
Coeficiente de dilatación térmica lineal, desde 20°C hasta 400°C (°C ⁻¹ ×10 ⁻⁶)	64,03
Calor específico a 25°C (J/Kg°C)	390
Calor latente de fusión (KJ/Kg°C)	962,6
Calor de Combustión (MJ/Kg)	75,36
Conductividad eléctrica volumétrica (%IACS)	157,52
Conductividad térmica a 25°C (W/m°C)	600,02

Fuente: Modelación y simulación del proceso de fundición de zinc y aluminio.²⁶

²⁶ Alejandro, Escobar Ruiz Miguel. 2021. "Universidad Técnica de Cotopaxi." *Universidad "Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi: Modelación y Simulación Del Proceso de Fundición Para El Zinc y Aluminio."* n.d. Accessed May 25, 2022. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8196>.

Luego, una vez establecidas las propiedades, mediante las dimensiones requeridas por la empresa las cuales fueron: 0,5m de alto, 0,5m de ancho y 2,5m de largo, se determina un volumen de $0,625 \text{ m}^3$, por lo tanto, con la ecuación 1 de densidad procedemos a encontrar la masa.

$$d_{\text{zinc}} = \frac{m}{V_{\text{zinc}}} \quad (1)$$

Despejando m:

$$m = d_{\text{zinc}} * V_{\text{zinc}}$$

Donde:

$$d_{\text{zinc}} = 7138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{zinc}} = 0,625 \text{ m}^3$$

Reemplazando

$$m = \left(7138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * (0,625 \text{ m}^3)$$

$$m = 4461,25 \text{ kg}$$

Según los autores Mestanza Barragán, Diego Fernando Lara Villegas, Viviana Patricia en su trabajo de grado, la energía necesaria para poder calentar una masa de metal cambiando su fase se gobierna con la ecuación de calor 2 y el flujo de calor para encontrar la energía total a través del tiempo se gobierna con la ecuación 3.

$$Q_1 = m * c_p * (T_f - T_i) \quad (2)$$

Donde:

Q_1 = Calor para aumentar la temperatura de T_i a T_f

m = masa del elemento

c_p = Calor específico del elemento $\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$

T_i = temperatura inicial $^\circ\text{C}$

T_f = temperatura final $^\circ\text{C}$

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t} \quad (3)$$

Donde:

$\dot{Q}$ = flujo de calor entregado por el quemador.

Q_1 = Calor para aumentar a temperatura de la masa.

t_i = tiempo para iniciar o contiuar el proceso de fundir.

t_f = variable que determina el tiempo de finalizacion del proceso.

Continuando, para realizar la estimación de cantidad de energía necesaria en el cambio de fase del zinc, se debe de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Determinar el calor Q_1 ; el cual aumenta desde la temperatura ambiente de 5°C hasta la temperatura de fusión del zinc de 420,2°C

Se agrega un Q_2 ; para el calor latente de fusión con el cual se logra el cambio de fase en el metal.

Para que el zinc fundido pueda estar a una temperatura de colado eficiente, se agrega Q_3 que estará a 480°C

Realizar una sumatoria con los calores encontrados para determinar el calor total para el cambio de zinc.

Por lo tanto, reemplazando en la ecuación 2

$$Q_1 = m * c_p * (T_f - T_i) \quad (2)$$

Donde:

Q_1 = Calor para aumentar la temperatura de 5°C a 420,2°C

m = masa del zinc = 4461,25kg

$$c_p = 390 \frac{J}{kg^{\circ}C}$$

$T_i = 5^{\circ}C$

$T_f = T_f = 420,2^{\circ}C$

Reemplazando:

$$Q_1 = (4461,25kg) * (390 \frac{J}{kg^{\circ}C}) * (420,2^{\circ}C - 5^{\circ}C)$$

$$Q_1 = 722.401.290 J$$

$$Q_2 = m * \gamma \quad (4)$$

$Q_2 = \text{Calor calor latente de Fusion}$

Donde:

$$\gamma = \text{Calor latente del Zinc} = 962.960 \frac{J}{kg}$$

$$m = \text{masa del zinc} = 4461,25 \text{kg}$$

Reemplazando:

$$Q_2 = (4461,25 \text{kg}) * (962.960 \frac{J}{kg})$$

$$Q_2 = 4.296.005.300 \text{ J}$$

$Q_3 = \text{Calor para aumentar a temperatura de colado de } 420,2^\circ\text{C a } 480^\circ\text{C}$

Donde:

$$m = \text{masa del zinc} = 4461,25 \text{kg}$$

$$c_p = 390 \frac{J}{kg^\circ\text{C}}$$

$$T_i = 420,2^\circ\text{C}$$

$$T_f = 480^\circ\text{C}$$

Reemplazando:

$$Q_3 = (4461,25 \text{kg}) * (390 \frac{J}{kg^\circ\text{C}}) * (480^\circ\text{C} - 420,2^\circ\text{C})$$

$$Q_3 = 104.045.272,5 \text{ J}$$

Una vez determinado el calor necesario para calentar, fundir y llevar a temperatura de colado la masa de zinc, mediante la ecuación de flujo de calor (3) se hallará el tiempo necesario para el proceso de acuerdo con la potencia entregada de un quemador industrial.

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

Donde:

$\dot{Q}$ = flujo de calor entregado por el quemador.

Q_1 = Calor para aumentar a temperatura de la masa.

t_i = tiempo para iniciar o continuar el proceso de fundir.

t_f = variable que determina el tiempo de finalización del proceso.

Despejando la variable t_f :

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{Q}{\dot{Q}} \\ t_f - t_i &= \frac{Q}{\dot{Q}} \\ t_f &= \frac{Q}{\dot{Q}} + t_i\end{aligned}$$

Por lo tanto, para calcular el tiempo de cada calor; utilizamos la ecuación 3, donde escogemos el flujo de calor del quemador QR 2600 en el catálogo de la empresa MELTRONIC.S.A.S.

$$t_f = \frac{Q}{\dot{Q}} + t_i \quad (5)$$

Donde:

$\dot{Q}$ = flujo de calor del quemador QR 2600 = 761.984,6 watts.

$Q = Q_1 + Q_2$ = Calor para cambiar de estado el zinc = 5.018.406.590J .

t_i = tiempo para iniciar = 0.

t_f = variable que determina el tiempo de finalización del proceso.

Reemplazando:

$$t_f = \frac{5.018.406.590J}{761.984,6 \text{ watts}} + 0s$$

$$t_f = (6585,97s) * \left(\frac{1h}{3600s}\right)$$

$$t_f = 1,82 \text{ h}$$

Para determinar el tiempo en la temperatura de colado:

$$t_f = \frac{Q}{\dot{Q}} + t_i \quad (5)$$

Donde:

$\dot{Q}$ = flujo de calor del quemador QR 2600 = 761.984,6 watts.

Q_3 = Calor para cambiar de estado el zinc = 104.045.275,5J .

t_f = variable que determina el tiempo de finalizacion del proceso.

Reemplazando:

$$t_f = \frac{104.045.275,5J}{761.984,6 \text{ watts}}$$

$$t_f = (136,55s) * \left(\frac{1h}{3600s}\right)$$

$$t_f = 0,037 \text{ h}$$

Por lo tanto, el tiempo total será:

$$t_f = 1,87 \text{ h}$$

Hay que considerar los cálculos anteriores como la aproximación de un proceso de cambio de fase ideal, donde no hay perdidas de calor y no se cuenta con la eficiencia del quemador, por lo tanto, se hará un recalcu lo a criterio del ingeniero con el 85% de flujo de calor en el quemador, para aproximar los tiempos aún más a la realidad.

Por lo tanto, la ecuación 3 le agregamos la eficiencia del quemador:

$$t_f = \frac{Q}{\dot{Q} * \eta_{\text{quemador}}} + t_i \quad (5.1)$$

Donde:

$\dot{Q}$ = flujo de calor del quemador QR 2600 = 761.984,6 watts.

$Q = Q_1 + Q_2$ = Calor para cambiar de estado el zinc = 5.018.406.590J .

$\eta_{\text{quemador}} = 85\%$

t_f = variable que determina el tiempo de finalizacion del proceso.

Reemplazando:

$$t_f = \frac{5.018.406.590J}{(761.984,6 \text{ watts} * 85\%)} + 0s$$

$$t_f = (647686,91s) * \left(\frac{1h}{3600s}\right)$$

$$t_f = 2,152 h$$

Continuando, podemos determinar que los tiempos de fundición aumentan; por lo tanto, al hacer el recalcu podemos escoger un quemador con más potencia para llevar a cabo el proceso en un menor tiempo como podemos observar en la tabla 2, donde escogemos un quemador de acuerdo al tiempo que tarda en fundir la masa de zinc.

Tabla 2: Recalcu de calor y tiempo para selección de quemador.

Referencia de Quemador	Potencia Quemador (BTU/h)	Potencia Quemador (watts)	Eficiencia del 85%	Tiempo de Fusión Q1+Q2 (horas)	Tiempo de Fusión Q3 (horas)	Tiempo Total Decimal (h)	Tiempo Total Horas, minutos y segundos.
QS 300	100000	29307,1	24911,035	55,959	1,160	57,12	57:07:10
	300000	87921,3	74733,105	18,653	0,387	19,04	19:02:23
QS 400	200000	58614,2	49822,07	27,980	0,580	28,56	28:33:35
	400000	117228,4	99644,14	13,990	0,290	14,28	14:16:47
QS 700	400000	117228,4	99644,14	13,990	0,290	14,28	14:16:47
	700000	205149,7	174377,245	7,994	0,166	8,16	8:09:36
QR 700	400000	117228,4	99644,14	13,990	0,290	14,28	14:16:47
	700000	205149,7	174377,245	7,994	0,166	8,16	8:09:36
QS 1700	600000	175842,6	149466,21	9,327	0,193	9,52	9:31:12
	1700000	498220,7	423487,595	3,292	0,068	3,36	3:21:36
QR 2600	1400000	410299,4	348754,49	3,997	0,083	4,08	4:04:48
	2600000	761984,6	647686,91	2,152	0,045	2,20	2:11:49
QR 3500	1000000	293071	249110,35	5,596	0,116	5,71	5:42:43
	3500000	1025748,5	871886,225	1,599	0,033	1,63	1:37:55

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar, con la selección del quemador buscamos la referencia en la página de MELTRONIC.S.A.S. para determinar sus dimensiones, consumo y precio.

Figura 4 Referencia del quemador industrial QR 2600



Fuente: Página oficial de la empresa MELTRONIC.S.A.S.²⁷

4.2.2 Dimensiones del Horno

Continuando, para satisfacer la necesidad de la empresa ya mencionada, se realiza una búsqueda sobre el tamaño del crisol el cual contendrá en zinc fundido, según la guía para galvanizado por inmersión en caliente pagina 25 sección 3.1.1 nos muestra las diferentes dimensiones de cubas existentes en Colombia.

Figura 5 Tabla de dimensiones mínimas y máximas de cubas para galvanizado.

CIUDAD	DIMENSIÓN MÍNIMA			DIMENSIÓN MÁXIMA		
	LARGO	ANCHO	PROFUND.	LARGO	ANCHO	PROFUND.
Bogotá	2,5	0,5	0,5	8,0	1,1	1,7
Barranquilla	1,2	0,6	1,0	9,0	1,5	2,5
Medellín	3,0	1,2	0,8	8,0	1,2	0,8
Bucaramanga	6,3	1,0	1,0	6,5	0,6	1,0
Neiva	4,0	0,4	0,4	4,0	0,4	0,4
Sogamoso	6,0	0,8	0,8	6,0	0,8	0,8
Cali	3,7	0,4	0,4	3,7	0,4	0,4

Tabla 8. Tabla de dimensiones mínimas y máximas de las cubas de Galvanizado que hay en el País.
Fuente: ANDI, Cámara Fedemetal, Comité de Galvanizadores

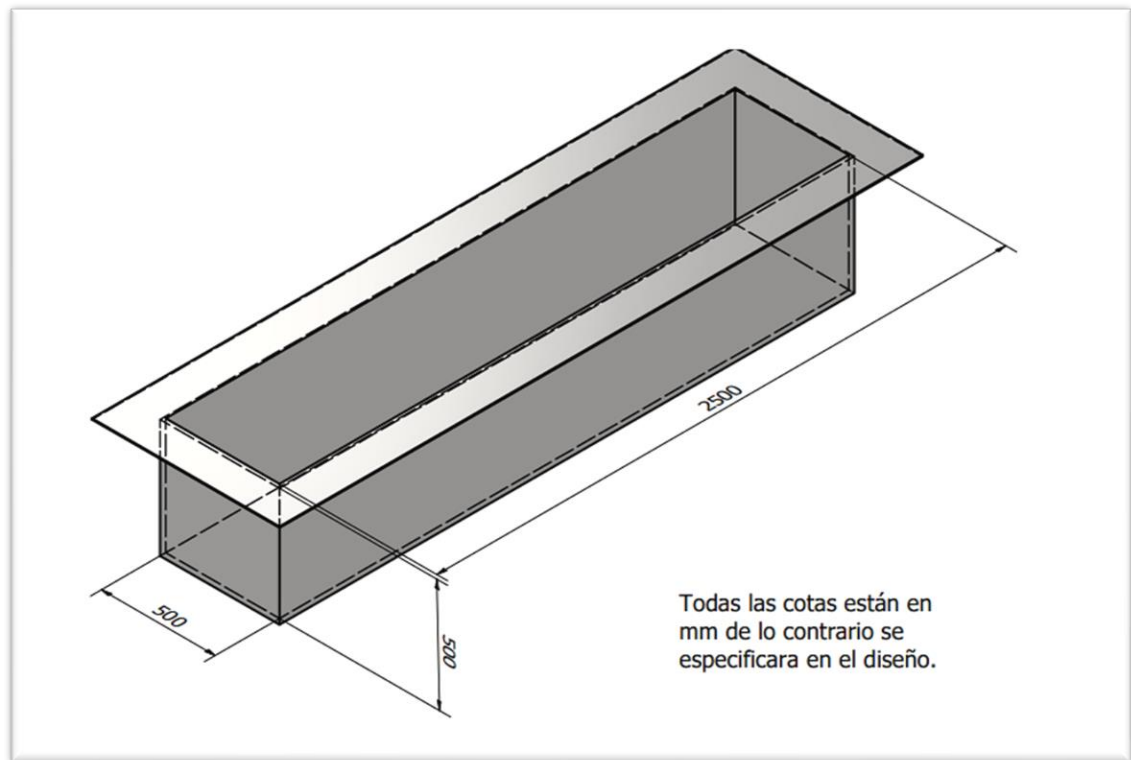
Fuente: Guía para galvanizado por inmersión en caliente.²⁸

²⁷“Referencias Quemadores | Misitio.” n.d. Accessed May 26, 2022. <https://www.meltronicltda.com/referencias-quemadores>.

²⁸ Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. 2013. “Guía Práctica de Galvanizado Por Inmersión En Caliente,” 64

De esta manera, mediante la referencia y el cumplimiento de la necesidad de la empresa de acuerdo con las longitudes y tamaños de sus activos que deben ser recubiertos, se tomó la decisión de realizar un diseño de cuba con las dimensiones mínimas que tiene la galvanizadora de la ciudad de Bogotá.

Figura 6 Dimensiones para el diseño de la cuba.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Capacidad

Ya seleccionadas las dimensiones de la cuba podemos determinar su capacidad y calcular los esfuerzos generados por el zinc teniendo en cuenta su peso y la presión hidrostática al ser fundido.

Continuando, en la página 27 determinamos la masa del zinc que será fundido, mediante este valor podemos calcular la fuerza distribuida ejercida en la base de la cuba.

Mediante la segunda ley de Newton podemos determinar la fuerza ejercida sobre un cuerpo por medio de la aceleración de la gravedad al relacionarla con su masa mediante la siguiente ecuación:

$$F = m_{\text{Zinc}} * a_{\text{gravedad.}} \quad (6)$$

Donde:

$$m = 4461,25\text{kg}$$

$$a_{\text{gravedad.}} = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

Reemplazando

$$F = (4461,25\text{kg}) * (9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F = 43765N$$

$$F_{\text{Ejercida en la base.}} = 44KN$$

Ya calculada la fuerza ejercida sobre la base, es necesario encontrar la presión máxima hidrostática la cual ejerce el zinc al convertirse en fluido mediante la siguiente ecuación:

$$P = \text{densidad}_{\text{Zinc}} * a_{\text{gravedad.}} * h_{\text{cuba.}} \quad (7)$$

Donde:

$$d_{\text{Zinc}} = 7138 \frac{kg}{m^3}$$

$$a_{\text{gravedad.}} = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$h_{\text{cuba.}} = 0.5m$$

Reemplazando

$$P = \left(7138 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) * (0.5m)$$

$$P = 35012 \text{ Pas}$$

$$P_{\text{Ejercida en la base y paredes.}} = 5psi$$

Sin embargo, por criterio del ingeniero para calcular los esfuerzos ejercidos se aumentan los valores de la presión y la fuerza de la siguiente manera

$F_{Ejercida.} = 44KN$	$*13.7\% =$	6KN	$F_{Total.} = 50KN$
$P_{Ejercida.} = 5psi$	$*20\% =$	1Psi	$P_{Total.} = 6psi$

Mediante los valores aumentados es necesario convertir la presión a fuerza para calcular el esfuerzo a flexión mediante una sección de la base donde se tendrá en cuenta las distancias de una estructura que soportará la cuba donde:

Longitud entre vigas 0.6065 m
Longitud lamina 0.524m

Área $0.317806m^2$

$$F = P * A \quad (8)$$

Donde

$F = Fuerza ejercida$

$P = Presion ejercida$ 41368.5PAS

$A = Area de la cuba$

Reemplazando

$$F = 41368.5 \frac{N}{m^2} * 0.317806m^2$$

$$F = 13147.15N$$

$$F = 13.147KN$$

Usando la fuerza ejercida por el peso y la fuerza obtenida de la presión en las caras de la cuba podemos determinar una fuerza distribuida y realizar un ejercicio básico de vigas a flexión para determinar el esfuerzo máximo que tendría la base.

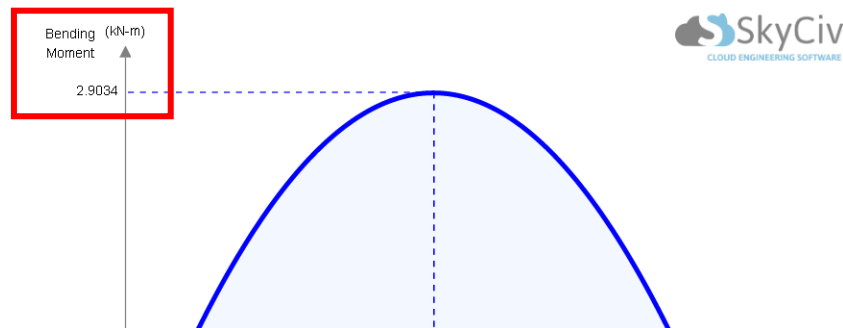
De tal forma, que la suma de estas fuerzas seria 63.147KN la cual se distribuirá en el área superior tomada de la base, y su sección transversal seria en forma rectangular con una longitud de 0.524m y una altura de 0.012m, mediante una calculadora de vigas podemos determinar el diagrama cortante y de momento para agilizar los cálculos y ver de forma más interactiva el ejercicio de flexión en vigas, por lo tanto, los resultados son los siguientes.

Figura 7 Ejercicio de flexión por carga distribuida y apoyos simples.



Fuente: Pagina Web SkyCiv

Figura 8 Momento máximo



Fuente: Pagina Web SkyCiv ²⁹

²⁹“Calculadora de Haces En Línea Gratis | Ingeniería SkyCiv.” n.d. Accessed May 26, 2022. <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>.

Con el resultado obtenido en el diagrama, se utilizará la ecuación de esfuerzo máximo a flexión:

$$\sigma_{max} = \frac{MC}{I} \quad (9)$$

Donde:

$$M = 2903.4 \frac{N}{m} = \text{Momento Maximo}$$

$$C = \frac{0.012m \text{ Altura seccion tranvesal}}{2} = \text{centroide de un rectangulo}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{0.524m * 0.012m^3}{12}$$

Reemplazando

$$\sigma_{max} = \frac{(2903.4NM) * \left(\frac{0.012m}{2}\right)}{\left(\frac{0.524 * 0.012^3}{12}\right)}$$

$$\sigma_{max} = 230868320.6 \text{ Pas}$$

$$\sigma_{max} = 230.8 \text{ Mpas}$$

Mediante el cálculo obtenido podemos realizar la selección del material y encontrar un acero que tenga un límite de fluencia superior como 340Mpas, de esta manera trabajar con un factor de seguridad superior a uno.

$$\eta_{seguridad} = \frac{\sigma_{limite \text{ elastico del material}}}{\sigma_{max \text{ calculado}}} \quad (10)$$

$$\eta_{seguridad} = \frac{340 \text{ Mpas}}{230.8 \text{ Mpas}}$$

$$\eta_{seguridad} = 1.48$$

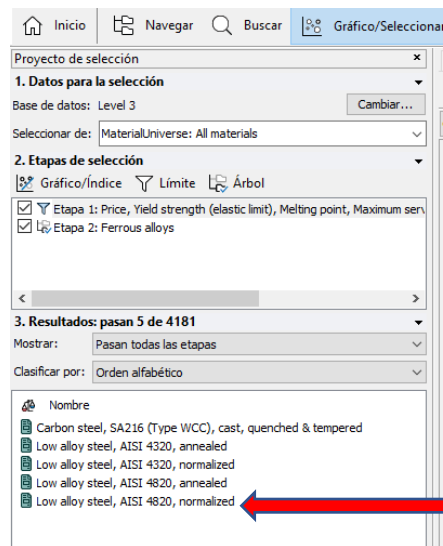
De esta manera nos aseguramos de no trabajar sobre el límite de fluencia y evitar que puedan ocurrir deformaciones permanentes en la cuba.

Continuando, seleccionaremos el material mediante el software **GRANTA EDUPACK**, el cual brinda una gran base de datos y procesos de los materiales siendo una herramienta que se divide en niveles de búsqueda para brindar la mejor elección mediante parámetros de ciencia, los cuales se usaran para dar información necesaria, la cual pide NX para generar la simulación y solución; En esta selección se tendrá en cuenta:

1. Módulo de elasticidad superior o igual a 340Mpas
2. Conductividad térmica mayor de 50 W/m°C.
3. Temperatura de trabajo mayor o igual 500°C
4. Punto de Fusión mayor 1400°C
5. Buena soldabilidad.
6. Precio por kilogramo de acero no mayor a \$10.000

Una vez se introducen los valores de interés en programa, nos especifica 5 tipos de acero bajo carbono, los cuales cumplen con los parámetros; las propiedades de estos aceros se encuentran en el anexo A1

Figura 9 Búsqueda de materiales Granta Edupack.



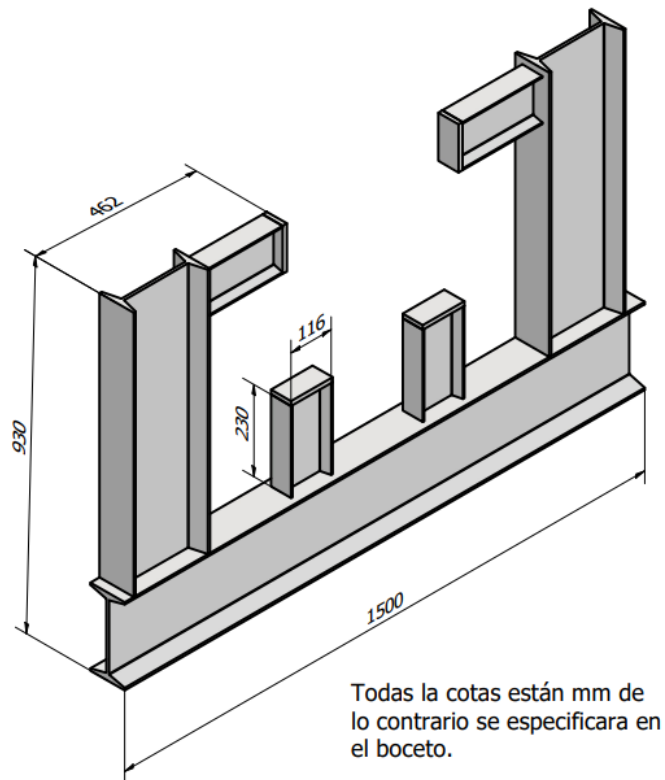
Fuente: Elaboración propia.³⁰

³⁰“Ansys (CES) Granta EduPack | Software for Materials Education.” n.d. Accessed May 26, 2022.
<https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>

Comparando estos aceros entre precio, propiedades y costo se seleccionó el acero **AISI 4320 recocido** el cual posee un límite elástico entre 380 y 470 Mpas, su temperatura de fusión es de 1480°C, su temperatura de servicio oscila entre 639 y 661°C con una conductividad térmica de 50W/m°C y finalmente su precio varía entre los \$3000 y \$4000.

Para finalizar el capítulo, es necesaria una estructura la cual sea capaz de soportar los esfuerzos que ocasiona la presión y el peso de la cuba, también debe diseñarse con el mismo material del crisol, ya que debe soportar altas temperaturas de trabajo, sus dimensiones generales serán las siguientes:

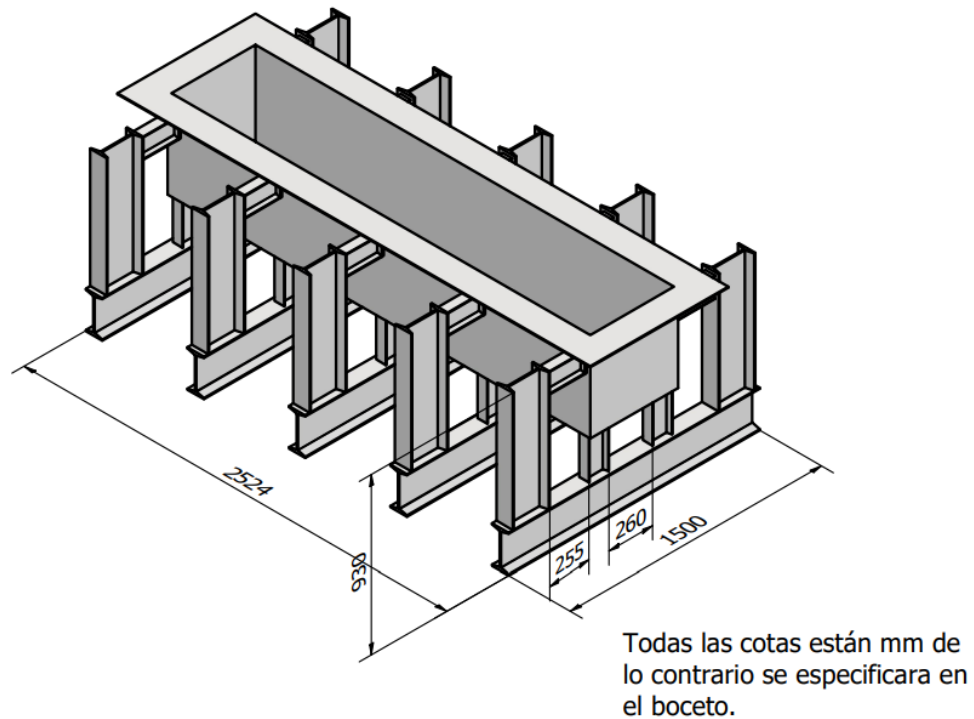
Figura 10 estructura en bigas H para la cuba de fundición.



Fuente: elaboración propia.

Para sostener de manera eficiente la cuba se necesitan de 5 estructuras distribuidas a lo largo de la cuba cada 0.6065m, la estructura completa junto con la cuba tendrá las siguientes dimensiones:

Figura 11 Dimensionamiento del horno



Fuente: elaboración propia.

Las dimensiones de las vigas H y platinas se encontrarán en el **Anexo A2**.

4.3 ANÁLISIS COMPUTACIONAL

El siguiente análisis se realizará por medio de la herramienta computacional **NX**, el cual es un software que permite realizar análisis estructural por medio de elementos finitos, de esta manera podemos determinar los esfuerzos generados por cargas impuestas en geometrías, también realizar optimizaciones de geometría si es necesario con el fin de disminuir tiempo y costos al realizar un diseño; Para el desarrollo de este capítulo tenemos la estructura de la cuba a la cual se le realizara una simulación para determinar el esfuerzo, desplazamiento y calidad analítica con el fin de lograr un diseño eficiente.

Se debe tener en cuenta los criterios de selección de material del software **Granta Edupack**, ya que en estos se obtienen las propiedades de los aceros necesarias como esfuerzo de fluencia y tensión de rotura, lo cual ayuda a la configuración en la solución de **NX**; los criterios de selección se encuentran en el **anexo A3**.

Continuando, para iniciar la simulación abrimos el modelo en NX y creamos los archivos FEM y SIM para generar una solución estática lineal de la siguiente manera:

figura 12 Creación de los archivos fem y sim.

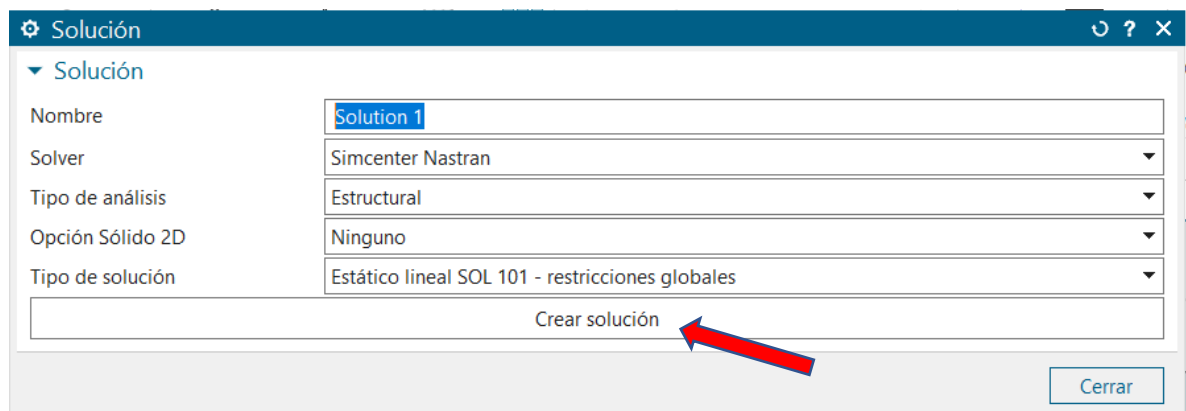
▼ Vista del archivo de simulación

Nombre	Estatus	
Sesión		
Ensamblaje1_stp_sim1		
Ensamblaje1_stp_fem1	Visualizado: & Trab...	

Fuente: Elaboración propia.

Después, aparecerá en la venta la generación de la solución donde definimos los aspectos que necesitamos obtener de la simulación

figura 13 Crear solución.



Solución

▼ Solución

Nombre: Solution 1

Solver: Simcenter Nastran

Tipo de análisis: Estructural

Opción Sólido 2D: Ninguno

Tipo de solución: Estático lineal SOL 101 - restricciones globales

Crear solución

Cerrar

Fuente: Elaboración propia.

Creamos la solución y definimos el solver iterativo en la sección general, luego nos dirigimos a control de casos en el apartado de estructural output, allí encontraremos la deformación y activaremos la petición de deformación para el ploteo y funciones de la simulación.

figura 14 Creación y activación de funciones de la solución.

▼ Estático lineal SOL 101 - restricciones globales

Vista preliminar

General

Descripción

Celdas del sistema: Ninguno

☒ Solver iterativo de elementos

Opciones del Solver iterativo: Ninguno

☐ Pasar por alto la dependencia de la temperatura del material

☐ Tratar CGAP como Elementos de contacto lineal

Parámetros secundarios: Ninguno

► Variables del control en la condición de frontera

☐ Ejecutar el trabajo en primer plano

Control de casos

Título

Subtítulo

✓ Petición de repetición de datos en masa: Bulk Data Echo Request1

Verificaciones de cuerpo rígido: Ninguno

Método de los elementos rígidos: Eliminación lineal

✓ Peticiones de salida: Structural Output Requests1

Parámetros de contacto global: Ninguno

Parámetros de adherencia global: Ninguno

Parámetros (PARAM): Ninguno

Tipo de punto de monitor para generar: Valor predeterminado

Texto definido por el usuario: Ninguno

Vista de la aplicabilidad de la solución: Todas las soluciones

☒ Activar la petición de DEFORMACIÓN

Ordenamiento: Valor predeterminado

Medio de salida: PLOTEO

Formato de datos: REAL

Criterio de cedencia: von Mises

Curvatura de la placa: FIBRA

Ubicación: CENTRO

Salida de la lámina del sólido del material compuesto: Valor predeterminado

Medio de salida aleatorio: Valor predeterminado

Funciones aleatorias: Valor predeterminado

Selección de la entidad

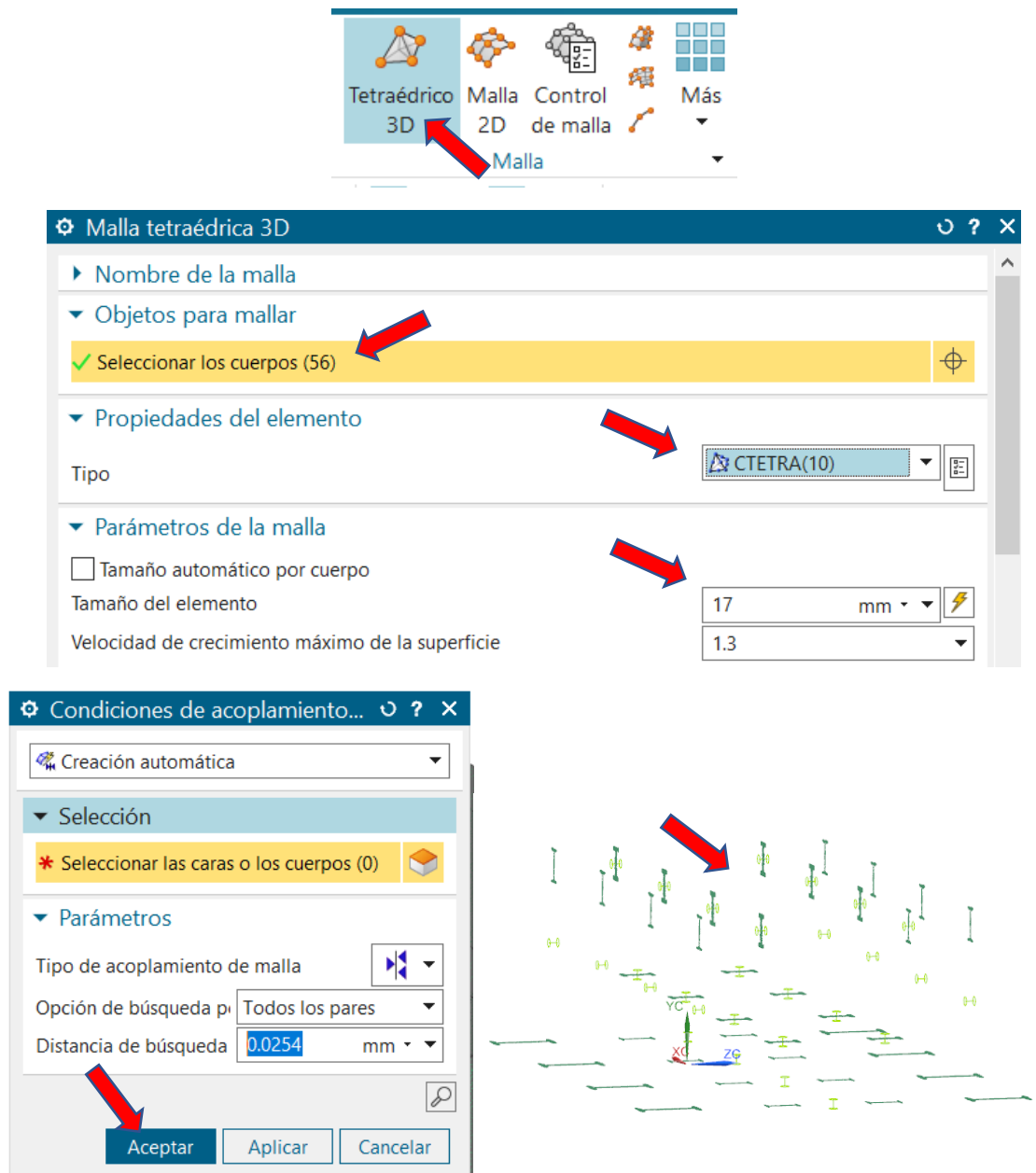
Entidad: TODO

Deformación

Fuente: Elaboración propia.

Una vez creada la solución en el archivo fem se generará una malla 3D seleccionando todos los cuerpos del modelo con un tamaño de malla de 17mm para realizar una simulación inicial, también se generan acoplamientos de malla para simular los contactos en la estructura.

Figura 15 Creación de malla CTETRA10 en 56 cuerpos



Fuente: Elaboración propia.

Por último, en el archivo fem, se añade un material de la biblioteca, con las propiedades mecánicas similares al ya seleccionado mediante el software Granta.

figura 16 Asignación de material

Categorización

- ☒ Nombre alternativo
- ☒ Categoría: METAL
- ☒ Subcategoría: Carbon Steel

Propiedades

- ☒ Dependencia de propiedades de material: Constante
- ☒ Densidad de la masa (RHO): 7.872e-06 kg/mm³

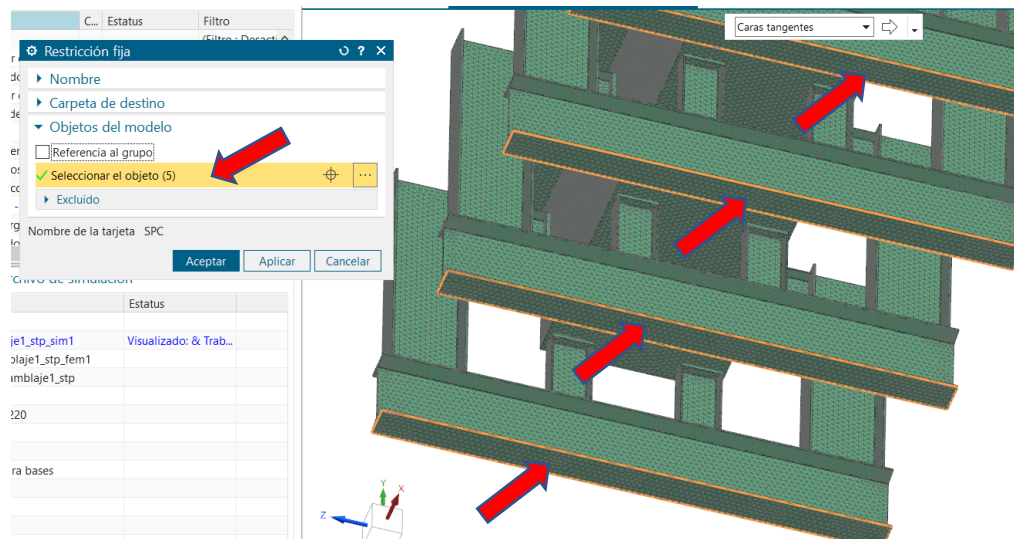
Propiedades de la fuerza

- ☒ Límite elástico: 343000 kPa
- ☒ Tensión de rotura: 490000 kPa
- ☒ Coeficiente de interacción Tsai-Wu (F12): mm⁴/N²

Fuente: Elaboración propia.

Luego, en el archivo sim asignaremos las cargas y restricciones que tendrá la simulación.

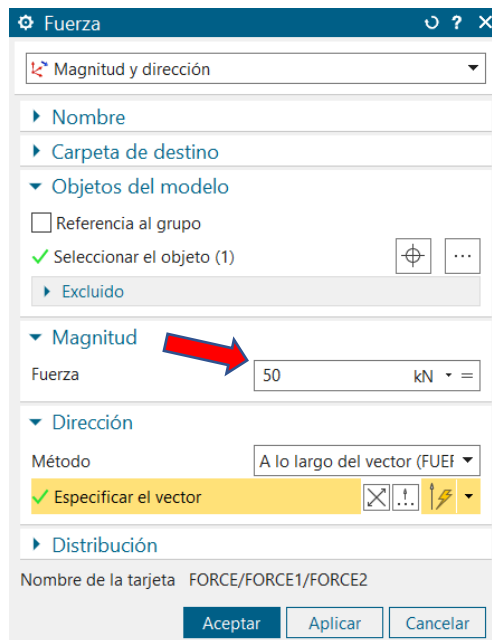
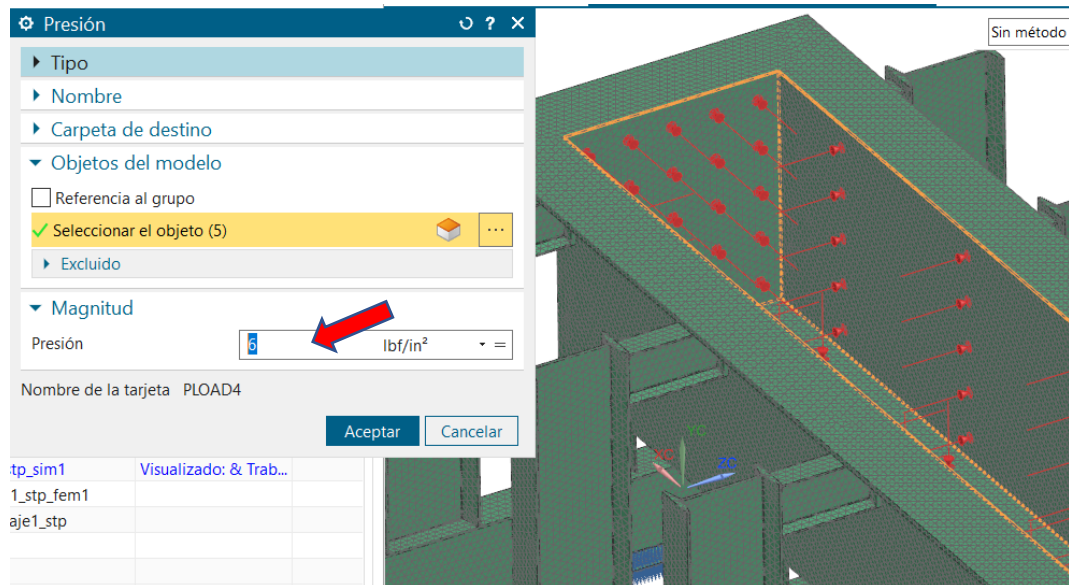
Figura 17 restricciones de movimiento en los 6 ejes.



Fuente: Elaboración propia.

Mediante los resultados de los cálculos anteriores se asigna la presión en las 4 caras internas de la cuba y la fuerza ejercida por el peso en el fondo del recipiente.

figura 18 Restricciones y cargas.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Resultados de la simulación.

Una vez solucionada la primera simulación nos genera los valores de desplazamiento y esfuerzo, mediante el tamaño de malla obtenemos la calidad analítica y determinamos si debemos refinar aún más el tamaño de malla.

Figura 19 tamaño de malla 17mm

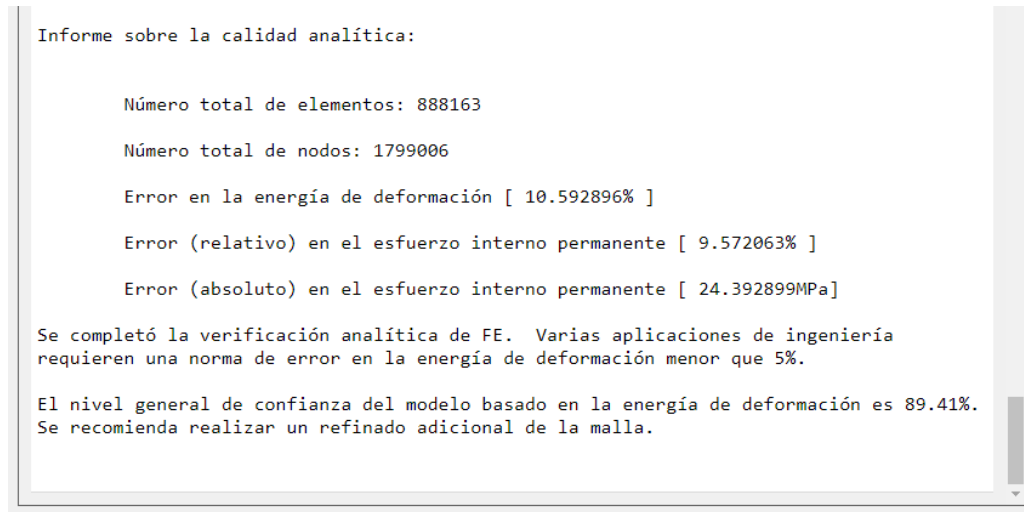
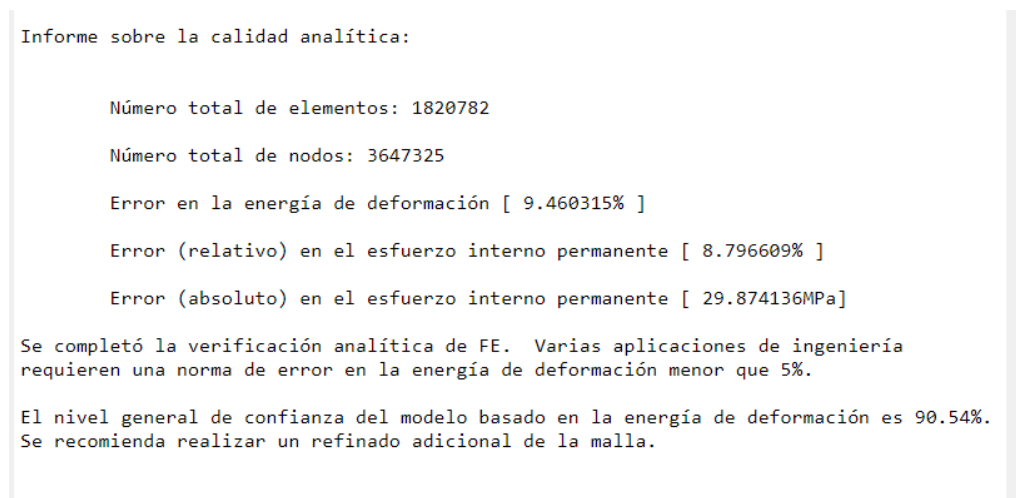


Figura 20 Refinamiento a 10 mm



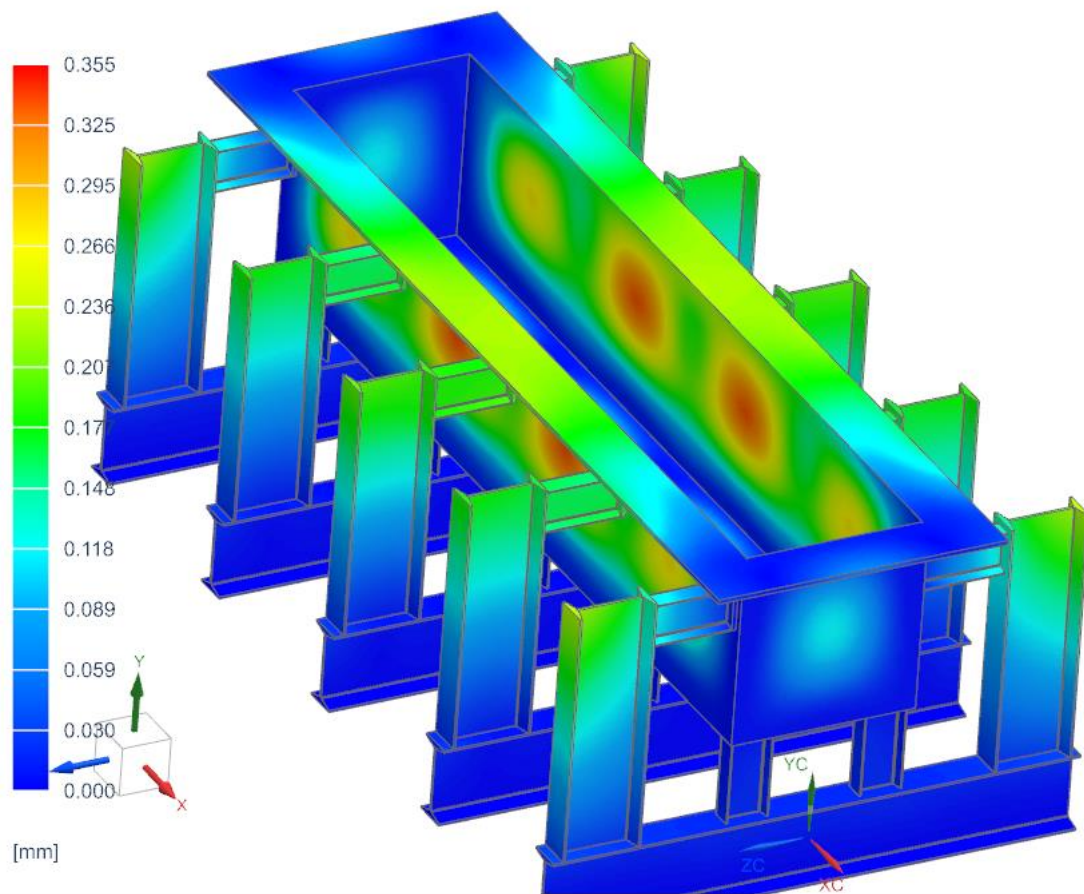
Fuente: Elaboración propia.

Aunque los valores en la calidad analítica y el desplazamiento varíen en decimas lo resultados del esfuerzo aumentan significativamente y el gasto computacional en el tiempo de solución pasa de minutos a horas.

Mallado de 17mm, esfuerzo máximo 180 Mpas y 25 minutos de solución.

Figura 21 Desplazamiento nodal 1.

Ensamblaje1_stp_sim1 : Solution 1 resultado
Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1
Desplazamiento - Nodal, Magnitud
Min : 0.000, Máx : 0.355, Unidades = mm
Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud

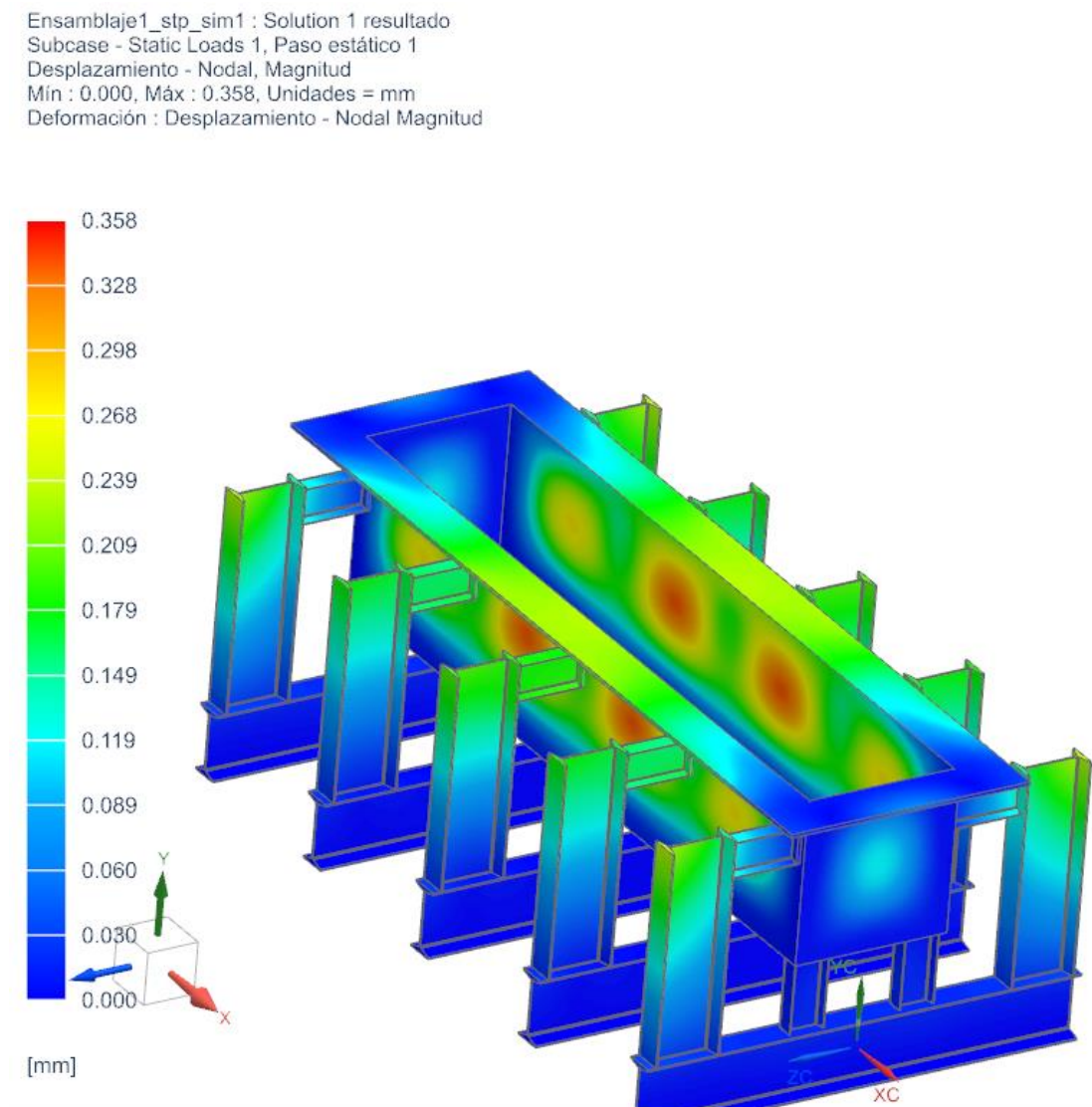


Fuente: Elaboración propia.

Mediante otras simulaciones y el refinado de malla podemos obtener una variación de resultados que oscilan en décimas, esto quiere decir que no es necesario seguir mejorando la calidad analítica ya que solo sería gasto computacional y se obtendría el mismo resultado

Mallado de 10mm, esfuerzo máximo 203.15 Mpas y 46 minutos de solución.

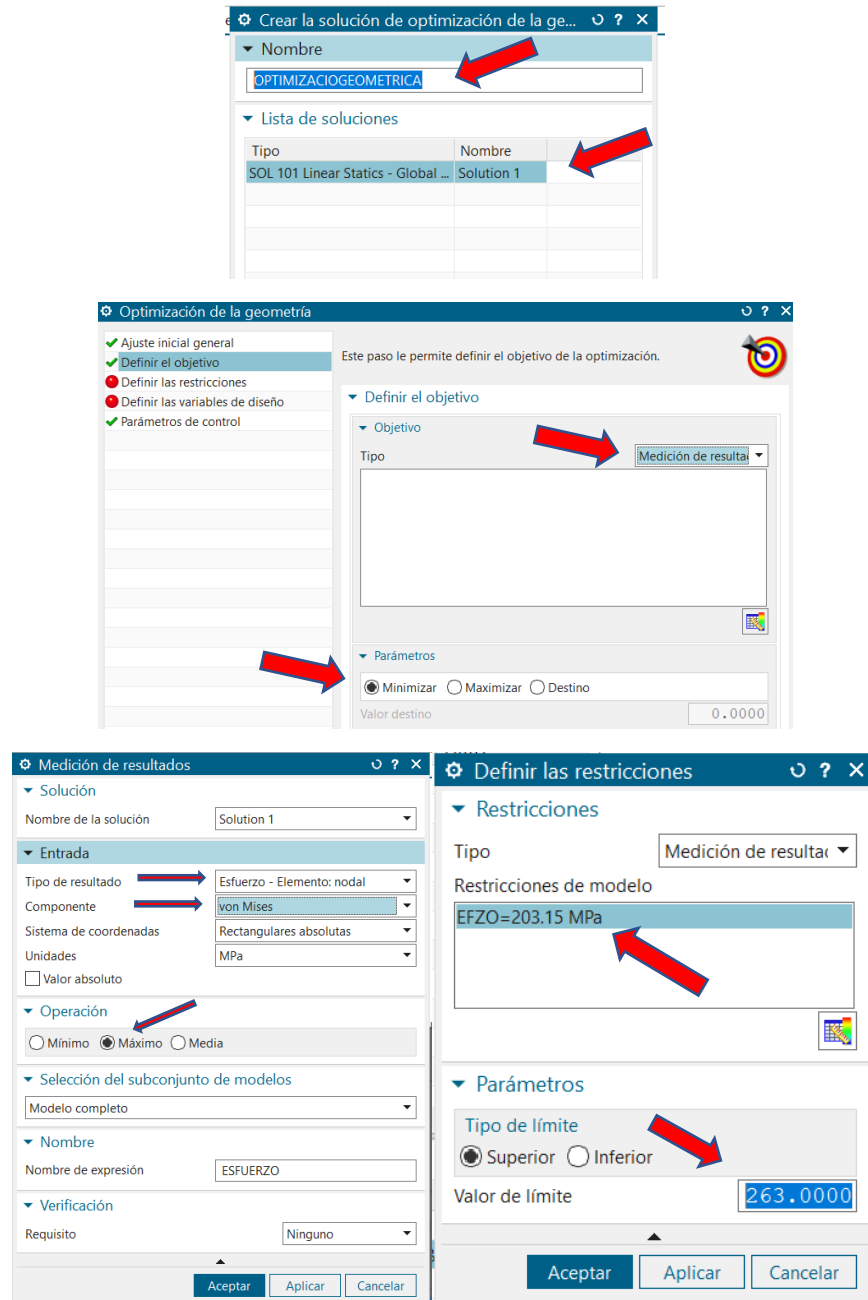
Figura 22 Desplazamiento nodal 2



Fuente: Elaboración propia.

Usando los resultados anteriores podemos tomar la decisión de realizar una optimización de geometría a la cuba donde encontraremos espesores de lámina más óptimos para disminuir el peso y trabajar con un factor de seguridad más reducido, el procedimiento será el siguiente:

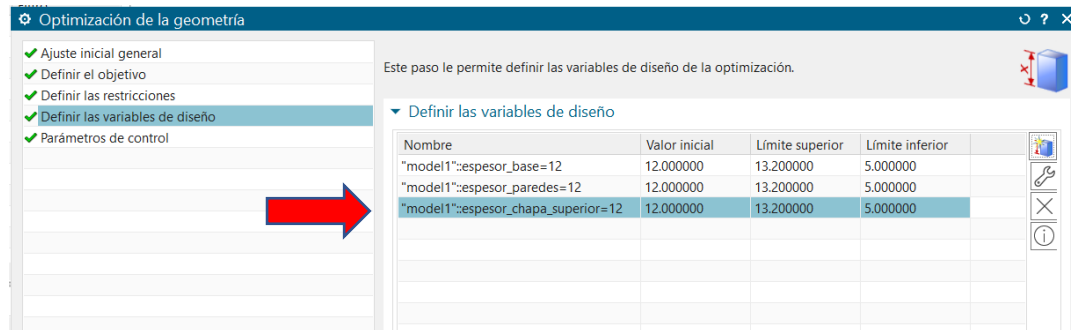
Figura 23 Parámetros para optimización geométrica.



Fuente: Elaboración propia.

Después de definir el objetivo y las restricciones de esfuerzo máximo se deben parametrizar las variables de diseño para que disminuyan los espesores de las paredes de la cuba en un rango de 12mm a 5mm aumentando el esfuerzo a 263MPas.

figura 24 Definición de parámetros para optimización.



Fuente: Elaboración propia.

Nx muestra los resultados en una tabla de Excel donde podemos determinar que iteración cumple con el objetivo definido, de esta manera podemos disminuir precio y costo del proyecto.

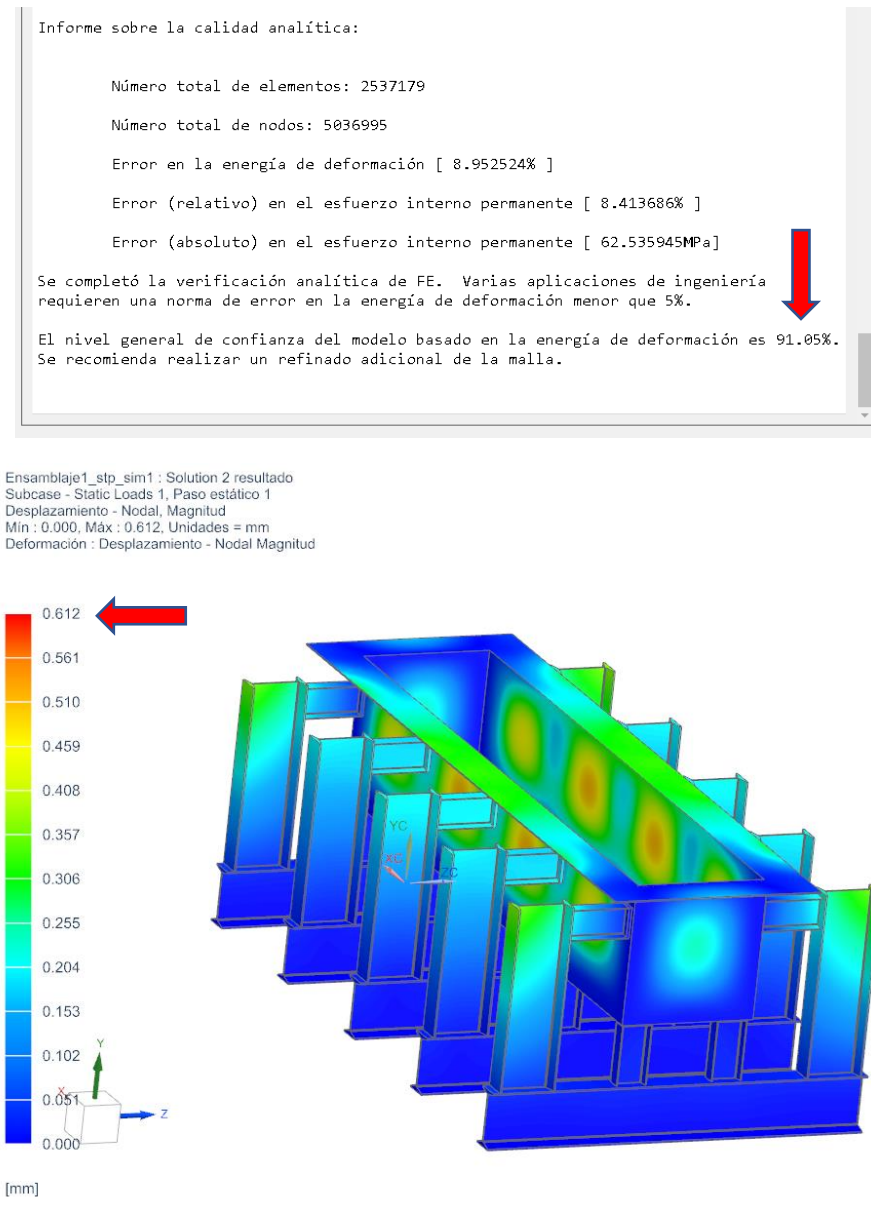
Figura 25 resultado optimización geométrica con tiempo de solución de 9 horas 20 minutos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	HISTORIAL DE LA OPTIMIZACIÓN									
2	Basado en el optimizador									
3										
4	Resultados de la función del objetivo de diseño									
5	Mínimo Peso [mN]	0	1	2	3	4	5	6	7	
6		10129372.6	9961862.74	9726198.97	10002166.3	8914339.03	7757976.91	8908478.13	8905842.55	
7										
8	Resultados variables de diseño									
9	Nombre	0	1	2	3	4	5	6	7	
10	"model1":espesor_base=12	12	10.36	12	12	10.627361	10.9976925	10.6060748	10.6010498	
11	"model1":espesor_paredes=12	12	12	10.36	12	9.83704894	5.00209274	9.82078771	9.81265709	
12	"model1":espesor_chapa_superior=12	12	12	12	10.36	5.00056483	5.00562921	5.00463014	5.00300035	
13										
14	Diseñar resultados restrictivos									
15		0	1	2	3	4	5	6	7	
16	Medición de resultados									
17	Límite superior = 263.000000 [MPa]	203.15	266.14	210.2	202.82	261.62	767.45	262.67	262.97	
18										
19										
20	Un cambio pequeño en el diseño, se detuvo la ejecución.									

Fuente: Elaboración propia.

Mediante los valores anteriores podemos definir nuevos parámetros para realizar una simulación con un refinamiento mayor de maya, usando un espesor de base y pared de 10mm y un espesor en la chapa superior de 5mm obtenido los siguientes resultados con un tiempo de solución de 6 horas 45 minutos:

figura 26 Calidad analítica y deformación mediante mallado de 6mm

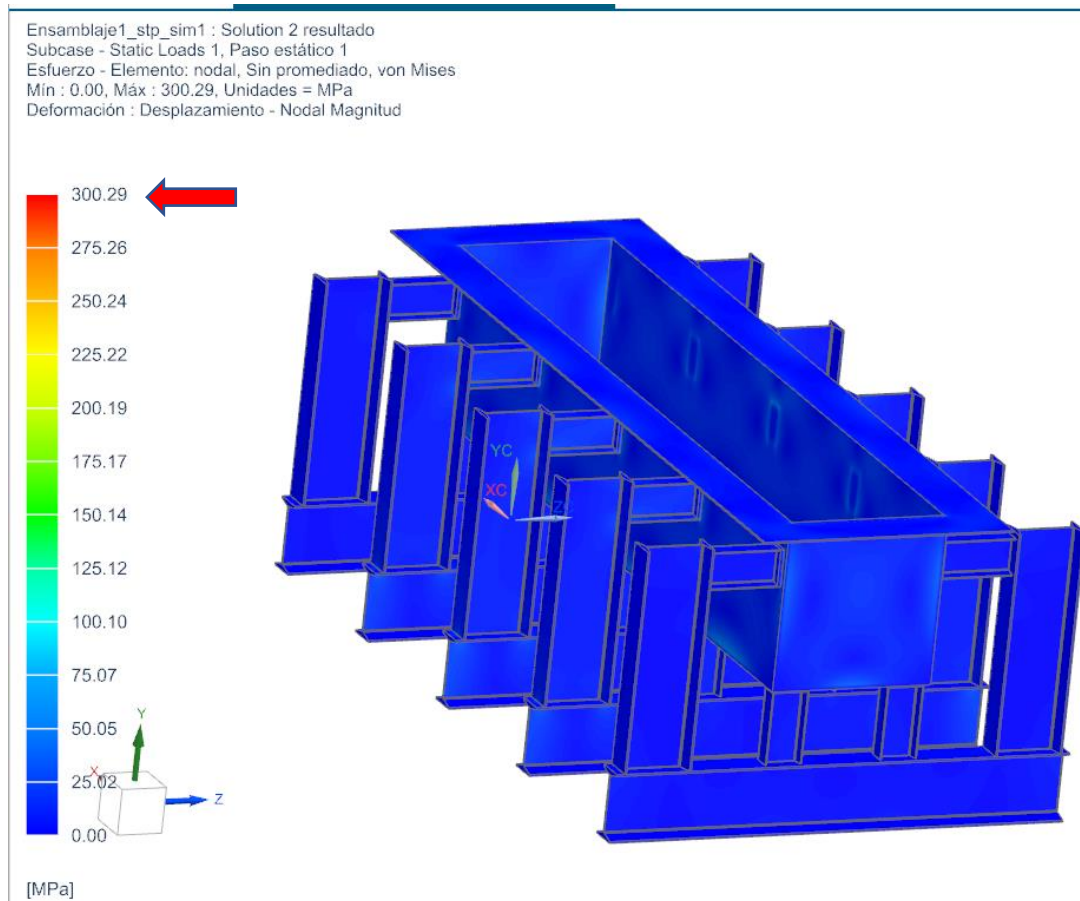


Fuente: elaboración propia.

Analizando los resultados podemos determinar un aumento drástico en el esfuerzo, sin embargo, se está trabajo con un factor de seguridad de 1.14 por lo tanto no supera el límite elástico y no habrá deformaciones permanentes operando con los parámetros impuestos.

Tiempo de la solución: 6 horas 45 minutos.

Figura 27 Esfuerzo máximo nodal promediado, von mises.

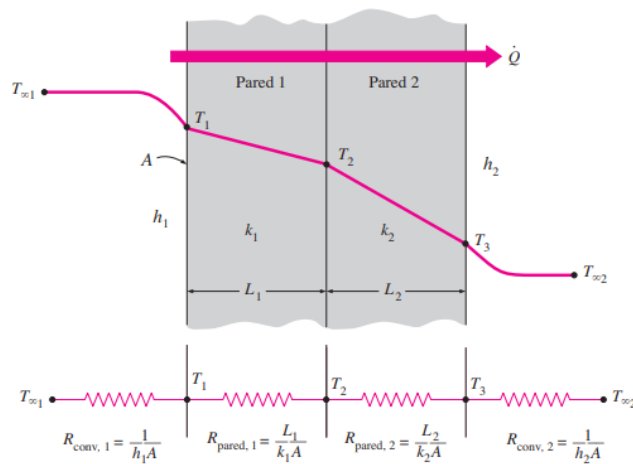


Fuente: elaboración propia.

4.3.2 Pérdidas de calor a través de paredes planas

Por la geometría de la cuba se calcularán las pérdidas de calor mediante paredes planas de capas múltiples, ya que por medio del concepto de resistencias térmicas que se muestra en la figura 27, se calculará la razón de transferencia de calor y se desprecian las pérdidas por radiación ya que son mínimas.

Figura 28 Transferencia de calor en paredes de capas múltiples



Fuente: Transferencia de calor y masa Yunus Cengel Pág. 141.Fig 3-9.³¹

La ecuación que gobierna la transferencia de calor por medio del concepto de resistencia térmica es la siguiente:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{total}}} \quad (11)$$

Donde

³¹ "(PDF) Transferencia de Calor y Masa 4ta Ed. - Yunus Cengel | Alex Samoa - Academia.Edu." n.d. Accessed May 26, 2022. https://www.academia.edu/12140362/Transferencia_de_Calor_y_Masa_4ta_ed_Yunus_Cengel.

$$T_{\infty 1} = \text{Temperatura del horno}$$

$$T_{\infty 2} = \text{Temperatura ambiente}$$

$$R_{Total} = R_0 + R_1 + \dots + R_5 + R_a$$

La pared que evitará las pérdidas de calor en la cuba tendrá distintos materiales los cuales son: concreto refractario, ladrillo refractario, fibra de vidrio y chapa metálica los cuales según Edison Vega en su trabajo de grado afirma que son óptimos para disminuir la transferencia de calor, las características y dimensiones de estos materiales se encuentran en la figura 29 y 30.

Figura 29 Espesores de materiales térmicos.

$e_{ladrillo}$ = espesor de ladrillo refractario = 0.037 m
 $e_{concreto}$ = espesor del concreto aislante = 0.025m
 $e_{fibra\ de\ vidrio}$ = espesor de la fibra de vidrio = 0.006m
 $e_{chapa\ metalica}$ = espesor de la chapa metálica = 0.002m

Fuente: Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas.

Figura 30 Conductividad térmica de los materiales aislantes.

$K_{ladrillo}$	Conductividad Térmica del ladrillo	1,34(W/m°K).
$K_{concreto}$	Conductividad Térmica del concreto aislante	0,075(W/m°K)
K_{fibra}	Conductividad Térmica de la fibra de vidrio	0,036(W/m°K)
K_{chapa}	Conductividad Térmica de la chapa metálica	50.2(W/m°K)

Fuente: Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas.³²

Mediante las especificaciones anteriores se realizará el cálculo para la cuba iniciado por determinar la resistencia total, donde la conductividad térmica del aire a 500°C es de 0.05572 W/m°C y la convección libre del mismo es 10 W/m²°C estos valores se encuentran en la tabla A-15 del libro de transferencia de calor y masa de Yunus Cengel, el espacio entre la pared y la cuba será de 6.5cm; el área de la pared será

³² CARDENAL, EDISON JAVIER VEGA. n.d. "Repositorio Universidad Santo Tomas: Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas, Para Fundición de Metales Blandos." Accessed May 25, 2022. <https://repository.usta.edu>

de 2.03884 m^2 , reemplazando estos valores en las ecuaciones de resistencia obtendremos:

Resistencia	Ecuación	Reemplazando	Resultado
$R_{0 \text{ conduc aire}}$	$\frac{L}{K_{\text{aire}} * A}$	$\frac{0.065m}{(0.05572 \frac{W}{m^{\circ}C} * 2.03884 \text{ m}^2)}$	$0.57 \frac{^{\circ}C}{W}$
$R_{1 \text{ concreto}}$	$\frac{L}{K_{\text{concreto}} * A}$	$\frac{0.025m}{(0.075 \frac{W}{m^{\circ}C} * 2.03884 \text{ m}^2)}$	$0.16 \frac{^{\circ}C}{W}$
$R_{2 \text{ ladrillo}}$	$\frac{L}{K_{\text{ladrillo}} * A}$	$\frac{0.037m}{(1.34 \frac{W}{m^{\circ}C} * 2.03884 \text{ m}^2)}$	$0.013 \frac{^{\circ}C}{W}$

Fuente: elaboración propia.

Resistencia	Ecuación	Reemplazando	Resultado
$R_{3 \text{ concreto}}$	$\frac{L}{K_{\text{concreto}} * A}$	$\frac{0.025m}{(0.075 \frac{W}{m^{\circ}C} * 2.03884 \text{ m}^2)}$	$0.16 \frac{^{\circ}C}{W}$
$R_{4 \text{ Fibra de v.}}$	$\frac{L}{K_{\text{F vidrio}} * A}$	$\frac{0.006m}{(0.036 \frac{W}{m^{\circ}C} * 2.03884 \text{ m}^2)}$	$0.081 \frac{^{\circ}C}{W}$
$R_{5 \text{ chapa M.}}$	$\frac{L}{K_{\text{chapa}} * A}$	$\frac{0.002m}{(50.2 \frac{W}{m^{\circ}C} * 2.03884 \text{ m}^2)}$	$0.00002 \frac{^{\circ}C}{W}$
$R_a \text{ convec}$	$\frac{1}{h_{\text{aire}} * A}$	$\frac{1}{(10 \frac{W}{m^2^{\circ}C} * 2.03884 \text{ m}^2)}$	$0.049 \frac{^{\circ}C}{W}$
$R_{\text{Total}} =$		$R_0 + R_1 + \dots + R_5 + R_a$	$1.043 \frac{^{\circ}C}{W}$

Fuente: elaboración propia.

Reemplazando estos valores en la ecuación que gobierna la transferencia de calor por medio del concepto de resistencia térmica (11) obtendremos:

Mediante:

$$T_{\infty 1} = 500^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\infty 2} = 5^{\circ}\text{C}$$

$$R_{Total} = 1.043 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$\dot{Q} = \frac{500^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}}{1.043 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q} = 474.366\text{W}$$

Mediante este primer cálculo de pérdidas de calor, vemos que se puede reducir aún más la transferencia de calor encontrando el espesor ideal, se puede realizar despejando el espesor de la fibra de vidrio y reduciendo $\dot{Q}$ a un 80% de su valor calculado, el procedimiento es el siguiente.

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{Total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_0 + R_1 + R_2 + R_3 + \frac{L_{F.v}}{K_{F \text{ vidrio}} * A} + R_5 + R_a}$$

Despejando

$$L_{F.v} = \left(\left(\frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\dot{Q} * 80\%} \right) - R_0 - R_1 - R_2 - R_3 - R_5 - R_a \right) * K_{F \text{ vidrio}} * A \quad (12)$$

reemplazando

$$L_{F.v} = \left(\left(\frac{500^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}}{474.366\text{W} * 80\%} \right) - 1.043 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right) * \left(0.036 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} * 2.03884 \text{ m}^2 \right)$$

$$L_{F.v} = 0.0252\text{m}$$

$$L_{F.v} = 25.2\text{mm}$$

Continuando, también habrá pérdidas por convección en la parte superior de la cuba, donde no habrá ningún tipo de cubierta, se calcula mediante en coeficiente de convección del aire estacionario ya mencionado anterior mente y la ecuación que gobierna es la siguiente:

$$\dot{Q}_{Conv} = h_{Conv} * A * (T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) \quad (13)$$

Donde

$$T_{\infty 1} = 500^{\circ}C$$

$$T_{\infty 2} = 5^{\circ}C$$

$$h_{Conv} = 10 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}C$$

$$A = 1.31 \text{ m}^2$$

Reemplazando

$$\dot{Q}_{Conv} = \left(10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ }^{\circ}C}\right) * 1.31 \text{ m}^2 * (500^{\circ}C - 5^{\circ}C)$$

$$\dot{Q}_{Conv} = 6484.5 \text{ W}$$

Avanzando en el tema, se calcula nuevamente las resistencias en diferentes áreas de la cuba, hallando su transferencia de calor y se realiza una sumatoria donde se encuentran las pérdidas a través de las paredes: transversales, horizontales, base de la cuba y parte superior.

Tabla 3 Cálculos mediante Excel de pérdidas de calor.

Cálculos de perdidas en paredes horizontales				Cálculos de perdidas en la base			
Convección	10	W/m ² °C	Longitud (m)	Convección	10	W/m ² °C	Longitud
Temperatura Hig	500	°C	0.8888	Temperatura Hig	500	°C	2.8528
Temperatura low	5	°C	Anchura (m)	Temperatura low	5	°C	Anchura
Conducción	0.05572	W/m°C	0.77715	Conducción	0.05572	W/m°C	0.8928
Espacio entre cuba	0.07	m		Espacio entre cuba	0.1	m	
		Longitud (m)	Área 2(m ²)			Longitud	Área 2(m ²)

K ladrillo	1.34	0.037	0.6907	K ladrillo	1.34	0.037	2.5469
k concreto	0.075	0.025	0.6907	k concreto	0.075	0.025	2.5469
K fibra	0.036	0.025	0.6907	K fibra	0.036	0.025	2.5469
k chapa	50.2	0.002	0.6907	k chapa	50.2	0.002	2.5469
R0	1.818771	R4	1.0113	R0	0.000782	R3	0.1308
R1	0.482581	R5	0.000058	R1	0.130874	R4	0.2726
R2	0.039975	Ra	0.144774	R2	0.010841	Q´	906.552
R3	0.482581	R total	4.253	R total	0.546		
Q´	116.396						

		# de paredes		
Perdidas de calor a través de las paredes horizontales	116.40	2	232.79	watt
Perdidas de calor a través de las paredes transversales	94.87	2	189.74	watt
Perdidas de calor a través de la base	906.552	1	906.55	watt
Perdida de calor por convección parte superior	64845.5	1	64845.5	watt
Total, perdidas de calor con recubrimiento	66174.59			watt
Total, perdidas sin recubrimiento	64845.5	6	389073	watt
Diferencia	389073	66174.59	322898.41	watt

Fuente: elaboración propia.

Ya para finalizar con las perdidas, hemos encontramos el espesor ideal para evitar la transferencia de calor al medio ambiente con una diferencia de 322898 Watts y contener más energía en la cuba de fundición.

4.4 COSTO SOBRE LOS MATERIALES E INSTRUMENTOS EN EL DISEÑO DE LA CUBA.

En el siguiente capítulo se realizaron cálculos de costos para cada material según sus especificaciones y costo unitario los cuales podemos ver representados en la tabla 4 y el **Anexo A3** junto con las cotizaciones del momento, estos precios son aproximaciones ya que están variando constantemente en el mercado.

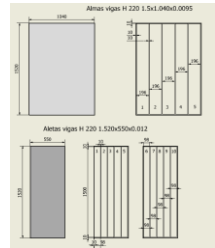
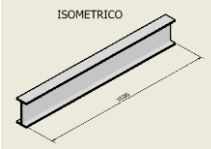
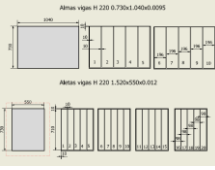
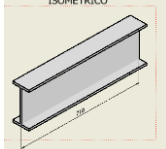
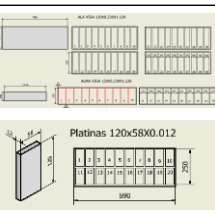
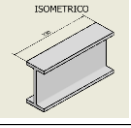
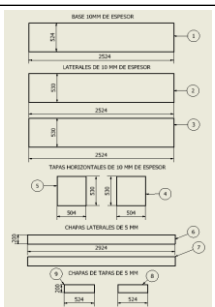
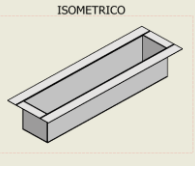
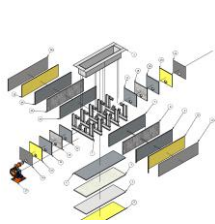
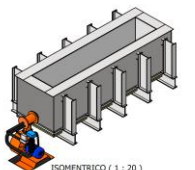
Tabla 4 Costos unitarios y totales del proyecto.

QUEMADOR INDUSTRIAL QR2600									
EQUIPOS					Cantidad		Precio unitario		Sub total
QUEMADOR					1		\$	13,580,000.00	\$ 13,580,000.00
CONTROL DE TEMPERATURA					1		\$	1,890,000.00	\$ 1,890,000.00
INSTALACION DEL EQUIPO							\$	2,190,000.00	\$ 2,190,000.00
								costo total	\$ 17,660,000.00
Acero 4320 vigas H 220 Bases 1.5m									
Pieza	Cantidad	Laminas	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Volumen (m³)	Densidad (Kg/m³)	Peso (Kg)	Total
Aletas	2		1.52	0.55	0.012	0.010	7850	157.5	\$ 2,800.00
Alma	1		1.52	1.04	0.0095	0.015	7850	117.9	\$ 2,800.00
Acero 4320 vigas H 220 Columna 1.5m									
Aletas	4		0.73	0.55	0.012	0.0048	7850	151.2852	\$ 2,800.00
Alma	2		0.73	1.04	0.0095	0.0072	7850	113.23468	\$ 2,800.00
Acero 4320 Vigas H 120									
Aletas	4		0.7	0.25	0.0095	0.0017	7850	52.2025	\$ 2,800.00
Alma	2		0.25	1.12	0.0095	0.0027	7850	41.762	\$ 2,800.00
Platinas 12x58									
Platinas	1		0.69	0.25	0.012	0.0021	7850	16.25	\$ 2,800.00
COSTO TOTAL MATERIAL DE LAESTRUCTURA									\$ 45,498.60
									\$ 1,820,348.43
Cuba									
Pieza	Cantidad	Laminas	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Volumen (m³)	Densidad (Kg/m³)	Peso (Kg)	Total
Base	1		2.524	0.524	0.01	0.01322576	7850	103.822216	\$ 2,800.00
Laterales	2		2.524	0.53	0.01	0.0133772	7850	210.02204	\$ 2,800.00
Tapas	2		0.504	0.53	0.01	0.0026712	7850	41.93784	\$ 2,800.00
Chapa superior									
chapa l	2		2.924	0.2	0.005	0.002924	7850	45.9068	\$ 2,800.00
chapa t	2		0.524	0.2	0.005	0.000524	7850	8.2268	\$ 2,800.00
COSTO TOTAL MATERIAL DE LA CUBA									\$ 1,147,763.95
ADICIONALES LAMINA PARA PROTECCION CONTRA LLAMA									
Pieza	Cantidad	Laminas	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Volumen (m³)	Densidad (Kg/m³)	Peso (Kg)	Total
Base	1		2.524	0.524	0.002	0.002645152	7850	20.7644432	\$ 2,800.00
Costo Total estructura y Cuba									\$ 3,026,252.82
25% Aranceles									\$ 756,563.21
COSTO TOTAL ESTRUCTURA Y CUBA MAS ARANCELES									\$ 3,782,816.03

MATERIALES AISLANTES										
	Cantidad(m³)	kg	Sacos de 40Kg							
Arena	0.43	688	18				\$ 9,300.00	\$ 167,400.00		
CONCRETO	13	Sacos					\$ 58,000.00	\$ 754,000.00		
LADRILLO	277	Unidades	0.233		0.118	0.037	\$ 2,000.00	\$ 554,000.00		
FIBRA DE VIDRIO	2	Rollos	1.22		9.14	0.025	\$ 772,682.00	\$ 1,545,364.00		
CHAPA METALICA	4	laminas	1.2		2.9	0.002	\$ 456,000.00	\$ 1,824,000.00		
Pintura	1	Galones	Pintuco altas temp905-13304				\$ 595,000.00	\$ 595,000.00		
COSTO TOTAL DE MATERIALES AISLANTES								\$ 5,439,764.00		
SOLDADURA Y OXICORTE					Trabajadores		Salario para el Proyecto			
	Kg	\$ por Kg	Costo por Electrodo		Soldador	\$	1,600,000.00			
E6013-2.4	1	\$ 19,700.00	\$ 19,700.00		Ayudante de soldador	\$	680,000.00			
E316l - 2.4mm	11	\$ 126,678.62	\$ 1,393,464.82		Pailero	\$	1,500,000.00			
E316l - 3.2mm	11	\$ 126,678.62	\$ 1,393,464.82		Ayudante de pailero	\$	680,000.00			
E316l - 4mm	30	\$ 126,678.62	\$ 3,800,358.60		Constructor	\$	1,200,000.00			
COSTO TOTAL SOLDADURA			\$ 6,606,988.24		Ayudante Constructor	\$	680,000.00			
Cilindro de oxigeno	2	682 litros	\$ 595,000.00	\$ 1,190,000.00	Total salarios		\$ 6,340,000.00			
Cilindro de acetileno	3	68 litros	\$ 318,000.00	\$ 954,000.00						
Costo total oxicorte			\$ 2,144,000.00							
ALQUILER EQUIPOS										
EQUIPO DE SOLDADURA LINCON		Dias de trabajo	Horas	Precio dia	Total	\$ kwatt/h	Total de consumo			
		8	64	\$ 45,000.00	\$ 360,000.00	\$ 631.00	\$ 323,072.00			
TORTUGA OXICORTE		Dias de trabajo	Horas	Precio dia	Total	Total equipos y consumo				
		2	16	\$ 81,000.00	\$ 162,000.00	\$ 845,072.00				
Costo Total del proyeco							\$ 45,786,752.65			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5 Estudio técnico y de construcción.

SUB OPERACION	MAQUINA HERRAMIENTA	HERRAMIENTA	MATERIAL A PROCESAR	TIEMPO (min)	MATERIAL PROCESADO	OBSERVACIONES	consumo				
Corte de laminas y preparacion de juntas	Equipo de Oxicorte	Tortuga-Boquilla #10		60		vigas 220x1.5 capacidad del material (5 unidades)	oxigeno (L)	120			
				60			Acetileno(L)	20			
				Soldar laminas			Equipo de soldadura Lincon Trifásico	Electrodo 316L de acero inox	1560	oxigeno (L)	120
									1560	Acetileno(L)	20
						E 316L	25Kg				
Corte de laminas y preparacion de juntas	Equipo de Oxicorte	Tortuga-Boquilla #10		180		vigas 220x0.777 capacidad del material (10 unidades)	oxigeno (L)	360			
				600			Acetileno(L)	60			
				Soldar laminas			Equipo de soldadura Lincon Trifásico	Electrodo 316L de acero inox		E 316L	9Kg
Corte de laminas y preparacion de juntas	Equipo de Oxicorte	Tortuga-Boquilla #10		150		vigas 120x0.230 capacidad del material (20 unidades) con platinas de 12 mm para un total de 5 estructuras	oxigeno (L)	300			
				600			Acetileno(L)	60			
				Soldar laminas			Equipo de soldadura Lincon Trifásico	Electrodo 316L de acero inox		E 316L	9Kg
Corte de laminas y preparacion de juntas	Equipo de Oxicorte	Tortuga-Boquilla #10		90		Crisol metalico de 2.5x0.5x0.5 realizado con lamina de 10 y 5mm	oxigeno (L)	180			
				600			Acetileno(L)	30			
				Soldar laminas			Equipo de soldadura Lincon Trifásico	Electrodo 316L de a.cero inox		E 316L	9
Mezcla y pega de ladrillos	Junta de materiales de construccion	Mezcladora, palas y pallustres.		1440		Obra civil para instalacion de paredes, base y material termico.	Arena (m^3)	0.01			
				60			Sacos de concreto	13			
				Soldar laminas			Equipo de soldadura Lincon Trifásico	Electrodo para aceros de carbono 6013 2.4mm		Ladrillo refractario	277
										Fibra de vidrio	2
						E6013 2.4mm	1				
				540	Horas	Dias de trabajo 8Horas	2	Tiempo total (dias)			
.Tiempo total de corte				9							
Tiempo total de soldadura				3420	57		8				
Tiempo total obra civil				1440	24		3	13			

Fuente: elaboración propia

Tabla 6 Cronograma de construcción.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																			
#	OBJETIVOS Y ACTIVIDADES	Semana	1							2						3			
		Días	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M
0	Numero de días		1	2	3	4	5	6	Descanso	7	8	9	10	11	12	Descanso	13	14	15
1	Corte laminas y preparacion de juntas								Descanso							Descanso			
									Descanso							Descanso			
2	Soldar juntas								Descanso							Descanso			
									Descanso							Descanso			
3	Obra civil								Descanso							Descanso			
									Descanso							Descanso			
4	Instalacion Quemador								Descanso							Descanso			
									Descanso							Descanso			
5	Realizacion infrome								Descanso							Descanso			
									Descanso							Descanso			
6	Entrega de proyecto y dossier								Descanso							Descanso			
									Descanso							Descanso			

Fuente: elaboración propia.

Para finalizar, mediante estas herramientas podemos determinar variables muy importantes en la construcción de un proyecto como: costos de mano de obra, materiales, equipos, desperdicios, procesos de unión y fabricado como se ve en la Tabla 5, de tal forma se puede optimizar el proceso y disminuir el tiempo según el criterio del ingeniero.

5 CONCLUSIONES

El precio del material escogido mediante el software, esta desactualizado por lo tanto la confiabilidad de estas herramientas disminuye ya que fue necesario realizar cotizaciones.

Por ser un material especial aumentaron los costos significativamente a comparación de un acero estructural de medio carbono.

Los coeficientes de transferencia de calor en el metal disminuyen a medida que se les realiza temple, lo cual fue crucial en el momento de escoger el material.

Mediante el análisis de elementos finitos podemos determinar que las propiedades de algunos materiales más económicos se igualaban a la necesidad al soportar los esfuerzos, pero no cumplían con la temperatura de trabajo.

Los esfuerzos calculados a flexión fueron cercanos en comparación con los calculados en la simulación teniendo en cuenta la complejidad de los dos casos

Gracias a la optimización de geometría se redujeron costos y se logró trabajar un factor de seguridad viable.

Realizar el recalcu para el espesor ideal de aislante aumenta la eficiencia del horno, pero la separación entre la pared y la cuba influyen en el aumento de perdidas.

Al aumentar la longitud de las paredes térmicas incrementaba significativamente la transferencia de calor.

Gracias a estudio técnico y el cronograma se puede decidir qué operaciones se pueden realizar de manera eficiente.

6 RECOMENDACIONES

Recomiendo a la universidad Santo Tomas Tunja, incorporar al pensum de ingeniería mecánica, una electiva de diseño la cual se enfoque en las áreas térmicas y de soldadura; ya que son base fundamental para el desempeño del ingeniero en su vida laboral para culminar proyectos como el presente.

Se recomienda a la empresa, continuar con el estudio del diseño en convenio con la universidad, ya que es posible la mejora continua por investigación.

Para un estudio posterior, recomiendo un plan de mantenimiento preventivo mensual, con el fin de mantener y alargar la vida de los activos por medio de inspección visual.

Mediante el estudio técnico se realizó la cotización de una lamina extra, con el fin de proteger la base de la cuba de la llama del quemador, de tal forma que, si se desgasta, se recomienda retirarla, pesarla y encontrar el espesor indicado para determinar un plan de mantenimiento anual.

BIBLIOGRAFÍA

“Thermal Environment of the Intensive Care Nursery - ClinicalKey.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.clinicalkey.es/#!/content/book/3-s2.0-B9780323567114000353>.

“Calculadora de Haces En Línea Gratis | Ingeniería SkyCiv.” n.d. Accessed May 26, 2022. <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>.

“Referencias Quemadores | Misitio.” n.d. Accessed May 26, 2022. <https://www.meltronicltda.com/referencias-quemadores>.

“BEIHAI HDG EQUIPMENT.” n.d. Galvanizacion En Caliente. <http://spanish.hotdipgalvanizing-equipment.com/sale-13382263-high-velocity-furnace-hot-dip-galvanizing-production-line-equipment-manufacture-burner-zinc-kettle-pot.html>.

“Computational Structural Simulation.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://cee.engin.umich.edu/research/facilities/structural-simulation/>.

“Foundry Furnace | Buy An Industrial Electric Foundry Furnace From Sentrotech.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.sentrotech.com/applications/foundry-furnaces-ovens/>.

“Ansys (CES) Granta EduPack | Software for Materials Education.” n.d. Accessed May 26, 2022. <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>.

“What Is Industrial Burner? | Linquip | Linquip.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.linquip.com/industrial-directories/784/burner>.

“História de La Galvanización, Una Respuesta a La Corrosión.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.e-zigurat.com/blog/es/galvanizacion-respuesta-corrosion/>.

“What Is Heat Transfer? Conduction, Convection, Radiation and FAQs.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://byjus.com/physics/heat-transfer-conduction-convection-and-radiation/>.

“¿Qué Es El GLP? - GASNOVA.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.gasnova.co/sobre-el-glp/que-es-el-glp/>.

“Comprehensive Structural Integrity: Cyclic Loading and Fatigue - Google Libros.” n.d. Accessed May 25, 2022. https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=4QpTNVu_UeYC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Comprehensive+Structural+Integrity&ots=T1Rw-bmp3X&sig=dhYrjNcS-M9wya55d__rjw8hJGg#v=onepage&q=Comprehensive+Structural+Integrity&f=false.

“What Are Refractory Bricks and What Are They For? | ArchDaily.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.archdaily.com/950115/what-are-refractory-bricks-and-what-are-they-for>.

“Repositorio Digital Universidad Técnica de Cotopaxi: Modelación y Simulación Del Proceso de Fundición Para El Zinc y Aluminio.” n.d. Accessed May 25, 2022. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8196>.

“NX | Siemens Software.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/products/nx/>.

“(PDF) Transferencia de Calor y Masa 4ta Ed. - Yunus Cengel | Alex Samoa - Academia.Edu.” n.d. Accessed May 26, 2022. https://www.academia.edu/12140362/Transferencia_de_Calor_y_Masa_4ta_ed_Yunus_Cengel.

“Insulating Concrete| Concrete Construction Magazine.” n.d. Accessed May 25, 2022. https://www.concreteconstruction.net/how-to/insulating-concrete_o.

“Crisol | Definición | Diccionario de La Lengua Española | RAE - ASALE.” n.d. Accessed May 25, 2022. <https://dle.rae.es/crisol>.

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. 2013. “Guía Práctica de Galvanizado Por Inmersión En Caliente,” 64.

Bi, Zhuming. 2018. “Applications—Solid Mechanics Problems.” *Finite Element Analysis Applications*, January (January), 281–339. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809952-0.00008-X>.

CARDENAL, EDISON JAVIER VEGA. n.d. “Repositorio Universidad Santo Tomas: Diseño y Construcción de Horno Basculante a Gas, Para Fundición de Metales Blandos.” Accessed May 25, 2022. <https://repository.usta.edu.co/jspui/handle/11634/37775>.

Corliss, Marc L., E. Christopher Lewis, and Amir Roth. 2003. “Dise.” *ACM SIGARCH Computer Architecture News* 31, no. 2: 362–73. <https://doi.org/10.1145/871656.859660>.

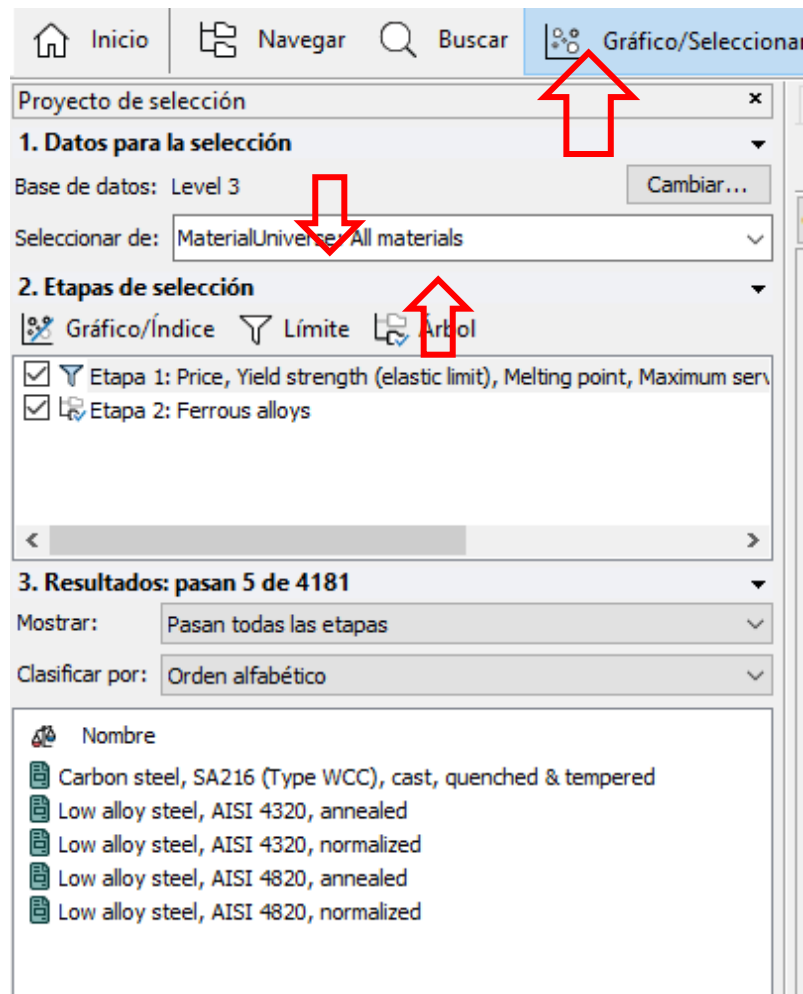
Espejo Valdez, Frank Anderson, and Gonzalo Alonso Valverde Bocanegra. n.d. “Influencia Del Tipo de Molde y de La Temperatura de Colada Sobre La Resistencia a La Tracción, Ductilidad y Dureza de La Aleación Za-27 (Zinc – 27% Aluminio).” Accessed May 25, 2022. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9303>.

8 ANEXOS

8.1 ANEXO A1: SELECCIÓN DE MATERIALES MEDIANTE EL SOFTWARE GRANTA EDUPACK

Para realizar la búsqueda del material se abre el programa, utilizamos el nivel 3 avanzado, mediante el árbol limitamos los materiales a ferrosos, luego se selecciona gráfico y limite.

Figura 31 Pasos iniciales.



Fuente: Elaboración Propia.

Mediante el límite, utilizamos las propiedades que necesitamos para reducir y encontrar el material el cual se necesita para el proyecto con el siguiente procedimiento:

Precio: se limita el costo por kilogramo para hacer viable el proyecto.

figura 32 límite de precio

▼ Price			
	Existe	Mínimo	Máximo
Price	☐		10000 COP/kg
Price per unit volume	☐		COP/m ³

Fuente: Elaboración Propia.

Módulo de elasticidad: se limita la propiedad mecánica para encontrar seleccionar materiales con valores más altos para mejorar el factor de seguridad.

figura 33 Limite de elasticidad

	Existe	Mínimo	Máximo	
Young's modulus	☐			GPa
Specific stiffness	☐			MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	☐	340		MPa
Tensile strength	☐			MPa

Fuente: Elaboración Propia.

Propiedades térmicas: Se limitan de acuerdo con el propósito de encontrar materiales con valores superiores.

figura 34 Limites térmicos

▼ Thermal properties			
	Existe	Mínimo	Máximo
Melting point	☐	1400	
Glass temperature	☐		
Maximum service temperature	☐	660	
Minimum service temperature	☐		
Thermal conductivity	☐	50	

Fuente: Elaboración Propia.

Ya con la lista de materiales, Granta realiza el siguiente informe, con el cual el ingeniero selecciona el mejor acero:

Carbon steel, SA216 (Type WCC), cast, quenched & tempered

General information

Designation

Carbon steel, SA216 (Type WCC), cast, quenched & tempered

Condition	Quenched & tempered
UNS number	J02503
US name	~ASME WCB, ~ASME J03002, ~ASME J02503
EN name	~GP280GH
EN number	~1.0625
JIS (Japanese) name	~Class SCPH 2

Typical uses

Valves and cast parts for high-pressure piping systems.

Composition overview

Compositional summary

Fe96-100 (impurities: Mn<1.2, Si<0.6, Cr<0.5, Ni<0.5, Cu<0.3, C<0.25, Mo<0.2, S<0.045, P<0.04, V<0.03)

Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0	-	0,25	%
Cr (chromium)	0	-	0,5	%
Cu (copper)	0	-	0,3	%
Fe (iron)	* 96,3	-	100	%
Mn (manganese)	0	-	1,2	%
Mo (molybdenum)	0	-	0,2	%
Ni (nickel)	0	-	0,5	%
P (phosphorus)	0	-	0,04	%
S (sulfur)	0	-	0,045	%

Si (silicon)	0	-	0,6	%
V (vanadium)	0	-	0,03	%

Price

Price	* 3,3e3	-	3,62e3	COP/kg
Price per unit volume	* 2,58e7	-	2,84e7	COP/m ³

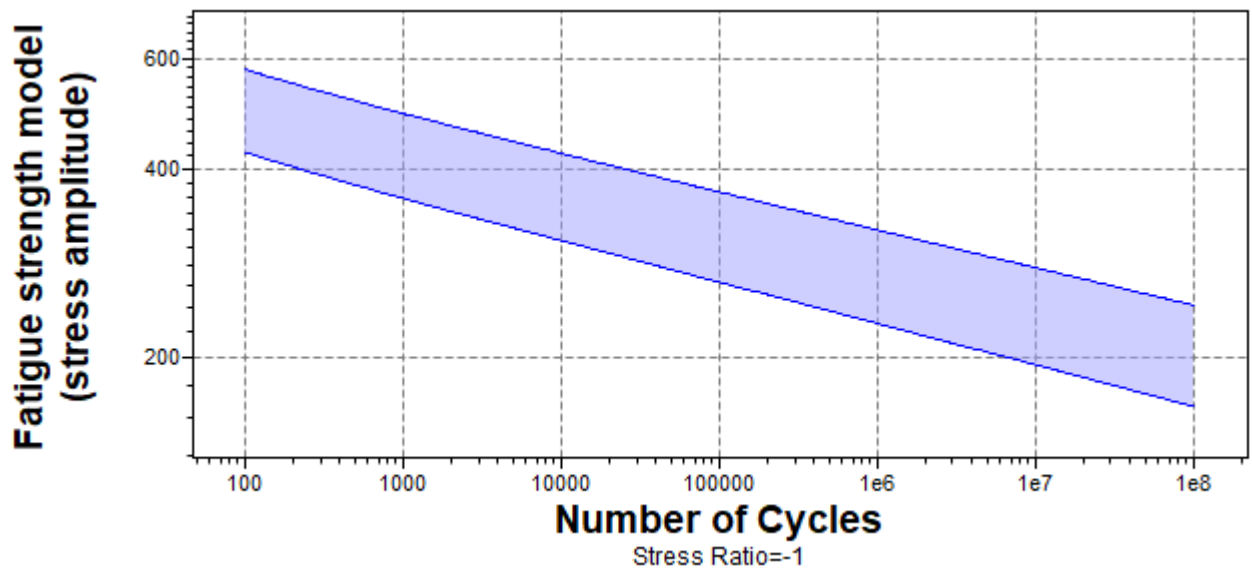
Physical properties

Density	7,81e3	-	7,84e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	198	-	209	GPa
Specific stiffness	25,4	-	26,7	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	332	-	367	MPa
Tensile strength	462	-	552	MPa
Specific strength	42,4	-	46,8	kN.m/kg
Elongation	30	-	36	% strain
Compressive strength	* 332	-	367	MPa
Flexural modulus	* 198	-	209	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 332	-	367	MPa
Shear modulus	75,3	-	79,1	GPa
Bulk modulus	* 165	-	174	GPa
Poisson's ratio	0,29	-	0,31	
Shape factor	57			
Hardness - Vickers	* 154	-	170	HV
Elastic stored energy (springs)	270	-	330	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	222	-	245	MPa
Fatigue strength model (stress amplitude)	195	-	278	MPa

Parametrans: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles



Impact & fracture properties

Fracture toughness

116 - 129
MPa.m^{0.5}

Toughness (G)

66,5 - 81,4 kJ/m²

Thermal properties

Melting point

* 1,48e3 - 1,53e3 °C

Maximum service temperature

377 - 727 °C

Minimum service temperature

-40 °C

Thermal conductivity

58 - 62,8 W/m.°C

Specific heat capacity

* 486 - 506 J/kg.°C

Thermal expansion coefficient

11,2 - 11,8
μstrain/°C

Thermal shock resistance

140 - 158 °C

Thermal distortion resistance

* 5 - 5,49 MW/m

Latent heat of fusion

* 270 - 275 kJ/kg

Ansys Granta provides no warranty for this data.

Low alloy steel, AISI 4320, annealed

General information

Designation

Low alloy steel, AISI 4320, annealed

Condition	Annealed
UNS number	G43200
US name	AMS 6294, ~SAE 4320, ~SAE 4320, ~ASTM 4320, ~ASTM G43200, ~ASTM 4320H, ~ASTM 4320
ISO name	~E460 Quality DD
JIS (Japanese) name	~ SNCM 420, ~SNCM420RCH, ~SNCM420H

Typical uses

General construction, general mechanical engineering, automotive, tools, axles, gears, springs.

Composition overview

Compositional summary

Fe96-97 / Ni1.6-2 / Mn0.45-0.65 / Cr0.4-0.6 / Mo0.2-0.3 / Si0.15-0.35 / C0.17-0.22 (impurities: S<0.04, P<0.035)

Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0,17	-	0,22	%
Cr (chromium)	0,4	-	0,6	%
Fe (iron)	* 95,8	-	97	%
Mn (manganese)	0,45	-	0,65	%
Mo (molybdenum)	0,2	-	0,3	%
Ni (nickel)	1,65	-	2	%
P (phosphorus)	0	-	0,035	%
S (sulfur)	0	-	0,04	%
Si (silicon)	0,15	-	0,35	%

Price

Price	* 3,88e3	-	4,38e3	COP/kg
Price per unit volume	* 3,03e7	-	3,46e7	COP/m ³

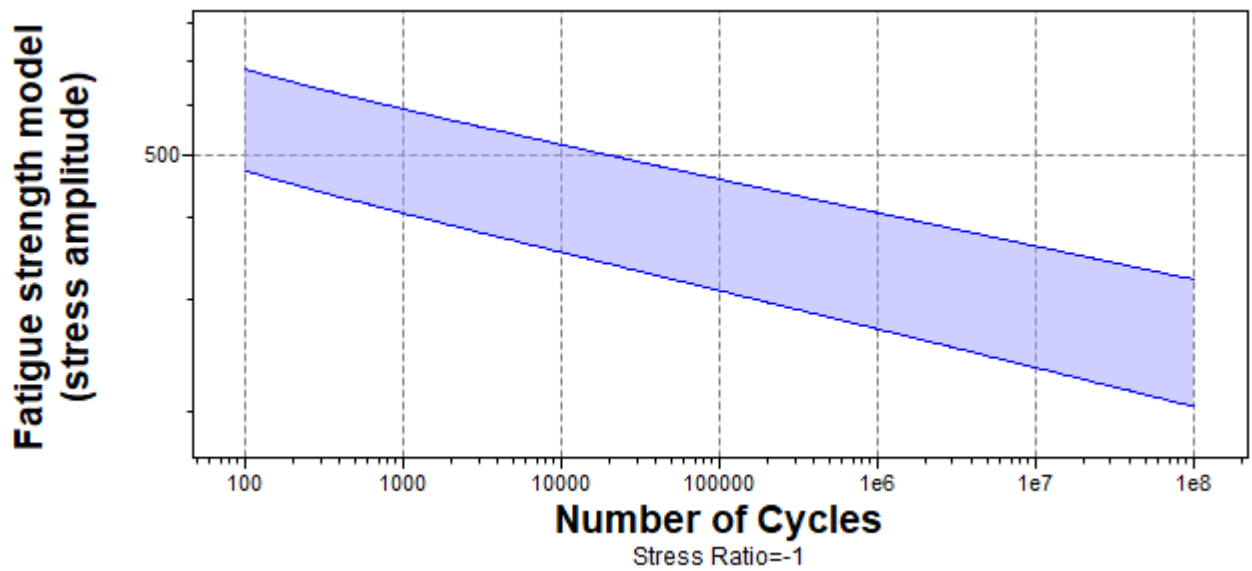
Physical properties

Density	7,8e3	-	7,9e3	kg/m ³
---------	-------	---	-------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	201	-	212	GPa
Specific stiffness	25,6	-	27	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	380	-	470	MPa
Tensile strength	520	-	640	MPa
Specific strength	48,4	-	59, 9	kN.m/kg
Elongation	23	-	35	% strain
Compressive strength	* 550	-	670	MPa
Flexural modulus	* 201	-	212	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	550	-	670	MPa
Shear modulus	77	-	83	GPa
Bulk modulus	155	-	173	GPa
Poisson's ratio	0,285	-	0,295	
Shape factor	52			
Hardness - Vickers	150	-	190	HV
Elastic stored energy (springs)	353	-	530	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 270	-	314	MPa
Fatigue strength model (stress amplitude)	* 234	-	362	MPa

Parámetros: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles



Impact & fracture properties

Fracture toughness

* 65 - 103
MPa.m^{0.5}

Toughness (G)

21,4 - 49,2 kJ/m²

Thermal properties

Melting point

1,48e3 - 1,52e3 °C

Maximum service temperature

* 639 - 661 °C

Minimum service temperature

* -73 - -48 °C

Thermal conductivity

* 35 - 50 W/m.°C

Specific heat capacity

* 440 - 520 J/kg.°C

Thermal expansion coefficient

10,5 - 12 μstrain/°C

Thermal shock resistance

161 - 207 °C

Thermal distortion resistance

* 3,09 - 4,5 MW/m

Latent heat of fusion

* 265 - 280 kJ/kg

Low alloy steel, AISI 4320, normalized

General information

Designation

Low alloy steel, AISI 4320, normalized

Condition	Normalized
UNS number	G43200
US name	AMS 6294, ~SAE 4320, ~SAE 4320, ~ASTM 4320, ~ASTM G43200, ~ASTM 4320H, ~ASTM 4320
ISO name	~E460 Quality DD
JIS (Japanese) name	~ SNCM 420, ~SNCM420RCH, ~SNCM420H

Typical uses

General construction, general mechanical engineering, automotive, tools, axles, gears, springs.

Composition overview

Compositional summary

Fe96-97 / Ni1.6-2 / Mn0.45-0.65 / Cr0.4-0.6 / Mo0.2-0.3 / Si0.15-0.35 / C0.17-0.22 (impurities: S<0.04, P<0.035)

Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0,17	-	0,22	%
Cr (chromium)	0,4	-	0,6	%
Fe (iron)	* 95,8	-	97	%
Mn (manganese)	0,45	-	0,65	%
Mo (molybdenum)	0,2	-	0,3	%
Ni (nickel)	1,65	-	2	%
P (phosphorus)	0	-	0,035	%
S (sulfur)	0	-	0,04	%
Si (silicon)	0,15	-	0,35	%

Price

Price	* 3,88e3	-	4,38e3	COP/kg
Price per unit volume	* 3,03e7	-	3,46e7	COP/m ³

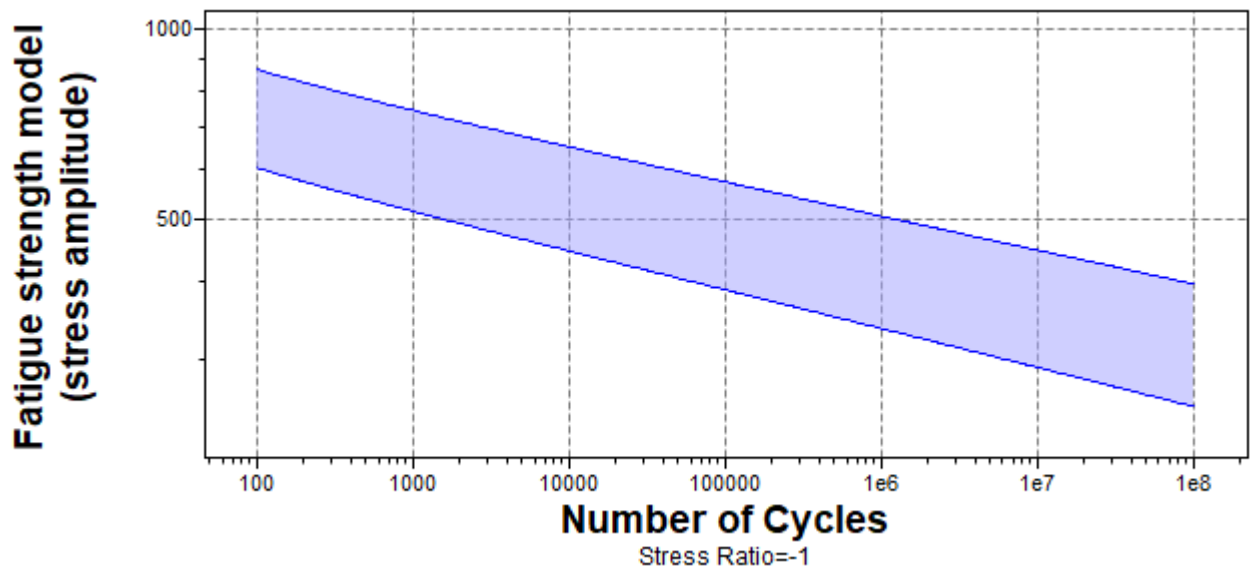
Physical properties

Density	7,8e3	-	7,9e3	kg/m ³
---------	-------	---	-------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	201	-	212	GPa
Specific stiffness	25,6	-	27	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	415	-	515	MPa
Tensile strength	710	-	875	MPa
Specific strength	52,9	-	65,6	kN.m/kg
Elongation	17	-	25	% strain
Compressive strength	* 415	-	515	MPa
Flexural modulus	* 201	-	212	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	415	-	515	MPa
Shear modulus	77	-	83	GPa
Bulk modulus	155	-	173	GPa
Poisson's ratio	0,285	-	0,295	
Shape factor	50			
Hardness - Vickers	215	-	265	HV
Elastic stored energy (springs)	421	-	637	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 336	-	390	MPa
Fatigue strength model (stress amplitude)	* 292	-	448	MPa

Parámetros: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles



Impact & fracture properties

Fracture toughness

* 79 - 128
MPa.m^{0.5}

Toughness (G)

31,7 - 75,8 kJ/m²

Thermal properties

Melting point

1,48e3 - 1,52e3 °C

Maximum service temperature

* 639 - 661 °C

Minimum service temperature

* -68 - -43 °C

Thermal conductivity

* 35 - 50 W/m.°C

Specific heat capacity

* 440 - 520 J/kg.°C

Thermal expansion coefficient

10,5 - 12 μstrain/°C

Thermal shock resistance

176 - 227 °C

Thermal distortion resistance

* 3,09 - 4,5 MW/m

Latent heat of fusion

* 265 - 280 kJ/kg

Low alloy steel, AISI 4820, annealed

General information

Designation

Low alloy steel, AISI 4820, annealed

Condition	Annealed
UNS number	G48200
US name	SAE 4820, ASTM G48200, ASTM 4820, ~ASTM 4820

Typical uses

General construction, general mechanical engineering, automotive, tools, axles, gears, springs.

Composition overview

Compositional summary

Fe95-96 / Ni3.2-3.8 / Mn0.5-0.7 / Mo0.2-0.3 / Si0.15-0.35 / C0.18-0.23 (impurities: S<0.04, P<0.035)

Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0,18	-	0,23	%
Fe (iron)	* 94,6	-	95,7	%
Mn (manganese)	0,5	-	0,7	%
Mo (molybdenum)	0,2	-	0,3	%
Ni (nickel)	3,25	-	3,75	%
P (phosphorus)	0	-	0,035	%
S (sulfur)	0	-	0,04	%
Si (silicon)	0,15	-	0,35	%

Price

Price	* 4,65e3	-	5,26e3	COP/kg
Price per unit volume	* 3,62e7	-	4,15e7	COP/m^3

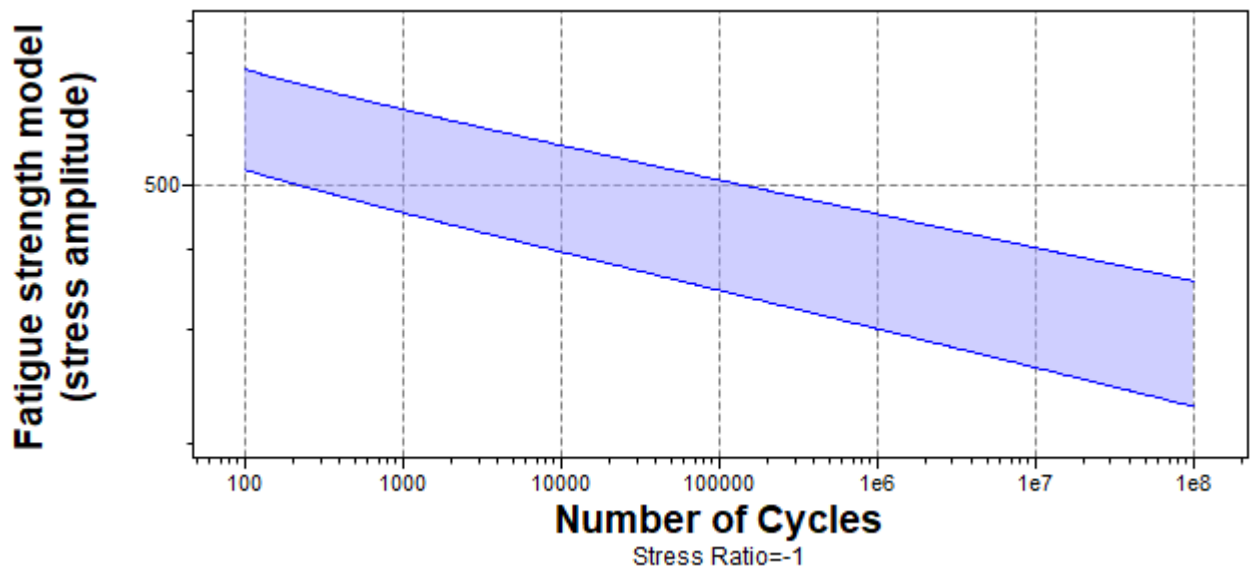
Physical properties

Density	7,8e3	-	7,9e3	kg/m^3
---------	-------	---	-------	--------

Mechanical properties

Young's modulus	201	-	212	GPa
Specific stiffness	25,6	-	27	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	410	-	515	MPa
Tensile strength	610	-	750	MPa
Specific strength	52,2	-	65,6	kN.m/kg
Elongation	18	-	27	% strain
Compressive strength	* 410	-	515	MPa
Flexural modulus	* 201	-	212	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	410	-	515	MPa
Shear modulus	77	-	83	GPa
Bulk modulus	155	-	173	GPa
Poisson's ratio	0,285	-	0,295	
Shape factor	50			
Hardness - Vickers	183	-	223	HV
Elastic stored energy (springs)	411	-	636	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 302	-	350	MPa
Fatigue strength model (stress amplitude)	* 263	-	402	MPa

Parámetros: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles



Impact & fracture properties

Fracture toughness	* 68	-	111	
	MPa.m ^{0.5}			
Toughness (G)	23,5	-	56,9	kJ/m ²

Thermal properties

Melting point	1,48e3	-	1,52e3	°C
Maximum service temperature	* 638	-	660	°C
Minimum service temperature	* -73	-	-48	°C
Thermal conductivity	* 35	-	50	W/m.°C
Specific heat capacity	460	-	500	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	10,5	-	13	μstrain/°C
Thermal shock resistance	163	-	222	°C
Thermal distortion resistance	* 2,92	-	4,39	MW/m
Latent heat of fusion	* 265	-	280	kJ/kg

Low alloy steel, AISI 4820, normalized

General information

Designation

Low alloy steel, AISI 4820, normalized

Condition	Normalized
UNS number	G48200
US name	SAE 4820, ASTM G48200, ASTM 4820, ~ASTM 4820

Typical uses

General construction, general mechanical engineering, automotive, tools, axles, gears, springs.

Composition overview

Compositional summary

Fe95-96 / Ni3.2-3.8 / Mn0.5-0.7 / Mo0.2-0.3 / Si0.15-0.35 / C0.18-0.23 (impurities: S<0.04, P<0.035)

Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0,18	-	0,23	%
Fe (iron)	* 94,6	-	95,7	%
Mn (manganese)	0,5	-	0,7	%
Mo (molybdenum)	0,2	-	0,3	%
Ni (nickel)	3,25	-	3,75	%
P (phosphorus)	0	-	0,035	%
S (sulfur)	0	-	0,04	%
Si (silicon)	0,15	-	0,35	%

Price

Price	* 4,65e3	-	5,26e3	COP/kg
Price per unit volume	* 3,62e7	-	4,15e7	COP/m^3

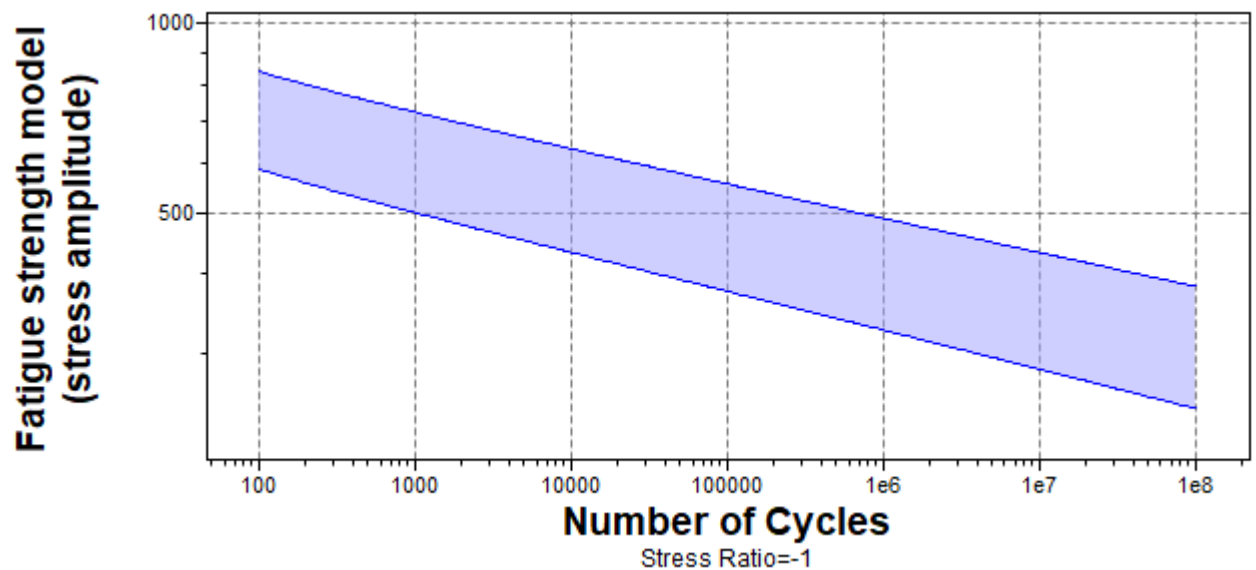
Physical properties

Density	7,8e3	-	7,9e3	kg/m^3
---------	-------	---	-------	--------

Mechanical properties

Young's modulus	201	-	212	GPa
Specific stiffness	25,6	-	27	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	435	-	535	MPa
Tensile strength	675	-	830	MPa
Specific strength	55,4	-	68,2	kN.m/kg
Elongation	19	-	29	% strain
Compressive strength	* 435	-	535	MPa
Flexural modulus	* 201	-	212	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	435	-	535	MPa
Shear modulus	77	-	83	GPa
Bulk modulus	155	-	173	GPa
Poisson's ratio	0,285	-	0,295	
Shape factor	48			
Hardness - Vickers	210	-	260	HV
Elastic stored energy (springs)	462	-	688	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 325	-	376	MPa
Fatigue strength model (stress amplitude)	* 282	-	433	MPa

Parámetros: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles



Impact & fracture properties

Fracture toughness	* 72	-	115	
	MPa.m ^{0.5}			
Toughness (G)	26,2	-	61,3	kJ/m ²

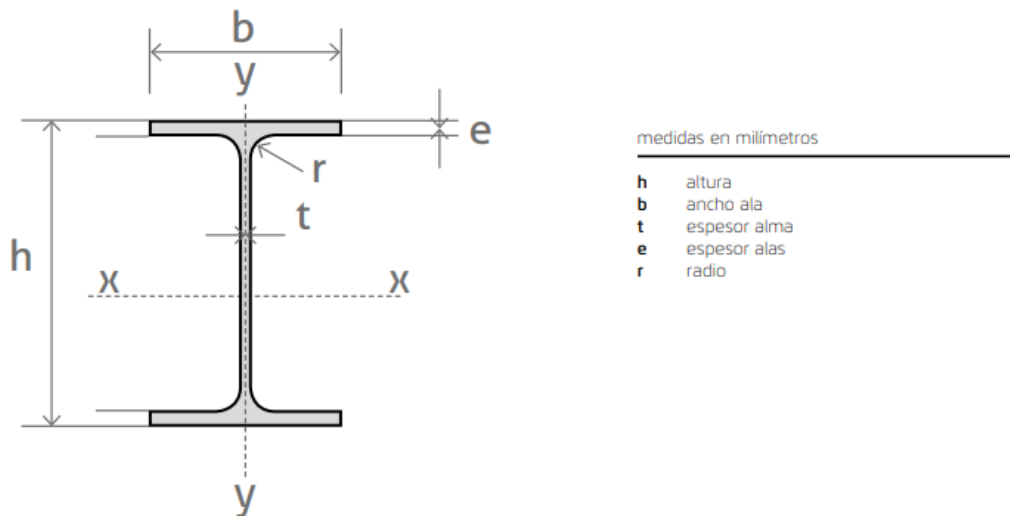
Thermal properties

Melting point	1,48e3	-	1,52e3	°C
Maximum service temperature	* 638	-	660	°C
Minimum service temperature	* -73	-	-43	°C
Thermal conductivity	* 35	-	50	W/m.°C
Specific heat capacity	460	-	500	J/kg. °C
Thermal expansion coefficient	10,5	-	13	μstrain/°C
Thermal shock resistance	173	-	232	°C
Thermal distortion resistance	* 2,92	-	4,39	MW/m
Latent heat of fusion	* 265	-	280	kJ/kg

8.2 ANEXO A2 DIMENSIONES BIGAS H

En el siguiente anexo, se dimensionará y se analizarán las vigas H mediante elementos finitos con el fin de obtener una estructura capaz de soportar la cuba junto con el zinc fundido; para obtener las dimensiones, se realiza la búsqueda en un catálogo

Figura 35 Catalogo de bigas H.

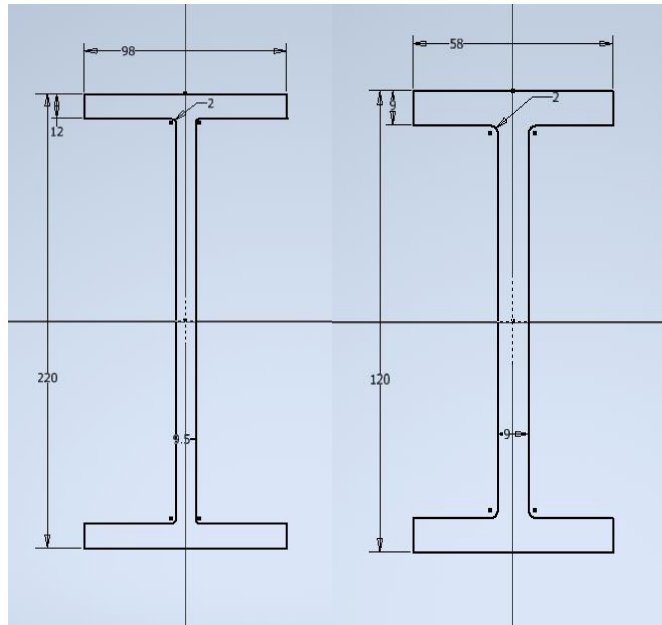


Código SAP (L 6m)	Código SAP (L 12m)	Viga	Medidas mm				Peso kg/m	Momento inercia cm ⁴		Módulo resistente cm ³		Calidad
			h	b	t	e		I _x	I _y	W _x	W _y	
29416	33330	IPE 160	160	82	5,0	7,4	15,8	869,0	68,3	109,0	16,7	ASTM A 36
34259	34399	WF 150 x 18,0	153	102	5,8	7,1	18,0	939,0	126,0	122,8	24,7	ASTM A 572 GR 50
29417	33333	IPE 180	180	91	5,3	8,0	18,8	1320,0	101,0	146,0	22,2	ASTM A 36
		WF 150 x 24,0	160	102	6,6	10,3	24,0	1384,0	183,0	173,0	35,9	ASTM A 572 GR 50
29418	30249	IPE 200	200	100	5,6	8,5	22,4	1940,0	142,0	194,0	28,5	ASTM A 36
29462	31599	WF 200 x 22,5	206	102	6,2	8,0	22,5	2029,0	142,0	197,0	27,9	ASTM A 572 GR 50
29419	30310	IPE 220	220	110	5,9	9,2	26,2	2770,0	205,0	252,0	37,3	ASTM A 36
34261	34403	WF 200 x 26,6	207	133	5,8	8,4	26,6	2611,0	330,0	252,3	49,6	ASTM A 572 GR 50

Fuente: Catalogo de vigas de acero prodalam.

Una vez seleccionadas las dimensiones del catálogo se realizará un diseño a criterio del ingeniero, ya que las vigas comerciales no cuentan con el material asignado es necesario realizar el siguiente modelamiento.

Figura 36 Vigas H 220 y 120



Fuente: elaborado mediante Inventor por el autor.

De esta manera, la Viga 220 se usará con el doble propósito de ser columna con una longitud de 0.710 m y viga con una longitud de 1.5m; Para la 120 se usará con el propósito de ser los soportes para la cuba con una longitud de 0.230m, también se usarán platinas de 12 mm de espesor teniendo en cuenta la altura y la longitud de las aletas de la viga 120 por lo tanto el modelo es el siguiente:

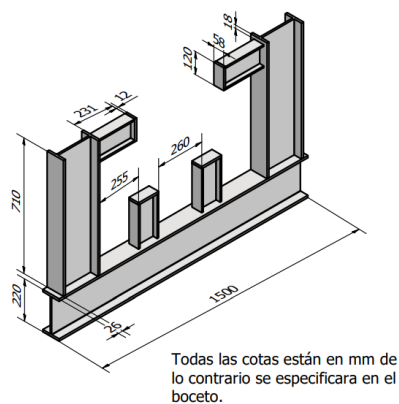
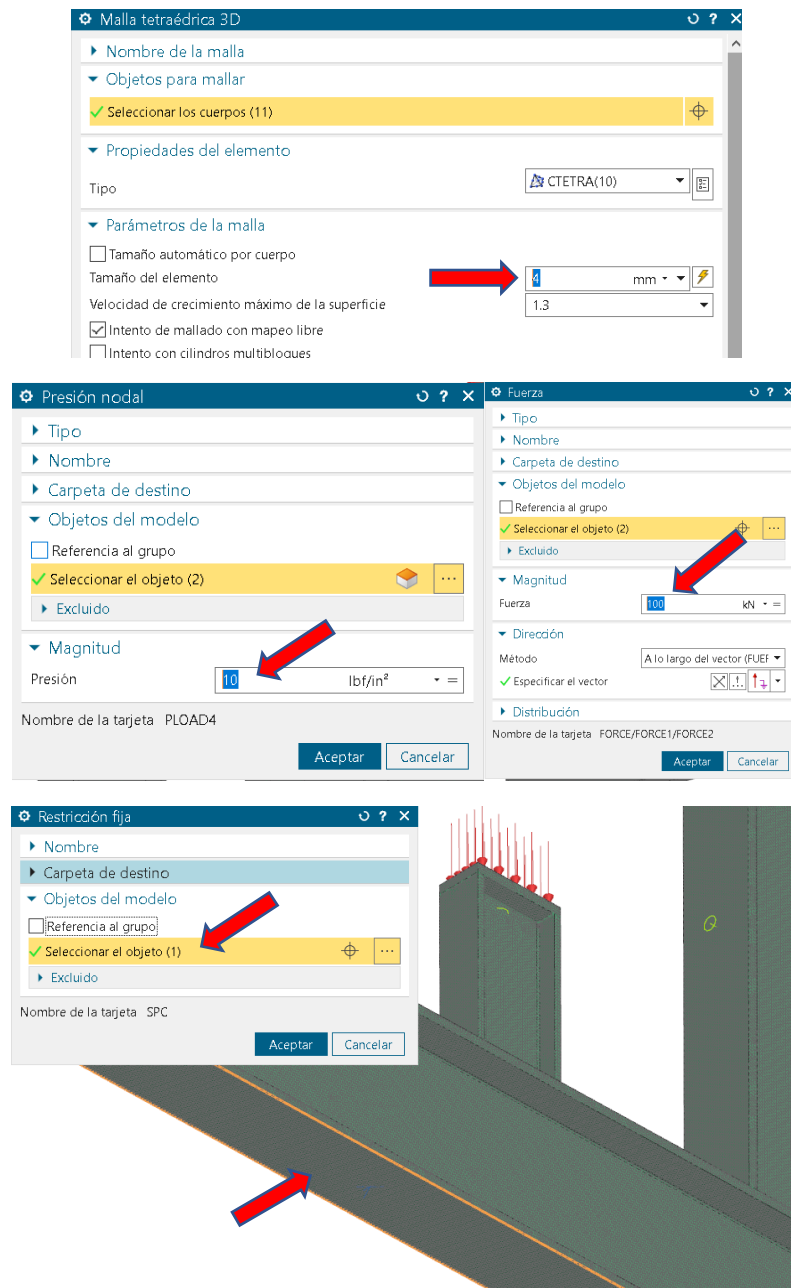


Figura 37 Modelo de estructura en Vigas H

Fuente: elaborado por el autor mediante Inventor.

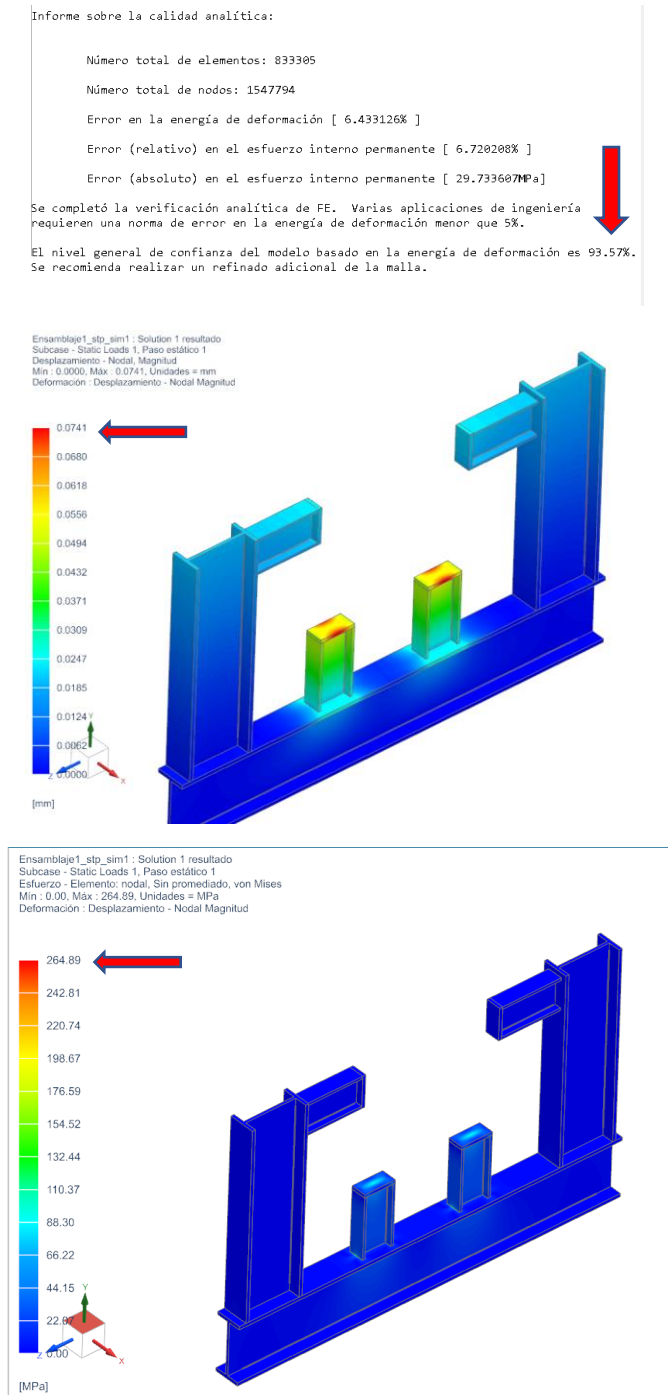
Continuando, una vez modelado se realiza en NX la simulación comprobando que la estructura cumpla con los requisitos mecánicos mediante un mallado de 4mm, aplicando las presiones y fuerzas generadas por la cuba, por lo tanto, el procedimiento junto con los resultados son los siguientes:

Figura 38 Procedimiento de simulación para estructura.



Fuente: elaborado por el autor mediante NX.

Figura 39 Resultados simulación estructura.

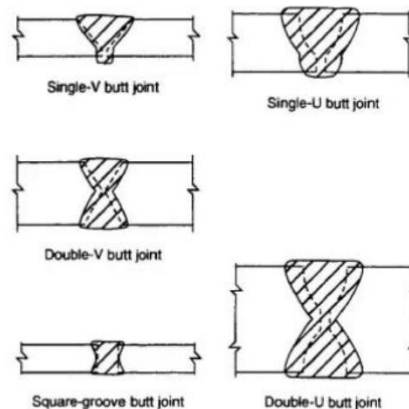


Fuente: elaborado por el autor mediante NX.

Finalizando con la simulación y analizando los resultados la estructura es capaz de soportar 10 toneladas y una presión de 10psi en los apoyos con un factor alto de seguridad y un desplazamiento mínimo, por lo tanto, es apropiada y cumple con los requisitos de diseño, por otra parte, es necesario realizar las juntas de soldadura que unirán las láminas para construir las vigas H ya que por su material no las venden de catálogo.

Para el diseño de juntas verticales y horizontales, Según el “CODIGO API 650 TANQUES DE ACERO SOLDADOS PARA ALMACENAMIENTO” sección 5.1.5.2 Juntas verticales del cuerpo. A. Las soldaduras deben ser a tope con completa penetración y completa fusión, como las obtenidas por soldadura por ambos lados o por procedimientos de soldadura que produzcan la misma calidad de metal depositado por ambos lados de la junta.

Figura 40 Tipos de juntas según la norma API 650.



Fuente: Código API 650 sección 5.1.5.2 Juntas verticales y horizontales.

Continuando, se selecciona la junta en doble v y se procede a calcular las áreas de las juntas con el fin de encontrar la cantidad de electrodos necesarios; el electrodo que se utilizará, será de acero inoxidable 316L el cual cuenta con propiedades similares al material y no necesita de precalentamiento, los cálculos para encontrar la cantidad necesaria de soldadura para la estructura se encuentran en la tabla 4, las juntas se aprecian en el siguiente plano, junto con la estructura y los materiales necesarios para su construcción.

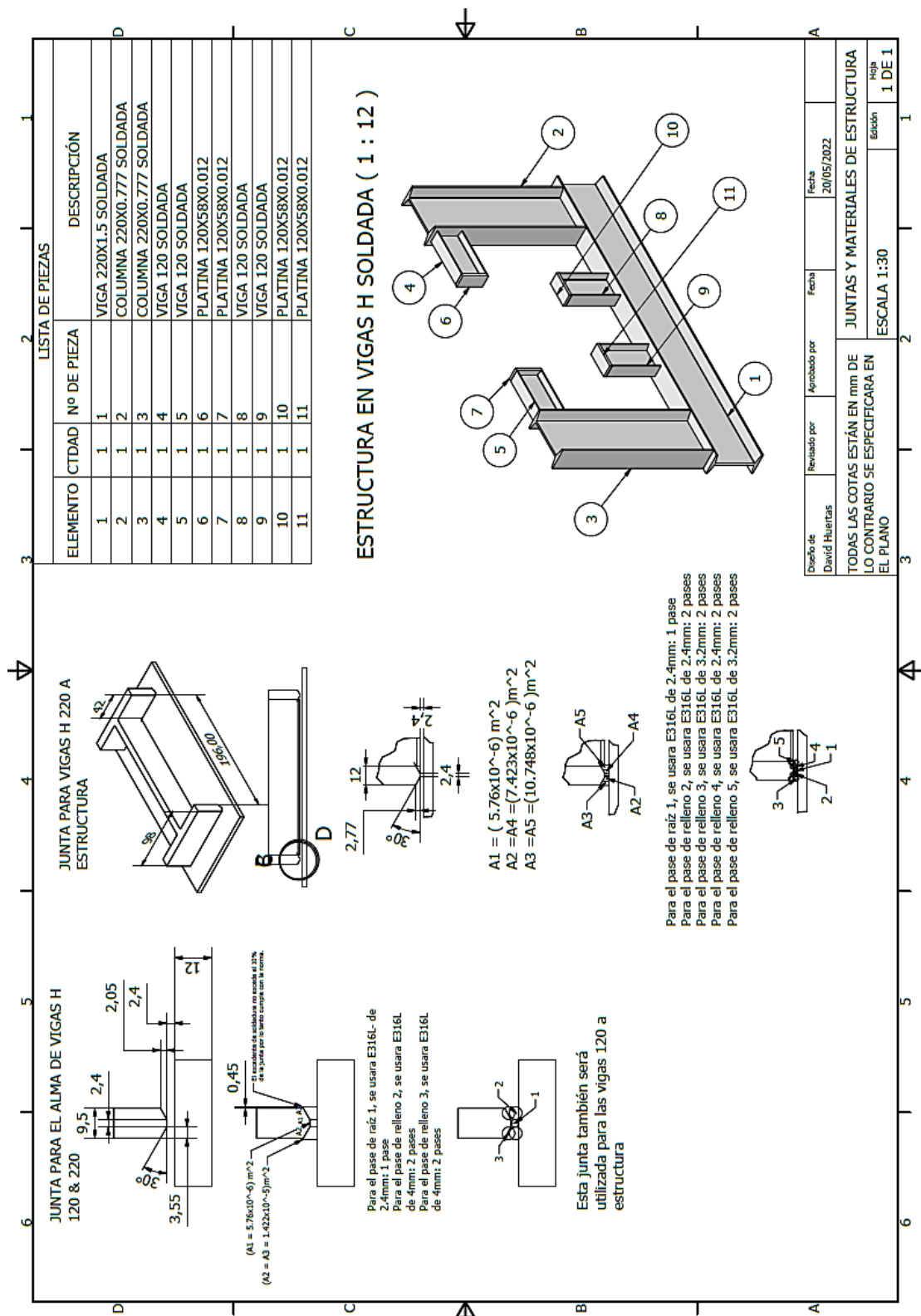


Tabla 7 Calculo de kilogramos de electrodos necesarios para la estructura.

Dimensiones Bigas H				
Piezas	Altura (m)	Longitud (m)	Altura Alma	Longitud Aleta
Columna	0.22	1.5	0.196	0.098
Viga	0.22	0.71	0.196	0.098
Soporte	0.12	0.23	0.096	0.058

Calculo densidad de los electrodos 316-L					
Diámetro (mm)	Diámetro (m)	Longitud (m)	Peso (Kg)	Volumen m ³	Densidad Kg/m ³
2.4	0.0024	0.3	0.01333	1.35717E-06	9824.4
3.2	0.0032	0.35	0.02941	2.81487E-06	10448.7
4	0.004	0.35	0.04166	4.39823E-06	9473.5

Áreas junta alma y aletas				
Diámetro (mm)	m ²	Longitud Soldar	Volumen Junta	Kilogramos de soldadura
2.4	0.00000576	3.84	2.21184E-05	0.4346
3.2	0.00001422	3.84	5.46048E-05	1.035
4	0.00001422	3.84	5.46048E-05	1.035

Área junta Viga y columna 220				
Diámetro (mm)	Áreas m ²	Longitud Soldar	Volumen Junta	Kilogramos de soldadura
2.4	0.00000576	0.392	2.25792E-06	0.04437
2.4	0.000007423	0.392	2.90982E-06	0.05717
3.2	0.000010748	0.392	4.21322E-06	0.08805
2.4	0.000007423	0.392	2.90982E-06	0.05717
3.2	0.000010748	0.392	4.21322E-06	0.08805

Junta soportes y platinas				
Diámetro (mm)	Áreas m ²	Longitud Soldar	Volumen Junta	Kilogramos de soldadura
2.4	0.00000576	0.212	1.22112E-06	0.0960
4	0.00001422	0.212	3.01464E-06	0.228
4	0.00001422	0.212	3.01464E-06	0.228
Diámetro (mm)	Kilogramos	X estructuras	5	Total, Kilogramos
2.4	1	5		9
3.2	1	5		9
4	3	15		25
		60%		100%

Fuente: elaboración propia.

8.3 ANEXO A3: SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En el siguiente anexo se encuentran las tablas de selección de equipos, y materiales estructurales con el fin de escoger la mejor alternativa.

Mediante la siguiente tabla comparativa, se realizará la selección de alternativas del quemador industrial con una calificación de 1 a 5; teniendo en cuenta los criterios para la disminución de costos y eficiencia del equipo. (se selecciona el mayor puntaje)

Tabla 8 Selección alternativas sobre quemadores industriales.

Criterio de selección Quemador industrial.	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Total	Cotización página WEB
	Precio	Combustible	Facilidad de envío	Proveniente de		
Estrategia 1	Calificación				3.125	https://dentemise.com.mx/quemador-industrial-eco-30-ol-c2a-high-low/
ECO 30 OL C2A 	4	1	3.5	4		
	19,546,000.00	Diésel	Media	México		
	\$					
Estrategia 2 DUAL 2600	Calificación				3.375	https://equiseal.com.co/quemador-dual-dos-etapas/
Quemador a gas dual de dos tapas 	3	4.5	3	3		
	23,826,000.00	GLP/Natural	baja	Europa		
	\$					
Estrategia 3 QR 2600	Calificación				4.825	https://www.meltronetia.com/alternativas-quemadores/
	4.8	4.5	5	5		
	13,580,000.00	GLP	Alta	Colombia		
	\$					

Fuente: Elaboración Propia.

Continuando, se realiza una comparación sobre las dimensiones de las piscinas que se encuentran ubicadas en diferentes ciudades de Colombia según el registro de la guía de galvanizado por inmersión en caliente, Figura 5; Siguiendo los criterios de calificación anteriores, se selecciona la estrategia 1, la cual cumple con la necesidad de la empresa, teniendo en cuenta las dimensiones de sus piezas a galvanizar

Tabla 9 Selección de alternativas dimensiones de la cuba.

Criterio de selección dimensiones cuba	Criterio 1			Criterio 2	Criterio 3	Total
	Largo(m)	Ancho(m)	Profundidad(m)	Volumen	Necesidad de la empresa	
Estrategia 1	Calificación					4.86
	4.8	5	5	4.5	5	
Cuba Bogotá	2.5	0.5	0.5	0.625		
Estrategia 2	Calificación					3.3
	4	3	3.5	3	3	
Cuba Barranquilla	1.2	0.6	0.1	0.072		
Estrategia 3	Calificación					1.5
	2.5	2	1	1	1	
Cuba Medellín	3	1.2	8	28.8		
Estrategia 4	Calificación					1
	1	1	1	1	1	
Cuba Bucaramanga	6.3	1	1	6.3		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10 Selección de alternativas para estructura de la cuba.

Criterio de selección de estructura para sostener la cuba	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Total
	Capacidad de carga	Baja deformación	Alta temperatura de operación	Costo	Bajo mantenimiento	
Estrategia 1 Ladrillos refractario	Calificación					2.8
	1	2	5	5	1	
	Cotización Pagina WEB					
	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-594847511-ladrillo-refractario-prensado-1500c-35-kilos-JM#position=39&search_layout=stack&type=item&tracking_id=82b9dc48-5def-4a86-bc9b-65ff6d92515b					
Estrategia 2 Estructura en Tubería	Calificación					3.6
	4	4	2	5	3	
	Cotización Pagina WEB					
	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/86539/tubo-cerramiento-negro-2pq-x-25mm-x-6m/86539/					
Estrategia 3 Estructura en H	Calificación					4.06
	5	4.8	5	1	4.5	
	Cotización Pagina WEB					
	https://www.ggdmetals.com.br/es/produto/sae-4320/					

Fuente: Elaboración propia.

Dando conclusión a la tabla 10, determinamos que la mejor alternativa para la selección de material para la estructura es la estrategia 3, la cual cumple con los criterios requeridos y tiene la capacidad de soportar las cargas impuestas por la cuba.

Continuando, determinamos mediante la Tabla 11 la mejor opción de material para la estructura de la cuba y la cuba, utilizando los criterios de propiedades y costos de los aceros; También, usando la selección de **Granta Edupack**, la cual nos ayuda a limitar y darnos un listado específico de aceros bajo carbono que cumplen con los parámetros específicos que pueden verse reflejados en los criterios, dando como resultado la selección de un acero bajo carbono de la familia de los inoxidables 4320.

Tabla 11 Criterio de selección de material para la estructura y cuba.

Criterio de selección de Material	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Total
	Limite elástico	Conductividad Térmica	Alta temperatura de operación	Costo	
Estrategia 1	Calificación				
Aceros bajo Carbono	5	5	5	3	4.5
Estrategia 2	Calificación				
Aceros Medio y Alto Carbono	5	5	0	4.5	3.6

Criterio de selección de Material Mediante Granta.	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Total
	Limite elástico	Conductividad Térmica	Alta temperatura de operación	Costo	
Estrategia 1	Calificación				
Acero - SA216	5	5	5	3.4	4.6
Estrategia 2	Calificación				
Acero-4320-recocido	5	5	5	4.5	4.9
Estrategia 3	Calificación				
Acero-4320-Normalizado	5	4	5	3.5	4.4
Estrategia 4	Calificación				
Acero-4820-recocido	5	3.5	5	3	4.1
Estrategia 5	Calificación				
Acero-4820-Normalizado	5	3	5	2.5	3.9

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, continuando con la selección y criterios, mediante la Tabla 12 obtenemos la evidencia de los precios actuales sobre los materiales necesarios para el diseño; Se consulto a 3 proveedores diferentes para cada articulo con el fin de encontrar el de menor precio y seleccionarlo para realizar una sumatoria total con las cantidades necesarias con el fin de obtener el costo final; ya que los precios pueden variar a través del tiempo, se añaden las paginas de los insumos para realizar cotizaciones nuevas si es necesario.

Tabla 12 Selección de materiales y evidencia de cotizaciones.

SELECCIÓN DE COSTOS MEDIANTE PROVEEDORES		
ACERO 4320	PAGINA COTIZACION	PRECIO (kilogramo)
PROVEEDOR 1	https://es.made-in-china.com/co_6503217827ddd9cc/product_ASTM-A36-Hot-Rolled-Checkered-Plate-S235jr-Steel-Sheet-4320-Boat-Sheet-A283-A387-MS-Mild-Alloy-Carbon-Iron-Sheets-Coil_uogyhhseiy.html	\$ 2,800.00
PROVEEDOR 2	https://www.ggdmetals.com.br/es/produto/sae-4320/	\$ 7,600.00
PROVEEDOR 3	https://www.totalmateria.com/subgroup.aspx?LN=ES&id1=250393&db=S	\$ 8,600.00
ARENA	PAGINA DE COTIZACION	PRECIO (kilogramo)
PROVEEDOR 1	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/297065/arena-de-pena-40kg/297065/?queryId=3cfdafab-30b8-4b25-9242-82132f0c2125	\$ 9,300.00
PROVEEDOR 2	https://www.easy.com.co/p/arena-de-pena-zarandead-a-x-bt-40-kg/	\$ 11,590.00
PROVEEDOR 3	https://www.almacencanaima.com/producto/1321/arena-mona-amarilla	\$ 13,200.00
CONCRETO REFRACTARIO	PAGINA DE COTIZACION	Precio (Unidad)
PROVEEDOR 1	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-520223832-concreto-refractario-para-alta-temperatura-JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=542c4004-d8f7-4849-8c8b-d9e42a8ed382	\$ 58,000.00
PROVEEDOR 2	https://psiconcreto.com/concreto-refractario/	\$ 65,000.00
PROVEEDOR 3	https://www.ce-fire.com/2014/02/concreto-refractario/	\$ 62,000.00
LADRILLO REFRACTARIO	PAGINA DE COTIZACION	Precio (Unidad)

PROVEEDOR 1	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/159253/ladrillo-refractario-24x125x4-15-kilos-36u-m2-1400c/159253/?queryId=c9044d1d-e761-4de0-bc52-9ffe8fefe3f2	\$ 1,700.00
PROVEEDOR 2	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-594847511-ladrillo-refractario-prensado-1500c-35-kilos-JM#position=39&search_layout=stack&type=item&tracking_id=82b9dc48-5def-4a86-bc9b-65ff6d92515b	\$ 5,800.00
PROVEEDOR 3	https://www.refractariosdecolombia.com/product-page/ladrillo-refractario-25x12-5x7-5	\$ 7,500.00
FIBRA DE VIDRIO	PAGINA DE COTIZACION	Precio (Rollo)
PROVEEDOR 1	https://www.malvaringenieria.com/fibra_vidrio.html	\$ 772,682.00
PROVEEDOR 2	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/guias-de-compra/Aislamiento-en-fibra-de-vidrio/	\$ 826,950.00
PROVEEDOR 3	https://www.aislasur.com/la-fibra-de-vidrio-como-aislante-acustico-y-termico/	\$ 930,990.00
CHAPA METALICA 2mm	PAGINA DE COTIZACION	PRECIO (kilogramo)
PROVEEDOR 1	https://www.cqa.com.co/maxdur/	\$ 456,000.00
PROVEEDOR 2	https://tienda.fajobe.com.co/producto/lamina-hr-a36-3-0-mm-1-2x6mt/	\$ 1,309,409.00
PROVEEDOR 3	https://www.cqa.com.co/producto/lamina-a36/	\$ 889,950.00
PINTURA ALTAS TEMPERATURAS	PAGINA DE COTIZACION	PRECIO (Galón)
PROVEEDOR 1	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-804148822-pintura-alta-temperatura-14-galon-negro-mate-JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=656b8f45-3e26-4f7a-8216-ecd5f13bb590	\$ 780,000.00
PROVEEDOR 2	https://www.pintomicasa.com/2019/01/pinturas-especiales-para-altas-temperaturas-atemricas-e-ignifugas.html	\$ 985,600.00
PROVEEDOR 3	https://www.corimonpinturas.com/productos/productos-de-mantenimiento-industrial/resistentes-a-altas-temperaturas/	\$ 635,000.00
SOLDADURA	PAGINA DE COTIZACION	PRECIO (kilogramo)
PROVEEDOR 1	https://www.amazon.com/-/es/Forney-31610-Varilla-soldadura-pulgadas/dp/B00880S99I/ref=psdc_13400511_t3_B01D7K0JO6	\$ 127,317.00
PROVEEDOR 2	https://soldadurasindustriales.com/producto/e316l-16-grinox-10-de-4-00-mm/	\$ 126,678.00
PROVEEDOR 3	https://www.esab.com.ar/westarco/sp/products/filler-metals/covered-stick-electrodes-smaw/stainless-steel-electrodes/cromarco-316l-16-premium.cfm	\$ 145,950.00
CILINDROS OXICORTE	PAGINA DE COTIZACION	PRECIO
PROVEEDOR 1	https://codinsa.cl/inicio/21-equipo-para-soldaduras-oxicorte.html	\$ 595,000.00
PROVEEDOR 2	https://www.olx.com.co/item/vendo-cilindros-para-equipo-de-oxicorte-iiid-1109756228	\$ 1,200,000.00
PROVEEDOR 3	https://okila.net/categoria/linea-de-oxicorte/	\$ 796,300.00

Fuente: Elaboración propia.

8.4 ANEXO A4: PLANOS

En esta sección se muestran los respectivos planos de la cuba junto con la tabla de cálculo de soldadura necesaria.

Tabla 13 Cálculo de kilogramos de electrodos necesarios para la cuba

Dimensiones cuba	
Altura	0.53
Longitud	2.524
Ancho	0.5

Cálculo densidad de los electrodos					
Diámetro (mm)	Diámetro (m)	Longitud (m)	Peso (Kg)	Volumen m ³	Densidad Kg/m ³
2.4	0.0024	0.3	0.0133333	0.0000014	9824.3792032
3.2	0.0032	0.35	0.0294118	0.0000028	10448.7226295
4	0.004	0.35	0.0416667	0.0000044	9473.5085174

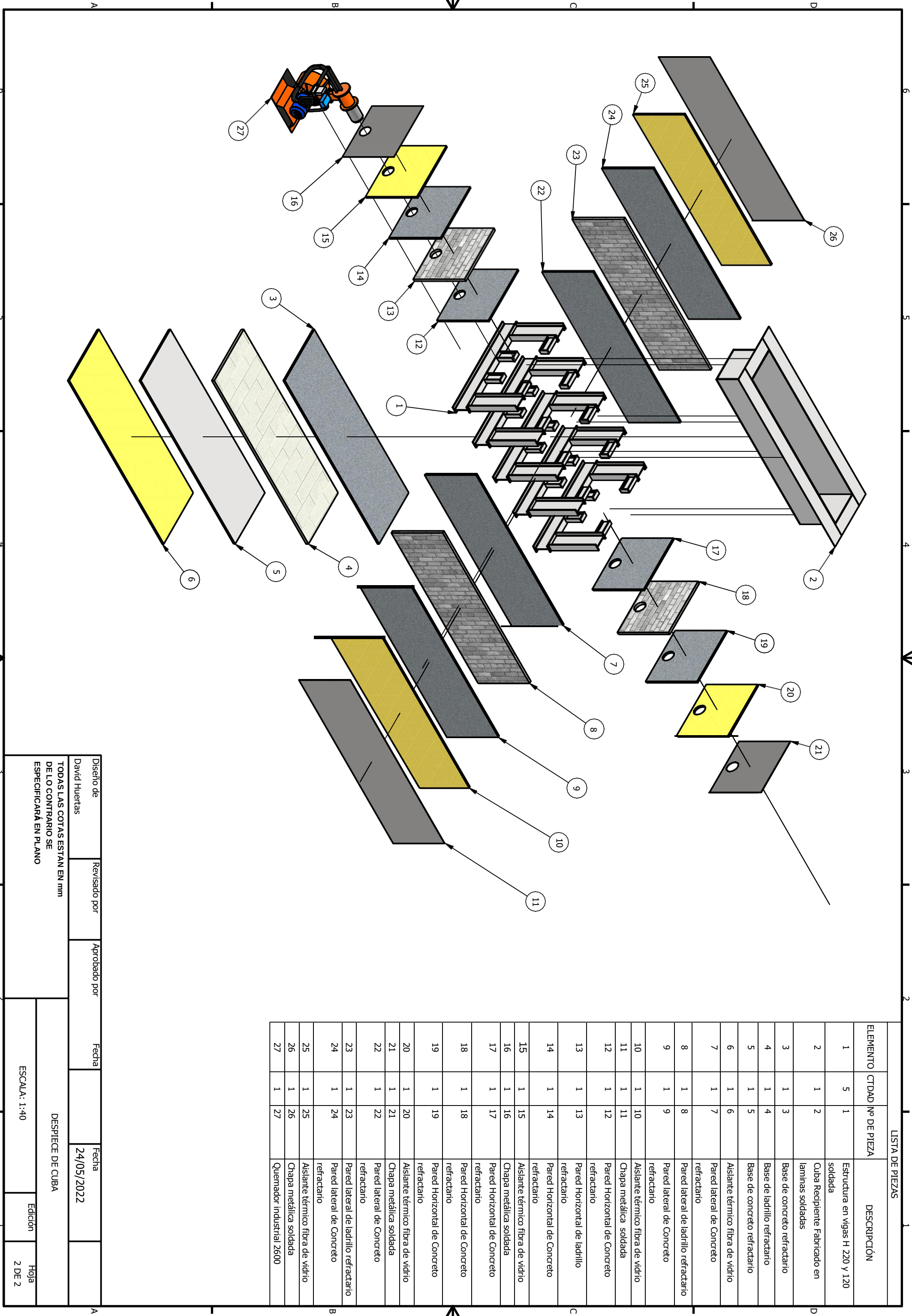
Paredes y base de cuba				
Diámetro (mm)	Área	Longitud a Soldar	Volumen junta	Kilogramos de Soldadura
2.4	0.00000576	8.168	4.70477E-05	0.4622
4	0.000014219	8.12	0.000115458	1.0938
4	0.000023456	8.12	0.000190463	1.8044

Platina superior				
Diámetro (mm)	Área	Longitud a Soldar	Volumen junta	Kilogramos de Soldadura
2.4	0.00000576	6.648	3.82925E-05	0.376199844

3.2	0.000010636	6.648	7.07081E-05	0.738809617
-----	-------------	-------	-------------	-------------

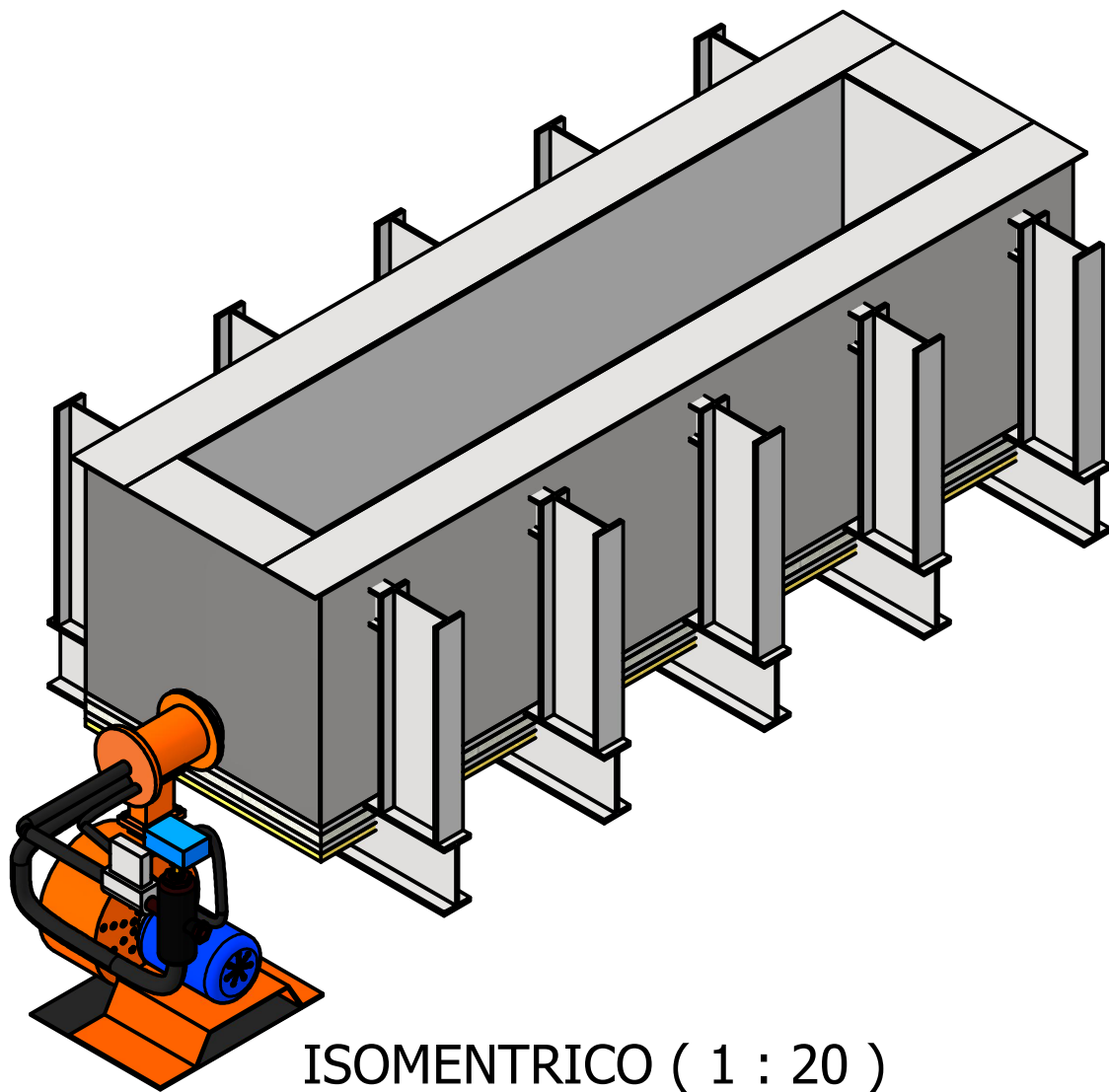
Diámetro	Total, kilogramos	Aproximado
2.4	1	2
3.2	1	2
4	3	5
	60%	100%

Fuente: elaboración propia.

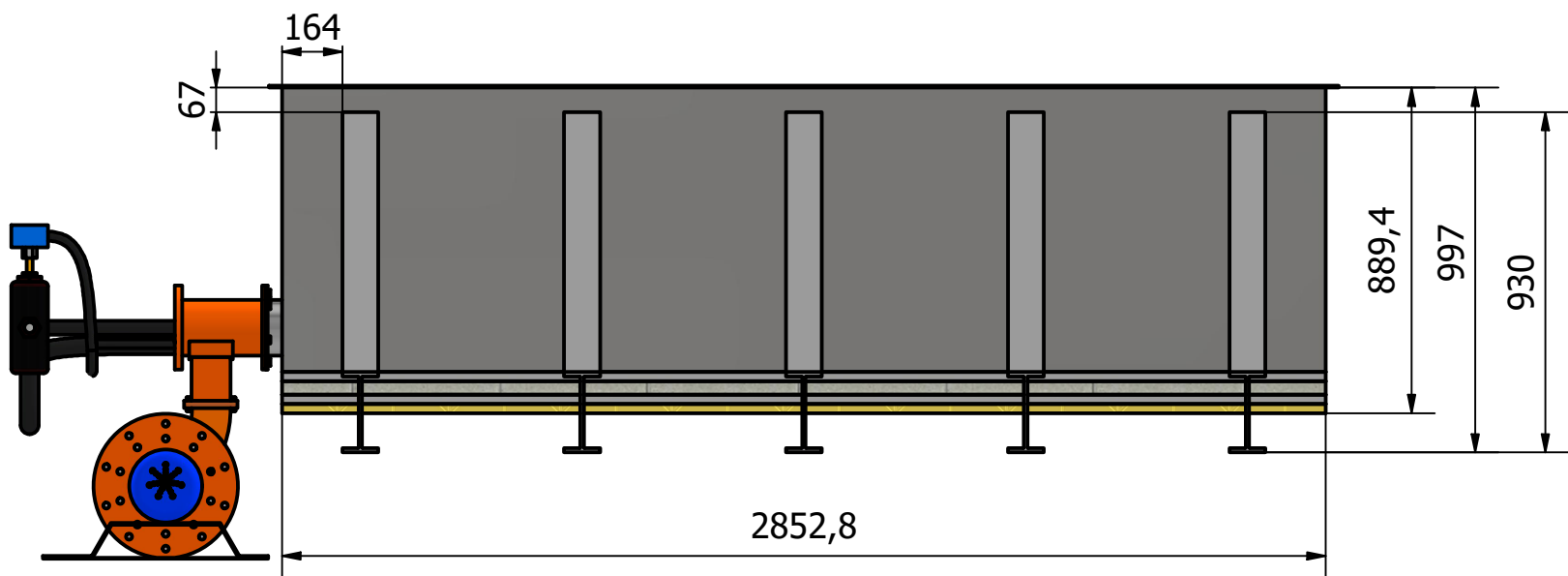


LISTA DE PIEZAS					DESCRIPCIÓN	
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA				
1	5	1				Estructura en vigas H 220 y 120
2	1	2				Cuba Recipiente Fabricado en laminas soldadas
3	1	3				Base de concreto refractario
4	1	4				Base de ladrillo refractario
5	1	5				Base de concreto refractario
6	1	6				Aislante térmico fibra de vidrio
7	1	7				Pared lateral de Concreto refractario
8	1	8				Pared lateral de ladrillo refractario
9	1	9				Pared lateral de Concreto refractario
10	1	10				Aislante térmico fibra de vidrio
11	1	11				Chapa metálica soldada
12	1	12				Pared Horizontal de Concreto refractario
13	1	13				Pared Horizontal de ladrillo refractario
14	1	14				Pared Horizontal de Concreto refractario
15	1	15				Aislante térmico fibra de vidrio
16	1	16				Chapa metálica soldada
17	1	17				Pared Horizontal de Concreto refractario
18	1	18				Pared Horizontal de Concreto refractario
19	1	19				Pared Horizontal de Concreto refractario
20	1	20				Aislante térmico fibra de vidrio
21	1	21				Chapa metálica soldada
22	1	22				Pared lateral de Concreto refractario
23	1	23				Pared lateral de ladrillo refractario
24	1	24				Pared lateral de Concreto refractario
25	1	25				Aislante térmico fibra de vidrio
26	1	26				Chapa metálica soldada
27	1	27				Quemador Industrial 2600

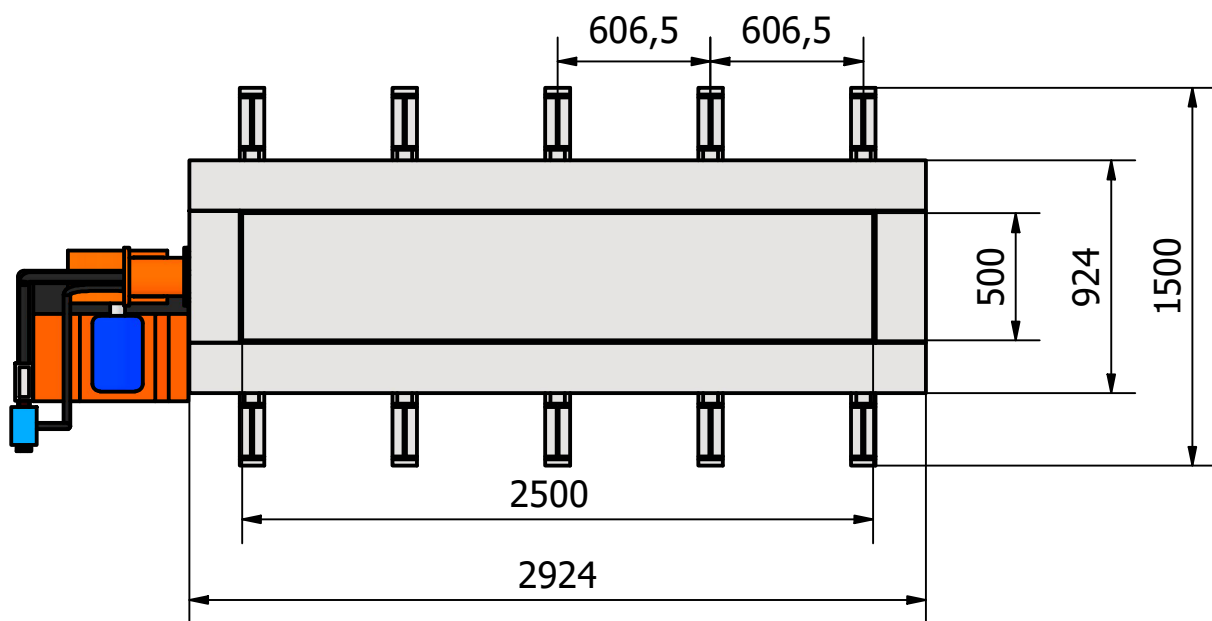
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	DESCRIPCION DE CUBA	
David Huertas				24/05/2022	Edición	Hoja
TODAS LAS COTAS ESTAN EN mm				ESCALA: 1:40		
ESPECIFICARÁ EN PLANO				2 DE 2		



ISOMENTRICO (1 : 20)



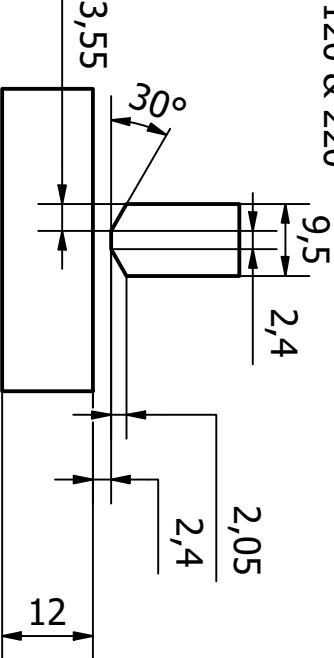
VISTA LATERAL DERECHA (1 : 20)



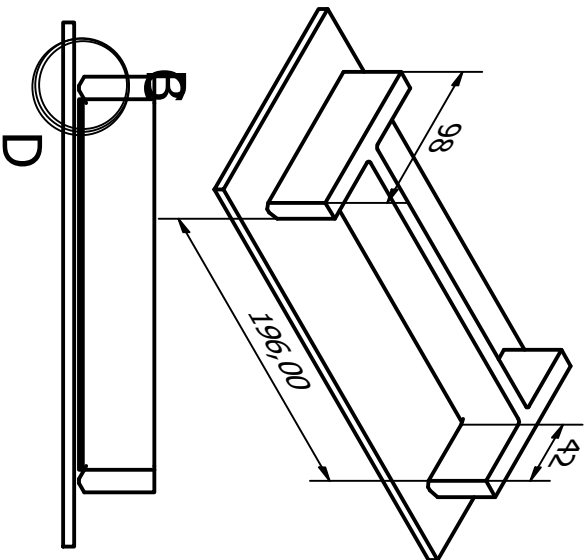
VISTA SUPERIOR (1:30)

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
David Huertas				24/05/2022	
TODAS LAS COTAS SE ENCUENTRAN EN mm DE LO CONTRARIO SE INDICARA EN EL PLANO			DIMENSIONES		
			ESCALA: 1:20		Edición
					Hoja 1de 2

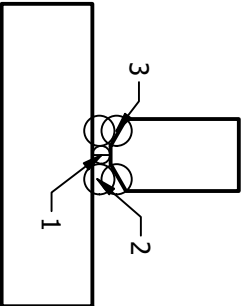
JUNTA PARA EL ALMA DE VIGAS H 120 & 220



JUNTA PARA VIGAS H 220 A ESTRUCTURA

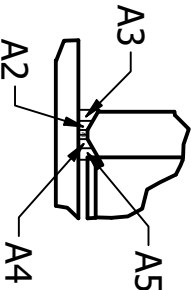
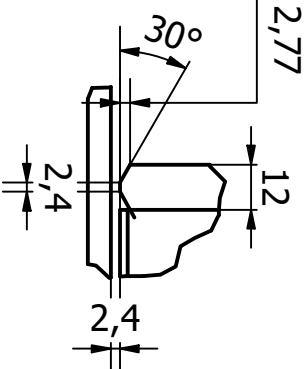


Para el pase de raíz 1, se usara E316L- de 2.4mm: 1 pase
Para el pase de relleno 2, se usara E316L de 4mm: 2 pases
Para el pase de relleno 3, se usara E316L de 4mm: 2 pases

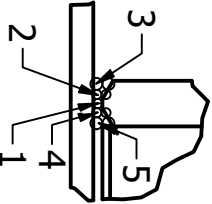


Esta junta también será utilizada para las vigas 120 a estructura

$A1 = (5.76 \times 10^{-6}) m^2$
 $A2 = A4 = (7.423 \times 10^{-6}) m^2$
 $A3 = A5 = (10.748 \times 10^{-6}) m^2$

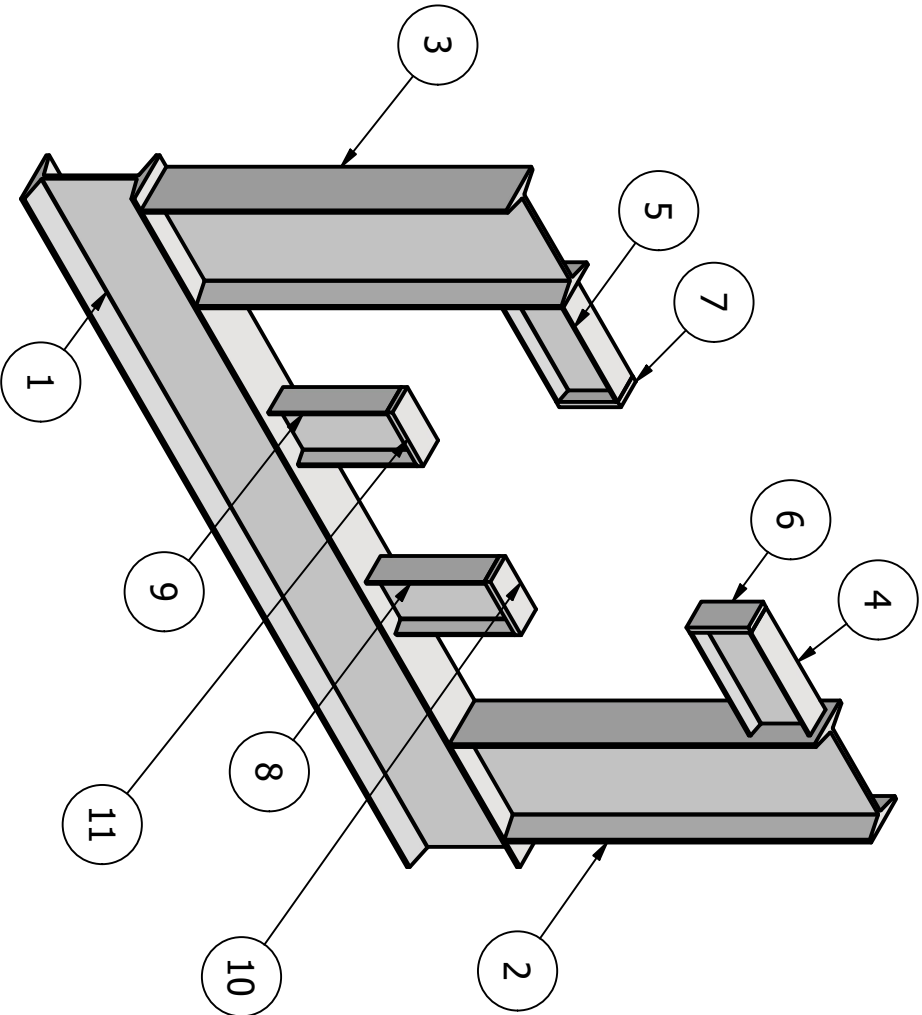


Para el pase de raíz 1, se usara E316L de 2.4mm: 1 pase
Para el pase de relleno 2, se usara E316L de 2.4mm: 2 pases
Para el pase de relleno 3, se usara E316L de 3.2mm: 2 pases
Para el pase de relleno 4, se usara E316L de 2.4mm: 2 pases
Para el pase de relleno 5, se usara E316L de 3.2mm: 2 pases

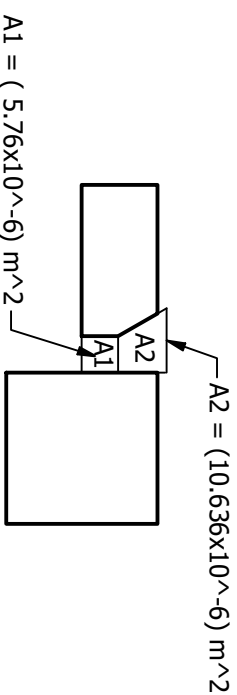
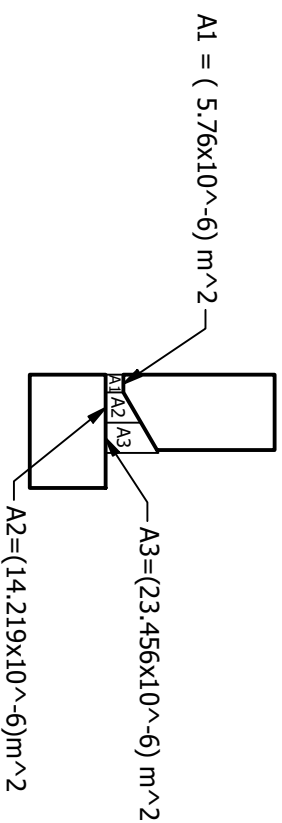
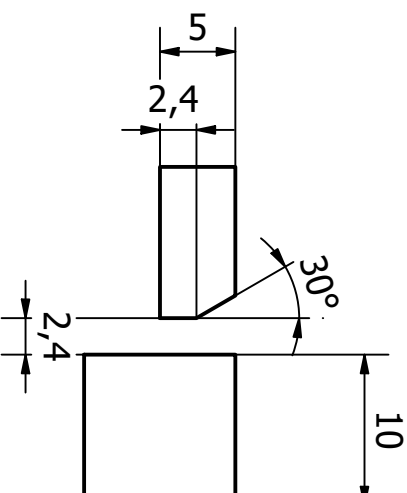
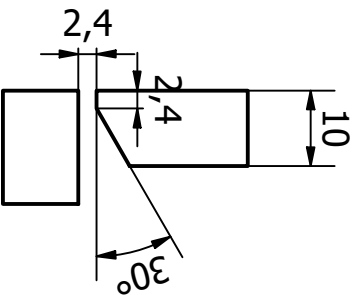


LISTA DE PIEZAS				DESCRIPCIÓN
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA		
1	1	1	VIGA 220X1.5 SOLDADA	
2	1	2	COLUMNA 220X0.777 SOLDADA	
3	1	3	COLUMNA 220X0.777 SOLDADA	
4	1	4	VIGA 120 SOLDADA	
5	1	5	VIGA 120 SOLDADA	
6	1	6	PLATINA 120X58X0.012	
7	1	7	PLATINA 120X58X0.012	
8	1	8	VIGA 120 SOLDADA	
9	1	9	VIGA 120 SOLDADA	
10	1	10	PLATINA 120X58X0.012	
11	1	11	PLATINA 120X58X0.012	

ESTRUCTURA EN VIGAS H SOLDADA (1 : 12)

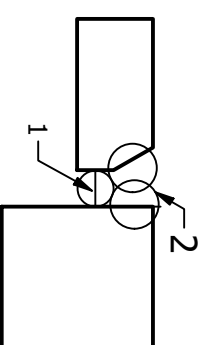
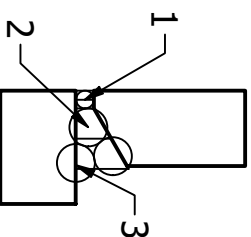


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha		
David Huertas				20/05/2022		
TODAS LAS COTAS ESTÁN EN mm DE LO CONTRARIO SE ESPECIFICARA EN EL PLANO					JUNTAS Y MATERIALES DE ESTRUCTURA	
ESCALA 1:30					Edición	Hoja 1 DE 1



Para el pase de raíz 1, se usara E316l de 2.4mm: 1
 pase
 Para el pase de relleno 2, se usara E316l de 4mm: 1
 pases
 Para el pase de relleno 3, se usara E316l de 4mm: 2
 pases

Para el pase de raíz 1, se usara E316l de
 2.4mm: 1 pase
 Para el pase de relleno 2, se usara E316l
 de 3.2mm: 12 pases



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
David Huertas			20/05/2022	

TODAS LAS COTAS ESTÁN EN mm DE LO
 CONTRARIO SE INDICARA EN EL PLANO

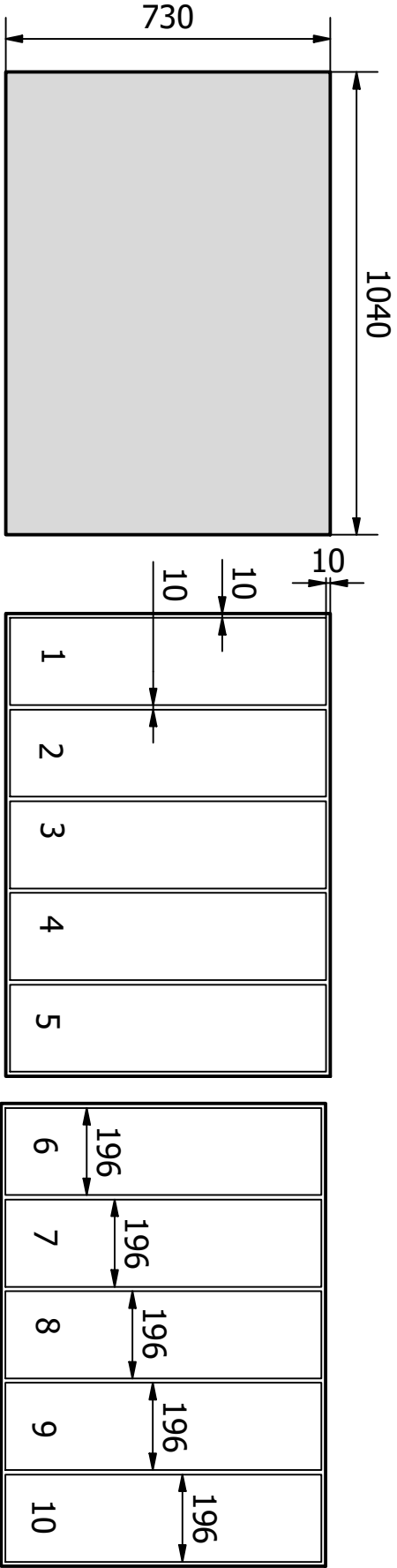
JUNTAS PARA CUBA

ESCALA 1:5

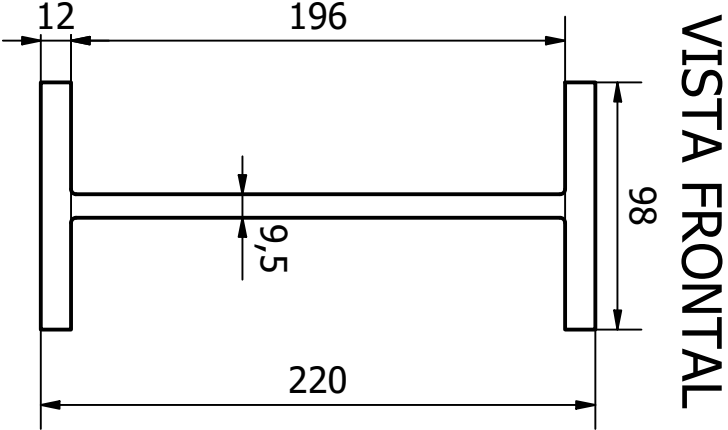
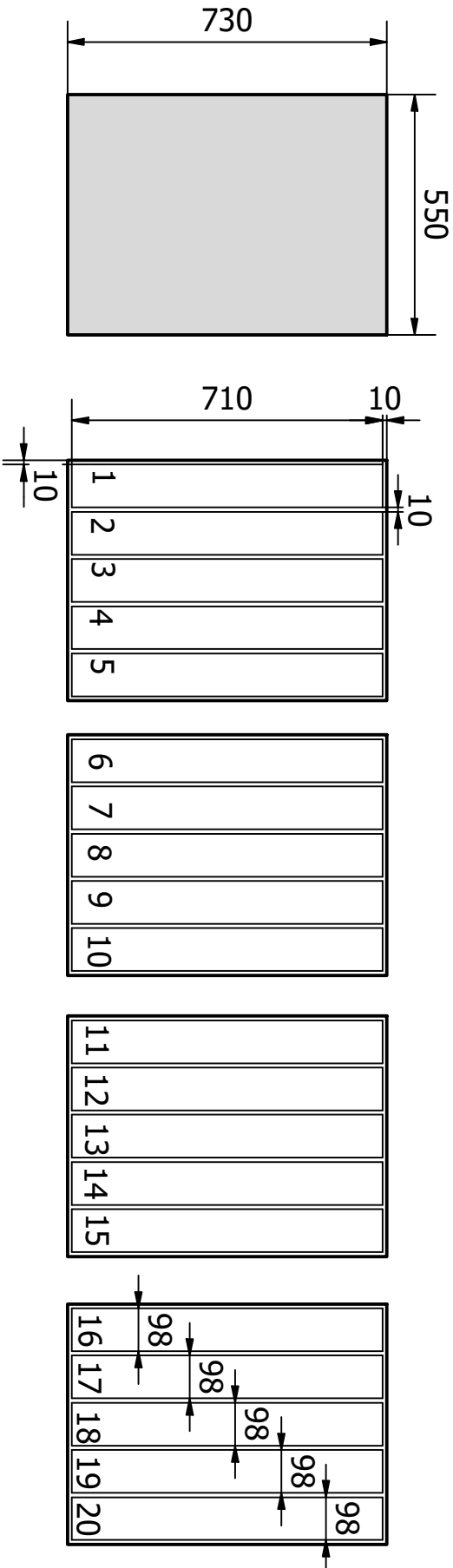
Edición

Hoja
 1 DE 1

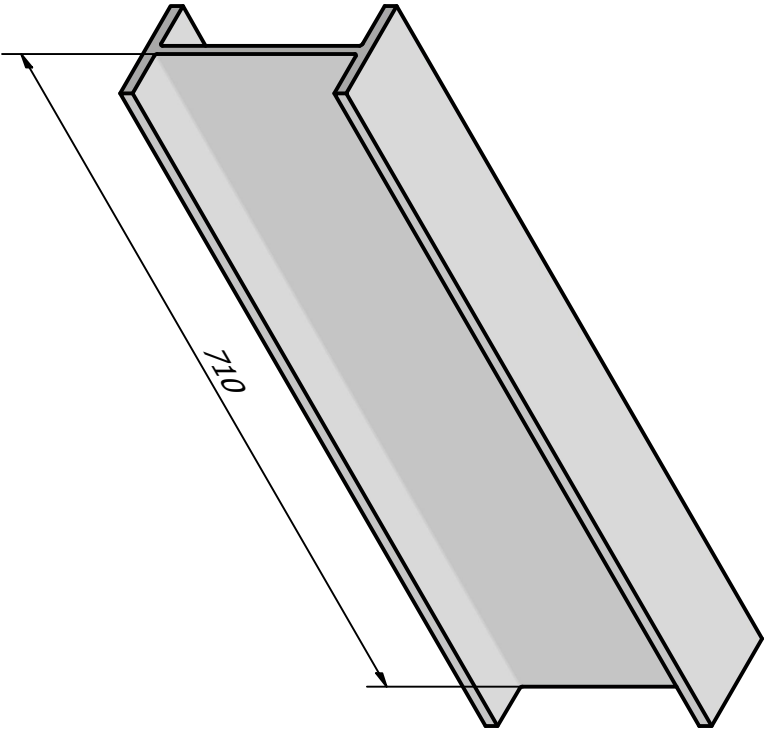
Almas vigas H 220 0.730x1.040x0.0095



Aletas vigas H 220 1.520x550x0.012

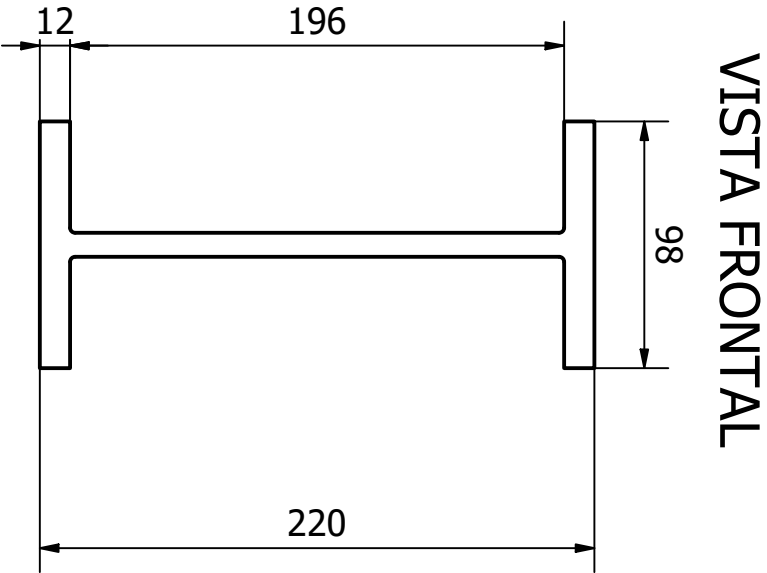
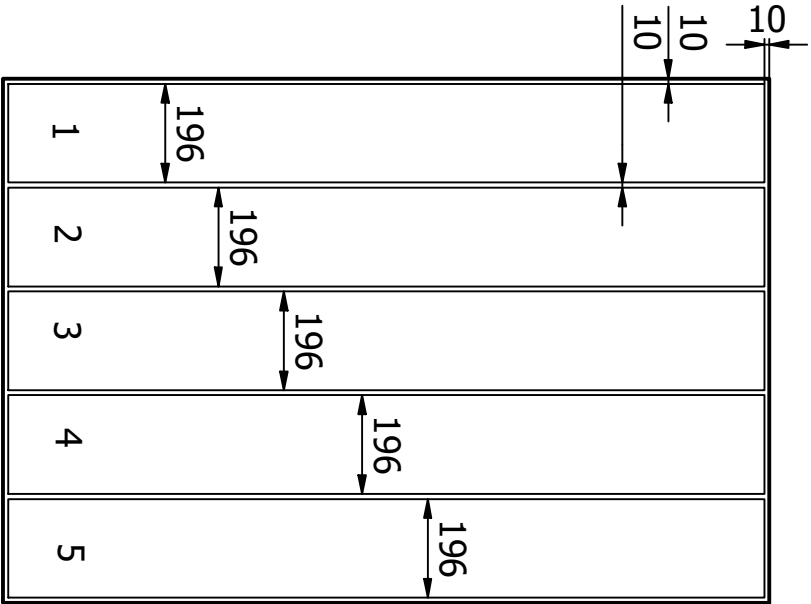
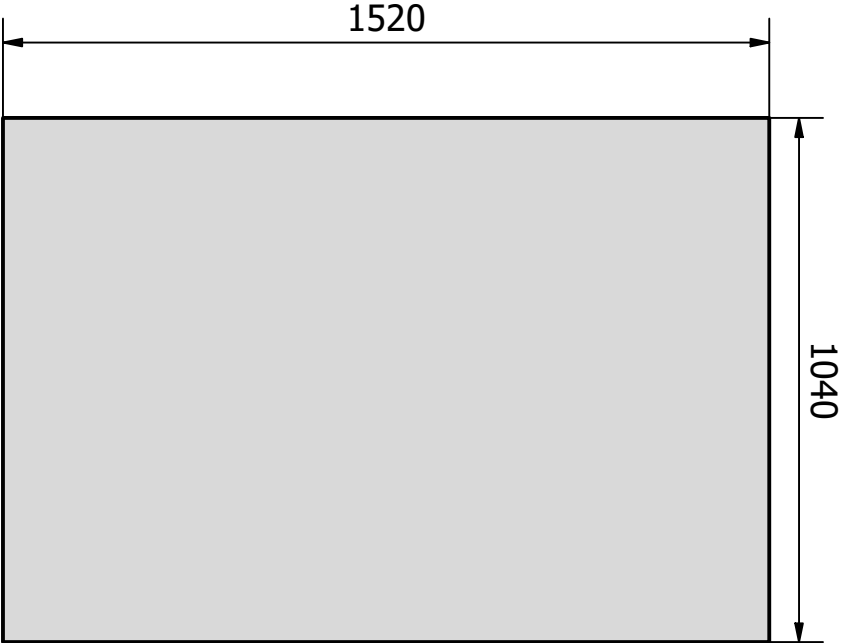


ISOMETRICO

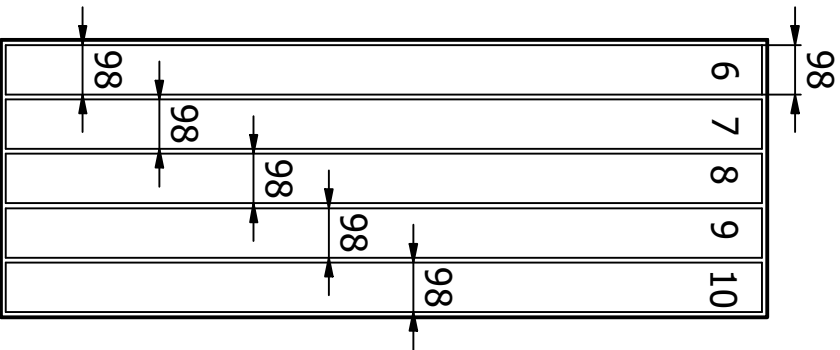
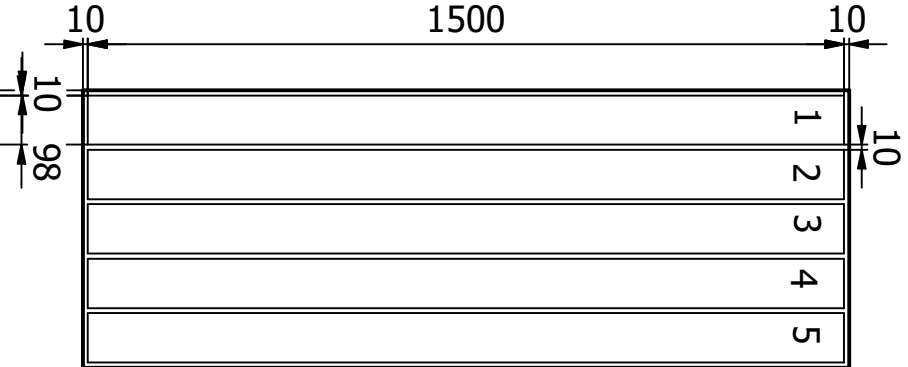
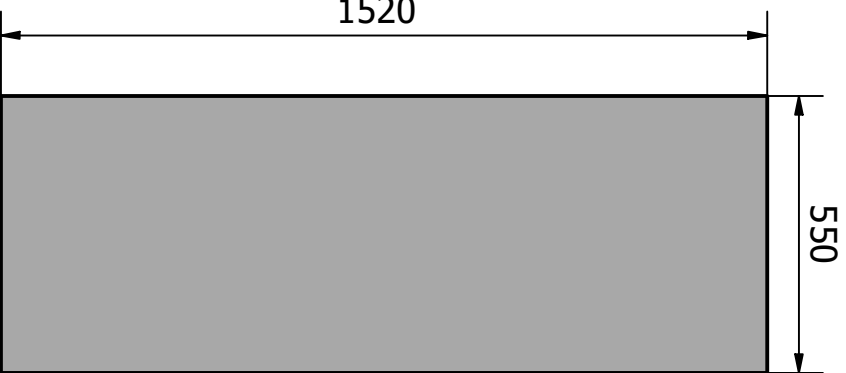


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	Edición	Hoja
David Huertas R				22/05/2022		1 DE 1
Todas las cotas están en mm de lo contrario se especificara en el plano.				PLANOS VIGA H 220.007		
ESCALA 1:20						

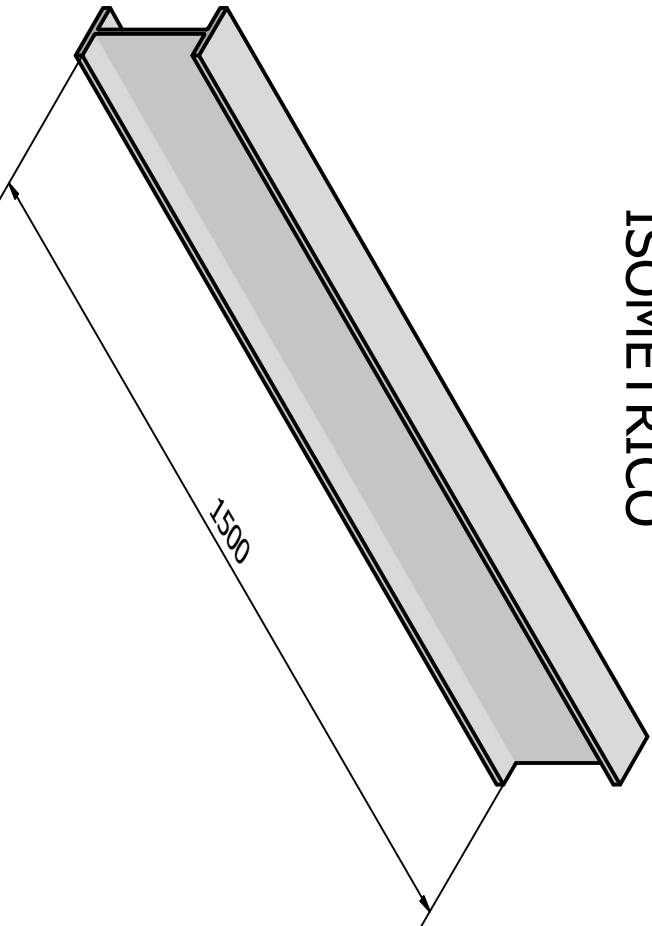
Almas vigas H 220 1.5x1.040x0.0095



Aletas vigas H 220 1.520x550x0.012

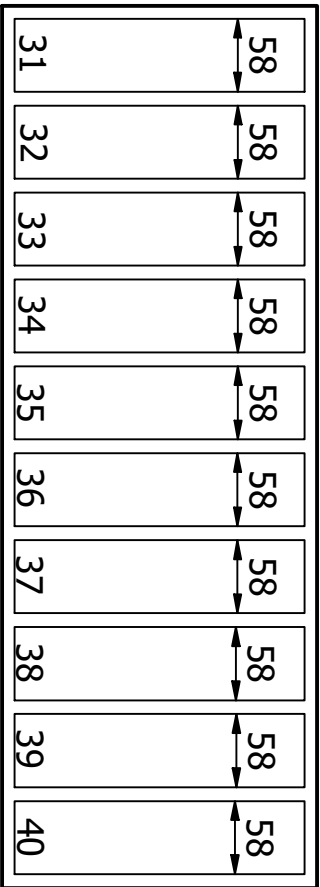
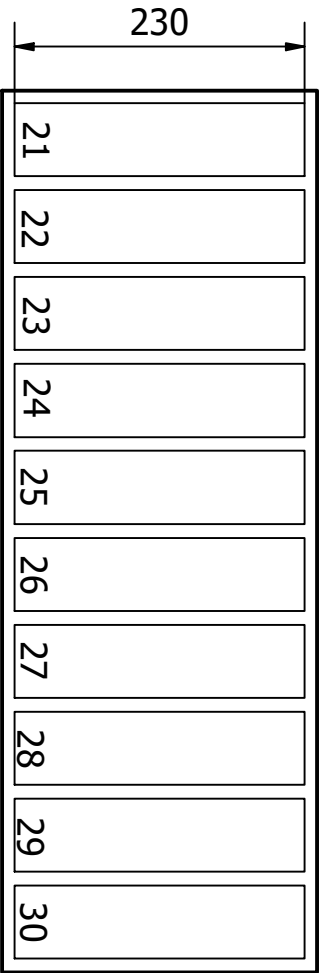
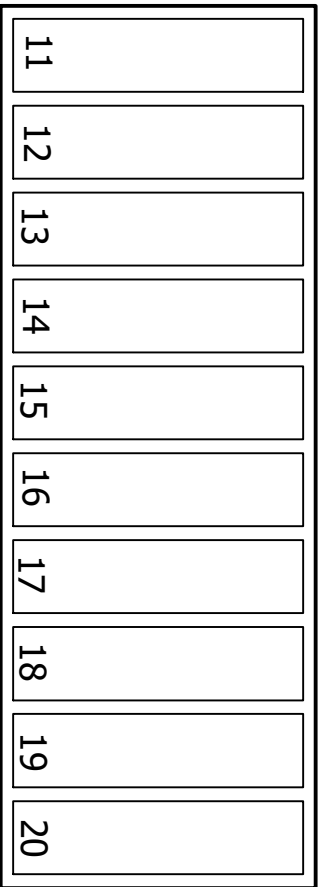
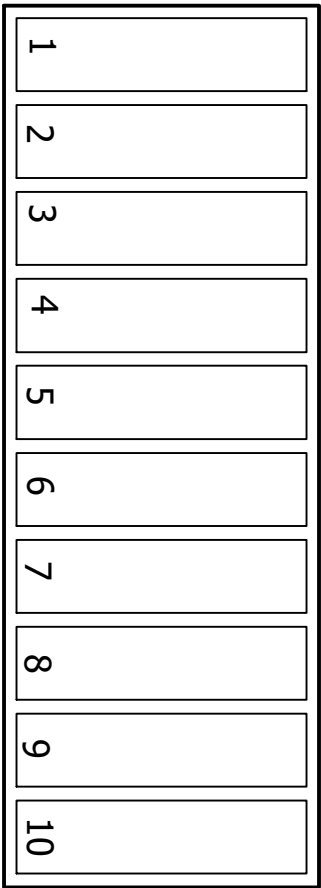
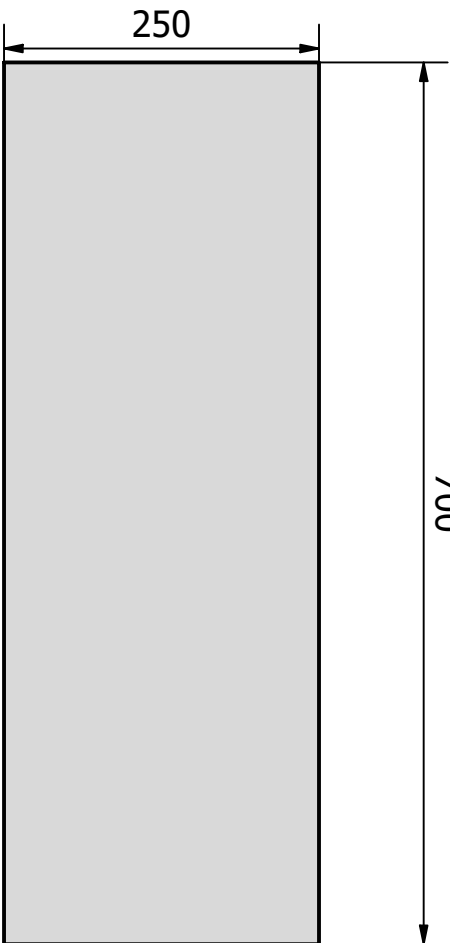


ISOMETRICO

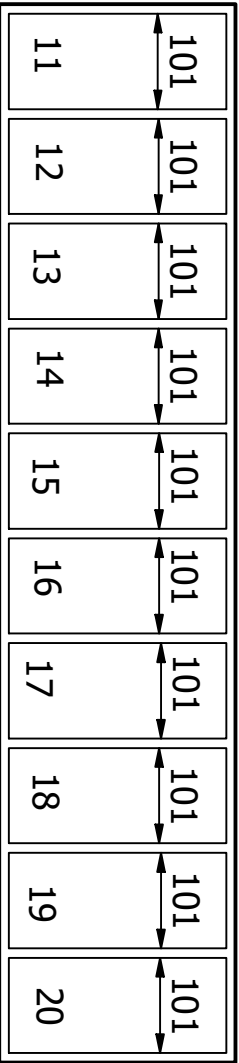
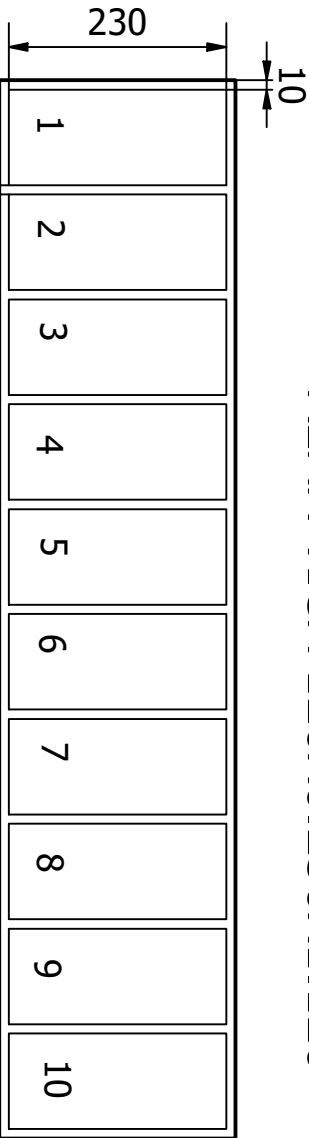
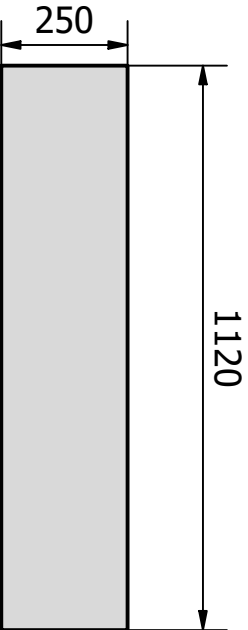


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	PLANOS DE LAMINA PARA VIGA 220.1.5	
David Huertas				22/05/2022		
Todas las cotas están en mm de lo contrario se especificara en el plano.					ESCALA 1:20	Edición
						Hoja
						1 DE 1

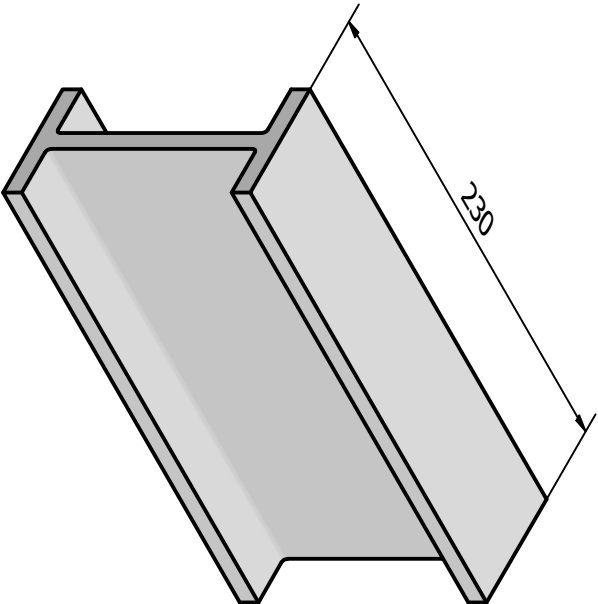
ALA VIGA 120X0.230X1.120



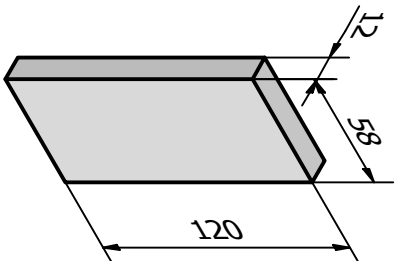
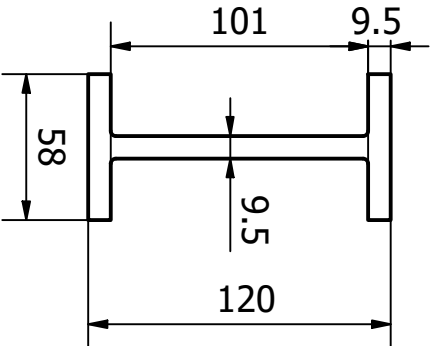
ALMA VIGA 120X0.230X1.120



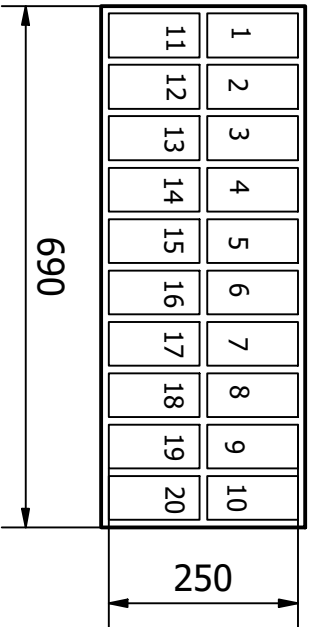
ISOMETRICO



VISTA FRONTAL



Platinas 120x58x0.012



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
David Huertas			22/05/2022	
TODAS LAS COTAS ESTÁN EN MM DE LO CONTRARIO SE ESPECIFICARAN EN EL PLANO			PLANO VIGAS H 120	
ESCALA 1:15			Edición	Hoja
			1	1 DE 1