



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**“DISEÑO DE UN HORNO PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE
ACEROS PARA LA EMPRESA SMO SERVICIOS MECÁNICOS Y
METALÚRGICA”.**

Autor: Martínez Mafla Michael Marcelo

Director: Msc. Valencia Aguirre Fernando Vinicio

IBARRA - ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de identidad:	100373432-2		
Apellidos y nombres:	Martínez Mafla Michael Marcelo		
Dirección:	Ibarra, Calle Puerto Rico y Juan Martínez de Orbe		
Email:	mmmartinez@utn.edu.ec		
Teléfono fijo:	062505111	Teléfono móvil:	0969275816

DATOS DE LA OBRA	
Título:	“Diseño de un horno para tratamientos térmicos de aceros para la empresa SMO Servicios Mecánicos y Metalúrgica”
Autor:	Martínez Mafla Michael Marcelo
Fecha:	21/01/2020
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniería en Mecatrónica
Asesor /director:	Msc. Valencia Aguirre Fernando Vinicio



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de Enero de 2020

EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink that reads "Michael Martínez Mafla".

Firma:

Nombre: Michael Marcelo Martínez Mafla

Cédula: 100373432-2



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

DECLARACIÓN

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

A través de la presente declaración cedo el derecho de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Firma: 

Nombre: Michael Marcelo Martínez Mafla

Cédula: 100373432-2



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico, que el proyecto de titulación denominado “Diseño de un horno para tratamientos térmicos de aceros para la empresa SMO Servicios Mecánicos y Metalúrgica” fue desarrollado por Michael Marcelo Martínez Mafla, bajo mi supervisión para la obtención del título de Ingeniería en Mecatrónica.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Fernando Valencia Aguirre', is written over a horizontal line.

Msc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre.

DIRECTOR DE PROYECTO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas y cada una de las personas que conocí en mi transcurso por la Universidad Técnica del Norte, que de una u otra manera me apoyaron y ayudaron a terminar esta etapa de mi vida.

A mi familia y especialmente a mis padres por haberme dado todo su apoyo para tener una educación digna y así poder conseguir un título profesional.

A mis compañeros de clases, que se volvieron grandes amigos y con los que compartiré una amistad para siempre.

A cada docente que me pudo brindar su conocimiento y tiempo para poder culminar con este trabajo de titulación.

Michael Marcelo Martínez Mafla



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis padres por haber sido un pilar fundamental en mi vida, y quienes siempre me apoyaron en lo que necesite durante cada día de mi vida universitaria, para poder cumplir la meta de ser un profesional en este país.

Michael Marcelo Martínez Mafla



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Resumen

Dentro del ámbito industrial un aspecto de importancia es la mejora continua de sus procesos aplicando nuevas máquinas y elementos de automatización que permitan obtener productos de alta calidad que cumplan las exigencias de los clientes.

Se planteó una propuesta de diseño de un horno de tratamientos térmicos de aceros, que permita mejorar las propiedades físicas y mecánicas de estos metales y que sea accesible económicamente a la construcción por parte de la empresa además que tenga la facilidad de usarse en procesos similares, con lo cual la empresa ecuatoriana pueda impulsar el desarrollo de sus productos con una mejor calidad y control en los mismos.

Cabe señalar que en este trabajo se ha planteado una propuesta con todos los parámetros de diseño mecánico en los cuales se ha realizado los cálculos matemáticos respectivos y sus simulaciones para dar seguridad que la estructura propuesta pueda cumplir las necesidades de la empresa, además de que el horno tiene un sistema eléctrico sencillo de utilizar para los operarios y contiene un sistema de control factible para mantener siempre la información de la temperatura a la que trabaja el horno con una retroalimentación de las señales que hacen que el horno funcione; por último se realiza un análisis de los costos que abarcaría la construcción final del horno con precios de materiales del mercado ecuatoriano.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Abstract

To promote business development within the ecuadorian industry, a design proposal has been developed for a future autonomous construction of a furnace for thermal treatment of steels, which meets all the requirements of mechatronic design (mechanical, electronic and control).

During this work the best option was investigated and developed to be able to build a furnace that is economically viable for the company and that can also meet the requirements and regulations required by the different industrial processes to which it is going to be subjected.

Applying engineering knowledge especially of 3D design, it was possible to obtain a final furnace model with all the specifications to comply with industrial processes.

Índice general

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	ii
CONSTANCIAS.....	iii
DECLARACIÓN.....	iv
CERTIFICACIÓN	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA	vii
Resumen.....	viii
Abstract	ix
Introducción	15
<i>Planteamiento del problema</i>	<i>15</i>
<i>Objetivo general.....</i>	<i>16</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>16</i>
<i>Antecedentes</i>	<i>16</i>
<i>Alcance.....</i>	<i>17</i>
CAPÍTULO I.....	18
1. Marco teórico	18
1.1. Hornos.....	18
1.1.1. Tipos de hornos industriales.....	19
1.2. Formas de transferir el calor.....	21
Conducción.....	21
Convección.....	21
Radiación.....	21
1.3. Tratamientos térmicos.....	21
1.3.1. Tipos de tratamientos térmicos.....	22
Normalizado.....	22
Temple.....	22

Revenido.....	22
Recocido.....	22
1.3.1.1. Normativas para tratamientos térmicos.....	23
CAPÍTULO II.....	24
2.1. Metodología	24
2.1.1. Elección de propuesta para el horno.....	24
2.1.2. Parámetros de diseño y materiales a utilizar.....	26
2.1.3. Cálculos termodinámicos.....	28
2.1.4. Diseño mecánico.....	37
2.1.5. Energía.....	61
CAPÍTULO III.....	63
Resultados	63
3.1. <i>Simulación de cargas.</i>	63
3.1.1. Simulación de la viga principal del techo.....	63
3.1.2. Simulación de las guías de la puerta del horno.....	65
3.2. <i>Sistema eléctrico del horno</i>	68
3.3. <i>Sistema de control.</i>	69
3.3.1. Control PID.....	70
3.3.2. Modelo matemático del horno.....	70
3.3.3. Elementos del sistema de control.....	76
3.4. <i>Costos</i>	77
3.4.1. Costos de construcción del horno.....	77
3.4.2. Costos por mano de obra directa.....	79
3.4.3. Costos por equipos utilizados.....	79
3.4.4. Costos indirectos de construcción.....	79
3.4.5. Costos de mano de obra indirecta.....	79
3.4.6. Costos totales de construcción de horno.....	80
CAPÍTULO IV	81
Conclusiones y Recomendaciones.....	81
4.1. <i>Conclusiones</i>	81
4.2. <i>Recomendaciones</i>	82

Referencia bibliográfica	83
ANEXOS	85
<i>Anexo A: Propiedades del aire.</i>	<i>85</i>
<i>Anexo B: Propiedades del aire.</i>	<i>85</i>
<i>Anexo C: Manta cerámica CALORCOL.</i>	<i>86</i>
<i>Anexo C.1: Manta cerámica.</i>	<i>87</i>
<i>Anexo D: Planchas laminadas en caliente (DIPAC).</i>	<i>88</i>
<i>Anexo E: Porcentaje de carbono sobre contenido de acero.</i>	<i>89</i>
<i>Anexo F: Porcentaje de contenido calórico de materiales refractarios.</i>	<i>90</i>
<i>Anexo G: Ladrillos refractarios ERECOS.</i>	<i>91</i>
<i>Anexo H: Perfiles laminados IPN (DIPAC).</i>	<i>92</i>
<i>Anexo I: Motorreductor ROSSI para la puerta.</i>	<i>93</i>
<i>Anexo J: Catálogo rodamientos SKF para altas temperaturas.</i>	<i>94</i>
<i>Anexo K: Catálogo de referencia para poleas.</i>	<i>95</i>
<i>Anexo L: Catálogo cable de acero (Multicables del Ecuador).</i>	<i>96</i>
<i>Anexo M: Motorreductor de Sinfin para la solera.</i>	<i>97</i>
<i>Anexo N: Gráfica del concentrador de esfuerzos por la forma del eje.</i>	<i>98</i>
<i>Anexo O: Eje AISI 4340 (705) DIPAC.</i>	<i>99</i>
<i>Anexo P: Catarina (Piñones métricos SKF).</i>	<i>100</i>
<i>Anexo Q: Cadenas sencillas-transmisión de potencia (IVAN BOHMAN C. A.).</i>	<i>101</i>
<i>Anexo R: Chumaceras IVAN BOHMAN C. A.</i>	<i>102</i>
<i>Anexo S: Quemador WAYNE P265F.</i>	<i>103</i>
<i>Anexo T: Tubo estructural cuadrado negro (DIPAC).</i>	<i>104</i>
<i>Anexo U: Planos eléctricos del horno de tratamiento térmico.</i>	<i>105</i>
<i>Anexo V: Planos mecánicos del horno de tratamiento térmico.</i>	<i>108</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1-1: Partes principales de un horno.</i>	19
<i>Figura 1-2: Horno industrial eléctrico.</i>	20
<i>Figura 1-3: Horno crisol.</i>	20
<i>Figura 1-4: Gráfica tiempo/temperatura de los tratamientos térmicos.</i>	22
<i>Figura 2-1: Alternativa 1 de diseño, la puerta se eleva y la carga ingresa a través de rieles, la solera es fija. .</i>	24
<i>Figura 2-2: Alternativa 2 de diseño, horno en forma de caja la pared superior (techo) se levanta para que entre la carga, se necesita una grúa para introducir la carga al horno.</i>	24
<i>Figura 2-3: Alternativa 3 de diseño, la solera es fija, las paredes laterales y el techo se mueven hacia adelante y atrás por un sistema de rieles.....</i>	25
<i>Figura 2-4: Alternativa 4 de diseño, la puerta se eleva con poleas, la solera es móvil donde se asienta la carga e ingresa al horno.</i>	25
<i>Figura 2-5: Estructura de las paredes, con sus respectivas temperaturas.....</i>	28
<i>Figura 2-6: Pared para cálculos de espesor.</i>	32
<i>Figura 2-7: Representación de las fuerzas que actúan en la viga.....</i>	39
<i>Figura 2-8: Diagrama de esfuerzos cortante de la viga.</i>	40
<i>Figura 2-9: Diagrama de momento flector.</i>	40
<i>Figura 2-10: Diagrama de la viga con un corte para el cálculo de la deflexión.....</i>	41
<i>Figura 2-11: Viga de soporte de la puerta con guías tipo UPN.....</i>	43
<i>Figura 2-12: Desplazamiento de las guías UPN.</i>	44
<i>Figura 2-13: Factor de seguridad de las guías UPN.</i>	44
<i>Figura 2-14: Viga de soporte de la puerta con guías tipo IPN.</i>	45
<i>Figura 2-15: Desplazamiento de guías IPN.</i>	45
<i>Figura 2-16: Factor de seguridad de las guías IPN.</i>	46
<i>Figura 2-17: Viga de soporte de la puerta con guías tipo tubo cuadrado.</i>	46
<i>Figura 2-18: Desplazamiento de las guías de tubo cuadrado.....</i>	47
<i>Figura 2-19: Factor de seguridad de las guías de tubo cuadrado.</i>	47
<i>Figura 2-20: Arreglo de poleas para elevar la puerta.</i>	48
<i>Figura 2-21: Tensiones en los cables.</i>	49
<i>Figura 2-22: Análisis de cargas en el soporte de la polea (desplazamiento).</i>	51
<i>Figura 2-23: Análisis de cargas en el soporte de la polea (factor de seguridad).....</i>	52
<i>Figura 2-24: Diagrama de cuerpo libre del eje para las ruedas.</i>	55
<i>Figura 2-25: Diagrama de esfuerzo cortante del eje.....</i>	55
<i>Figura 2-26: Diagrama de momento flector del eje.....</i>	56
<i>Figura 2-27: Ruedas dibujadas para la solera.</i>	61
<i>Figura 3-1: Viga para análisis de cargas.....</i>	63

Figura 3-2: Desplazamientos en la viga.	64
Figura 3-3: Factor de seguridad de la viga.	64
Figura 3-4: Configuración final de las guías para la puerta.	65
Figura 3-5: Vista frontal de la estructura de las guías.	66
Figura 3-6: Desplazamiento en las guías.	66
Figura 3-7: Factor de seguridad en las guías.	67
Figura 3-8: Vista final del horno diseñado.	67
Figura 3-9: Gráfica de la función de transferencia sin controlador.	74
Figura 3-10: Gráfica de la planta aplicado el controlador PID.	76
Figura 3-11: Sensor de temperatura Honeywell.	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de decisión de alternativa de diseño.	26
Tabla 2: Valores de simulaciones de las propuestas de guías para la puerta.	47
Tabla 3: Coeficientes de fricción.	49
Tabla 4: Tabla para encontrar el valor del diámetro del eje en Excell.	59
Tabla 5: Valores del controlador PID generado por Matlab.	76
Tabla 6: Costo de materiales de construcción.	79
Tabla 7: Costos mano de obra directa.	79
Tabla 8: Costos de equipos.	79
Tabla 9: Costos indirectos de construcción.	79
Tabla 10: Costos mano de obra indirecta.	79
Tabla 11: Costos totales de la construcción del horno.	80

Introducción

Planteamiento del problema

En la industria metalúrgica un ámbito muy importante de trabajo son los tratamientos térmicos que se realizan a diferentes tipos de metales como el acero, para modificar y mejorar sus propiedades físicas como su dureza y elasticidad, algo que es muy útil para los procesos de producción y mejora de la calidad de piezas como turbinas, ejes, engranajes u otros tipos de herramientas [1].

En el Ecuador varias empresas se han enfocado en realizar trabajos de metalúrgica, pero en comparación con el mercado internacional, el país aún necesita más avances tecnológicos para que dichas empresas aumenten su competitividad laboral. Maquinaria especializada en procesos de manufactura o metalúrgica es de difícil adquisición en el mercado nacional, lo cual recae en una necesidad de tener una base científica y diseño de máquinas, como hornos que realizan tratamientos térmicos, para que las empresas puedan construir sus propios equipos y aumentar sus niveles tanto productivos como de calidad.

Principalmente en la zona 1, no se cuenta con un horno que pueda acoplarse a los parámetros técnicos que necesitan las empresas, existen otros de menor magnitud como en la Hidroeléctrica HidroAgoyán [1], pero que solo es utilizado para un trabajo específico de tratamientos térmicos en rodets de turbinas Francis. Por este motivo un horno como el de la hidroeléctrica mencionada no conviene su uso para otros procesos. Es aquí donde este trabajo propone el diseño adecuado de un horno industrial que realice tratamientos térmicos a aceros con la finalidad de mejorar sus propiedades y obtener mejores productos, para el uso específico de la empresa SMO, tomando en cuenta que se adapte a sus requerimientos de dimensiones y temperaturas de trabajo, también considerando que el costo de fabricación debe ser más asequible en comparación a los hornos existentes en el mercado, además que la base científica y de diseño puede ser utilizada por cualquier empresa nacional que este en la capacidad de construir dicha máquina.

Si se opta por encargar el diseño de este horno a una empresa externa, esto genera costos excesivos de importación que la empresa no podría cubrir. Empresas europeas como insertec (España) [2], B.M.I. A Tenova Company (Francia) [3], entre otras ofrecen en sus catálogos hornos con capacidades altas para tratamientos térmicos, pero a costos elevados que pueden superar los \$50.000 dólares americanos, esto añadiendo costos de importación.

Un horno que pueda soportar cargas de hasta 4 toneladas y temperaturas de 1100°C, sería muy complicado de conseguir por parte de un proveedor externo y a la vez muy costoso, debido a esto lo más factible recae en proponer un diseño que utilice recursos y materiales que se puedan encontrar en el país a bajos costos, pero que cumplan de igual manera los requerimientos del horno deseado.

Objetivo general

Diseñar un horno industrial para tratamientos térmicos de aceros, para la empresa SMO “Servicios Mecánicos y Metalúrgica”.

Objetivos específicos

- Determinar los principales parámetros de diseño del horno.
- Diseñar el sistema mecánico y estructural del horno.
- Realizar los cálculos matemáticos para el diseño mecánico.
- Seleccionar los materiales adecuados para el horno, tomando en cuenta las características técnicas requeridas para los tratamientos térmicos.
- Modelar el horno con todas sus especificaciones.

Antecedentes

En el Ecuador la industria metalúrgica y sus similares no han tenido un avance significativo durante los últimos años. En la zona 1, la escases de maquinaria para realizar diferentes procesos como los tratamientos térmicos o varios tipos de fundición de metales, ha llevado a las empresas a diseñar y fabricar sus propios prototipos que solventen sus necesidades.

SMO Servicios Mecánicos y Metalúrgica (Otavalo), es una empresa que se encarga de realizar trabajos con piezas metálicas de grandes dimensiones como monumentos, rodets entre otros, cuyas dimensiones pueden oscilar entre 1 a 3,5 metros, y alcanzar masas de hasta 20 toneladas, también es una empresa que ofrece trabajos en las áreas de mecánica, metalúrgica y construcción de estructuras.

En la búsqueda de la mejora continua de sus productos surgió la necesidad de tener un horno de gran capacidad y versatilidad, para realizar tratamientos térmicos a la materia prima y productos que aquí se realizan, lo que va a permitir a la empresa aumentar de gran medida sus procesos de producción, así como también la calidad final de sus productos.

Un horno con altas capacidades abre un gran campo de aplicaciones y desarrollo de nuevos trabajos y productos para empresas ecuatorianas, que están impulsando el uso de tecnologías que les permitan tener más competitividad en el mercado tanto nacional como internacional.

Alcance

Este trabajo de grado propone un diseño de horno industrial para tratamientos térmicos, que cubra las necesidades de la empresa SMO, y reduzca la inversión de costos para la adquisición de equipos, utilizando materiales que se puedan adquirir en el mercado nacional y generando los planos tanto mecánicos como eléctricos del diseño del horno.

Se busca diseñar un horno que pueda soportar cargas de hasta 4 toneladas y una temperatura máxima de 1100 °C, que pueda funcionar con gas para calentar su interior a través de un sistema de quemadores, ya que para las aplicaciones que se realiza en SMO un horno eléctrico no sería eficiente. Luego de tener el diseño adecuado para la empresa, se procede a escoger los materiales que puedan cumplir los requerimientos deseados como soportar altas temperaturas. También se incluye un sistema de control para que, al llegar a una temperatura determinada, según el tratamiento térmico a realizar, los quemadores se apaguen y no se supere dicho valor, con esto se valida los procesos que se hagan a los metales.

Este trabajo de investigación solo abarca el diseño del horno, tanto de su parte mecánica como eléctrica, por lo tanto, no se realiza la construcción del mismo, pero se toma en cuenta los parámetros y procesos adecuados para una fabricación del mismo.

Estructura del trabajo

En este documento el *capítulo I* abarca todo el marco teórico referente al trabajo realizado, el *capítulo II* es la metodología de diseño que se realiza para el horno, el *capítulo III* trata sobre los resultados de simulación, diseño eléctrico y control para el horno, además de los costos de fabricación y por último el *capítulo IV* son conclusiones y recomendaciones de la tesis.

CAPÍTULO I

1. Marco teórico

1.1. Hornos.

Es un equipo que permite generar calor y lo puede mantener dentro de un compartimiento para calentar los objetos que en él se introducen. A nivel industrial pueden llegar a temperaturas muy superiores a la del ambiente para realizar diferentes procesos a piezas, metales o aleaciones. Un horno que se vaya a utilizar en procesos industriales tendrá diferentes elementos que compongan su estructura dependiendo de los procesos a los que pueda prestar sus servicios, siendo los más principales los siguientes:

Solera.

Es la parte del horno que permite colocar la carga o el material que ingresara al horno para someterse a algún proceso. Debido a que soportara toda la carga tendrá que ser lo suficiente sólida y estable para que soporte el peso del material y no deje traspasar el calor al medio ambiente. Se puede distinguir dos tipos de solera: fijas y móviles [1].

Paredes.

Rodean toda el área de trabajo del horno, y deberán ser lo suficientemente herméticas para evitar la salida del aire u otros gases al exterior. El lado más importante de las paredes es el interior de las mismas ya que ahí está en contacto con el calor generado por el horno.

Cimientos.

Son la parte que va sujeta directamente al suelo y sostiene a todas las demás partes del horno. Estos deberán soportar todas las cargas apoyadas en el horno, además de que no podrán sufrir ningún daño o deterioro.

Bóveda.

Es una de las partes principales del horno, que estará sometida a grandes temperaturas y diferentes presiones, diferentes a las del medio ambiente, por lo cual no permitirá escapar dicho calor. Se pueden encontrar 4 tipos de los más comunes [1]:

- Planas
- De arco
- Semicirculares
- Suspendidas

Puerta del horno.

Permite cargar y descargar los materiales en el horno, deben garantizar la hermeticidad del horno, por lo cual estarán hechas de los materiales refractarios necesarios. Se puede encontrar de diferentes tipos, pero los más comunes son las elevadizas, con bisagras

Ventanas de trabajo.

Para mantener una vigilancia de los procesos que pasan dentro del horno se puede colocar diversas aberturas que funcionen como ventanas.

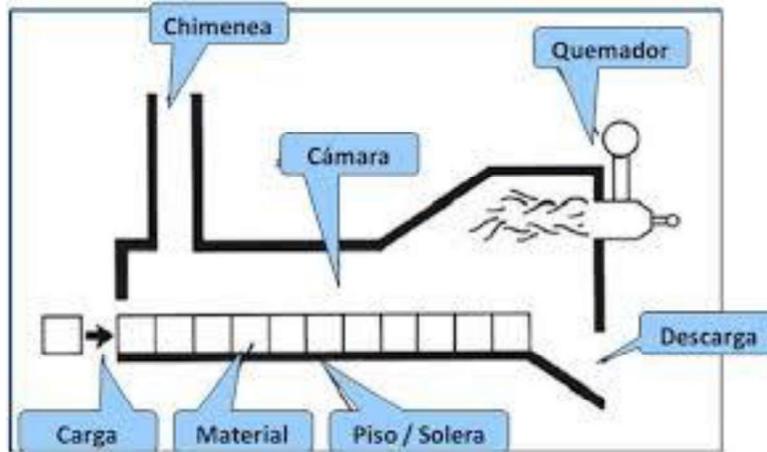


Figura 1-1: Partes principales de un horno.

Fuente: http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/15_Apunte%20HornosIndustriales1.pdf.

1.1.1. Tipos de hornos industriales.

Se puede encontrar hornos dependiendo del proceso de calentamiento, la atmósfera que maneja o el método para trabajar el material dentro del horno.

Hornos eléctricos.

Son un tipo de horno que tienen resistencias eléctricas en su interior que está en contacto con las paredes internas del mismo, que al momento de aplicar una tensión determinada se calienta para generar calor que aumente la temperatura dentro de la caja o mufla del horno. Estas resistencias utilizan el efecto Joule.



Figura 1-2: Horno industrial eléctrico.

Fuente: <https://www.directindustry.es/prod/keith-company/product-115743-1702420.html>

Hornos de crisoles.

Se utilizan normalmente para fundiciones en pequeñas cantidades y poseen una tapa para mantener un cierre hermético dentro del horno, también están compuestos por arcilla mezclada con grafito. Estos modelos son de los más antiguos para crear metales [6].



Figura 1-3: Horno crisol.

Fuente: <http://serprogas.cl/procesos-horno-crisol/>

Hornos de gas.

Estos utilizan quemadores y como fuente de energía el gas para generar combustión, por lo general están cubiertos en su interior con un revestimiento aislante y también poseen chimenea que les permite expulsar los gases generados de la combustión [5].

1.2. Formas de transferir el calor.

Conducción.

Consiste en transferir calor de un cuerpo a otro cuando entran en contacto, que se encuentran a diferentes temperaturas, sin necesidad de que haya transferencia de materia. El calor pasa del objeto a mayor temperatura al de menor temperatura, buscando mantener el equilibrio térmico [8].

Convección.

Esta forma de transferencia de calor se da en líquidos y gases; se genera cuando las partes más calientes del fluido hacen hacia las que están más frías, generando así una circulación continua y pasando el calor hacia las zonas más frías.

Este efecto se produce por la diferencia de densidad que se da en los fluidos luego de calentarse [8].

Radiación.

En la radiación no se necesita contacto de la fuente de calor con el objeto a calentar. El calor puede ser emitido por un cuerpo debido a la temperatura que posee. Un ejemplo de este proceso es el calor que llega del sol y calienta la Tierra [8].

1.3. Tratamientos térmicos.

El tratamiento térmico es el proceso en el cual a través del calentamiento y enfriamiento de un objeto se puede variar o cambiar las propiedades físicas o mecánicas. Estos procesos no cambian la composición química del metal o la aleación, pero sí produce propiedades específicas para su uso final.

Para estos tratamientos se necesita tener en cuenta 4 aspectos importantes:

1. **Temperatura de calentamiento:** es la máxima temperatura a la que se debe someter el material para asegurar su transformación o cambio de propiedades.
2. **Tiempo de permanencia:** es el tiempo óptimo al que se debe mantener caliente un cuerpo, durante estos tiempos se logra los cambios requeridos.
3. **Velocidad de calentamiento:** es la velocidad en la que se va aumentando de manera progresiva la temperatura en un tiempo determinado.
4. **Velocidad de enfriamiento:** es la disminución de la temperatura para un material en un tiempo específico, de esto dependerá las características finales.

1.3.1. Tipos de tratamientos térmicos.

Normalizado.

Es un tratamiento que permite mejorar las propiedades mecánicas como la dureza o la resistencia a la tensión. Se puede aplicar a materiales con bajo porcentaje de carbono. Se trata de calentar entre 30 y 50°C más de la temperatura crítica (800°C o más), seguido de un enfriamiento al aire libre, para alcanzar la temperatura ambiente, así se permite homogenizar la estructura del material y se mejora la maquinabilidad [6].

Temple.

En este proceso se calienta el material a una temperatura moderadamente elevada a la crítica y luego se lleva el material a un enfriamiento rápido, que puede hacerse sumergido la pieza en agua, aceite o una solución polimérica sal. Con este tratamiento se logra endurecer y aumentar la resistencia del material [8].

Revenido.

Su objetivo es poder eliminar las tensiones que se crean por los procesos de temple o normalizado, para así mejorar la tenacidad del material. Consiste en aplicar un ciclo térmico por debajo de la temperatura crítica. El material final se utiliza para procesos de maquinado y fabricación.

Recocido.

Tratamiento que permite ablandar y aumentar la ductilidad del material, además de eliminar sus tensiones internas. Después de calentar hasta la temperatura crítica entre 800 y 925°C se continua con un enfriamiento lento. También produce una disminución de la dureza del material.

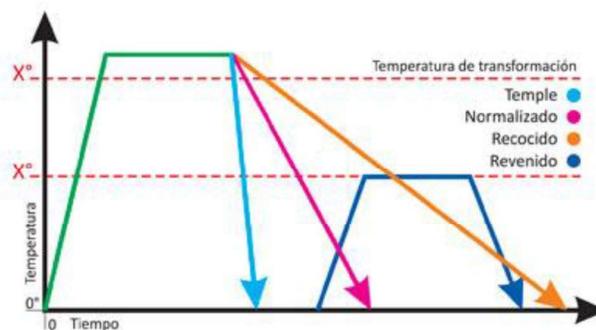


Figura 1-4: Gráfica tiempo/temperatura de los tratamientos térmicos.

Fuente: <https://nergiza.com/radiacion-conduccion-y-conveccion-tres-formas-de-transferencia-de-calor/>.

1.3.1.1. Normativas para tratamientos térmicos.

Dependiendo de las características finales que se quieran obtener en un producto final, el tratamiento térmico a realizar será distinto, además de que se debe seguir un procedimiento previamente establecido en una norma, y el uso final de la pieza sometida al calentamiento también influye en los parámetros para realizar el tratamiento.

Por ejemplo, si se tiene un acero AISI 1045, se sigue la norma EN 10083-1, que abarca este tipo de acero para su uso en piñones, ejes, tornillos, cuñas, herramientas agrícolas y remaches. Se permite realizar un normalizado a 900 °C y recocido a 790 °C.

Si se tiene un acero AISI 4340 se sigue la misma norma anterior, con la diferencia de que este acero es utilizado para piezas y herramientas de grandes exigencias mecánicas como ejes, cigüeñales, tornillería de alta resistencia. La norma permite realizar recocido blando a 700 °C, temple a 850°C y revenido a 700°C. [7]

CAPÍTULO II

2.1. Metodología

Analizando los requerimientos por parte de la empresa SMO para el diseño de horno y realizando una investigación sobre materiales, se procede al diseño del horno.

2.1.1. Elección de propuesta para el horno.

Al inicio de este trabajo y tomando en consideración varios parámetros de diseño que se solicitaban por parte de la empresa auspiciante, como las medidas internas del horno, la temperatura máxima que debe alcanzar y los materiales aislantes que se va a usar, se realizaron varios bosquejos iniciales de la forma y distribución final que tendrá el horno. En este documento se analiza varios diseños de otros trabajos investigados para obtener un solo diseño con las mejores características y adaptable a los procesos que realiza la empresa.

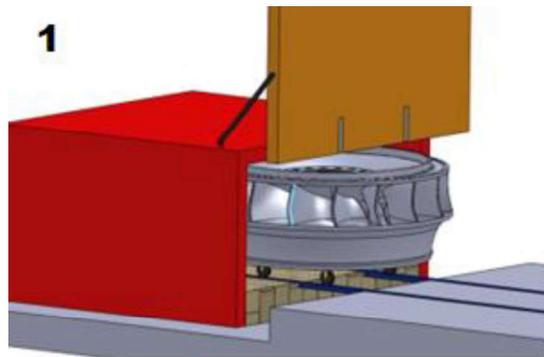


Figura 2-1: Alternativa 1 de diseño, la puerta se eleva y la carga ingresa a través de rieles, la solera es fija.

Fuente: Diseño de un horno para tratamiento térmico del rodete de la turbina Francis (CELEC unidad de negocio Hidroagoyán)

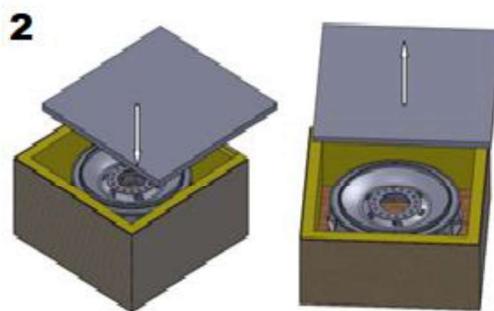


Figura 2-2: Alternativa 2 de diseño, horno en forma de caja la pared superior (techo) se levanta para que entre la carga, se necesita una grúa para introducir la carga al horno.

Fuente: Diseño de un horno para tratamiento térmico del rodete de la turbina Francis (CELEC unidad de negocio Hidroagoyán)

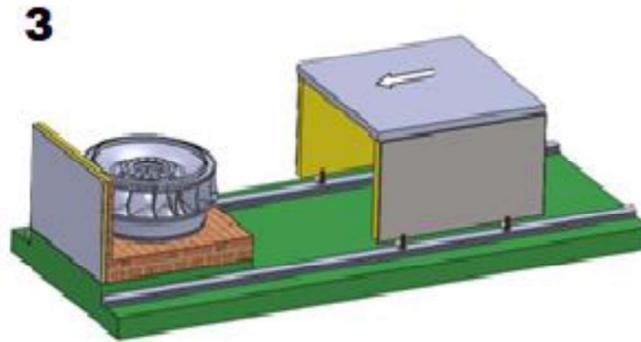


Figura 2-3: Alternativa 3 de diseño, la solera es fija, las paredes laterales y el techo se mueven hacia adelante y atrás por un sistema de rieles.

Fuente: Diseño de un horno para tratamiento térmico del rodete de la turbina Francis (CELEC unidad de negocio Hidroagoyán)

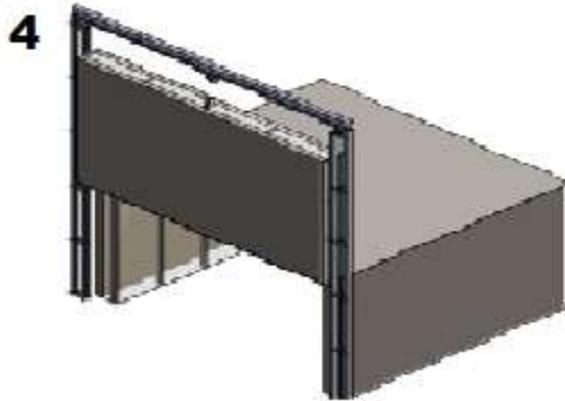


Figura 2-4: Alternativa 4 de diseño, la puerta se eleva con poleas, la solera es móvil donde se asienta la carga e ingresa al horno.

La mejor alternativa de diseño es la número 4, ya que presenta más facilidad para ingresar la carga al horno, además su futura construcción y maniobrabilidad es más factible que las otras propuestas. También cumple con los requerimientos de diseño y obtiene los mayores puntajes en la tabla de decisión (*tabla 1*).

El horno tiene una forma rectangular, con una solera móvil que permita colocar la carga dentro del horno y sacarla con facilidad; tendrá una puerta para acceso al horno que se elevara a través de un sistema de poleas y un motor que luego al bajar sellara herméticamente el horno.

El modelo escogido para la puerta de acceso del horno permite que se lo utilice para otros tipos de procesos de fundición permitiendo abrir y cerrar la puerta a gusto del operario y de los procesos realizados.

La *tabla 1*, muestra los parámetros de decisión más importantes para el diseño final del horno.

Alternativa	Facilidad de construcción	Facilidad para colocar la carga	Maniobrabilidad	Herméticidad	Volumen de carga	Versatilidad	Total
1	3	4	3	4	3	4	21
2	2	3	2	3	2	2	14
3	4	3	3	4	2	3	19
4	3	4	3	4	4	4	22

Tabla 1: Tabla de decisión de alternativa de diseño.

En esta *tabla 1* los valores están entre 1 y 5 siendo 1 lo más bajo y 5 lo más alto.

2.1.2. Parámetros de diseño y materiales a utilizar.

Para el desarrollo de esta propuesta de diseño, se ha tomado en consideración los requerimientos por parte de los dirigentes de la empresa SMO, además de la información investigada sobre el ámbito industrial de los hornos y tratamientos térmicos, llegando a la conclusión de los siguientes parámetros:

- La máxima temperatura interna del horno para tratamiento térmico de aceros será de 1100 °C
- El tiempo de funcionamiento del horno en cada tratamiento térmico cambia según la cantidad de material que haya ingresado en el mismo.
- La temperatura externa del horno podrá variar entre los 30 a 40 °C, pero no superará esta marca.
- Se toma en cuenta las pérdidas de calor que puedan existir en todas las paredes del horno.
- La fuente de energía del horno será el gas.
- La estructura del horno que forma el esqueleto del mismo utiliza perfiles estructurales y está recubierto de material aislante y refractario.

Materiales aislantes y refractarios.

Manta cerámica.

El revestimiento interior de las paredes del horno está formado por una capa de manta cerámica marca CALORCOL tipo B6-2". Este tipo de manta posee una baja conductividad térmica y presenta una excelente resistencia mecánica con una fácil instalación.

Según esta empresa esta manta es ampliamente utilizada para el revestimiento y aislación de hornos, calderas y demás equipos que trabajan a altas temperaturas (CALORCOL). También se la utiliza en procesos petroquímicos y protecciones contra incendios como se indica en el *anexo C.1*

Ladrillo refractario.

La solera del horno tendrá varias capas de ladrillo refractario marca ERECOS tipo U-33; al poseer una baja densidad estos ladrillos otorgan una baja conductividad térmica, por lo que son muy utilizados en las estructuras de los hornos (ERECOS, 2015).

Mortero refractario.

Los ladrillos en la solera estarán unidos por mortero húmedo SUPERAEROFRAX marca ERECOS, que es un material que al combinarse con agua permite pegar los ladrillos entre sí, a la estructura de un equipo. Estos materiales formarán la superficie de la solera donde se asentarán los materiales o piezas que entran al horno para su calentamiento (ERECOS, 2018).

Plancha de acero.

La capa exterior de las paredes del horno estará cubierta por una plancha de acero que estará sujeta a toda la estructura física del horno, que se puede encontrar del proveedor DIPAC, en planchas laminadas al caliente de espesor de 6 mm hecha de acero ASTM A36, que brinda las propiedades necesarias para reforzar la estructura del horno (DIPAC, 2016).

Perfiles estructurales.

Estos perfiles forman la estructura del horno donde se soportan los demás materiales, se utiliza perfiles tipo IPN 100 para las paredes, techo, puerta y solera. Para las columnas de soporte del horno y de la puerta se usa perfiles de tipo tubo estructural cuadrado negro, todos estos materiales también de DIPAC.

Todos los materiales que intervienen en el diseño y futura construcción del horno de tratamiento térmico se han seleccionado de proveedores que se pueden encontrar en el Ecuador y así reducir cualquier otro gasto por importación.

2.1.3. Cálculos termodinámicos.

Debido a que el horno contara con una fuente de energía que tiene quemadores que funcionan a gas, existe dentro de él un flujo de aire y gas, lo cual hace que la forma de transmitir el calor a la carga sea por convección.

En la siguiente imagen se plasma las temperaturas a las que está sometida cada pared del horno.

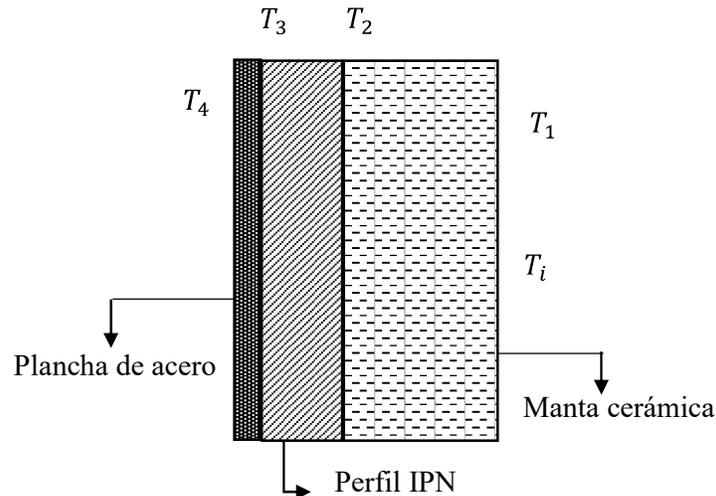


Figura 2-5: Estructura de las paredes, con sus respectivas temperaturas.

Donde:

T_i temperatura interna del horno

T_1 temperatura en la pared interna del horno (manta cerámica)

T_2 temperatura en la cara caliente del perfil IPN

T_3 temperatura en la cara caliente de la plancha de acero.

T_4 temperatura en la pared externa del horno

Datos para considerar:

$$T_{\infty} = 15^{\circ}\text{C} = 288,15 \text{ K } \textit{temperatura ambiente (ciudad de Otavalo)}$$

$$T_i = 1100^{\circ}\text{C} = 1373,15 \text{ K } \textit{temperatura interna del horno}$$

$$T_s = 30^{\circ}\text{C} = 303,15 \text{ K } \textit{temperatura exterior recomendada}$$

Cálculo de coeficientes de convección.

Temperatura de película

$$T_f = \frac{T_s + T_{\infty}}{2}$$

Ecuación 2.1

$$T_f = \frac{303,15 + 288,15}{2} = 295,65 \text{ K} = 22,5^{\circ}\text{C}$$

Coefficiente de expansión térmica

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$\beta = \frac{1}{295,65} = 0,00338 \text{ K}^{-1}$$

Con el valor obtenido de la temperatura de película y utilizando la tabla de propiedades del aire que se encuentra en el *anexo A*, se interpola el valor obtenido en grados Celsius para encontrar las propiedades necesarias del aire, y se obtiene los siguientes valores:

$$\text{Conductividad térmica } K_e = 0,02533 \frac{W}{m * K}$$

$$\text{Viscosidad cinemática } V_e = 1,539 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$\text{Difusión térmica } \alpha_e = 2,1075 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$\text{Número de Prandtl } Pr_e = 0,7303$$

$$\text{Altura del horno } L = 3 \text{ m}$$

Número de Rayleigh.

$$R_{al} = \frac{g * \beta * (T_i - T_{am}) * L^3}{\alpha_i * V_e} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$R_{al} = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.00338 \text{ K}^{-1} * (303.15 - 288.15)K * 27m^3}{(2.1075 * 10^{-5}) \frac{m^2}{s} * (1.539 * 10^{-5}) \frac{m^2}{s}} = 4.1403 * 10^{10}$$

Obtenemos el número de Nusselt.

$$N_{UL} = \left[0.825 + \frac{0.387 * R_{al}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr_e} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$N_{UL} = 398.04$$

$$h_e = \frac{N_{UL} * K_e}{L_e} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

N_{UL} : Número de Nusselt.

Pre: Número de Prandtl del aire a temperatura ambiente.

He: Coeficiente de convección calculado.

He: Coeficiente de convección asumido.

$$h_e = \frac{398.04 * 0.02533}{3} = 3.361 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$H_e = 6 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \text{ (por seguridad hemos multiplicado por 2 a } h_e \text{)}$$

Cálculos internos.

La convección se producirá desde el piso o parte inferior del horno hacia arriba y las paredes laterales del mismo. Definiremos los siguientes valores:

$$\text{Área interna del horno } A_{in} = 66 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro interno } P_{in} = 40 \text{ m}$$

Calculamos los valores de temperatura de película y el coeficiente de expansión térmica internos:

$$T_{fi} = \frac{T_i + T_{am}}{2} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$T_{fi} = 830.65 \text{ K} = 557,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\beta_i = \frac{1}{T_{fi}} = 1.2039 * 10^{-3}$$

El libro de INCROPERA recomienda utilizar la longitud característica que se define con la siguiente ecuación:

$$L_i = \frac{A_{in}}{P} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$L_i = 1.65 \text{ m}$$

Con el valor de la temperatura de película interna se interpola los valores de la tabla que se encuentra en el *anexo B* para obtener las propiedades del aire.

$$\text{Conductividad térmica } K_i = 0,05872 \frac{W}{m * K}$$

$$\text{Viscosidad cinemática } V_i = 8,7912 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$\text{Difusión térmica } \alpha_i = 1,2525 * 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$\text{Número de Prandtl } Pr_i = 0,7015$$

Se calcula el número de Rayleigh.

$$Ra_i = \frac{g * \beta_i * (T_i - T_{am}) * L_i^3}{\alpha_i * V_i} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$Rali = \frac{9.81 * (1.2039 * 10^{-3}) * (1085) * 4.49}{1.1011 * 10^{-8}} = 5.2253 * 10^9$$

Número de Nusselt para placas horizontales.

$$Nuli = 0.15 * Rali^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

$$Nuli = 260,293$$

Coefficiente de convección interno.

$$Hi = \frac{Nuli * Ki}{Li} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

$$Hi = 9,2633 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Coefficientes de radiación.

$$\text{Emisividad del aire } E_r = 0,423$$

$$\text{Constante de Stefan - Boltzman } \alpha_r = 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}$$

$$\text{Coeficiente de radiación } Hr = E_r * \alpha_r * (T_i - T_\infty) * (T_i^2 + T_\infty^2) \quad \text{Ecuación 2.11}$$

$$Hr = 46,91 \frac{W}{m^2 * K}$$

Ya que la radiación disminuye al aumentar la temperatura se hace un promedio del coeficiente de radiación.

Coefficientes de transferencia de calor obtenidos:

$$He = 6 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \text{ Coeficiente de convección externa}$$

$$Hi = 9,2633 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \text{ Coeficiente de convección interna}$$

$$Hr = 23,46 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \text{ Coeficiente de radiación}$$

Cálculos de espesores en las paredes del horno.

A partir de los principios analizados de convección y radiación, se calcula las pérdidas de calor a partir de la siguiente formula:

$$q = H_e * A_\infty (T_4 - T_\infty) \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde:

$$A_\infty = \text{Área de la plancha de acero en contacto con el ambiente}$$

$$q = \text{flujo de calor por convección y radiación}$$

Para calcular el área de la pared se debe asumir un valor de espesor de los materiales que recubren la cámara del horno y que están representados en la siguiente figura:

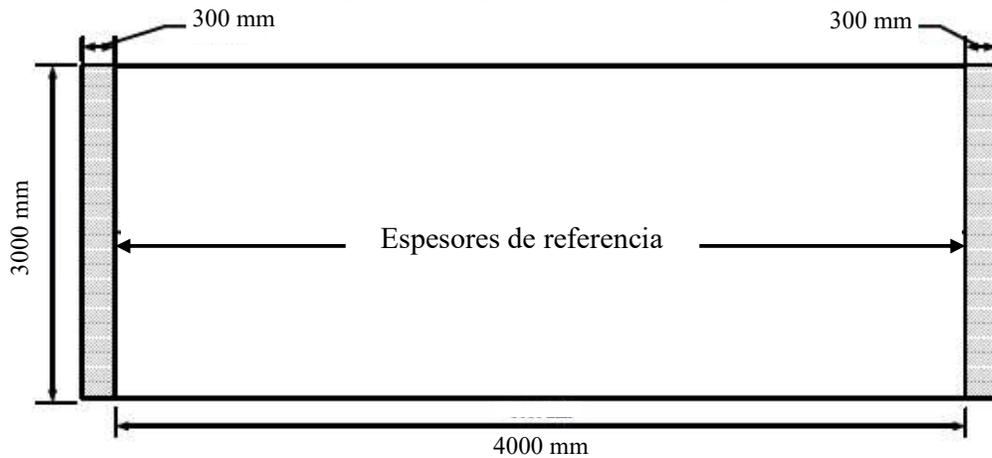


Figura 2-6: Pared para cálculos de espesor.

$$A_{\infty} = (4 + 0.6) * 3 \quad \text{Ecuación 2.13}$$

$$A_{\infty} == 13,8 \text{ m}^2$$

$$T_4 = 303,15 \text{ K}$$

Se reemplaza los valores en la *ecuación 2.12*

$$q = 1242 \text{ W}$$

Cabe señalar que los materiales que van a formar el horno se pueden analogar con un circuito de resistencias térmicas en serie y paralelo en el interior del horno para lo cual se puede determinar la siguiente ecuación:

$$q = \frac{T_i - T_{\infty}}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Cada resistencia está dada por la ecuación:

$$R = \frac{e}{k * A} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Tomando en consideración este criterio se procede a calcular los espesores de los materiales con la siguiente ecuación:

$$q = \frac{T1 - T2}{\frac{e1}{k1 * A1}} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Manta Cerámica.

$$T1 = 1373,15 \text{ K temperatura interna del horno}$$

$$T2 = 673,15 \text{ K temperatura de servicio de la manta cerámica}$$

$$K1 = 0,03727 \frac{W}{m * K} \text{ Conductividad térmica de la manta cerámica (Anexo C)}$$

$$A1 = 12m^2 \text{ Área de la pared}$$

Con estos valores y despejando el espesor de la *ecuación 2.16* y obtenemos:

$$e1 = 0.25 m = 25 cm$$

Plancha de Acero.

El espesor de esta plancha será de 6 mm ya que en los catálogos del proveedor de este material que se está utilizando (*Anexo D*) el menor valor de espesor comercial que se puede encontrar para la plancha de acero es de 6 mm, el cual será suficiente para el uso en el horno.

Cálculos de espesores en la solera.

Ecuación 2.17

$$Q = \frac{S * C * A * (T_i - T_a)}{D}$$

Cuando se alcanza los valores uniformes de temperatura dentro del horno el flujo de calor se puede expresar con la *ecuación 2.17* donde:

Q: flujo de calor en W.

S: factor de forma que depende de la geometría de la solera, se tiene los valores de 4 para soleras circulares, 4.40 para soleras cuadradas.

A: superficie de la solera en m^2

C: conductividad térmica del material en $[\frac{W}{m * K}]$, interpolamos este valor del *anexo G*.

T_i : temperatura interna del horno en K.

T_a : temperatura del aire externa, para este caso se utilizará $T_a = T_{\infty}$

D: ancho mínimo de la solera, para este caso será 3m

Reemplazando los valores de la ecuación se tiene:

$$Q = \frac{4,4 * 0,396 * 12 * (1373,15 - 288,15)}{3} = 7562,02 W$$

Espesor del ladrillo refractario.

Ecuación 2.18

$$q = \frac{T1 - T2}{\frac{e_s}{k_s * A_s}}$$

Donde:

T1: temperatura interior del horno.

T2: temperatura de servicio del ladrillo refractario para este caso se utiliza 1073,15 K

k_s : conductividad térmica del ladrillo refractario.

A_s : área de la solera.

e_s : espesor del material.

$$q = \frac{(1373,15 - 1073,15)}{\frac{e_s}{0,396 * 12}} \rightarrow e_s = 0,189 \text{ m} = 18,9 \text{ cm}$$

Según las características del ladrillo refractario tiene un espesor de 0,064 m por lo que para cumplir el espesor necesario para la solera se utilizará tres capas de ladrillo refractario.

2.1.3.1. Pérdidas de calor en las paredes.

Ya que el flujo de calor es constante dentro del horno el calor perdido se puede expresar con la ecuación:

$$q = \frac{T_i - T_\infty}{\left(\frac{1}{H_i * A_i} + \frac{1}{H_r * A_i}\right)^{-1} + \frac{e_1}{k_1 * A_1} + \frac{e_2}{k_2 * A_2} + \frac{1}{H_e * A_3}} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Donde:

A_i : área interior de la pared del horno.

A_1 : área de la superficie más caliente de la manta cerámica.

A_2 : área de la superficie más caliente de la plancha de acero.

A_3 : área externa de la plancha de acero.

$$q = \frac{1373,15 - 288,15}{\left(\frac{1}{9,26 * 12} + \frac{1}{23,46 * 12}\right)^{-1} + \frac{0,25}{0,037 * 12} + \frac{0,006}{53,6 * 12} + \frac{1}{6 * 12}}$$

$$q = 13,52 \text{ W} * (3 \text{ paredes}) = 40,56 \text{ W}$$

2.1.3.2. Pérdidas de calor en la puerta y la pared posterior.

Utilizamos la *ecuación 2.19* y reemplazamos el valor de las áreas por el de 9 m.

$$q = \frac{1373,15 - 288,15}{\left(\frac{1}{9,26 * 9} + \frac{1}{23,46 * 9}\right)^{-1} + \frac{0,25}{0,037 * 9} + \frac{0,006}{53,6 * 9} + \frac{1}{6 * 9}}$$

$$q = 17,92 \text{ W} * 2 = 35,85 \text{ W}$$

2.1.3.3. Pérdidas de calor en la solera.

Con la *ecuación 2.19* reemplazamos los valores de la manta cerámica por los del ladrillo refractario.

$$q = \frac{1373,15 - 288,15}{\left(\frac{1}{9,26 * 12} + \frac{1}{23,46 * 12}\right)^{-1} + \frac{0,189}{0,396 * 12} + \frac{0,006}{53,6 * 12} + \frac{1}{6 * 12}}$$

$$q = 13,61 \text{ W}$$

2.1.3.4. Pérdida de calor total.

$$Q_T = \Sigma q \quad \text{Ecuación 2.20}$$

Donde:

Q_T : flujo de calor total

q : flujo de calor de todas las paredes.

$$Q_T = 40,56 + 35,85 + 13,61 = \mathbf{90,02 W = 0,09 KW}$$

2.1.3.5. Calor necesario para calentar el material dentro del horno.

$$Q_m = m_m * C_m \quad \text{Ecuación 2.21}$$

Donde:

Q_m : calor necesario para calentar el material.

m_m : masa del material a calentar.

C_m : contenido de calor del material en kcal/kg.

El contenido de calor se puede obtener del *anexo F*.

Para 1100°C tenemos 180 kcal/kg y para 15°C tenemos 4 kcal/kg.

$$Q_m = 4000 \text{ kg} * (180 - 4) \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 704000 \text{ kcal} = \mathbf{818,20 KWh}$$

2.1.3.6. Calor necesario para calentar la solera.

El contenido calorífico del ladrillo refractario se obtiene del *anexo F*. Para 1100°C se tiene 300 kcal/kg y para 15°C se tiene 3,75 kcal/kg.

La masa del ladrillo se obtiene de la ecuación:

$$d_{lr} = \frac{m_{lr}}{V_{lr}} \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Donde:

d_{lr} : densidad del ladrillo.

m_{lr} : masa del ladrillo.

V_{lr} : volumen del ladrillo.

La densidad del ladrillo es de 800 kg/m³ (*anexo G*) y su volumen es 1659,19 cm³ = 0,001659 m³

$$m_{lr} = 800 * 0,001659 = 1,33 \text{ kg}$$

Total de ladrillos.

$$Tl = \frac{V_{solera}}{V_{lr}} \quad \text{Ecuación 2.23}$$

$$Tl = \frac{4 * 3 * 0,189}{0,001659} = 1374,32$$

Masa de todos los ladrillos.

$$m_{Tlr} = Tl * m_{lr} = 1367,09 * 1,33 = 1818,23 \text{ kg}$$

Utilizando la ecuación 2.21

$$Q_{lr} = 1818,23 \text{ kg} * (300 - 3,75) \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 538650,64 \text{ kcal} = \mathbf{626,03 \text{ KWh}}$$

2.1.3.7. Calor necesario para calentar las paredes (manta cerámica).

$$Q_{mc} = m_{mc} * C_p * \Delta T \quad \text{Ecuación 2.24}$$

Donde:

C_p : calor específico en este caso es $0,27 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$

ΔT : variación de temperatura.

m_{mc} : masa manta cerámica.

$$Q_{mc} = 288 \text{ kg} * 0,27 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * \left(\frac{1100 - 400}{2} - 15 \right) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{mc1} = 26049,6 \text{ Kcal} = \mathbf{30,28 \text{ KWh}} * (\mathbf{3 \text{ paredes}}) = \mathbf{90,84 \text{ KWh}}$$

Para la puerta y la pared posterior.

$$Q_{mc2} = 216 \text{ kg} * 0,27 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * \left(\frac{1100 - 400}{2} - 15 \right) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{mc2} = 19537,2 \text{ Kcal} = \mathbf{22,71 \text{ KWh}} * \mathbf{2} = \mathbf{45,42 \text{ KWh}}$$

2.1.3.8. Calor por perdidas no consideradas.

Por seguridad se tomará un 10% del consumo de calor total del horno.

$$Q_{per} = \mathbf{158,05 \text{ KWh}}$$

2.1.3.9. Calor total necesario para calentar el horno en el tratamiento térmico.

El tiempo de referencia que se ha tomado para calentar una pieza de acero para realizar un tratamiento térmico, se ha hecho analizando varias tesis que tratan sobre tratamientos a piezas grandes de acero que están en entre 10 y 14 horas, por lo que tomaremos como referencia el valor de 10.

$$Q_{tt} = \left(\frac{Q_m + Q_{lr} + Q_{mc1} + Q_{mc2} + Q_{per}}{h_T} \right) + Q_T \quad \text{Ecuación 2.25}$$

$$Q_{tt} = \left(\frac{818,2 + 626,03 + 90,84 + 45,42 + 158,05}{10} \right) + 0,09 = 173,94 \text{ KW}$$

2.1.3.10. Eficiencia del horno.

$$\eta = \left(\frac{Q_{tt}}{Q_{tt} + \left(Q_T + \frac{Q_{per}}{10} \right)} \right) * 100\% \quad \text{Ecuación 2.26}$$

$$\eta = \left(\frac{173,94}{173,94 + 0,09 + 15,81} \right) * 100\%$$

$$\eta = 91,62\%$$

2.1.3.11. Potencia del horno.

$$P = \frac{Q_{tt}}{\eta} \quad \text{Ecuación 2.27}$$

$$P = \frac{173,94}{0,9162} = 189,85 \text{ KW}$$

2.1.4. Diseño mecánico.

Antes de pasar al diseño mecánico de la estructura del horno que soporta todos los materiales, es importante considerar las cargas que pueden existir en cualquier estructura y pueden influenciar en las mismas.

Cargas muertas: son aquellas cuya magnitud y posición, permanecen prácticamente constantes durante la vida útil de la estructura. También se denominan cargas permanentes.

- Peso propio.
- Instalaciones.
- Empujes de rellenos definitivos.
- Cargas debidas a deformaciones permanentes (montaje).

Cargas vivas: son cargas variables en magnitud y posición debidas al funcionamiento propio de la estructura. También se denominan de “ocupación”.

- Personal
- Mobiliario
- Empujes de cargas de almacenes

Cargas accidentales.

Viento: Estas cargas dependen de la ubicación de la estructura, de su altura, del área expuesta y de la posición.

Sismo: Estas cargas inducidas en las estructuras están en relación a su masa y elevación a partir del suelo, así como de las aceleraciones del terreno y de la capacidad de la estructura para disipar energía.

2.1.4.1. Cálculo de la viga principal.

Para los cálculos matemáticos se considera las cargas vivas y muertas que influyen en la estructura. Se ha seleccionado un perfil de tipo IPN 100 de acero ASTM A36 que se puede observar en el (*Anexo H*), para formar toda la estructura o esqueleto del horno y con los cuales se calculará los pesos y fuerzas que afectaran el diseño. En la siguiente imagen se muestra cómo actúan las cargas:

Para obtener la carga final que estará siendo ejercida sobre la viga se tomó el total de los pesos de los materiales que conforman la estructura del horno, considerando aquí la estructura del techo se tiene los siguientes elementos:

- Perfil IPN100, según el *anexo H* se tiene que cada metro de viga tiene una masa de 8,32 kg; para formar toda la estructura del techo que tiene este perfil estructural se necesitan 35 metros de viga, con esto tenemos una masa total de 291,2 kg.
- Se debe considerar la masa promedio de una persona que pueda estar encima de la estructura, se considerara una masa de 50 kg.
- La masa de manta cerámica que se utiliza es de 288 kg, que se obtiene al calcular su densidad por el volumen que ocupa.
- La masa de la plancha de acero utilizada de 6 mm de espesor será de 565,2 kg

La fuerza final que será ejercida en el techo la sumatoria de todas las masas de los materiales multiplicado por la gravedad, correspondiendo con la ecuación:

$$F = m * g \quad \text{Ecuación 2.28}$$

$$F = (291,2 + 50 + 288 + 565,2)kg * 9,8 \frac{m}{s^2} = \mathbf{11705,12 N}$$

Este valor obtenido se divide para el número de elementos que forman la estructura del techo (10 vigas), este resultado será la fuerza que actúa sobre cada viga y con la cual se procede a calcular los valores de esfuerzos y momentos.

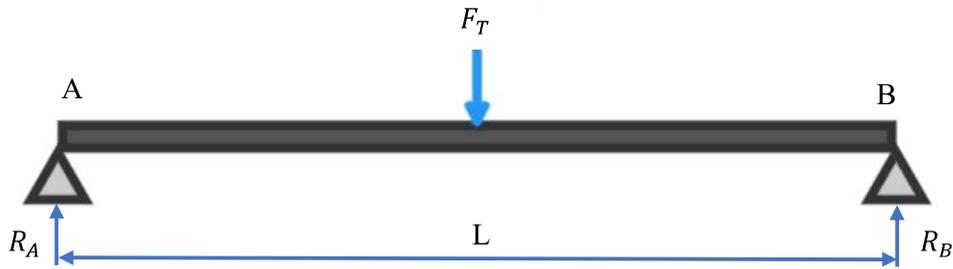


Figura 2-7: Representación de las fuerzas que actúan en la viga.

Donde:

F_T : fuerza ejercida sobre la viga = 1170,5 N

R_A y R_B : reacciones en el punto A y B.

L: longitud de la viga (3m).

Cálculo de las reacciones.

Para determinar los valores de las reacciones se realiza una sumatoria de momentos en el punto A.

$$\Sigma M_A = 0 \quad \text{Ecuación 2.29}$$

$$F_T * (1,5) - R_B * (3) = 0$$

$$1170,5 * (1,5) - R_B * (3) = 0$$

$$1755,75 = 3 R_B$$

$$\mathbf{R_B = 585,25 N}$$

Para el cálculo de la reacción del punto B, se utiliza la ecuación de equilibrio de fuerzas en el eje y.

$$\Sigma F_y = 0 \quad \text{Ecuación 2.30}$$

$$R_A + R_B = 1170,5$$

$$R_A = 1170,5 - 585,25 = \mathbf{585,25 N}$$

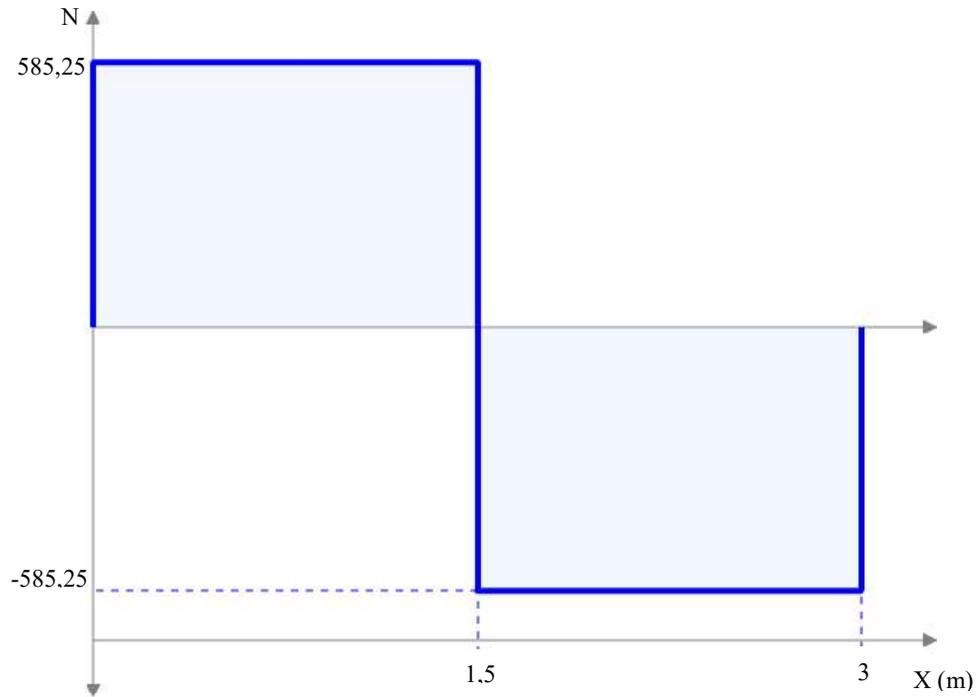


Figura 2-8: Diagrama de esfuerzos cortante de la viga.

Para encontrar el valor del momento máximo se multiplica el valor de la mayor fuerza encontrada en el diagrama de esfuerzos por la distancia.

$$585,25 * 1,5 = \mathbf{877,88 Nm}$$

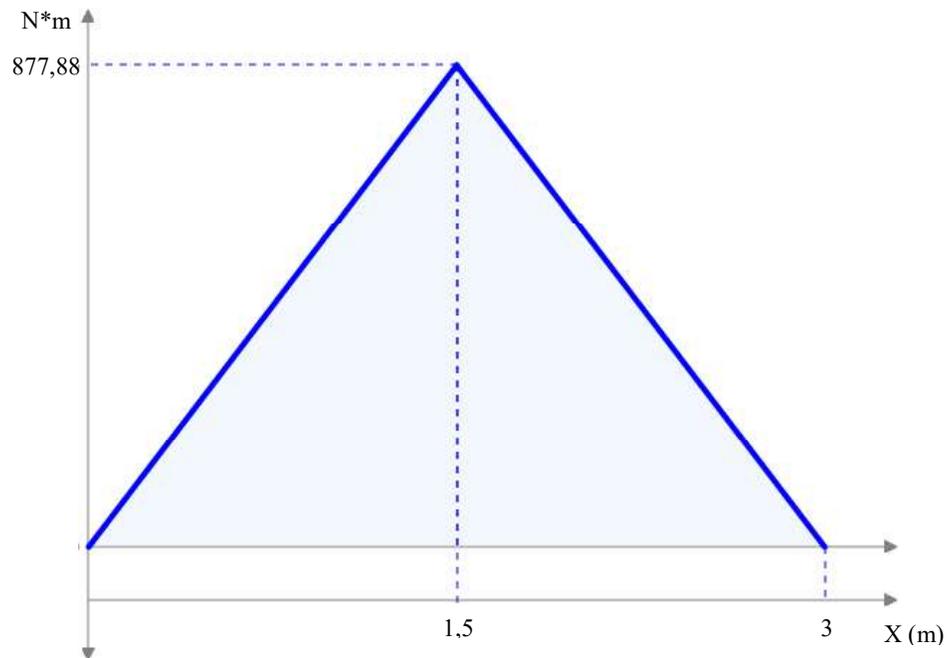


Figura 2-9: Diagrama de momento flector.

Cálculo del esfuerzo máximo sobre la viga.

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x} * C}{I_x} \quad \text{Ecuación 2.31}$$

Utilizando los datos del *anexo I*, se aplica la ecuación donde:

σ : esfuerzo máximo.

$M_{m\acute{a}x}$: momento flector máximo.

C : centro de gravedad de la viga.

I_x : momento de inercia.

$$\sigma = \frac{877,88 \text{ [Nm]} * 0,05 \text{ [m]}}{0,00000171 \text{ [m}^4\text{]}} = 25669005,85 \text{ [Nm}^2\text{]} = 25,67 \text{ [MPa]}$$

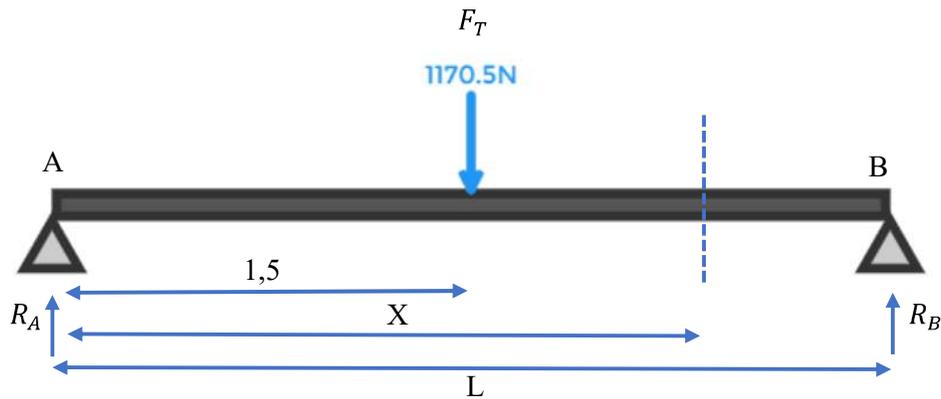
Cálculo de la deflexión de la viga.

Figura 2-10: Diagrama de la viga con un corte para el cálculo de la deflexión.

Donde:

L: longitud de la viga (3 metros).

X: distancia del punto A, al punto de corte para el análisis.

Se hace un corte en la viga para aplicar el método de doble integración. Al comienzo se realiza una sumatoria de momentos en x con respecto al punto donde se hace el corte teniendo la siguiente ecuación:

$$EIy'' = \Sigma M_x \quad \text{Ecuación 2.32}$$

$$EIy'' = R_A * (x) - F_T * (x - 1,5)$$

Derivamos esta ecuación dos veces y se obtiene:

$$EIy' = R_A * \left(\frac{x^2}{2}\right) - F_T * \frac{(x - 1,5)^2}{2} + C1 \quad \text{Ecuación 2.33}$$

$$EIy = R_A * \left(\frac{x^3}{6}\right) - F_T * \frac{(x - 1,5)^3}{6} + C1 * (x) + C2 \quad \text{Ecuación 2.34}$$

Se aplica condiciones de equilibrio ($x = 0$; $y = 0$) en la ecuación 3.7

$$EI * (0) = 585,25 * \left(\frac{0^3}{6}\right) - 1170,5 * \frac{(0 - 1,5)^3}{6} + C1 * (0) + C2$$

$$C2 = 0$$

Cuando $x = 3$; $y = 0$

$$EI * (0) = 585,25 * \left(\frac{3^3}{6}\right) - 1170,5 * \frac{(3 - 1,5)^3}{6} + C1 * (3) + C2$$

$$0 = 2633,63 - 658,41 + 3C1$$

$$-\frac{1975,22}{3} = C1$$

$$C1 = -658,41$$

La deflexión la se calcula en el punto medio de la viga ya que ahí es el punto crítico.

$$EIy = 585,25 * \left(\frac{1,5^3}{6}\right) - 1170,5 * \frac{(1,5 - 1,5)^3}{6} - 658,41 * (1,5)$$

$$EIy = 329,20 - 0 - 987,62$$

$$EIy = -658,42$$

Para el último paso se necesita el valor del coeficiente de elasticidad del acero ASTM A36 que es de 200 GPa o en otras unidades $2 * 10^{11} \text{ N/m}^2$, y el valor de la inercia de la viga que se encuentra en el *anexo H*.

$$y = -\frac{658,42}{EI} = -\frac{658,42}{(2 * 10^{11}) * 0,00000171} = 0,002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

Cálculo del factor de seguridad.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} \quad \text{Ecuación 2.35}$$

El material del que está hecho la viga IPN es acero ASTM A36 que tiene un límite de fluencia de 250 MPa.

Si se aplica la teoría de falla de Von Mises se utiliza la ecuación:

$$S_{sys} = \frac{250}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación 2.36}$$

$$S_{sys} = \frac{250}{\sqrt{3}} = 144,34 \text{ MPa}$$

El η de la ecuación 2.36 se reemplaza por el η de la ecuación 2.36

$$\eta = \frac{144,34}{25,67} = 5,62$$

2.1.4.2. Diseño de la puerta del horno.

La puerta del horno subir en su totalidad para dejar entrar toda la carga, y luego descender para sellar el horno. Para esto se implementa unas guías al lado izquierdo y derecho que permita el movimiento de la puerta a través de una polea con cable.

Se considera tres modelos de guías, la primera estaba formado por perfiles UPN, la segunda con vigas IPN y la última con tubo estructural cuadrado. A estas tres propuestas se las realizo un análisis estático para determinar cuál es la mejor opción y puede soportar de mejor manera el peso de la puerta.

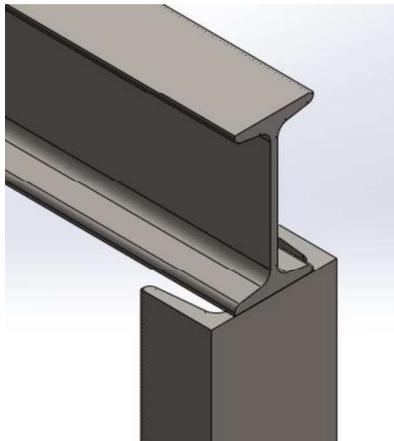


Figura 2-11: Viga de soporte de la puerta con guías tipo UPN.

Para este modelo la malla genera 357 nodos y 353 elementos, con lo cual la simulación de cargas se obtiene de la siguiente manera:

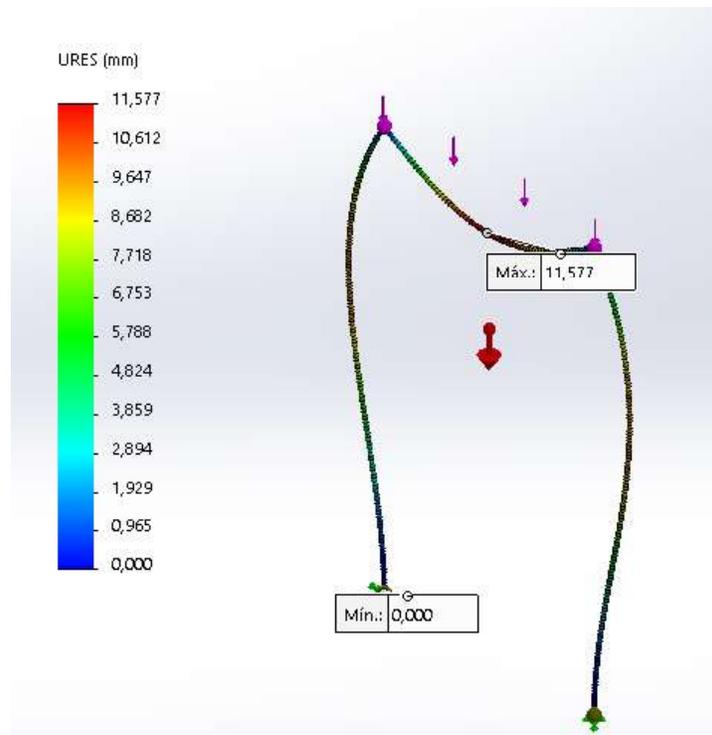


Figura 2-12: Desplazamiento de las guías UPN.

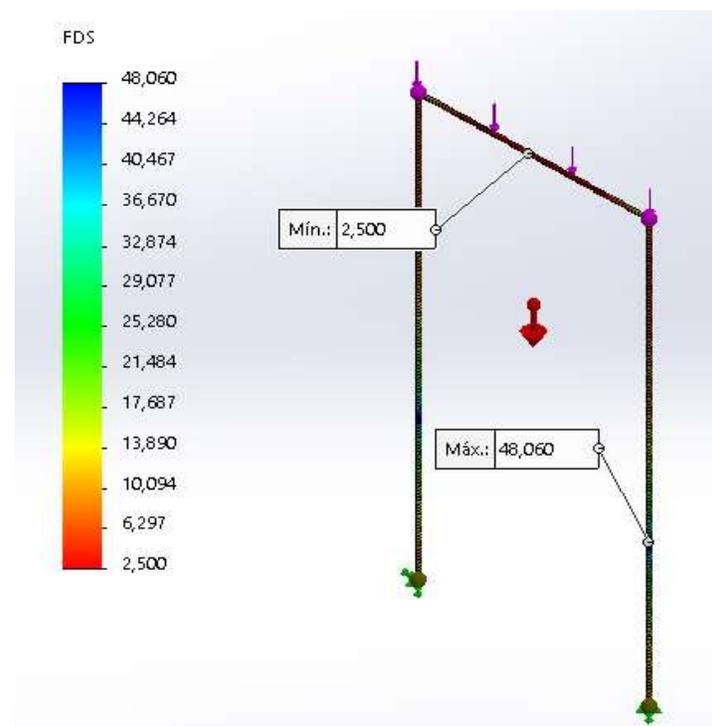


Figura 2-13: Factor de seguridad de las guías UPN.

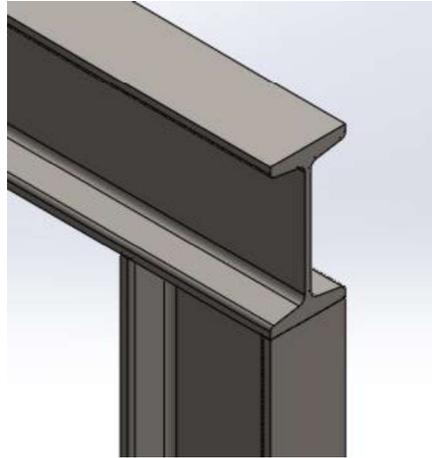


Figura 2-14: Viga de soporte de la puerta con guías tipo IPN.

Para este modelo la malla genera 251 nodos y 247 elementos, con lo cual se obtiene la simulación de cargas de la siguiente manera:

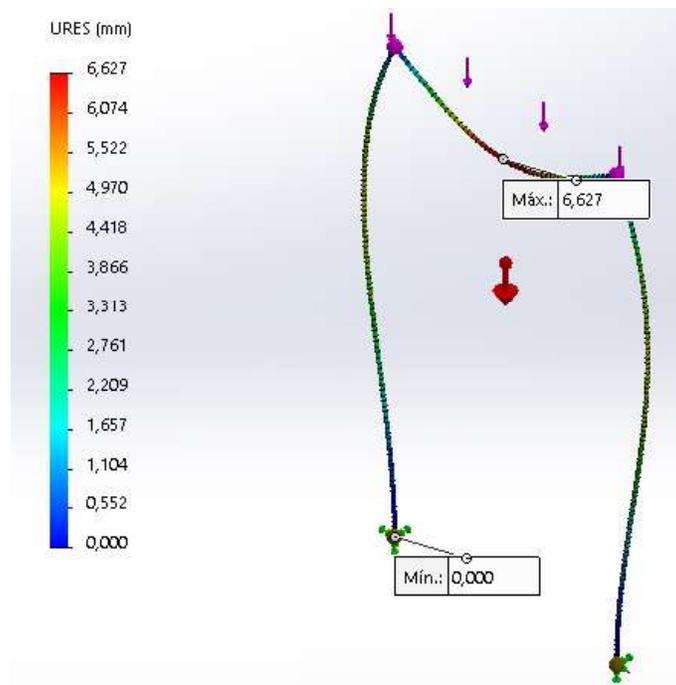


Figura 2-15: Desplazamiento de guías IPN.

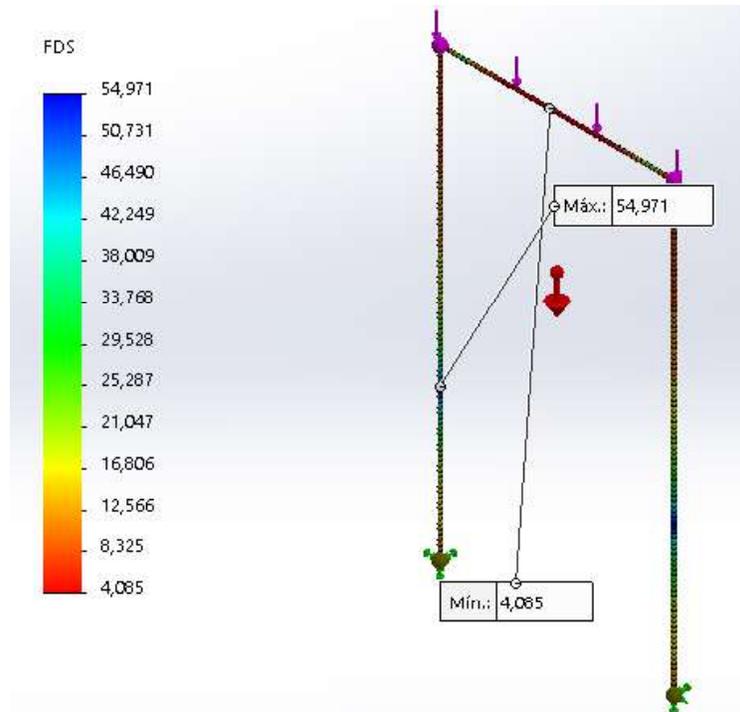


Figura 2-16: Factor de seguridad de las guías IPN.

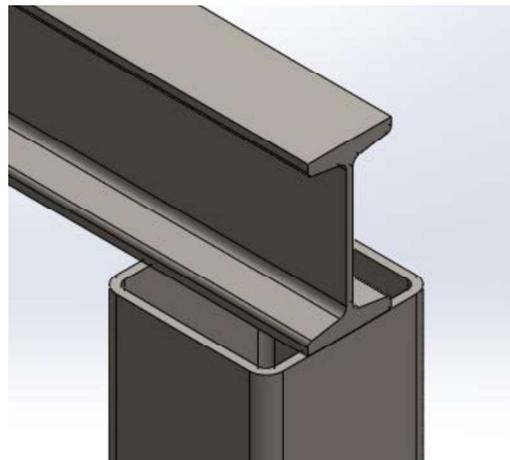


Figura 2-17: Viga de soporte de la puerta con guías tipo tubo cuadrado.

Para este modelo la malla genera 155 nodos y 151 elementos, con lo cual la simulación de cargas queda de la siguiente manera:

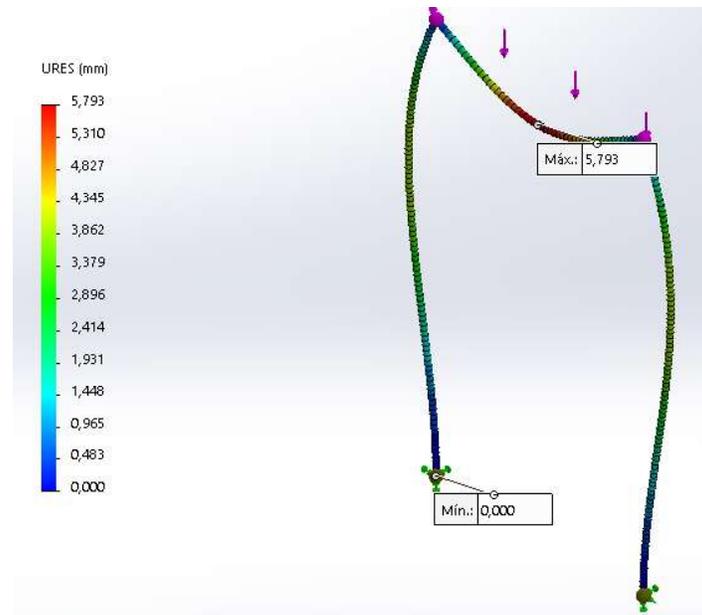


Figura 2-18: Desplazamiento de las guías de tubo cuadrado.

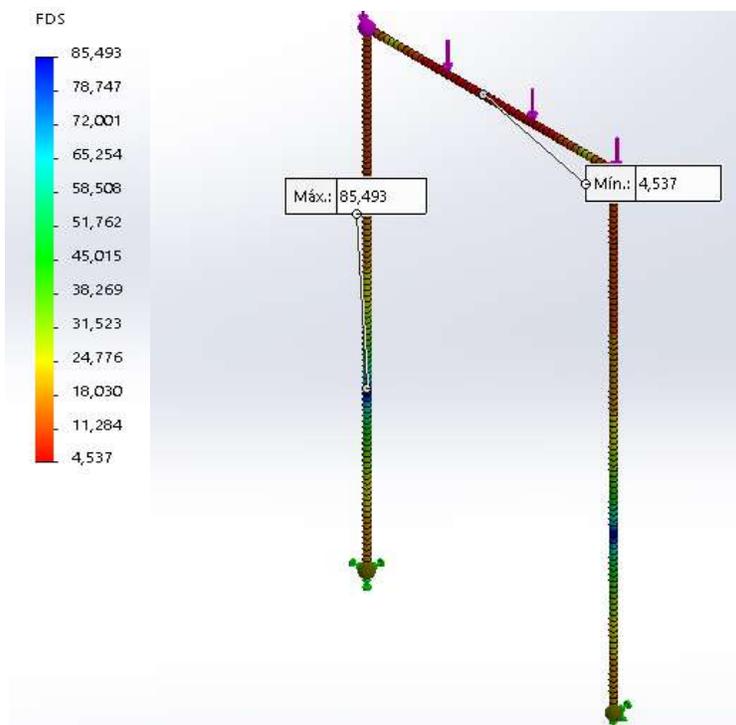


Figura 2-19: Factor de seguridad de las guías de tubo cuadrado.

Tipo de guía	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad
Perfil UPN	11,58	2,5
Viga IPN	6,63	4,01
Tubo cuadrado	5,8	4,5

Tabla 2: Valores de simulaciones de las propuestas de guías para la puerta.

En la *figura 2.12* se tiene la simulación del desplazamiento de la viga UPN que arroja un valor excesivamente alto y que no puede ser considerado como viable al momento de la construcción y de igual manera el factor de seguridad es aún más bajo que el de las siguientes vigas.

En la *figura 2.15* se observa que las vigas IPN reducen casi a la mitad el valor del desplazamiento con el mismo valor de la fuerza colocado en la simulación, pero aún este valor sigue siendo alto para ser considerado viable en una futura construcción.

En la *figura 2.18* del tubo cuadrado el desplazamiento reduce un poco más y en comparación con las otras vigas sería el más recomendable, de igual manera su factor de seguridad si puede ser considerado como accesible.

Como se puede observar la mejor opción para utilizar como guías para la puerta serán las de tubo cuadrado ya que presentan el menor desplazamiento para la viga que soportará la puerta y además presenta el mayor factor de seguridad.

2.1.4.2.1. Sistema de elevación de la puerta.

Para poder abrir la puerta del horno, esta se eleva con un motorreductor que esta acoplado a un lado lateral de la estructura del horno protegido para que al elevar la puerta y calor salga al exterior no vaya a afectar en nada al motorreductor, a su vez este utilizará un sistema de transmisión con cable sujeto a su eje o tambor y que pasa por una polea sujeta a la viga de la estructura de las guías de la puerta. Señalando que la carga que presenta la puerta con el peso de todos sus materiales es de 889,5 kg, se pasa a escoger la configuración de las poleas.

Para iniciar esta parte se necesita escoger un arreglo o configuración para el sistema de poleas que va a sujetar la puerta, para el cual se ha tomado como referencia el modelo de la *figura 2.20*, donde *P1*, *P2* y *P3* son las poleas y *M* es el motorreductor

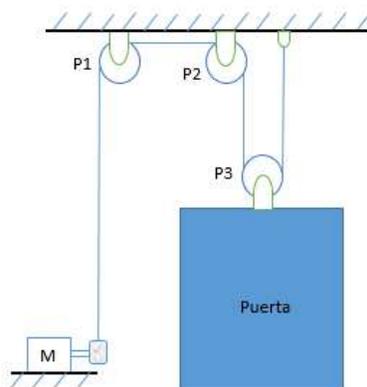


Figura 2-20: Arreglo de poleas para elevar la puerta.

Para que todo el sistema de elevación se encuentre en equilibrio el cable que conecta la polea 1 y 2 debe tener un valor igual de tensión que en este caso es el peso de toda la puerta, por lo

que se divide en dos este peso y se obtiene un valor de 4363 [N]. Luego el cable que conecta la polea 1 al motorreductor tiene una tensión igual a todo el peso de la puerta (8726 [N]). Todas estas tensiones en los cables se representan en la *figura 2.21*

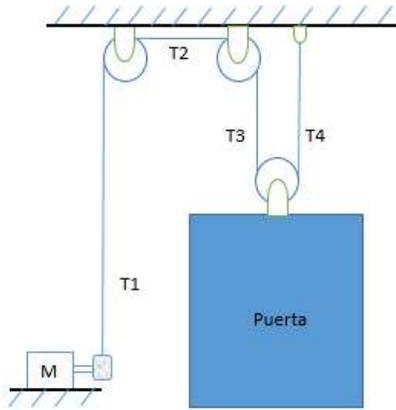


Figura 2-21: Tensiones en los cables.

Donde:

$$T1 = T2 = 8726 \text{ [N]}$$

$$T3 = T4 = 4363 \text{ [N]}$$

Para poder encontrar la potencia necesaria que debe tener el motorreductor se necesita también la velocidad con la que se va a mover que para este caso se ha fijado un valor de 0,1 m/s, además necesitamos el coeficiente de rozamiento que existe entre el cable y las poleas y como ambas van a ser de material de acero dicho coeficiente se puede encontrar en la *tabla 3*

Coeficientes de Fricción		
Materiales	Coeficiente de fricción estática $[\mu_s]$	Coeficiente de fricción dinámica $[\mu_k]$
Acero – Acero	0,74	0,57
Aluminio – Acero	0,61	0,47
Cobre – Acero	0,53	0,36
Latón - Acero	0,51	0,44
Zinc – Hierro colado	0,85	0,21
Vidrio – Vidrio	0,94	0,4
Cobre – Vidrio	0,68	0,53
Teflón – Teflón	0,04	0,04
Teflón - Acero	0,04	0,04

Tabla 3: Coeficientes de fricción.

Fuente: Serway. Physics for Scientists and Engineers – Sears, Z &Y. Física Universitaria

A la tensión del cable la multiplicamos por el coeficiente de rozamiento entre acero-acero y se tiene la fuerza de fricción necesaria para encontrar la potencia del motor.

$$F_{r1} = 8726 * 0,74 = 6457,24 \text{ [N]}$$

La potencia se encuentra con la *ecuación 2.37*

$$P_{motor} = F_r * V_{des} \quad \text{Ecuación 2.37}$$

$$P_{motor} = 6457,24 * 0,1 = 645,72 [W] = 0,65 [KW] = 0,87 [HP]$$

Analizando el catalogo del *anexo I*, se encuentra valores para la potencia de salida del motorreductor desde 0,06 [KW] y para mayor seguridad se multiplica la potencia encontrada por un factor de 1.5, teniendo potencia de salida de 0,98 [KW] y con este valor se escoge el motorreductor sinfin modelo MR V 325 – 80C 4 B14R 14x 105.

2.1.4.2.2. Selección de las poleas.

Primero para realizar el diseño del sistema de elevación se necesita diseñar los soportes para las poleas, los cuales permitan fijarlas a la estructura del horno. Para este diseño se considera una carga de aproximadamente 900 Kg y el criterio de Von Mises que se representa con la *ecuación 2.38*

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} \quad \text{Ecuación 2.38}$$

Donde:

σ : esfuerzo por cortante.

τ : esfuerzo por torsión.

Como el σ para este caso no existe la ecuación se puede reemplazar por:

$$0,577 * \frac{Sy}{n} \geq \tau \quad \text{Ecuación 2.38}$$

A su vez τ se encuentra multiplicando el esfuerzo producido de la carga por la sección circular maciza (Norton, 2011, p.91), se reemplaza en la *ecuación 2.38* y se toma un valor de factor de seguridad de 3.

$$\frac{0,577 * Sy}{3} \geq \frac{4}{3} * \frac{8829}{A}$$

De aquí se debe despejar el valor del área y considerando un Sy de 200 MPa para un material de acero ASTM A36 (Matweb) del que van a estar hechos los soportes se obtiene la siguiente expresión:

$$A \geq 306,03 \text{ mm}^2$$

Luego tomando en cuenta la fórmula para el área de un círculo se puede encontrar el diámetro del pasador.

$$\frac{\pi * D^2}{4} \geq 306,03 \text{ mm}^2$$

$$D \geq 19,74 \text{ mm}$$

El diámetro que debe tener el pasador de cada soporte debe ser mayor que 19,74 mm, este valor se considera para la selección posterior de las poleas.

Hay un factor que se debe considerar antes de escoger una polea y es el que al elevar la puerta el calor generado en su interior saldrá y se elevará alcanzando las poleas por lo cual estas deben contener unos rodamientos que soporten altas temperaturas, teniendo en cuenta esto se necesita un rodamiento con diámetro interior mayor de 19,74 mm para que sea igual al del pasador del soporte, analizando el catálogo de rodamientos SKF para altas temperaturas (*anexo J*) se ha escogido un rodamiento de diámetro interior de 20 mm que es el más próximo al calculado para los pasadores, este rodamiento de código 6004/VA201 tiene también un diámetro exterior de 42 mm. Con este valor si podemos pasar a escoger las poleas tomando como referencia el catalogo del *anexo K* donde tenemos una polea de modelo RZ-2.0 con capacidad de carga de 2000 Kg y un diámetro interno de 60 mm, esta podrá albergar sin problema al rodamiento seleccionado. Con esto pasamos a dibujar el soporte para las ruedas para asegurar que soporte la carga, como se muestra en la *figura 2.22*:

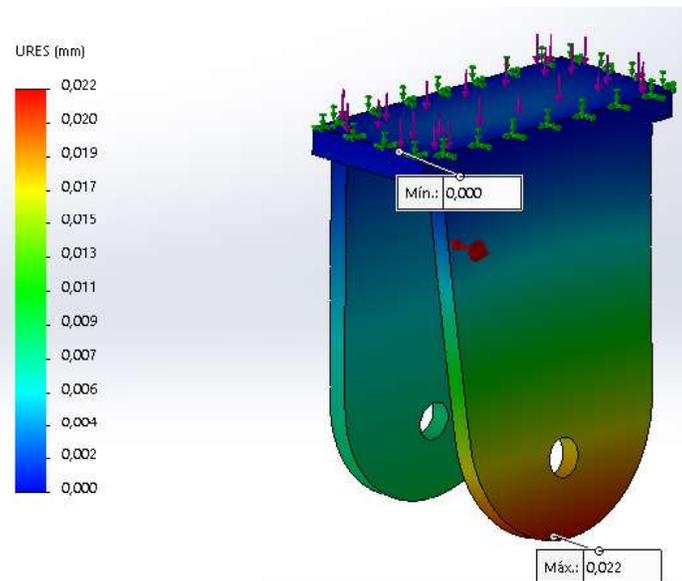


Figura 2-22: Análisis de cargas en el soporte de la polea (desplazamiento).

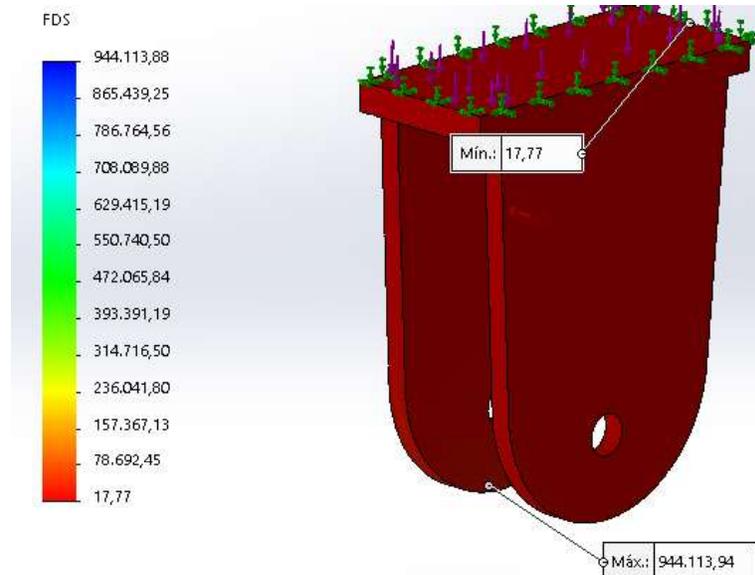


Figura 2-23: Análisis de cargas en el soporte de la polea (factor de seguridad).

Con las *figuras 2.22 y 2.23* se puede observar que el soporte de las poleas va a tener un desplazamiento máximo de 0,028 mm y un factor de seguridad de 17,9 con lo cual el soporte no fallara de ninguna manera y es viable su utilización para soportar el peso de la puerta elevándose con la polea.

Para este caso la simulación de estos soportes se realiza con una malla de tipo sólida con mallador estándar, generándose 14757 nodos y 8314 elementos.

2.1.4.2.3. Selección del cable para las poleas.

Luego de haber seleccionado las poleas, con el mismo catálogo que se tomó referencia se proporciona un valor del diámetro para el cable que puede ser utilizado para dichas poleas y está entre 12 a 14 mm de diámetro. Con esta referencia se pasa analizar el catalogo del anexo L para cables de acero, del cual se escoge el cable COBRA de diámetro de 13 mm con carga de ruptura mínima de 115000 [N], que va cubrir con facilidad toda la carga puesta en el sistema de elevación diseñado. Cabe resaltar que estos cables son utilizados para como cables de izaje y sistemas de elevación (Multicable Del Ecuador); cabe resaltar también que este cable tiene un peso de 0,63 Kg/m que en el hecho de utilizar aproximadamente unos 10 m del mismo para todo el sistema de elevación de la puerta no representa más de un 1% del total de la carga que se ha utilizado para el diseño, por lo cual no es necesario considerar.

2.1.4.3. Diseño de la solera móvil.

Para el ingreso de la carga al horno se plantea que la solera en su parte inferior va a tener cuatro ruedas, las dos delanteras van a estar motorizadas, para lo cual están unidas con un eje acoplado por un sistema de cadena y piñones hacia un motorreductor y para que el movimiento giratorio de las ruedas se cumpla, cada una de estas dos ruedas debe tener un rodamiento; las dos ruedas posteriores deben girar de manera libre.

2.1.4.3.1. Elección del motorreductor para la solera móvil.

Para poder ingresar los materiales que se calientan en el horno, se necesita que la solera pueda mover toda la carga que en ella se soporta. Se determina una velocidad de referencia para mover la solera de 0,1 m/s, ya que con esta velocidad la carga que entra no se sacude y tampoco causa accidentes. El motorreductor se acopla a un eje conectado a las ruedas de la solera a través de un sistema de cadena con una catalina o piñón, para transmitir la potencia. Las ruedas se moverán por dos carriles que a sus extremos poseerá finales de carrera que se activan cuando la solera los alcance dando una señal de entrada para los contactores que envían las ordenes de acción y paro al motor. Todos los materiales para este diseño se escogen de catálogos que se encuentran en el mercado nacional.

Se necesita los siguientes datos para los cálculos posteriores:

W_{Total} = peso total de los materiales de la estructura más la carga máxima.

V_{des} = 0,1 m/s velocidad de desplazamiento.

Primero se necesita calcular la fuerza de fricción que se va a oponer al movimiento de la solera con las siguientes ecuaciones:

$$N = \frac{W_{Total}}{4} * F_c \quad \text{Ecuación 2.39}$$

Donde:

N: fuerza normal

F_c : factor de carga=1,15

$$N = \frac{65478,12}{4} * 1,15 = 18824,96 [N]$$

La fuerza de fricción se obtiene con la ecuación:

$$F_f = \mu_s * N \quad \text{Ecuación 2.40}$$

Donde:

μ_s : coeficiente de fricción entre los materiales.

De la *tabla 3* se puede tomar el valor del coeficiente de fricción estática entre materiales ya que las ruedas están hechas de acero y los canales por donde se mueven también serán de acero, por lo que seleccionamos el valor entre acero-acero de 0,74 que va a permitir encontrar la fuerza de fricción que se opondrá al movimiento de toda la solera.

$$F_{r2} = 0,74 * 18824,96 [N] = 13930,47 [N]$$

Potencia del motor.

Para obtener el valor de la potencia del motor se utiliza la *ecuación 2.37*

$$P_{motor} = 13930,47 [N] * 0,1 \left[\frac{m}{s} \right] = 1393,05 W = 1,39 KW = 1.86 HP$$

Como la solera del horno se va a mover con una velocidad baja, que se ha especificado en los cálculos, el resultado obtenido en la potencia también es bajo. Tomando en consideración este valor y analizando el sistema de transmisión que va a tener la solera móvil, que en este caso va a ser a través de una cadena y catalina, en conjunto todo este sistema tiene una ventaja de una alta eficiencia alrededor del 80 al 95% [8]. Por lo cual se divide el valor de la potencia del motor encontrada entre 0,8 donde se obtiene una potencia de salida de 2,33 HP o 1,74 KW, para una mayor seguridad de este diseño se toma el valor de potencia superior más cercano al calculado. Con esto se puede pasar a escoger el motorreductor del catálogo de la empresa ROSSI del *anexo M*, donde se selecciona el valor de 1,76 KW de potencia de salida. Dentro de los catálogos que presenta dicha empresa se puede encontrar diferentes tipos de motorreductores por ejemplo el sinfín, de ejes paralelos y ortogonales, todos estos modelos presentan alta seguridad y confianza para trabajos pesados (ROSSI); para el trabajo de la solera que se ha diseñado un motorreductor sinfín cubre los requerimientos de diseño aparte de tener una instalación y funcionamiento sencillo. Observando el catalogo se selecciona el modelo MR V 430 - 90 LC 4 B5R 19x 200.

2.1.4.3.2. Diseño del eje.

Para que la estructura de la solera se pueda mover con las ruedas se necesita que estas estén unidas por un eje para generar la rotación de las mismas. Esto conlleva a realizar un análisis mecánico del eje que debe soportar también el peso de la estructura de la solera que es de 6674,63 Kg, como se va a tener 4 ruedas en la solera por ende se tiene 2 ejes con 2 ruedas cada uno. El diagrama de cuerpo libre para el análisis se presenta en la *figura 2.24*

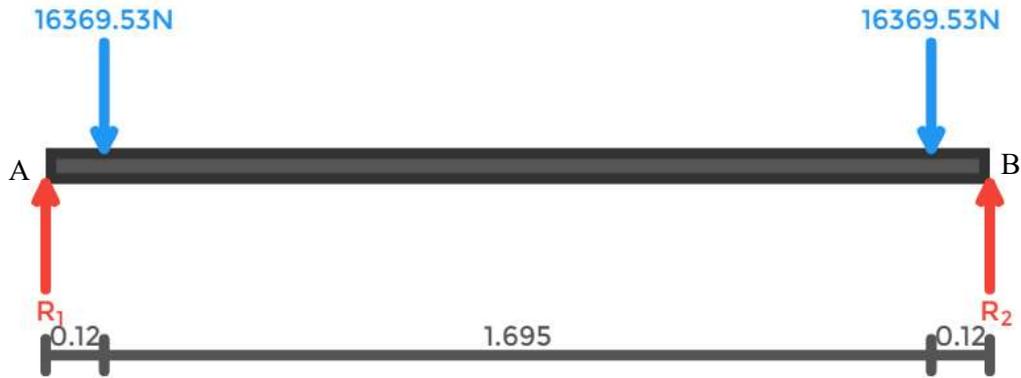


Figura 2-24: Diagrama de cuerpo libre del eje para las ruedas.

Para obtener las reacciones R_1 y R_2 se realiza una sumatoria de momentos en el punto A:

$$16369,53 \cdot 0,12 + 16369,53 \cdot 1,815 - R_2 \cdot 1,935 = 0$$

$$31675,04 = 1,935 \cdot R_2$$

$$R_2 = 16369,53 \text{ [N]}$$

Luego se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje y para despejar la reacción R_1 :

$$R_1 + R_2 = 32739,06$$

$$R_1 = 32739,06 - 16369,53$$

$$R_1 = 16369,53 \text{ [N]}$$

El diagrama de esfuerzo cortante queda de la siguiente manera:

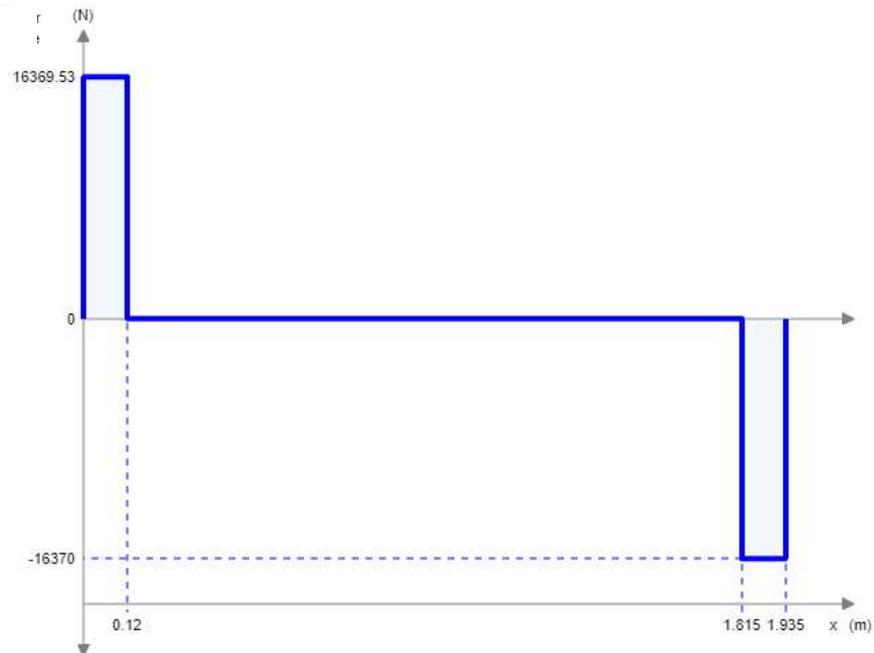


Figura 2-25: Diagrama de esfuerzo cortante del eje.

Para encontrar el momento flector máximo se multiplica la mayor fuerza encontrada por la distancia a la que se encuentra ubicada.

$$16369,53 * 0.12 = \mathbf{1964,34 [Nm]}$$

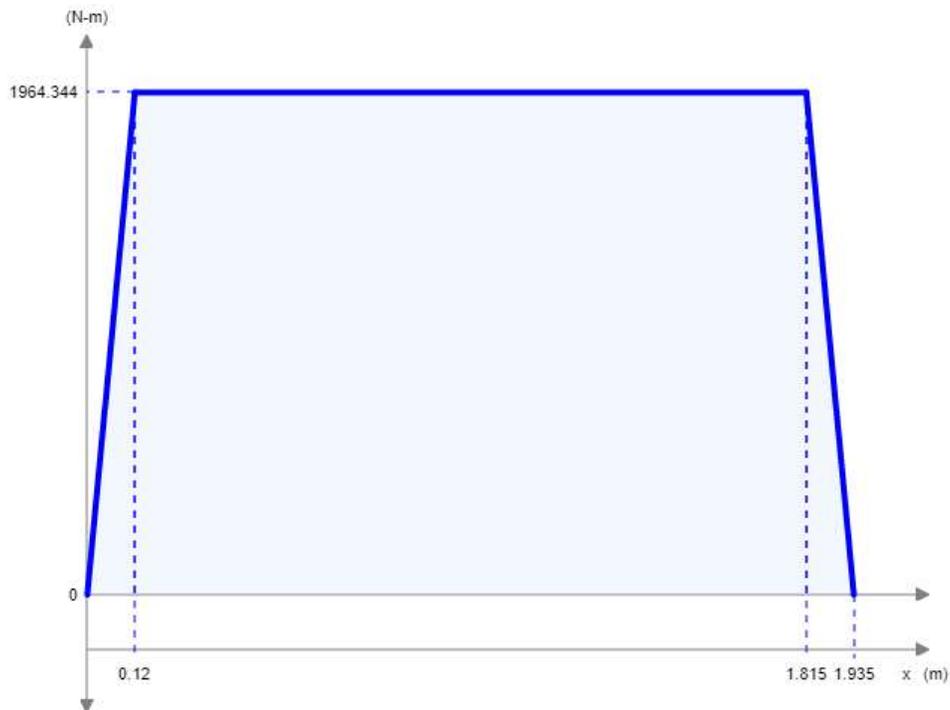


Figura 2-26: Diagrama de momento flector del eje.

El eje también va a estar sometido a un momento torsor debido a que permite el giro de las ruedas por la potencia que suministra el motorreductor seleccionado anteriormente, al que está conectado, el valor de este momento será el correspondiente al par torsor que genera dicho motorreductor ($M_{2m\acute{a}x}$) para este caso es 284 [Nm].

Para cumplir con el diseño del eje se necesita encontrar el valor del diámetro del eje, con lo que se aplica el criterio de Von Mises para este análisis con las siguientes suposiciones:

- El eje es de material dúctil.
- AISI 4340 (705)
- $S_y = 1200 MPa$ (DIPAC, 2019).
- Factor de seguridad $n=3$

El criterio de Von Mises dice que:

$$\sigma_a \geq \sqrt{\sigma^2 + 3 * (\tau_R)^2} \quad \text{Ecuación 2.41}$$

Donde:

σ : esfuerzo cortante

τ_R : esfuerzo torsor resultante.

Al mismo tiempo se tiene que:

$$\sigma = \frac{M_f * C}{I} \quad \text{Ecuación 2.42}$$

Donde:

M_f : momento flector.

C: (D/2)

I: inercia del eje circular macizo ($\frac{\pi * D^4}{64}$)

Se reemplaza estos valores en la ecuación y se obtiene:

$$\sigma = \frac{32 * 1964,34}{\pi * D^3} = \frac{20008,60}{D^3}$$

También se debe considerar que:

$$\tau_R = \tau_P + \tau_T \quad \text{Ecuación 2.43}$$

$$\tau_P = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación 2.44}$$

Donde:

V: esfuerzo cortante por torsión.

A: área de la sección circular maciza.

Para el esfuerzo cortante V se necesita multiplicar el esfuerzo cortante máximo encontrado de 16369,53 [Nm] por la sección circular maciza de 4/3 (Norton, 2011, p.91), obteniendo 21826,04 [Nm]; con este resultado para V y la fórmula para el área de un círculo, se reemplaza en la *ecuación 2.44*

$$\tau_P = \frac{21826,04 * 4}{\pi * D^2} = \frac{27789,78}{D^2}$$

$$\tau_T = \frac{T * r}{J} \quad \text{Ecuación 2.45}$$

Donde:

T: momento por torsión (par torsor del motorreductor escogido).

r: radio de la sección circular maciza.

J: momento polar de inercia de la sección circular maciza.

Reemplazando estos valores en la *ecuación 2.45* se tiene que:

$$\tau_T = \frac{284 * 16}{\pi * D^3} = \frac{1446,40}{D^3}$$

Aplicando la *ecuación 2.41*:

$$\sigma_a = \sqrt{\left(\frac{20008,60}{D^3}\right)^2 + 3 * \left(\frac{27789,78}{D^2} + \frac{1446,40}{D^3}\right)^2}$$

También se debe considerar que el eje va a estar sometido a fatiga por lo que:

$$Se' = 0,5 * Su \quad \text{Ecuación 2.46}$$

Donde:

Su: 800 MPa (DIPAC,2019).

Además, se debe realizar el cálculo de los factores de Marin, que son los siguientes:

Factor de acabado superficial.

Suponiendo que el material es laminado en caliente se tiene que:

$$Ka = 57,7 * (900)^{-0,718} \quad \text{Ecuación 2.47}$$

$$Ka = 0,44$$

Factor de tamaño.

Suponiendo que el diámetro del eje no es mayor a 4'' se tiene que:

$$Kb = 0,91 * (4)^{-0,157} \quad \text{Ecuación 2.48}$$

$$Kb = 0,73$$

Factor de carga.

El eje va a estar sometido a torsión por lo que se tiene que:

$$Kc = 0,59 \quad \text{Ecuación 2.49}$$

Factor de temperatura.

La máxima temperatura que va a estar alrededor del eje se ha tomado de 40°C o 104°F como referencia, por lo que se tiene:

$$Kd = 0,975 + 0,432 * (10^{-3}) * 104 - 0,115 * (10^{-5}) * 104^2 + 0,104 * (10^{-8}) * 104^3 - 0,595 * (10^{-12}) * 104^4 \quad \text{Ecuación 2.50}$$

$$Kd = 1$$

Factor de confiabilidad.

Suponiendo una confiabilidad de 99,999 se tiene que:

$$Ke = 0,659 \quad \text{Ecuación 2.51}$$

Luego para obtener el valor de Se hay que aplicar la *ecuación 2.52*:

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Se' \quad \text{Ecuación 2.52}$$

$$Se = 0,44 * 0,73 * 0,59 * 1 * 0,659 * 400 = 49,95 \text{ MPa}$$

Para este análisis también se aplica el criterio de Soderberg que dice lo siguiente:

$$\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sy} = \frac{1}{n} \quad \text{Ecuación 2.53}$$

Donde:

σ_a : esfuerzo alternante.

σ_m : esfuerzo medio.

Estos esfuerzos pueden ser expresados por las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{min}}{2} \quad \text{Ecuación 2.54}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{min}}{2} \quad \text{Ecuación 2.55}$$

Para este caso de análisis los esfuerzos máximos y mínimos que están en los extremos del eje son del mismo valor, pero de diferente signo por la forma de la sección transversal, por lo que al reemplazar esto en la *ecuación 2.55* el esfuerzo medio quedaría en cero, y al reemplazar este valor en la *ecuación 2.53* y despejando el esfuerzo alternante se tiene:

$$\sigma_a = \frac{Se}{n} \quad \text{Ecuación 2.56}$$

Con esto se puede reemplazar el esfuerzo en la *ecuación 2.41*

$$\frac{Se}{n} \geq \sqrt{\left(\frac{20008,60}{D^3}\right)^2 + 3 * \left(\frac{27789,78}{D^2} + \frac{1446,40}{D^3}\right)^2}$$

$$\frac{49,95}{3} \geq \sqrt{\left(\frac{20008,60}{D^3}\right)^2 + 3 * \left(\frac{27789,78}{D^2} + \frac{1446,40}{D^3}\right)^2}$$

$$16,65 \geq \sqrt{\left(\frac{20008,60}{D^3}\right)^2 + 3 * \left(\frac{27789,78}{D^2} + \frac{1446,40}{D^3}\right)^2}$$

Para poder despejar el valor del diámetro se utiliza la ayuda del software Excel para obtener un valor que cumpla la ecuación. Con esto se obtiene un valor de aproximadamente 54 mm, pero para la aplicación en este diseño se va a elegir un valor de 57,15 mm para mayor seguridad y porque luego se va hacer referencia al catálogo para Catarina que está estrechamente ligado con el diseño del eje.

Ecuación	-0,00895112			
	Mf	T	V	Se
	0,12843102	0,00928414	9,59814377	49,95
	Diámetro=	53,8082576		

Tabla 4: Tabla para encontrar el valor del diámetro del eje en Excell.

Cabe resaltar que el eje para una futura construcción e implementación por parte de los constructores en el horno y para facilitar el paso de otros elementos como la catarina va a tener

un concentrador de esfuerzo por su forma ya que el diámetro en la parte media del eje será más ancha que el diámetro en los costados del mismo, pero para evitar que este concentrador de esfuerzos afecte al cálculo de los factores de Marin se hace una relación entre los diámetros del eje desea, para conseguir un radio de curvatura en los puntos donde hay cambio de diámetro del eje, con lo cual al asegurar que se tiene un radio de curvatura determinado por la ecuación 2.57, este concentrador de esfuerzos no va afectar el cálculo anterior realizado.

$$\frac{D}{d} = \frac{60}{57,15} = 1,05 \quad \text{Ecuación 2.57}$$

Con este valor se observa el *anexo N* donde está la gráfica que presenta este tipo de concentrador de esfuerzos y sus relaciones entre diámetros y radios. Aquí se encuentra que la relación entre r/d debe estar mantenerse entre 0,25 y 0,30 para quedar estable.

$$\frac{r}{d} = 0,275 \quad \text{Ecuación 2.58}$$

$$r = 16 \text{ mm}$$

Entonces para que el concentrador de esfuerzos no afecte en el cálculo del diámetro del eje se debe garantizar que para la construcción del horno el eje tenga el radio de curvatura de 16 mm, caso contrario el eje debe mantenerse liso sin ningún concentrador de esfuerzos para evitar problemas de funcionamiento.

Luego de hallar el valor del diámetro se pasa a analizar el catálogo de la empresa DIPAC de ejes AISI 4340 (705), *anexo O*, que son ejes hechos de acero altamente resistente a la tracción y torsión y que se utilizan en maquinaria sometida a altos esfuerzos (DIPAC,2019). Aquí se puede escoger ejes de diámetro entre 16 a 100 mm.

2.1.4.3.3. Selección de la cadena y catarina.

Luego de haber definido un valor aproximado para el diámetro del eje, se pasa a analizar el catalogo sobre catarinas (piñones métricos) de SKF, *anexo P*, donde se puede encontrar diferentes tipos de catarinas que varían en el diámetro de su agujero interno y su forma (tipo A, B, C), para este caso se escoge las ANSI 120-1 tipo B que tiene un diámetro máximo de agujero de 57,15 mm y 10 dientes, con paso de 1 ½’’ y designación PHS 120-1B10.

Para la cadena se ha escogido en referencia el catálogo de IVAN BOHMAN C. A. para cadenas sencillas de transmisión de potencia, *anexo Q*, y se selecciona la cadena de código RS-120-1 y que tiene un paso de 1 ½’’ que es el mismo para la catarina escogida, además cabe resaltar que esta cadena tiene una carga de ruptura de 16000 Kg con lo cual va a soportar con facilidad todo el peso de la solera.

2.1.4.3.4. Selección de las chumaceras para sujetar los ejes a la solera.

Para poder anclar los ejes a la estructura de la solera móvil, se ha establecido que se va a utilizar chumaceras que tengan el diámetro para el eje que se ha calculado. Las chumaceras son piezas metálicas que permiten sostener y guiar la rotación de un eje. Son ampliamente utilizadas en máquinas por su fácil instalación y mantenimiento además de que poseen una alta capacidad de carga.

Para este caso se ha tomado como referencia el catálogo de la empresa IVAN BOHMAN C.A. que se encuentra en el *anexo R*. Analizando este catálogo se selecciona la chumacera de código UCP 212 212-36, que tiene un diámetro de eje de 57,15 mm, con lo cual el eje se va a acoplar con normalidad, además de que ya poseen en su interior un rodamiento para que el eje pueda girar en el sentido que se requiera.

2.1.4.3.5. Diseño de las ruedas.

Como se ha mencionado se tiene 4 ruedas para la solera, estas van a sujetarse a los extremos de los ejes que se han seleccionado de manera fija con chavetas.

Considerando catálogos internacionales se ha tomado las medidas para dibujar las ruedas, con lo cual van a tener un diámetro de 250 mm, siendo de un material sólido de acero A36 que va a soportar todos los esfuerzos y cargas que se presenten. El diámetro del agujero por donde va a pasar el eje de transmisión tendrá un valor de 57,15 mm.

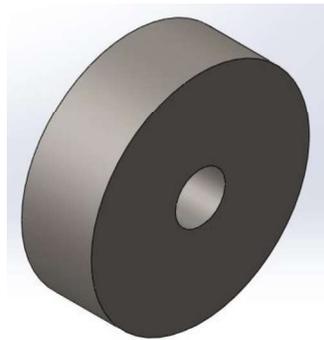


Figura 2-27: Ruedas dibujadas para la solera.

2.1.5. Energía.

La fuente de energía que suministrará el flujo de calor al horno va a ser el gas GLP, que se va a suministrar a través de quemadores que funcionan con este tipo de combustible. En el mercado ecuatoriano se puede encontrar diferentes tipos de quemadores con potencias diferentes, para este diseño se ha tomado como referencia los quemadores de GLP de la empresa VENAMET, esta empresa provee quemadores con potencia desde los 65000 a 700000 BTU/h.

Si se toma como referencia el quemador de 400000 BTU/h marca Wayne HSG400, *anexo S*, y como se desea que se utilice dos quemadores en el diseño final del horno, para que el flujo de calor de distribuya de forma más homogénea, tendríamos una potencia de 234,46 KW por parte de los quemadores, se puede calcular cual puede ser el tiempo en que se va a realizar el calentamiento de la masa que se ubique en el horno, para lo cual primero se calcula el calor que necesita dicha masa para calentarse.

$$Q_{pieza} = m_{pieza} * C_{pieza} * (\Delta T) \quad \text{Ecuación 2.59}$$

Donde:

Q_{pieza} : calor que necesita la pieza.

m_{pieza} : masa de la pieza (4000 Kg).

C_{pieza} : calor específico del material de la pieza, este caso es acero ($0,46 \frac{KJ}{Kg * K}$)

ΔT : variación de temperatura en grados Kelvin.

$$Q_{pieza} = 4000 * 0,46 * 1085 = 1996400 \text{ KJ}$$

Luego se utiliza la ecuación de potencia calorífica el tiempo que necesita calentar esta carga.

$$P = \frac{Q_{pieza}}{t} \quad \text{Ecuación 2.60}$$

Donde:

P: potencia generada por los quemadores.

t: tiempo en segundos.

$$t = \frac{1996400}{234,46} = 8514,88 \text{ seg} = 2,37 \text{ horas}$$

2.1.5.1. Consumo energético.

Para que el horno logre funcionar por un tiempo estimado por hora, se necesita calcular el flujo de gas que se debe suministrar.

$$G = \frac{P}{P_c} \quad \text{Ecuación 2.61}$$

Donde:

G: caudal del gas.

P: potencia del quemador (400000 BTU/hr = 117,23 KW).

P_c : poder calorífico del GLP.

$$G = \frac{189,85 \text{ KW}}{117,23 \frac{\text{KW} * \text{h}}{\text{m}^3}} = 1,62 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

CAPÍTULO III

Resultados

3.1. Simulación de cargas.

3.1.1. Simulación de la viga principal del techo.

Como una confirmación del diseño mecánico que se ha presentado en el capítulo 2 de esta tesis, se ha apoyado en el uso del software SolidWorks, que permite realizar una simulación de cargas a las que estará sometida la estructura del horno, principalmente en el techo, para lo cual se ha dibujado toda la estructura en la que se soporta todos los elementos y partes del horno.

Utilizando la operación de miembro estructural que se dispone en el software se ha podido utilizar el perfil estructural IPN 100 con el que se realiza los cálculos matemáticos respectivos.

Luego de tener dibujada una viga, se realiza un análisis estático para comparar con los resultados matemáticos obtenidos.



Figura 3-1: Viga para análisis de cargas.

Para este modelo la malla genera 259 nodos y 255 elementos, con lo cual la simulación de cargas se obtiene de la siguiente manera:

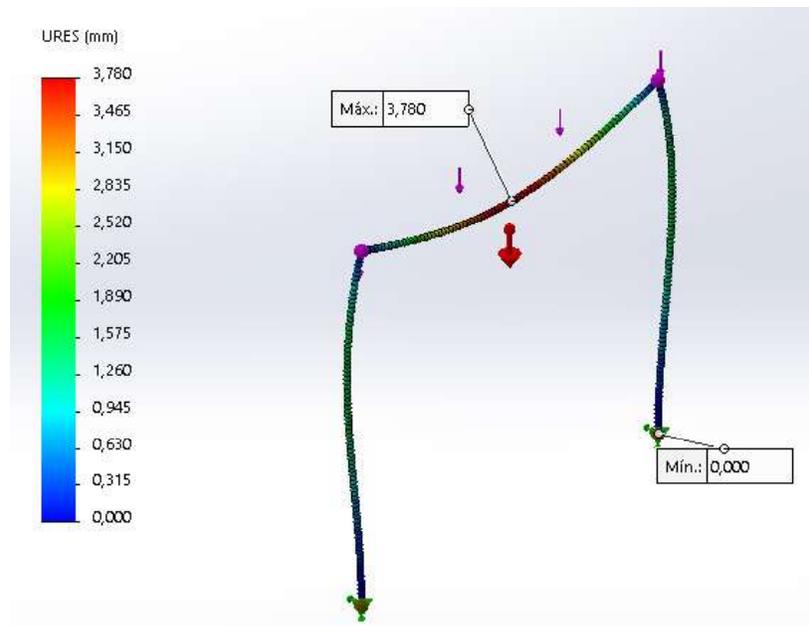


Figura 3-2: Desplazamientos en la viga.

Como se observa en la *figura 3.2* el mayor desplazamiento generado en la viga es en el punto medio de la misma con un valor de 3,7 mm. En comparación con el valor obtenido en el cálculo que es de 2 mm, se tiene un rango aceptable de aproximación.

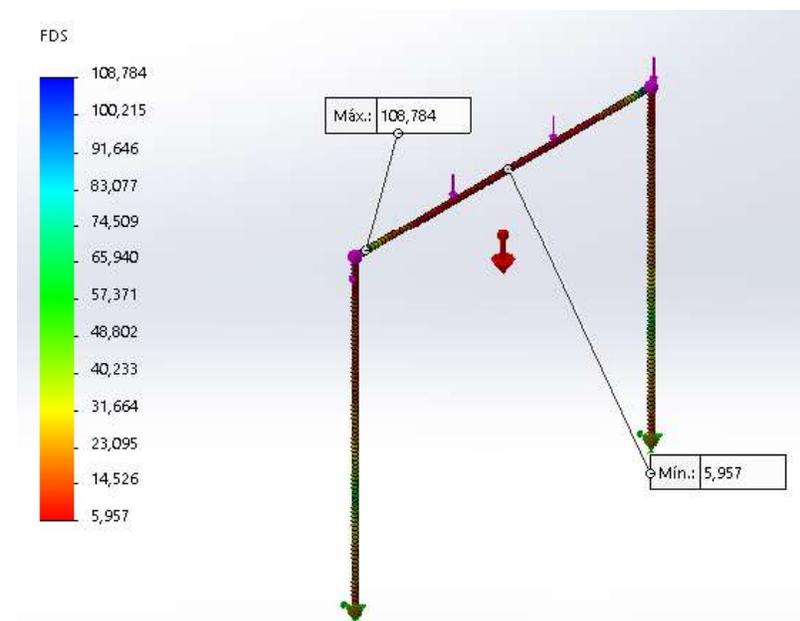


Figura 3-3: Factor de seguridad de la viga.

Comparando el valor obtenido del software que es de 5,9 y el cálculo que es de 5,62 la seguridad en el diseño de la estructura que forma el techo tiene la confiabilidad necesaria para una futura construcción.

Luego de tener lista toda la estructura del horno dibujada, se pasa a realizar el análisis estático, configurando los parámetros que en el software se solicitan, como el material del que están hechos los perfiles estructurales (acero ASTM A36), luego se procede a señalar los puntos de sujeción o donde la estructura se fija y soporta las cargas que en este caso será las columnas del horno que están realizadas con el perfil estructural de tubo cuadrado, por último se coloca las fuerzas sobre el techo del horno que corresponde a la sumatoria de los pesos de los materiales que componen el horno (perfil estructural, manta cerámica, plancha de acero, peso extra de una persona) y se genera el mallado y posterior simulación de cargas obteniendo el resultado que se presenta en la imagen.

3.1.2. Simulación de las guías de la puerta del horno.

Luego de haber considerado las tres formas de diseñar las guías de la puerta, se realiza un nuevo diseño considerando las guías de tipo perfil “G” que van a ir unidas entre sí para dar una forma de un tubo rectangular, para poder reducir el valor de desplazamiento que ya se había obtenido, por lo cual también se incluye unos nervios entre la viga superior y las guías, además de subir el tamaño de la viga IPN superior.

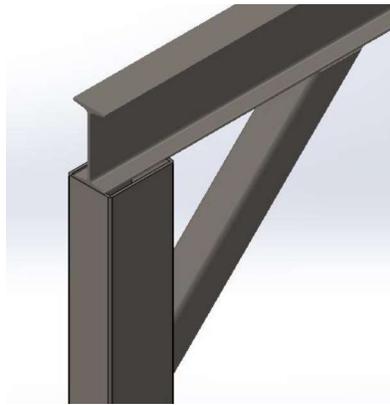


Figura 3-4: Configuración final de las guías para la puerta.

Como se observa en la *figura 3.4* las guías ahora están formadas por una sola estructura soldada entre los dos perfiles G, la viga superior es IPN 160 y entre esta viga y el tubo cuadrado se encuentra un nervio a 45° y se encuentra a 400 mm de la parte superior del tubo.



Figura 3-5: Vista frontal de la estructura de las guías.

Luego en el análisis de cargas se obtuvo los siguientes resultados, con una malla generada mixta con 21400 nodos y 10665 elementos:

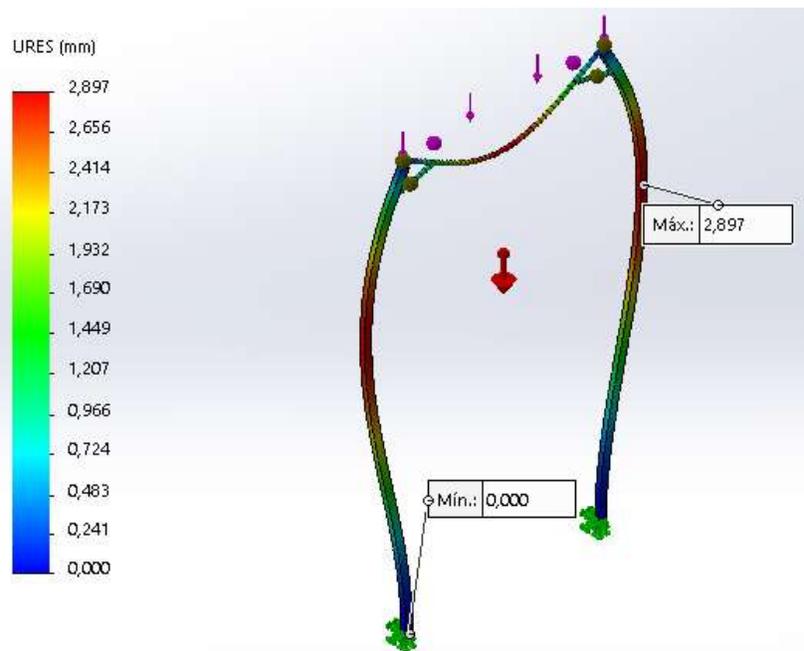


Figura 3-6: Desplazamiento en las guías.

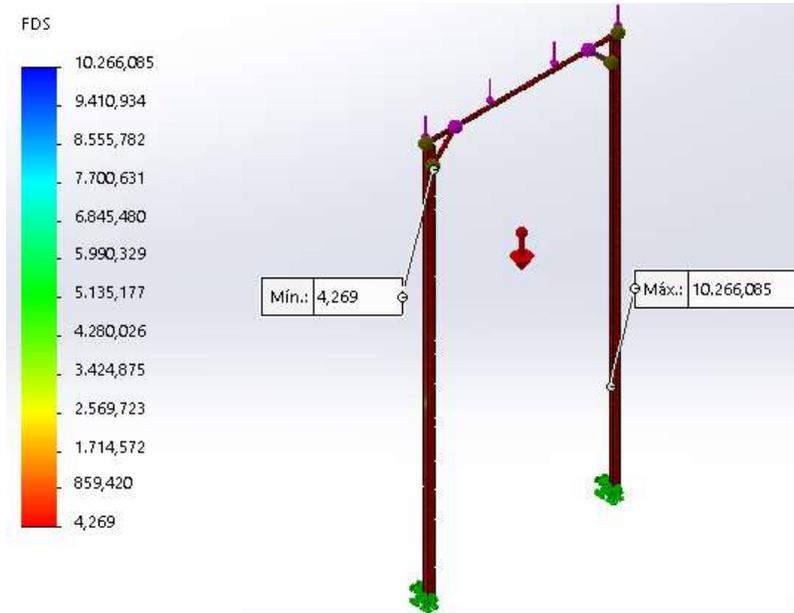


Figura 3-7: Factor de seguridad en las guías.

Con esta nueva configuración la estructura tiene mayor seguridad y fiabilidad para soportar la carga de la puerta con un máximo desplazamiento de 2,8 mm y un mínimo factor de seguridad de 4,3 valores muy aceptables para construcción.

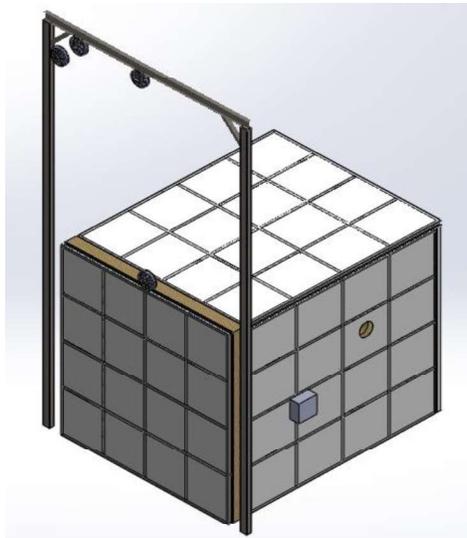


Figura 3-8: Vista final del horno diseñado.

En la *figura 3-8* se puede observar la vista final de como es el horno para tratamientos térmicos ya con todos sus elementos y materiales ensamblados.

3.2. Sistema eléctrico del horno.

La parte eléctrica en que va a constar este diseño de horno, va aplicarse en el funcionamiento de los motorreductores para la solera móvil y de la puerta. Para esto se ha considerado el criterio de la inversión de giro de los motores para que puedan mover las estructuras en dos direcciones.

Los motores que se han seleccionado de los catálogos ROSSI, son motores asíncronos trifásicos, por lo que la conexión para la inversión de giro deberá ser para un motor trifásico, para lo cual se necesita la ayuda de contactores que puedan modificar la entrada de corriente al motor. Hay que resaltar que estos contactores deben estar enclavados ya que si no lo están van a coincidir al mismo tiempo de funcionamiento y pueden causar un cortocircuito al sistema [11].

Primero se realiza el diagrama de conexión para el motorreductor de la puerta, este tiene una protección de un porta fusibles que en el diagrama se lo llama *F1*, además tiene un disyuntor trifásico *Q1*; luego para realizar el cambio de giro del motor se necesita dos contactores que permiten la conexión de los cables del motor para tomar un sentido de giro distinto en cada contactor y por ultimo estos se conectan a una protección térmica *F2*, todos estos elementos forman el circuito de potencia. Para el circuito de control primero la corriente pasa por el disyuntor de control *Q2*, este a su vez está conectado a un contacto protección térmica, para activar los pulsadores de movimiento y también se conecta el otro contacto de la protección térmica a una luz piloto que nos alerta sobre alguna avería en el motor. La protección térmica luego viene conectado a un pulsador que es el stop o parada del movimiento, que se encuentra normalmente cerrado, esto luego se conecta a dos pulsadores *S2* y *S3* que permiten el giro a la derecha e izquierda respectivamente, luego se tiene la conexión de los finales de carrera *S4* y *S5* los cuales hacen que el motor se detenga cuando son accionados y así la solera no se siga desplazando en cualquiera de los dos sentidos programados. Como protección extra para el funcionamiento de los pulsadores estos están conectados a unos contactos normalmente cerrados del contactor opuesto *KM1* y *KM2*, esto para que al presionar el botón *S2*, si llega a oprimir el botón *S3* esto no haga nada y viceversa, ya que si estos dos botones están encendidos a la misma vez generan un cortocircuito y por último los pulsadores también están conectados a unas luces piloto para indicar que se encuentran en funcionamiento.

En resumen, para generar el movimiento de la solera el operario debe presionar el botón *S3* para que el motor gire a la derecha y la solera ingrese al horno, cuando llegue al fondo del horno se activa el final de carrera *S5* el cual para el movimiento y desenergiza las bobinas;

luego se debe oprimir el botón *S2* para que el motor gire a la izquierda y la solera salga del horno y de igual manera al salir completamente se activa el final de carrera *S4* que detiene el movimiento y las bobinas también quedan desactivadas. En caso de una emergencia o si se requiere de algún paro del movimiento se puede oprimir el botón *S1* que es el paro de emergencia y todo el sistema queda sin energía, para luego poder volver a oprimir cualquier botón de izquierda o derecha para mover la solera.

Ya que la puerta y solera del horno se han diseñado para moverse con velocidades iguales y tienen motorreductores similares se puede usar los mismos circuitos que se han explicado para el control de la puerta y con la misma distribución de componentes. Los diagramas del circuito de potencia y de control se pueden observar en el *anexo V* de esta tesis.

Para la selección de los materiales eléctricos para una construcción se ha tomado como referencia el catálogo de la empresa INGEL-PRO, del cual se ha escogido la marca LS. Para los disyuntores se tiene los de montaje en riel 3 polos código B-6821; los contactores de 3 polos código B-2001; el relé térmico de código B-2029. Para las luces piloto se ha escogido la marca STECK código C-1150 y C-1156; los pulsadores hongo de 40 mm código C-1124 y C-1126. Para los porta fusibles se ha escogido la marca SASSIN con código V-0501 y los fusibles de código V-0517. Los finales de carrera se han escogido de la marca moujen electric co, de tipo switche limitador MJ7104 palanca.

3.3. Sistema de control.

La automatización de maquinaria en la actualidad es importante porque permite controlar y conocer de mejor manera los procesos que se realizan en una empresa, además de que facilita los mismos y accede a ser más competitivos los procesos de producción y por ende a la empresa misma. Para este caso el controlador más adecuado es un sistema de control de temperatura del horno.

Dentro de los sistemas de control se puede encontrar dos principales tipos, los de lazo abierto y los de lazo cerrado.

El control de lazo abierto tiene como principal importancia de que no proporciona una retroalimentación de su proceso, por lo cual debe ser utilizado cuando en el proceso a controlar no se tiene perturbaciones o errores.

El control de lazo cerrado en cambio sí permite tener una retroalimentación del proceso ya que conecta una señal de error que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de salida o

retroalimentación, lo cual permite reducir a su vez los errores del proceso y tener un control más eficiente [9].

Debido a que en el horno se ha considerado pérdidas de calor en su funcionamiento, el sistema de control que se debe utilizar es uno de lazo cerrado.

3.3.1. Control PID.

Un control PID (Proporcional-Integral-Derivativo), es un mecanismo de control que permite tener el mando sobre un proceso de manera regular y precisa, compensando cualquier perturbación que entre en dichos procesos.

La salida de este controlador viene dada por la siguiente ecuación:

$$u = K_p * e + K_i * \int e dt + K_d * \frac{de}{dt} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

K_p : constante proporcional.

K_i : constante integral.

K_d : constante derivativa.

Para un sistema de control es importante conocer la respuesta que tendrá el proceso controlado ante una señal de entrada determinada, y ya que estas señales se encuentran en el dominio del tiempo se necesita herramientas matemáticas que permitan simplificar sus cálculos. La función de transferencia del horno es una de estas herramientas que se utiliza para este sistema de control.

Como ya se ha mencionado en este diseño de horno se utiliza quemadores de GLP, que son los responsables del calentamiento directo de la carga. Para poder determinar la función de transferencia se necesita calcular las capacitancias de todos los elementos que conforman el horno; de este proceso se presentan las siguientes magnitudes:

3.3.2. Modelo matemático del horno.

Para encontrar la función de transferencia del sistema se necesita calcular las capacitancias de los elementos que conforman el horno, por lo que es necesario las siguientes magnitudes:

T_1 : temperatura de la carga (900°C)

T_2 : temperatura ambiente Otavalo (15°C)

T_3 : temperatura de los quemadores.

T_4 : temperatura de la pared interior del horno 1100°C

R_{t1} : resistencia térmica entre las paredes y la carga.

R_{t2} : resistencia térmica entre las paredes y el exterior.

Q_1 : calor generado por los quemadores.

Q_2 : flujo de calor desde las paredes hacia la carga.

Q_3 : pérdidas de calor a través de las paredes.

C_1 : capacidad térmica de la carga.

C_2 : capacidad térmica de los elementos del calentamiento.

C_3 : capacidad térmica de las paredes del horno.

Con estas magnitudes se puede encontrar las siguientes funciones:

El calor de la carga es:

$$Q_1 - (Q_2 + Q_3) = \frac{C_2 dT_3}{dt} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Si consideramos la conductividad térmica de la carga:

$$Q_2 = \frac{T_4 - T_1}{R_{t1}} = \frac{C_1 dT_1}{dt} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

El flujo de calor que pasa por las paredes al ambiente es:

$$Q_3 = \frac{T_3 - T_2}{R_{t2}} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Si se incrementa la conductividad térmica de la pared:

$$Q_3 = \frac{C_3 dT_4}{dt} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Si se reemplaza la *ecuación 5 y 3* en la *ecuación 3.2*:

$$\frac{U^2}{R} - \frac{C_1 dT_1}{dt} - \frac{C_3 dT_4}{dt} = \frac{C_2 dT_3}{dt} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Suponiendo que T_3 y T_4 tienen valores similares a la temperatura máxima de diseño:

$$\frac{U^2}{R} - \frac{C_1 dT_1}{dt} = (C_2 + C_3) \frac{dT_4}{dt} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

De la *ecuación 3.3* se puede obtener:

$$T_4 = C_1 R_{t1} \frac{dT_1}{dt} + T_1 \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Si sustituimos la *ecuación 3.8* en la *ecuación 3.7*:

$$\frac{U^2}{R} - \frac{C_1 dT_1}{dt} = (C_2 + C_3) \frac{d}{dt} \left[C_1 R_{t1} \frac{dT_1}{dt} + T_1 \right] \quad \text{Ecuación 3.9}$$

$C_1 R_{t1} = t$, es una constante de tiempo reemplazando en la ecuación 3.9:

$$t \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{C_1 + C_2 + C_3}{C_2 + C_3} \frac{dT_1}{dt} = \frac{U^2}{R} * \frac{1}{C_2 + C_3} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Para poder resolver la *ecuación 3.10* se necesita las capacitancias de los elementos del horno, que se calculan a continuación:

3.3.2.1. Capacitancia de la carga C_1

Se calcula a partir de la expresión $C_1 = m * c_1$; donde m es la masa de la carga que para este diseño se estableció los 4000 Kg y c_1 es el calor específico del material de la carga en este caso el acero.

$$C_1 = 4000 \text{ Kg} * 0,46 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} = 1840 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{K}}$$

3.3.2.2. Capacitancia de la fuente de calor C_2

Es la capacitancia del volumen de aire caliente que está en contacto con el acero. Para el aire caliente a 900°C se tiene:

$$C_p = 1,169 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}}$$

$$\rho = 0,3009 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

El volumen de la cámara del horno es de 36 m^3 . Con la ecuación $m = \rho * V$ se obtiene la masa del aire:

$$m = 0,3009 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 36 \text{ m}^3 = 10,83 \text{ Kg}$$

Con este valor se encuentra la capacitancia:

$$C_2 = 10,83 \text{ Kg} * 1,169 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} = 12,66 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{K}}$$

3.3.2.3. Capacitancia de las paredes C_3

Aquí debemos considerar los materiales aislantes de la manta cerámica y el ladrillo refractario.

Para el ladrillo refractario se tiene un $C_p = 1,10 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}}$ y $m = 1816 \text{ Kg}$ entonces:

$$C_{3,1} = 1816 * 1,10 = 1997,6 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{K}}$$

Para la manta cerámica se tiene un $C_p = 1,13 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}}$ y $m = 1296 \text{ Kg}$ entonces:

$$C_{3,2} = 1296 * 1,13 = 1464,48 \frac{KJ}{\text{°K}}$$

$$C_3 = C_{3,1} + C_{3,2}$$

$$C_3 = 3462,08 \frac{KJ}{\text{°K}}$$

Ecuación 3.11

3.3.2.4. Potencia de alimentación.

La fuente de voltaje es $V = 220$ [V] por lo tanto la potencia se expresa con la *ecuación 3.12*

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{V^2}{R} = Vi$$

Ecuación 3.12

Donde i es la corriente eléctrica que a su vez se puede definir como la variación de la carga q en la unidad de tiempo.

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Ecuación 3.13

Si se reemplaza estos valores en la *ecuación 3.10*:

$$t \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{C_1 + C_2 + C_3}{C_2 + C_3} \frac{dT_1}{dt} = \frac{U^2}{R} * \frac{1}{C_2 + C_3}$$

$$t \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{(1840 + 12,66 + 3462,08) \frac{KJ}{\text{°K}}}{(12,66 + 3462,08) \frac{KJ}{\text{°K}}} \frac{dT_1}{dt} = Vi \frac{1}{(12,66 + 3462,08) \frac{KJ}{\text{°K}}}$$

$$t \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{5314,74}{3474,74} \frac{dT_1}{dt} = 220 \frac{1}{3474,74 \frac{KJ}{\text{°K}}} \frac{dq}{dt}$$

$$t \frac{d^2 T_1}{dt^2} + 1,53 \frac{dT_1}{dt} = 0,06 \frac{dq}{dt}$$

Ecuación 3.14

3.3.2.5. Función de transferencia.

Se procede a aplicar la transformada de Laplace en la *ecuación 3.14* y se obtiene:

$$\frac{T(s)}{q(s)} = G(s)_{TP} = \frac{0,06}{ts + 1,53}$$

Ecuación 3.15

3.3.2.6. Sistema sin controlador.

Se genera la gráfica que tiene la temperatura con la *ecuación 3.15* y se observa los parámetros que nos genera y que permiten diseñar un controlador a partir de la respuesta de la planta a un escalón unitario.

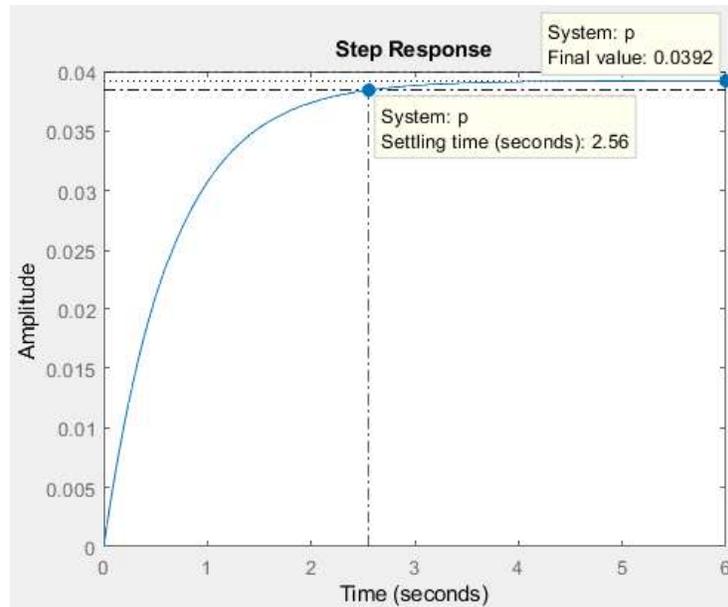


Figura 3-9: Gráfica de la función de transferencia sin controlador.

Los parámetros de la *figura 3-9* deben ser modificados para obtener el controlador ideal.

$T_s = 1.28$ segundos (tiempo de establecimiento debe ser la mitad del obtenido)

$M_p = 20\%$ (máximo sobre impulso)

3.3.3.7. Diseño del controlador.

Aplicando el método del lugar geométrico de las raíces (LGR) se necesita las siguientes ecuaciones:

$$\%M_p = e^{-\left(\frac{\varepsilon\pi}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}\right)} \quad \text{Ecuación 3.16}$$

$$\ln(0,2) = \frac{\varepsilon\pi}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}$$

$$2,59 - 2,59\varepsilon^2 = 9,87\varepsilon^2$$

$$12,46\varepsilon^2 = 2,59$$

$$\varepsilon = 0,46$$

$$T_s = \frac{4}{\varepsilon W_n} \quad \text{Ecuación 3.17}$$

$$W_n = \frac{4}{\varepsilon * T_s} = \frac{4}{0,46 * 128}$$

$$W_n = 0,07$$

Se calcula el polo dominante:

$$s = \varepsilon Wn \pm Wn\sqrt{1 - \varepsilon^2} \quad \text{Ecuación 3.18}$$

$$s = -0,46 * 0,07 \pm 0,07\sqrt{1 - 0,46^2}j$$

$$s = -0,03 \pm 0,06j$$

PID:

$$G(s) = \frac{K(s + a)(s + b)}{s} \quad \text{Ecuación 3.19}$$

Asumiendo a=15 y con la ecuación 3.15:

$$G(s) = \frac{0,06}{s + 1,53}$$

$$FDT = \frac{0,06K(s + 15)(s + b)}{s(s + 1,53)}$$

$$s = -0,03 + 0,06j$$

$$FDT = \frac{0,06K(14,97 + 0,06j)(-0,03 + 0,06j + b)}{(-0,03 + 0,06j)(1,5 + 0,06j)}$$

Condición de fase:

$$\theta_1 = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{0,06}{-0,03}\right) = 243,43^\circ$$

$$\theta_2 = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{0,06}{1,5}\right) = 177,71^\circ$$

$$\phi_1 = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{0,06}{14,97}\right) = 179,77^\circ$$

$$\Sigma pi - \Sigma zi = 180^\circ$$

$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 - \phi_1 - \phi_2 = 180^\circ$$

$$\phi_2 = 243,43^\circ + 177,71^\circ - 179,77^\circ - 180^\circ$$

$$\phi_2 = 61,37^\circ$$

$$\phi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{0,06}{b - 0,03}\right)$$

$$\tan(61,37^\circ) = \frac{0,06}{b - 0,03}$$

$$1,83 * (b - 0,03) = 0,06$$

$$1,83b - 0,05 = 0,06$$

$$b = 0,06$$

Condición de magnitud:

$$|G(s)H(s)| = 1 \quad \text{Ecuación 3.20}$$

$$\left| \frac{0,06K(\sqrt{14,97^2 + 0,06^2})(\sqrt{0,03^2 + 0,06^2})}{(\sqrt{-0,03^2 + 0,06^2})(\sqrt{1,5^2 + 0,06^2})} \right| = 1$$

$$|12,87K| = 1$$

$$K = 0,08$$

Controlador PID:

$$G(s) = \frac{0,08(s + 0,06)(s + 0,06)}{s}$$

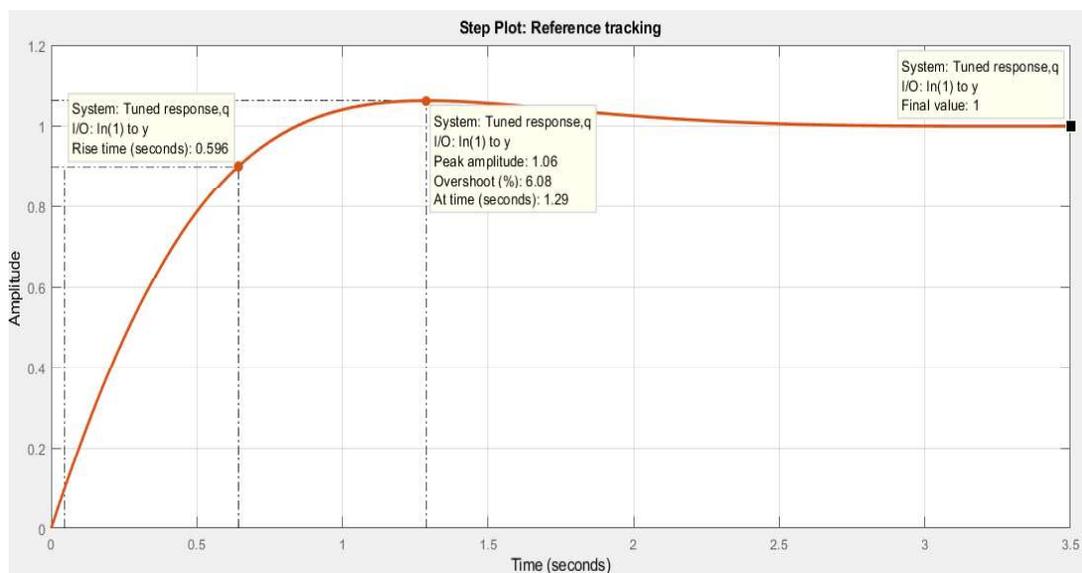


Figura 3-10: Gráfica de la planta aplicado el controlador PID.

Controlador	Kp	Ki	Kd
PID	36.5049	101.2366	0

Tabla 5: Valores del controlador PID generado por Matlab.

3.3.3. Elementos del sistema de control.

Para tener una automatización del proceso de calentamiento del horno se propone utilizar los productos que nos ofrece el mismo proveedor de quemadores, y que nos permiten tener un control del encendido y apagado de los quemadores a gas, con lo cual este diseño de horno será más eficiente y su uso se facilitará al operador. En resumen, el sistema de control debe permitir ingresar los valores de temperatura a la que trabaja el horno para el tratamiento térmico y mantendrá los mismos sin variaciones por lo que necesita de los parámetros de PID para mantener el proceso de calentamiento constante, donde al encenderse el quemador llega a la

temperatura deseada y se apaga, de ser necesario vuelve a encenderse en caso de que el tratamiento dure más tiempo. Para esto se necesita los siguientes elementos:

3.3.3.1. Control de temperatura.

Para este caso se recomienda utilizar un controlador marca Honeywell T775A2009, que es un dispositivo comercial que posee una interfaz gráfica fácil de utilizar y permite controlar sus salidas con valores de control PID (VENAMET).

3.3.3.2. Termocupla.

Es un sensor de temperatura aplicado en la industria que está formado por dos alambres unidos de distinto material que al aplicársele una temperatura en la unión de los alambres genera un voltaje en la orden de los milivoltios. Para este diseño se propone utilizar los sensores de temperatura (termocuplas) marca Honeywell T775A (VENAMET).

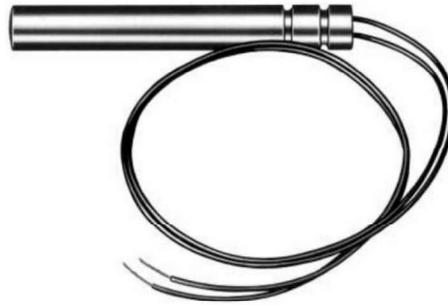


Figura 3-11: Sensor de temperatura Honeywell.

Fuente: <https://www.venamet.com/producto/sensor-de-temperatura-para-control-honeywell-t775a/>

3.3.3.3. Sensor piloto de ignición.

Es un dispositivo que genera la chispa para generar la combustión del gas que sale del quemador, para este diseño se recomienda utilizar el modelo Honeywell Q345A1313.

3.4. Costos

En esta sección se realiza un análisis de costos aplicados al diseño del horno y a una futura construcción del mismo. Los costos de mano de obra de las personas que intervienen en la construcción del horno, se ha tomado como referencia los valores que proporciona el Ministerio del Trabajo del Ecuador y la Contraloría General del Estado [9] [10].

3.4.1. Costos de construcción del horno.

Item	Denominación	Especificaciones	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Parcial
1	Diseño Térmico					
1.1	Manta cerámica CALORCOL	Fibra cerámica UNIFRAX	Caja	15.00	62.03	930.45
1.2	Ladrillo refractario	Ladrillo Recto 9''x4 ½''x2 ½'' Erecos	Und	1374.00	4.01	5509.74

1.3	Mortero Refractario	Mortero Humedo SUPERAEROFRAX Erecos Tambor 25kg	Und	3.00	24.38	73.14
1.4	Sujeciones	Anclajes para fibra cerámica	Und	200	0.80	160.00
TOTAL						6673.33
2	Diseño Mecánico					
2.1	Viga IPN 100	Perfil IPN 100x50x4.5x6 m	Und	34	56.01	1904.34
2.2	Viga IPN 160	Perfil IPN 160x74x6.3x6 m	Und	1	120.54	120.54
2.3	Tubo cuadrado	Tubo estructural cuadrado negro 100x5 mm	Und	3	35.00	105.00
2.4	Eje AISI 4340	EJE 4340 L/C70 mm	Kg	90.63	2.88	261.01
2.5	Correa tipo "G"	Perfil Canal G 150x50x20x4 mm	Und	6	41.12	246.72
2.6	Plancha de acero ASTM A36	Laminada en caliente 6 mm	Und	6	316.15	1896.90
2.7	Chumacera de piso	UCP 212 212-36	Und	4	35.00	140.00
2.8	Cadena sencilla	RS-120-1 paso 1 ½"	Und	1	100.00	100.00
2.9	Catarina tipo B	ANSI 120-1 paso 1 ½"	Und	1	40.00	40.00
2.10	Motorreductor sinfin (puerta)	ROSSI MR V 325-80C 4 B14R	Und	1	400.00	400.00
2.11	Motorreductor sinfin (solera)	ROSSI MR V430-90 LC 4 B5R	Und	1	500.00	500.00
2.12	Polea	De acero, sin soporte	Und	4	90.00	360.00
2.13	Rodamiento alta temperatura	Rodamiento 6204 ZZ VA201	Und	3	67.76	203.28
2.14	Cable de acero	Cable de acero para construcción	Metros	15	2.00	30.00
2.15	Quemador WAYNE	Quemador para gas modelo EHG WAYNE máximo input: 700000 BTU/hr	Und	2	2602.00	5204.00
TOTAL						11071.79
3	Diseño Eléctrico					
3.1	Disyuntor	Disyuntor 3P LS, BKN-3-20	Und	2	22.12	44.24
3.2	Contactador	Contactador 3 polos MC-22b 7.5HP-5.5KW/220 VAC	Und	4	26.66	106.64
3.3	Relé de sobrecarga	Relé térmico MT-32/3K 40AF	Und	2	28.91	57.82
3.4	Porta fusibles	Portafusible 10x38 1 polo	Und	6	1.87	11.22
3.5	Fusibles	Fusible 10x38 20A	Und	6	0.20	1.20
3.6	Luces piloto rojo	Luz piloto metálico, rojo	Und	2	1.51	3.02
3.7	Luces piloto verde	Luz piloto led 110 VAC Verde	Und	4	1.38	5.52
3.8	Pulsadores rojos	Pulsador hongo 40 mm, rojo	Und	2	1.99	3.98
3.9	Pulsadores verdes	Pulsador hongo 40 mm, verde	Und	4	1.99	7.96
3.10	Finales de carrera	Limitador MJ 7104 Palanca	Und	4	29.00	116.00

3.11	Conductor AWG	Cable 11 (2.3 mm)	Metros	20	2.00	40.0
3.12	Canaletas	Canaleta plástica	Metros	10	1.50	15.00
3.13	Borneras	Bornera 660 VAC, 14 mm ²	Und	10	1.09	10.90
3.14	Tablero	Tablero para montaje en pared serie BJS1 400x400x200 mm	Und	1	63.36	63.36
TOTAL						486.86
4	Control y automatización					
4.1	Termopar o termocupla	Tipo K	Und	8.00	6.98	55.84
4.2	Controlador de temperatura	Honeywell T775A2009	Und	1	150.00	200.00
4.3	Sensor de ignición	Honeywell Q345A1313	Und	1	100.00	100.00
4.4	Válvula de regulación	Segunda etapa a ½ PSI	Und	2	10.00	20.00
TOTAL						375.84

Tabla 6: Costo de materiales de construcción.

3.4.2. Costos por mano de obra directa.

N°	Denominación	Cantidad	N° de horas	Costo por hora	Costo Parcial
1	Operario albañil	1	100	3.62	362
2	Técnico soldador	1	50	3.62	181
3	Técnico eléctrico	1	50	4.03	201.5
4	Técnico electromecánico	1	50	3.62	181
TOTAL					925.5

Tabla 7: Costos mano de obra directa.

3.4.3. Costos por equipos utilizados.

N°	Denominación	Característica	Cantidad	Costo Unitario	Costo Parcial
1	Computadora	ASUS X555D	1	400.00	400.00
2	Impresora	Canon	1	80.00	80.00
TOTAL					480.00

Tabla 8: Costos de equipos.

3.4.4. Costos indirectos de construcción.

N°	Denominación	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Parcial
1	Pintura	Galón	2	20.00	40.00
TOTAL					40.00

Tabla 9: Costos indirectos de construcción.

3.4.5. Costos de mano de obra indirecta.

N°	Denominación	Cantidad	N° de horas	Costo por hora	Costo Parcial
1	Supervisor	1	20	4.03	80.60
2	Asistente técnico	1	20	4.03	80.60
TOTAL					161.20

Tabla 10: Costos mano de obra indirecta.

3.4.6. Costos totales de construcción de horno.

N°	Denominación	Costo Parcial
1	Costos Directos	
1.1	Diseño térmico	6673.33
1.2	Diseño mecánico	11071.79
1.3	Diseño eléctrico	486.86
1.4	Control y automatización	375.84
1.5	Mano de obra	925.50
1.6	Materiales	480.00
2	Costos Indirectos	
2.1	Mano de obra	161.20
2.2	Materiales	40.00
3	Costo Subtotal	20214.52
	Imprevistos (10%)	2021.45
	TOTAL	22235.97

Tabla 11: Costos totales de la construcción del horno.

El costo de construcción de un horno de las proporciones diseñadas, bordea entre los \$20.000.00 y \$23.000.00 dólares americanos, costos que pueden cambiar al momento de adquirir los materiales por diferentes proveedores o por reducción de costos ya que la empresa puede tener a disposición propia de ciertos materiales, lo cual puede causar fluctuaciones en el costo total del horno de entre un 10%. Cualquiera sea el caso el costo total obtenido llega a aproximarse a las hipótesis iniciales de este trabajo y llega a ser más factible la construcción propia del horno por parte de la empresa, ya que como se ha mencionado la adquisición de un horno previamente construido e importado llegaría a tener costos del doble o triple del valor obtenido en este trabajo.

CAPÍTULO IV

Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

- Con los resultados obtenidos en este trabajo tanto en los cálculos matemáticos como en las simulaciones por software, se concluye que el diseño del horno cumple con todos los requerimientos solicitados por la empresa, tanto de dimensiones, temperatura de trabajo y materiales de construcción.
- Las dimensiones finales de la cámara interna del horno son de 3.0 x 4.0 x 3.0 m, con una forma rectangular, con cubierta de toda la parte interna con manta cerámica, donde la temperatura máxima de diseño es de 1100°C.
- El esfuerzo máximo calculado para la viga principal es de 25,67 MPa, con un factor de seguridad de 5,6 lo que representa un diseño seguro.
- Se determinó un modelo matemático que representa la configuración de todos los materiales que conforman el horno, para poder representar su funcionamiento con un controlador PID, que puede mantener un proceso de calentamiento con eficiencia del 91%.
- La futura construcción del horno llega a ser posible ya que, con el costo total estimado, es accesible para la empresa SMO “Servicios Mecánicos y Metalúrgica”, y en comparación con los existentes en el mercado local e internacional, que puede superar los \$50.000 dólares americanos, el diseño elaborado en este trabajo es notablemente más barato, con un ahorro de hasta un 50 %.
- La mayoría de materiales fueron seleccionados por proveedores locales para facilitar el proceso de adquisición y construcción, tomando en cuenta que la empresa SMO tiene a disposición herramientas y mano de obra para que este proyecto se lleve a cabo.

4.2. Recomendaciones

- La recomendación principal de este trabajo es la construcción futura del horno, en base al diseño propuesto.
- La parte energética del horno, que incluye el sistema de quemadores y de GLP son equipos de alto riesgo, por lo que se debe tener las protecciones de uso y manipulación adecuados según el fabricante para mantener la integridad de la planta y los operarios.
- El sistema de control del horno y sus elementos eléctricos debe ser manipulado por una persona capacitada y autorizada, que tenga los conocimientos previos sobre su funcionamiento y las acciones a tomar en caso de problemas o accidentes.
- Se recomienda seguir las especificaciones de los espesores y medidas de los materiales que se utilizan en este horno para que los resultados matemáticos se cumplan, ya que si se cambia dichos valores los esfuerzos o el factor de seguridad puede cambiar y la estructura va a fallar.
- Si se desea cambiar los materiales refractarios que se han especificado en este trabajo se debe realizar un nuevo estudio termodinámico y de diseño mecánico, que se adecue a las especificaciones de los nuevos materiales.
- En caso de que la empresa que construya el horno posea más recursos económicos se puede implementar sistemas de automatización más sofisticados, para controlar cada tratamiento térmico por separado con sus parámetros respectivos, utilizando sensores y controladores que permitan manejar dichos procesos, además de ampliar el estudio realizado por este trabajo.
- Es conveniente la realización de un manual de operación y mantenimiento del horno, con ayuda de los catálogos y hojas técnicas de los materiales y equipos que constituyen el horno, el cual debe ser incluido en el plan anual de mantenimiento de equipos por parte de la empresa que lo construye y utiliza.

Referencia bibliográfica

- [1] V. López y W. Ramírez, Diseño de un horno para tratamiento térmico del rodete de la turbina Francis (CELEC unidad de negocio Hydroagoyán), Riobamba, Ecuador: Escuela de Ingeniería Mecánica ESPOCH, 2011.
- [2] insertec, «Hornos Industriales,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.insertec-store.com/es/hornos-industriales/hornos-tratamiento-termico/tratamientos-convencionales/horno-de-carro.html>. [Último acceso: 2 Diciembre 2019].
- [3] B.M.I., «Hornos alta temperatura enfriamiento con gas,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.bmi-fours.com/es/productos/horno-temple-gase.html>. [Último acceso: 2 Diciembre 2019].
- [4] F. Quispe Ochoa, Diseño de un horno para tratamiento térmico hasta 700°C para turbinas pelton de la central hidroeléctrica San Gabán II, Puno, 2017.
- [5] Naturgy, «Hornos de gas,» [En línea]. Available: <https://www.empresaeiciente.com/hornos-de-gas/>. [Último acceso: 30 Noviembre 2019].
- [6] Nergiza, «Radiación, conducción y convección: tres formas de transferencia de calor,» 27 Junio 2013. [En línea]. Available: <https://nergiza.com/radiacion-conduccion-y-conveccion-tres-formas-de-transferencia-de-calor/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2019].
- [7] L. Monteros, Diseño y construcción de un horno mufla para la realización de tratamientos térmicos en aceros, Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2015.
- [8] E. d. máquinas, «Transmisión por cadenas,» [En línea]. Available: <http://files.cesarruiz.webnode.com.co/200000094-ccc46d0fac/TransmisionPorCadenas.pdf>. [Último acceso: 09 Diciembre 2019].
- [9] FOREMFE10 Curso Electricidad Industrial, «Inversión de Giro de un motor trifásico,» 11 Julio 2011. [En línea]. Available: <https://foremfe10.wordpress.com/2011/07/11/inversion-de-giro-de-un-motor-trifasico/>. [Último acceso: 10 Diciembre 2019].

- [10] Contraloría General del Estado, «Salarios Mano de Obra,» [En línea]. Available:
] <https://www.contraloria.gob.ec/Informativo/SalariosManoObra>. [Último acceso: 03 Enero 2020].
- [11] Ministerio del Trabajo, «Tabla de salarios mínimos sectoriales del 2019,» [En línea].
] Available: <https://drive.google.com/file/d/1mRqEvHx6U5yJZgvwa-8X8ErRrFqCmUKu/view>. [Último acceso: 03 Enero 2020].
- [12] I. I., «Hornos Industriales Parte 1,» [En línea]. Available:
] http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/15_Apunte%20HornosIndustriales1.pdf
. [Último acceso: 2 Diciembre 2019].
- [13] D. Industry, «Máquinas y equipos industriales,» [En línea]. Available:
] <https://www.directindustry.es/prod/keith-company/product-115743-1702420.html>.
[Último acceso: 10 Noviembre 2019].
- [14] Serprogas, «Horno Crisol,» [En línea]. Available: <http://serprogas.cl/procesos-horno-crisol/>. [Último acceso: 15 Noviembre 2019].
- [15] steemit, «Tratamientos térmicos en una probeta de acero,» [En línea]. Available:
] <https://steemit.com/stem-espanol/@gerardoalfred/tratamientos-termicos-en-una-probeta-de-acero>. [Último acceso: 15 Noviembre 2019].

ANEXOS

Anexo A: Propiedades del aire.

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico c_p $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-5}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268

Anexo B: Propiedades del aire.

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico c_p $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl Pr
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1059	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037

Anexo C: Manta cerámica CALORCOL.

CALORCOL
Expertos en Ingeniería de Aislamientos

Ficha Técnica

MANTA CERÁMICA



Ha sido diseñado para proveer altos niveles de aislamiento térmico en ductos, tuberías, hornos, calderas y cuerpos cilíndricos que operan a altas temperaturas.

Especificaciones Técnicas

Conductividad térmica	0,26 BTU. in/H ² . hr. °F
Diametro promedio de la fibra	2,8 micrones
Temperatura de operación	Hasta 1260°C
Punto de fusión	1600°C
Color	Blanco



Soluciones de aislamiento



Descripción

Manta de fibra cerámica con muy baja conductividad térmica, fabricada por procesos de soplado o centrifugado.

Sin aglutinantes químicos, sus costuras le proporcionan excelente resistencia mecánica y gran facilidad de instalación.

Aplicaciones

- Aislamiento, revestimiento y reparación general de hornos, calderas y otros equipos de alta temperatura.
- Reemplazo de asbestos.
- Aislamiento en reactores térmicos, chimeneas y equipos de incineración.
- Procesos petroquímicos.
- Protección contra incendio.

Ventajas

- Baja conductividad térmica
- Excelente resistencia mecánica
- Excelente resistencia al choque térmico.
- Es flexible
- Bajo peso.
- Fácil manejo e instalación.
- No contiene asbestos.
- Resistente a la corrosión.
- Resistente a la mayoría de ataques químicos.

Anexo C.1: Manta cerámica.

AISLAMIENTO TÉRMICO MANTA CERÁMICA



Manta Cerámica B4 -1" y B4 -2"

Densidad: 4lb / ft 3 (64 Kg/ m³)
Dimensiones: 297" x 24 (7,62m x 0,61m)
Espesor: 1"

Densidad: 4lb / ft 3 (64 Kg/ m³)
Dimensiones: 148" x 24 (3,8m x 0,61m)
Espesor: 2"

Manta Cerámica B6 - 1" y B6- 2"

Densidad: 6lb / ft 3 (96 Kg/ m³)
Dimensiones: 297" x 24 (7,62m x 0,61m)
Espesor: 1"

Densidad: 6lb / ft 3 (96 Kg/ m³)
Dimensiones: 148" x 24 (3,8m x 0,61m)
Espesor: 2"

Manta Cerámica B8 -1" y B8 -2"

Densidad: 8lb / ft 3 (128 Kg/ m³)
Dimensiones: 297" x 24 (7,62m x 0,61m)
Espesor: 1"

Densidad: 8lb / ft 3 (128 Kg/ m³)
Dimensiones: 148" x 24 (3,8m x 0,61m)
Espesor: 2"

APLICACIÓN

Se utiliza como aislamiento para alta temperatura, revestimiento de hornos y calderas, reemplazo de asbestos, reparación general de hornos entre otras aplicaciones.

DESCRIPCIÓN

La manta de Fibra cerámica está hecha a base de fibras cerámicas largas y entrelazadas formando una colchoneta flexible de peso ligero para aplicaciones a temperaturas hasta de 1260° C (2300° F), se caracteriza por su baja conductividad térmica, excelente resistencia al choque térmico, es de fácil manejo e instalación.

Anexo D: Planchas laminadas en caliente (DIPAC).

PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE

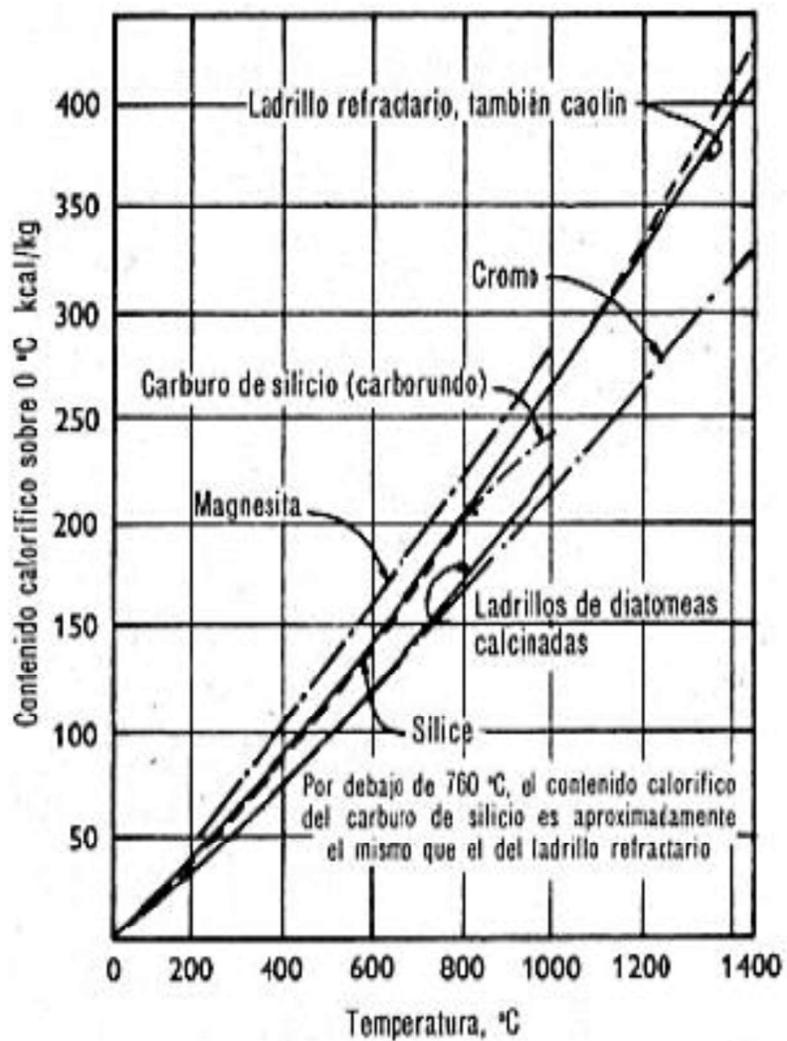
Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 115
Espesores:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Espesores:	2mm a 12mm
Rollos:	Ancho 1000, 1220, 1500mm
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Acabado:	Acero Negro



Calidad Comercial

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

Anexo F: Porcentaje de contenido calórico de materiales refractarios.

Anexo G: Ladrillos refractarios ERECOS.

GAMMA | **ERECOS®**

CORONA
Negocio de Energía
 Carrera 49 No. 67 Sur 680
 Sabaneta, Colombia - 055450
 Teléfono: (574) 305 8000
 ventas@erecos.com
 Nit: 890.900.121-4

Ladrillos refractarios aislantes

Los ladrillos refractarios aislantes se caracterizan por su baja densidad, la cual les confiere una baja conductividad térmica. Esta propiedad los hace óptimos para ser empleados en hornos industriales donde el ahorro energético es una importante condición de diseño.

Son fabricados con materias primas y procesos especiales para obtener alta porosidad, baja densidad y alta refractariedad. Los ladrillos aislantes se utilizan como respaldo de ladrillos densos de mayor refractariedad y conductividad térmica.

ER-IFB 2600	Propiedades	Aplicaciones
Clasificación NTC - 773, ASTM C-27(BA y AA)	Aislante Grupo 26	Ladrillo refractario aislante del grupo 26. Para utilizar a 2.600 °F (1.400°C) máximo en la cara caliente.
ANÁLISIS QUÍMICO (%)		Pueden emplearse como revestimiento de trabajo de hornos, pero únicamente cuando no están sometidos a la abrasión, corrosión o erosión por metales fundidos, escorias ó gases a altas velocidades.
AL ₂ O ₃	52.0	
SiO ₂	45.0	
Fe ₂ O ₃	0.8	
Otros Óxidos	2.2	
Máxima temperatura de servicio	1400	
Densidad aparente (gr/cm ³) NTC -674, ASTM C-20	0.8	
Resistencia a la compresión en frío (MPa) NTC -682, ASTM C-133	1.6	
Módulo de ruptura en frío (MPa) NTC -682, ASTM C-133	1.3	
CAMBIO LINEAL PERMANENTE		
Temperatura (°C)	1400	
%	-0.6	
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (°C - W/m.k)		
200°C	0.23	
400°C	0.27	
600°C	0.3	
800°C	0.33	
1000°C	0.36	

Anexo H: Perfiles laminados IPN (DIPAC).

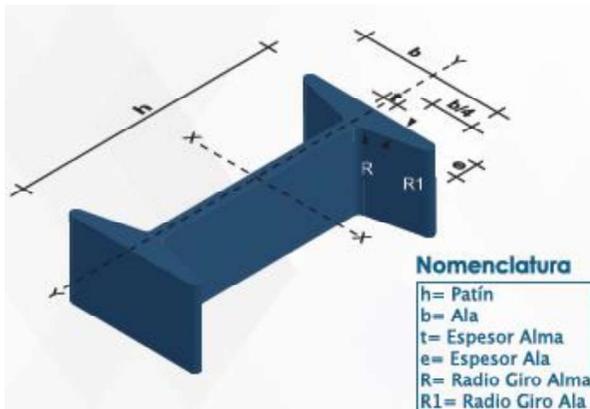
PERFILES LAMINADOS IPN



Especificaciones Generales:

Norma:	RTE INEN 018
Calidad:	ASTM A36 / ENS 235 JR / EN10025 /ASTM A 572 GR 50 / ENS 355 J2
Largo Normal:	6.00mts y 12mts
Acabado:	Acero negro

*Otras calidades, otros largos y otros acabados
previa consulta

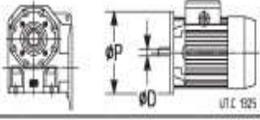


PROPIEDADES MECÁNICAS

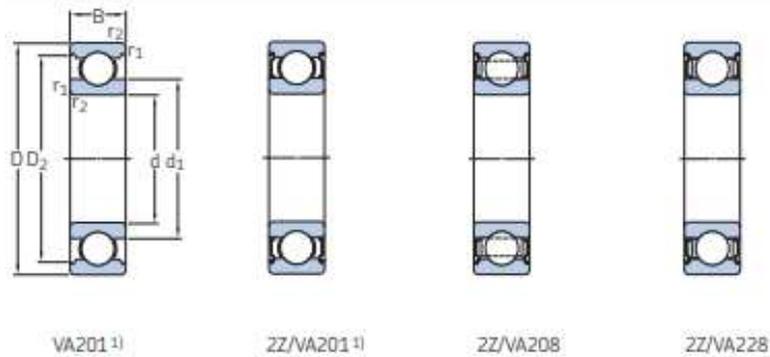
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO FLUENCIA	
Kg/mm ²	Mpa	Kg/mm ²	Mpa
37 - 52	370 - 520	24	235

DENOMINACIÓN	DIMENSIONES						PROPIEDADES					
	h	b	t	e	R	R1	ÁREA SECCIÓN cm ²	PESOS kg/mt	INERCIA (cm ⁴)		MÓDULO RESISTENCIA (cm ³) sección	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm			Eje x-x	Eje y-y	Eje x-x	Eje y-y
IPN 80	80	42	3.90	5.90	30.90	2.30	7.58	5.95	77	6.29	19.50	3.00
IPN 100	100	50	4.50	6.80	4.50	2.70	10.60	8.32	171	12.20	34.20	4.88
IPN 120	120	64	4.40	6.30	4.50	3.00	13.20	10.40	318	27.70	53.00	8.65
IPN 140	140	66	5.70	8.60	5.70	3.40	18.30	14.40	573	35.20	81.90	10.70
IPN 160	160	74	6.30	9.50	6.30	3.80	22.80	17.90	935	54.70	117.00	14.80
IPN 200	200	90	7.50	11.30	7.50	4.50	33.50	26.30	2140	117.00	214.00	26.00
IPN 240	240	106	8.70	13.10	8.70	5.20	46.10	36.20	4250	221.00	354.00	41.70
IPN 300	300	125	10.80	16.20	10.80	6.50	69.10	54.20	9800	451.00	653.00	72.20
IPN 400	400	155	14.40	21.60	14.40	8.60	118.00	92.60	29210	1160.00	1460.00	149.00

Anexo I: Motorreductor ROSSI para la puerta.

P_1	n_2	P_2	M_2	M_{2max}	F_{12}	i	f_s		Masa Masse		
									HF	F0	
kW	min ⁻¹	kW	N m	N m	N				kg	kg	
1,1	*	30,1	0,8	255	286	4 250	47	0,71	MR V 430 - 80 C 4 B5* 19 x 200	23	26
	*	38,2	0,83	208	324	4 250	37	0,95			
	*	47,2	0,86	174	334	4 000	30	1,18			
	*	59	0,88	143	326	3 550	24	1,4			
	*	74,5	0,93	119	305	3 350	19	1,6			
	*	91,3	0,94	99	314	2 800	15,5	1,9			
	**	59	0,87	141	173	2 240	24	0,75	MR V 325 - 80 C 4 B14R 14 x 105	18	21
	**	74,5	0,92	118	167	2 120	19	0,9			
	**	91,3	0,93	98	172	2 000	15,5	1			
	**	118	0,95	77	153	1 900	12	1,18			
	**	170	0,98	55	141	1 500	8,33	1,5	MR V 325 - 80 B 2 B14R 14 x 105	15,5	19,5
	**	184	0,96	49,8	136	1 700	15,5	1,5			
	**	238	0,97	39	123	1 400	12	1,9			
	**	343	0,99	27,7	113	1 120	8,33	2,24			
1,5		12,4	1,03	793	800	7 500	73	0,75	MR V 742 - 90 LC 6 B5* 24 x 200	47	53
		15,6	1,08	662	1078	7 500	58	1			
		19,3	1,12	558	1123	7 500	47	1,25			
		24,5	1,15	450	1326	7 500	37	1,7			
		30,2	1,19	375	1252	7 500	30	2,12			
		13	1,03	755	800	7 500	73	0,8			
		16,4	1,08	631	1078	7 500	58	1,06			
		20,2	1,12	531	1123	7 500	47	1,32			
		25,7	1,15	429	1326	7 500	37	1,8			
		31,7	1,19	358	1252	7 500	30	2,24			
		19,5	1,08	526	792	7 500	73	1	MR V 742 - 90 L 4 B5 24 x 200	44	50
		24,6	1,12	437	973	7 500	58	1,4			
		30,3	1,16	366	981	7 500	47	1,7			
		38,5	1,19	295	1164	7 500	37	2,24			
		47,5	1,22	245	1103	7 100	30	2,8			
		60,6	1,28	202	949	6 700	23,5	2,8			
	*	24,5	1,13	440	701	6 500	37	0,95	MR V 535 - 90 LC 6 B5* 24 x 200	37	43
	*	30,2	1,16	368	686	6 300	30	1,12			

Anexo J: Catálogo rodamientos SKF para altas temperaturas.



Principal dimensions						Basic static load ratings	Limiting speed	Limiting temperature		Mass	Designation
d	D	B	d ₁	D ₂	r _{1,2} min			T max.	°C		
mm						kN	r/min	°C	°F	kg	-
12	32	10	18,4	27,4	0,6	3,1	200	250	480	0,037	6201/VA201
	32	10	18,4	27,4	0,6	3,1	200	250	480	0,039	6201-2Z/VA201
	32	10	18,4	27,4	0,6	3,1	400	350	660	0,039	6201-2Z/VA228
15	35	11	21,7	30,4	0,6	3,75	180	250	480	0,045	6202/VA201
	35	11	21,7	30,4	0,6	3,75	180	250	480	0,048	6202-2Z/VA201
	35	11	21,7	30,4	0,6	3,75	360	350	660	0,048	6202-2Z/VA228
	42	13	23,7	36,3	1	5,4	320	350	660	0,086	6302-2Z/VA228
17	35	10	23	31,2	0,3	3,25	170	250	480	0,038	6003/VA201
	35	10	23	31,2	0,3	3,25	170	250	480	0,041	6003-2Z/VA201
	35	10	23	31,2	0,3	3,25	170	350	660	0,041	6003-2Z/VA208
	40	12	24,5	35	0,6	4,75	160	250	480	0,065	6203/VA201
	40	12	24,5	35	0,6	4,75	160	250	480	0,068	6203-2Z/VA201
	40	12	24,5	35	0,6	4,75	310	350	660	0,068	6203-2Z/VA228
	47	14	26,5	39,6	1	6,55	140	250	480	0,11	6303/VA201
	47	14	26,5	39,6	1	6,55	140	250	480	0,13	6303-2Z/VA201
	47	14	26,5	39,6	1	6,55	280	350	660	0,12	6303-2Z/VA228
20	42	12	27,2	37,2	0,6	5	140	250	480	0,067	6004/VA201
	42	12	27,2	37,2	0,6	5	140	250	480	0,071	6004-2Z/VA201
	42	12	27,2	37,2	0,6	5	140	350	660	0,071	6004-2Z/VA208
	47	14	28,8	40,6	1	6,55	130	250	480	0,1	6204/VA201
	47	14	28,8	40,6	1	6,55	130	250	480	0,11	6204-2Z/VA201
	47	14	28,8	40,6	1	6,55	260	350	660	0,11	6204-2Z/VA228

Anexo K: Catálogo de referencia para poleas.

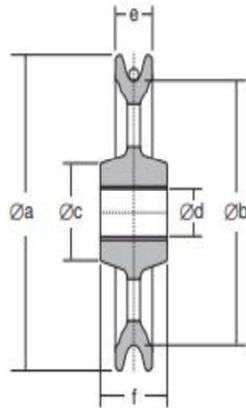


Polea, sin soporte, RZ

Polea de acero sin soporte para transmisión automática y manual

Características:

- Adecuadas para transmisión mecánica y manual.
- Sin mantenimiento.
- Soporte de acero.
- Rodamientos lubricados.

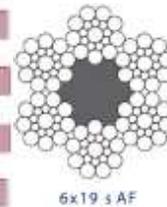


Modelo	Capacidad (kg)	Diámetro cable (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	Peso (kg)	Código
RZ-0.5	500	5 - 6	150	125	46	22	22	40	2.3	3063001
RZ-1.0	1000	8 - 10	235	200	78	40	32	50	6.0	3063003
RZ-2.0	2000	12 - 14	325	280	108	60	41	70	16.0	3063005
RZ-3.0	3000	16 - 18	400	340	110	70	51	87	27.0	3063007
RZ-5.0	5000	20 - 22	475	410	115	75	55	92	39.0	3063009

Anexo L: Catálogo cable de acero (Multicables del ecuador).

COBRA

Ø Nom (pulg.)	Ø Nom (mm)	Carga de rotura mínima garantizada			Peso lineal (kg/m)
		(kN)	(1000 lb)	(tm)	
	9	55	12,3	5,6	0,30
3/8"	9,5	62	13,9	6,3	0,34
	10	68	15,2	6,9	0,37
	11	82	18,5	8,4	0,45
1/2"	13	115	25,8	11,7	0,63
9/16"	14	133	30,0	13,6	0,73
5/8"	16	175	39,2	17,8	0,95
	18	221	49,6	22,5	1,20
3/4"	19	246	55,3	25,1	1,34
	20	273	61,3	27,8	1,49
7/8"	22	330	74,1	33,6	1,80
	24	392	88,2	40,0	2,14
1"	26	461	103,6	47,0	2,51
	28	534	120,2	54,5	2,91
1 1/8"	29	573	128,7	58,4	3,13
	30	601	135,1	61,3	3,35
1 1/4"	32	697	156,7	71,1	3,81
	34	787	177,0	80,3	4,30
1 3/8"	35	835	187,6	85,1	4,55
	36	883	198,4	90,0	4,82
1 1/2"	38	984	221,1	100,3	5,37
	40	1090	244,9	111,1	5,95
	42	1201	270,1	122,5	6,56



6x19 s AF



6x26 ws AF

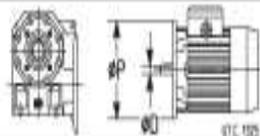
Características

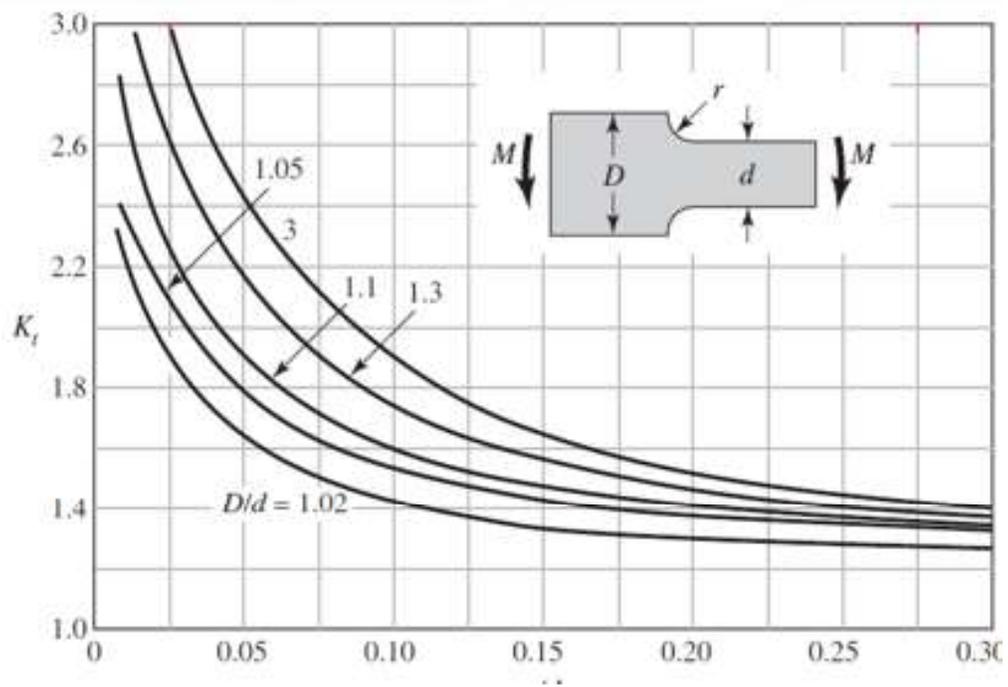
- Construcción 6 x 19s (9/9/1) o 6 x 26ws (10/5+5/5/1), gran resistencia al roce, abrasión y al mismo tiempo flexibles y de uso muy versátil
- Alambres negros, según norma ISO 2232
- Torcido Regular o Lang

Equipos

- 6 x 19 Winche de Piques Verticales e Inclinados (Equipos minero), Cable de izaje (Funicular), Cable Tractor
Diám. mínimo de polea o tambor: 34 veces el diám. del cable
- 6 x 26 Uso general, montacargas (cable de izaje)
Diám. mínimo de polea o tambor: 30 veces el diám. del cable

Anexo M: Motorreductor de Sinfin para la solera.

P_1	n_2	P_2	M_2	M_{2max}	F_{G2}	i	i_2		Masa Masse					
									HF	FD				
kW	min ⁻¹	kW	N m	N m	N				kg	kg				
2,2	*	16,5	1,59	920	1078	7 500	58	0,71	MR V 742 - 112 M 6 B5 28 x 250	61	69			
	*	20,3	1,65	775	1123	7 500	47	0,9						
	*	25,8	1,69	625	1326	7 500	37	1,25						
	*	31,8	1,74	522	1252	7 500	30	1,5						
	*	19,5	1,58	775	792	6 700	73	0,71				MR V 742 - 90 LC 4 B5* 24 x 200	47	53
	*	24,5	1,65	643	973	7 500	58	0,95						
	*	30,2	1,7	539	981	7 500	47	1,12						
	*	38,4	1,75	435	1164	7 500	37	1,5						
	*	47,3	1,79	361	1103	7 100	30	1,9						
	*	19,5	1,58	772	792	6 700	73	0,71				MR V 742 - 100 LA 4 B5 28 x 250	51	57
	*	24,6	1,65	641	973	7 500	58	0,95						
	*	30,3	1,7	537	981	7 500	47	1,12						
	*	38,5	1,75	433	1164	7 500	37	1,5						
	*	47,5	1,79	360	1103	7 100	30	1,9						
	*	60,6	1,88	296	949	6 700	23,5	2						
	*	75	1,91	243	1109	6 000	19	2,5						
	*	91,9	1,93	200	1029	5 600	15,5	3						
	**	31,8	1,71	512	686	5 300	30	0,8	MR V 535 - 112 M 6 B5R 24 x 200	50	58			
	*	40,6	1,82	427	596	5 000	23,5	0,9						
	*	50,3	1,85	351	660	5 000	19	1,12						
*	61,6	1,88	291	646	4 750	15,5	1,32							
*	81,9	1,92	225	681	3 550	11,7	1,8							
**	116	1,97	162	581	3 000	8,25	2,12							
**	38,4	1,71	425	628	5 300	37	0,85	MR V 535 - 90 LC 4 B5* 24 x 200	37	43				
*	47,3	1,76	355	612	5 300	30	1							
*	60,4	1,86	294	531	5 000	23,5	1,12							
*	74,7	1,88	241	594	4 250	19	1,32							
*	91,6	1,91	199	576	3 750	15,5	1,7							
**	38,5	1,71	424	628	5 300	37	0,85	MR V 535 - 100 LA 4 B5R 24 x 200	40	46				
*	47,5	1,76	353	612	5 300	30	1							
*	60,6	1,86	293	531	5 000	23,5	1,12							
*	75	1,88	240	594	4 250	19	1,32							
*	91,9	1,91	198	576	3 750	15,5	1,7							
**	122	1,95	153	580	3 150	11,7	2,12							
**	173	1,99	110	495	3 000	8,25	2,65							
**	184	1,95	102	432	3 000	15,5	2,5	MR V 535 - 90 LA 2 B5 24 x 200	34	40				
**	59,2	1,76	284	326	2 800	24	0,71	MR V 430 - 90 LC 4 B5R 19 x 200	28	34				
**	74,7	1,86	237	305	2 650	19	0,8							
*	91,6	1,89	197	314	2 500	15,5	0,95							
*	118	1,91	154	281	2 240	12	1,06							
*	170	1,97	110	258	2 120	8,33	1,32							
*	184	1,93	101	248	2 240	15,5	1,4							
*	237	1,96	79	218	2 000	12	1,6							
*	341	2	56	200	1 600	8,33	2	MR V 430 - 90 LA 2 B5R 19 x 200	25	31				

Anexo N: Gráfica del concentrador de esfuerzos por la forma del eje.

Anexo O: Eje AISI 4340 (705) DIPAC.

Eje AISI 4340

Es un acero bonificado al cromo, níquel, molibdeno, altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a la fragilidad del revenido. Aplicaciones en partes de maquinaria sometidas a altos esfuerzos, brazo de dirección, cigueñales, árboles de leva, barras de torsión, embragues, piñones, barras de cardán, ejes de bomba, ejes para aviones, muñones, pernos de alto grado de tensión, rodillos de transportadora, etc.

Especificaciones Generales:

- **Norma:** AISI 4340 (705)
- **Descripción:** Es un acero bonificado al cromo, níquel, molibdeno, altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a la fragilidad del revenido.
- **Aplicaciones:** Partes de maquinarias sometidas a altos esfuerzos, brazo de dirección, cigueñales, árboles de leva, barras de torsión, embragues, piñones, barras de cardán, ejes de bombas, ejes para aviones, muñones, pernos de alto grado de tensión, rodillos de transportadora, etc.
- **Largo:** 6mts

COMPOSICIÓN QUÍMICA

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0,34	0,1- 0,35	0,60 - 0,80	0,04 - 0,30	0,002 - 0,03

PROPIEDADES MECÁNICAS

DIÁMETRO (mm)	RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
16 o MENOS	1200 - 1400	1000	9	240 - 380
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 - 380
41 - 100	1000 - 1200	800	11	240 - 380

Anexo P: Catarina (Piñones métricos SKF).

Agujero en bruto Tipo, B/C

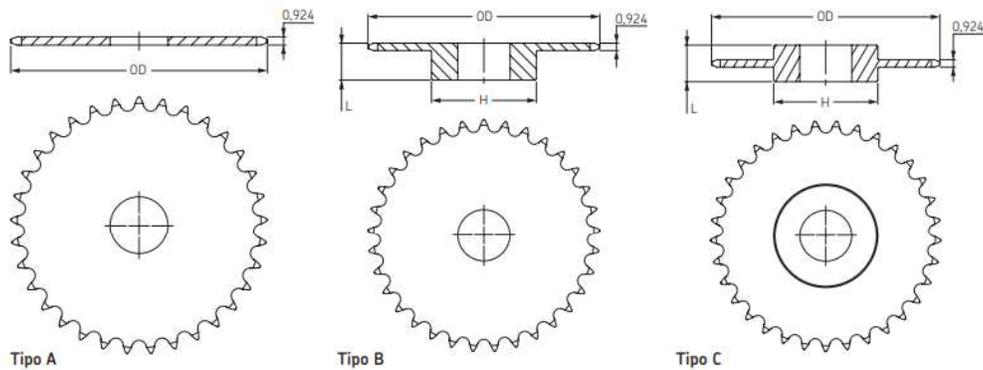
Tipo A

Nº de dientes	Diámetro exterior pulg.	Tipo	Agujero		Cubo		Peso lbs	Designación	Nº de dientes	Diámetro exterior pulg.	Tipo	Agujero Estándar pulg.	Peso lbs	Designación
			Min.	Máx.	H	L								
			pulg.	pulg.	pulg.	pulg.								
8	4,52	-	-	-	-	-	-	-	8	4,52	A	1 1/4	2,4	PHS 120-1A8
9	5,02	B	1 3/8	1 3/4	3 3/8	2 1/4	5,3	PHS 120-1B9	9	5,02	A	1 3/4	3,0	PHS 120-1A9
10	5,52	B	1 7/8	2 1/4	3 3/4	2 1/4	7,1	PHS 120-1B10	10	5,52	A	1 3/4	3,8	PHS 120-1A10
11	6,01	B	1 7/8	2 3/4	3 7/8	2 1/8	7,6	PHS 120-1B11	11	6,01	A	1 3/4	4,8	PHS 120-1A11
12	6,50	B	1 7/8	2 3/4	4 1/8	2 1/8	9,9	PHS 120-1B12	12	6,50	A	1 3/4	5,8	PHS 120-1A12
13	6,99	B	1 7/8	3	4 3/8	2 1/4	12,4	PHS 120-1B13	13	6,99	A	1 3/4	6,7	PHS 120-1A13
14	7,47	B	1 7/8	3 1/4	4 3/4	2 1/4	14,4	PHS 120-1B14	14	7,47	A	1 3/4	8,0	PHS 120-1A14
15	7,96	B	1 3/4	3 3/4	4 3/4	2 3/8	16,7	PHS 120-1B15	15	7,96	A	1 3/4	9,1	PHS 120-1A15
16	8,44	B	1 3/4	3 1/2	5 1/4	2 3/8	19,9	PHS 120-1B16	16	8,44	A	1 3/4	10,6	PHS 120-1A16
17	8,92	B	1 3/4	3 1/2	5 1/4	2 3/8	20,8	PHS 120-1B17	17	8,92	A	1 3/4	12,6	PHS 120-1A17
18	9,41	B	1 3/4	3 1/2	5 3/4	2 3/8	22,2	PHS 120-1B18	18	9,41	A	1 3/4	13,6	PHS 120-1A18
19	9,89	B	1 3/4	3 1/2	5 3/4	2 3/8	24,8	PHS 120-1B19	19	9,89	A	1 3/4	15,1	PHS 120-1A19
20	10,37	B	1 3/4	3 1/2	5 1/4	2 3/8	25,8	PHS 120-1B20	20	10,37	A	1 3/4	16,9	PHS 120-1A20
21	10,85	B	1 3/4	3 1/2	5 3/4	2 3/8	26,7	PHS 120-1B21	21	10,85	A	1 3/4	18,7	PHS 120-1A21
22	11,33	B	1 3/4	3 1/2	5 1/4	2 3/8	28,2	PHS 120-1B22	22	11,33	A	1 3/4	20,0	PHS 120-1A22
23	11,81	B	1 3/4	3 1/2	5 3/4	2 3/8	30,3	PHS 120-1B23	23	11,81	A	1 3/4	22,1	PHS 120-1A23
24	12,29	B	1 3/4	3 1/2	5 1/4	2 3/8	32,1	PHS 120-1B24	24	12,29	A	1 3/4	24,8	PHS 120-1A24
25	12,77	B	1 3/4	3 1/2	5 3/4	2 3/8	34,6	PHS 120-1B25	25	12,77	A	1 3/4	26,8	PHS 120-1A25
26	13,25	B	1 1/2	4	6	2 1/2	40,0	PHS 120-1B26	26	13,25	A	1 1/2	28,3	PHS 120-1A26
27	13,73	-	-	-	-	-	-	-	27	13,73	A	1 1/2	30,9	PHS 120-1A27
28	14,21	B	1 1/2	4	6	2 1/2	44,9	PHS 120-1B28	28	14,21	A	1 1/2	33,6	PHS 120-1A28
30	15,17	B	1 1/2	4	6	2 1/2	50,2	PHS 120-1B30	30	15,17	A	1 1/2	39,0	PHS 120-1A30
32	16,13	B	1 1/2	4	6	2 1/2	56,0	PHS 120-1B32	32	16,13	A	1 1/2	43,9	PHS 120-1A32
33	16,61	-	-	-	-	-	-	-	33	16,61	A	1 1/2	48,2	PHS 120-1A33
34	17,09	-	-	-	-	-	-	-	34	17,09	A	1 1/2	50,0	PHS 120-1A34
35	17,57	B	1 1/2	4	6	2 1/2	62,4	PHS 120-1B35	35	17,57	A	1 1/2	52,0	PHS 120-1A35
36	18,05	B	1 1/2	4	6	2 1/2	66,4	PHS 120-1B36	36	18,05	A	1 1/2	56,0	PHS 120-1A36
40	19,96	C	1 1/2	4	6	3 3/4	92,0	PHS 120-1C40	40	19,96	A	1 1/2	71,0	PHS 120-1A40
42	20,92	C	1 1/2	4	6	3 3/4	98,0	PHS 120-1C42	42	20,92	A	1 1/2	75,0	PHS 120-1A42
45	22,35	C	1 1/2	4	6	3 3/4	99,2	PHS 120-1C45	45	22,35	A	1 1/2	88,0	PHS 120-1A45
48	23,79	C	1 1/2	4	6	4	113,0	PHS 120-1C48	48	23,79	A	1 1/2	103,0	PHS 120-1A48
54	26,65	C	1 1/2	4	6	4	133,0	PHS 120-1C54	54	26,65	A	1 1/2	140,0	PHS 120-1A54
60	29,52	C	1 1/2	5 3/4	7	4	160,0	PHS 120-1C60	60	29,52	A	1 1/2	160,0	PHS 120-1A60
70	34,30	C	1 1/2	5 3/8	7 1/2	4 1/2	206,0	PHS 120-1C70	70	34,30	A	1 1/2	216,0	PHS 120-1A70
80	39,08	C	1 1/2	5 3/8	7 1/2	4 1/2	254,0	PHS 120-1C80	80	39,08	A	1 1/2	284,0	PHS 120-1A80
90	43,85	-	-	-	-	-	-	-	90	43,85	A	1 1/2	358,0	PHS 120-1A90

Los agujeros máximos pueden incorporar chavetas estándar. Existen agujeros más grandes para chavetas superficiales o cuando no se requiere una chaveta.

Para los dientes de piñones templados, añada una "H" después de la identificación del diseño del piñón, p.e.j. PHS 08B-1AH8.

ANSI 120-1 Paso de 1 1/2"



Anexo Q: Cadenas sencillas-transmisión de potencia (IVAN BOHMAN C. A.).

► Cadenas Sencillas

Información general



Cadenas sencillas

CÓDIGO IBCA	Cadena		Paso		Entre placas interiores		Diámetros del rodillo		Diámetros del pasador (PIN)		Longitud del pasador (PIN)		Carga de ruptura	
	ANSI No.	DIN ISO Nr.	P		W máx		R máx		D máx		L máx		min	min
			in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	Lbs	Kg
RS-35-1	35		3/8	9.525	0.188	4.78	0.200	5.08	0.141	3.59	0.510	12.95	2420	1100
RS-40-1	40	08A	1/2	12.70	0.313	7.95	0.312	7.92	0.156	3.97	0.691	17.45	4290	1950
RS-41-1	41	085	1/2	12.70	0.251	6.38	0.306	7.77	0.141	3.59	0.567	14.40	2640	1200
RS-50-1	50	10A	3/4	15.875	0.375	9.53	0.400	10.16	0.200	5.09	0.856	21.75	7040	3200
RS-60-1	60	12A	3/4	19.05	0.500	12.70	0.469	11.91	0.234	5.96	0.059	26.90	9680	4400
RS-80-1	80	16A	1	25.40	0.625	15.88	0.625	15.87	0.312	7.94	1.390	35.30	16500	7500
RS-100-1	100	20A	1 1/4	31.75	0.750	19.05	0.750	19.05	0.375	9.54	1.699	43.15	25300	11500
RS-120-1	120	24A	1 1/2	38.10	1.000	25.40	0.875	22.22	0.437	11.11	2.122	53.90	35200	16000
RS-140-1	140	28A	1 3/4	44.45	1.000	25.40	1	25.40	0.500	12.71	2.303	58.50	45100	20500
RS-80-1-P	80	16A	1	25.40	0.625	15.88	0.625	15.87	0.312	7.94	1.390	35.30	16500	7500
RS-100-1-P	100	20A	1 1/4	31.75	0.750	19.05	0.750	19.05	0.375	9.54	1.699	43.15	25300	11500
RS-120-1-P	120	24A	1 1/2	38.40	1.000	25.40	0.875	22.22	0.437	11.11	2.122	53.90	35200	16000

Sufijo -P = Pasador

Anexo R: Chumaceras IVAN BOHMAN C. A.

► Chumacera de piso

Datos Técnicos																	
CÓDIGO IBCA		Diám. del eje		Dimensiones (mm)										Perno	Tipo de rodaml.	Soporte	Masa kg
		mm	pulg	h	a	e	b	s ₁	s ₂	g	w	Bl	n				
UCP 204 204-12		20 19.05		33.3	127	96	38	13	19	15	63	31	12.7	M10 (W3/8)	UCP 204 204-12	P 204	P 204
UCP 205 205-14 205-16		25 22.225 25.4		36.5	140	106	38	13	19	16	70	34	14.3	M10 (W3/8)	UCP 205 205-14 205-16	P 205	P 205
UCP 206 206-18		30 28.575		42.9	165	121	48	17	21	17	83	38.1	15.9	M14 (W1/2)	UCP 206 206-18	P 206	P 206
UCP 207 207-20 207-22		35 31.75 34.925		47.6	167	127	48	17	21	19	92	42.9	17.5	M14 (W1/2)	UCP 207 207-20 207-22	P 207	P 207
UCP 208 208-24		40 38.1		49.2	184	137	54	17	21	19	98	49.2	19	M14 (W1/2)	UCP 208 208-24	P 208	P 208
UCP 209 209-28		45 44.45		54	190	146	54	17	21	20	106	49.2	19	M14 (W1/2)	UCP 209 209-28	P 209	P 209
UCP 210		50		57.2	206	159	60	20	22	22	112	51.6	19.0	M16 (W5/8)	UCP 210	P 210	P 210
UCP 211 211-32		55 50.8		63.5	219	171	60	20	22	22	125	55.6	22.2	M16 (W5/8)	UCP 211 211-32	P 211	P 211
UCP 212 212-36		60 57.15		69.8	241	184	70	20	25	25	137	65.1	25.4	M16 (W5/8)	UCP 212 212-36	P 212	P 212
UCP 213 213-40		63.5		76.2	265	203	70	25	30	27	150	65.1	25.4	M20 (W3/4)	213-40	P 213	P 213
UCP 215 215-48		76.2		82.6	275	217	74	25	31	28	163	77.8	33.3	M20 (W3/4)	215-48	P 215	P 215

Anexo S: Quemador WAYNE P265F.

Specifications

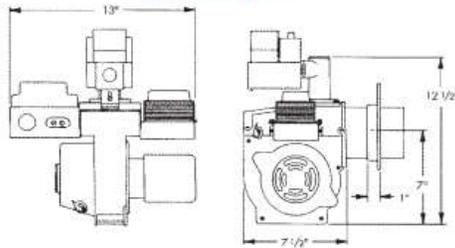
200/400 GAS BURNER

HSG 200 - 60M Btu/hr to 200M Btu/hr
HSG 400 - 200M Btu/hr to 400M Btu/hr

THE BLUE ANGEL™ POWER GAS BURNER - MODEL HSG

Capacities	Firing rates from 60M through 400M Btu/hr.
Fuel	Natural or LP Gas 2" to 4" water column - adjustable.
Controls	24-volt combination control 3/4" IPS, with redundant valve. Flamerod sensor 4 second safety shutdown.
Ignition	Direct spark ignition 7300-volt ignition transformer. Remove top cover for easy access to ignition components.
Motor	3450 RPM – 115V – 2.4A.
Fan Housing	Aluminum alloy, die cast housing. Maintains alignment of all moving parts throughout the lifetime of the burner.
Mounting	Adjustable flange (pedestal mount available.)
Air Tube	4" OD available in standard lengths of 6", 9" and 12".
Combustion Head	Stainless steel, precision stamping. No change for entire firing range.

DIMENSIONS



MOUNTINGS



Complete Burner:

All BLUE ANGEL Model HSG flame retention gas burners are supplied completely assembled and testfired. Additional orifices supplied. Combination redundant gas valve and ignition control package installed. The models at right include an adjustable flange with gasket as standard and are available for immediate shipment.

Shipping Information:

- Individually cartoned
- Weight: 26 lbs.
- 18 burners per pallet

ORDERING INFORMATION

Part No.	Model No.	Tube Length	Capacity - M Btu/hr
62376C	HSG 200	6"	60-200
62377C	HSG 400	6"	200-400
62378C	HSG 200	9"	60-200
62379C	HSG 400	9"	200-400
62380C	HSG 200	12"	60-200
62381C	HSG 400	12"	200-400

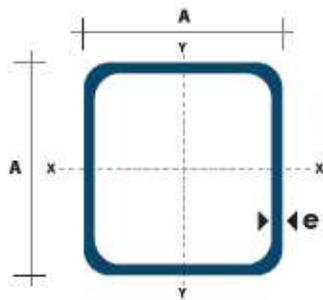


Anexo T: Tubo estructural cuadrado negro (DIPAC).

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

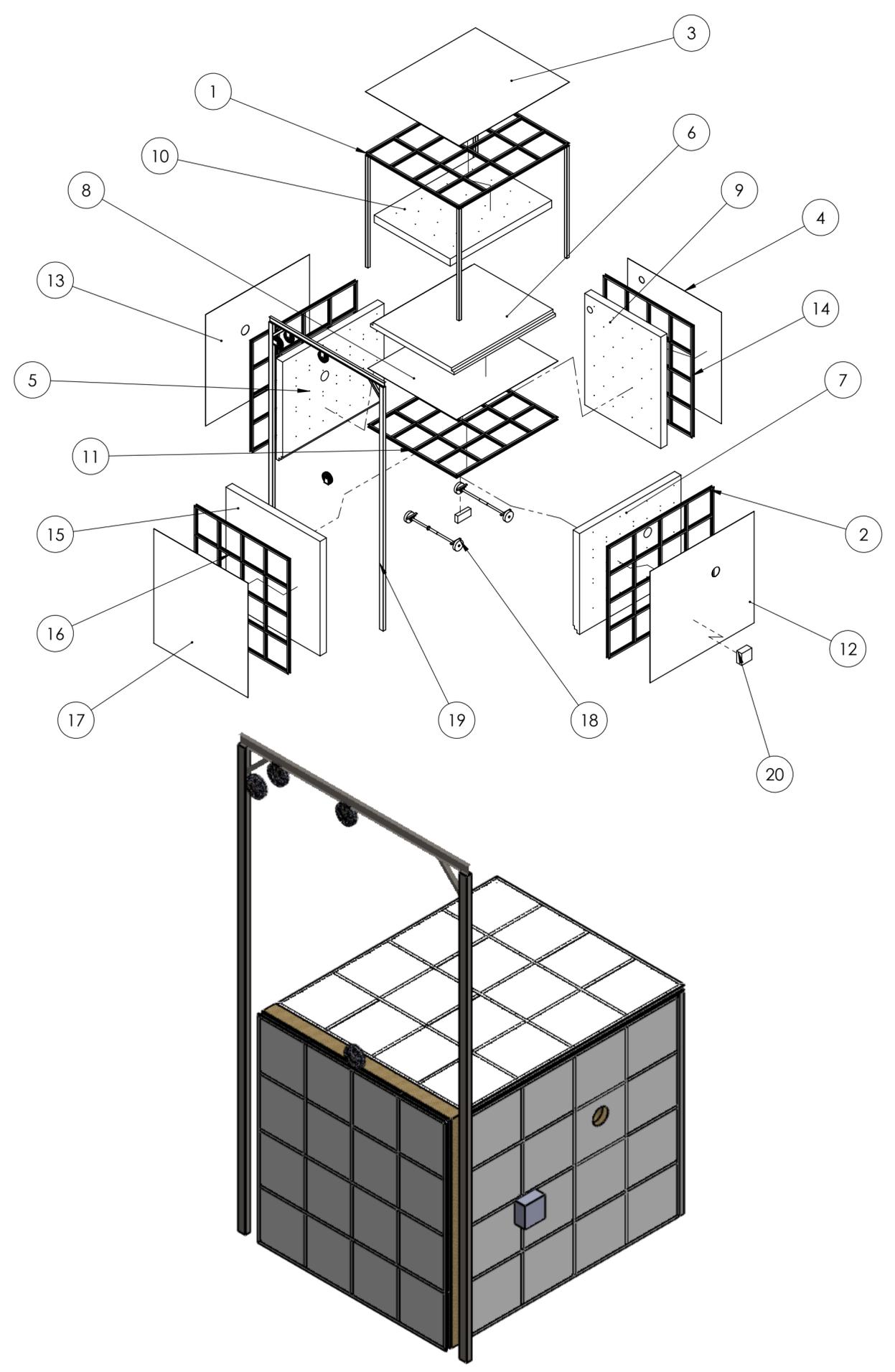
Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6,00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 5,00mm



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84

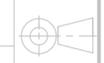
**Anexo U: Planos eléctricos del horno de tratamiento
térmico.**

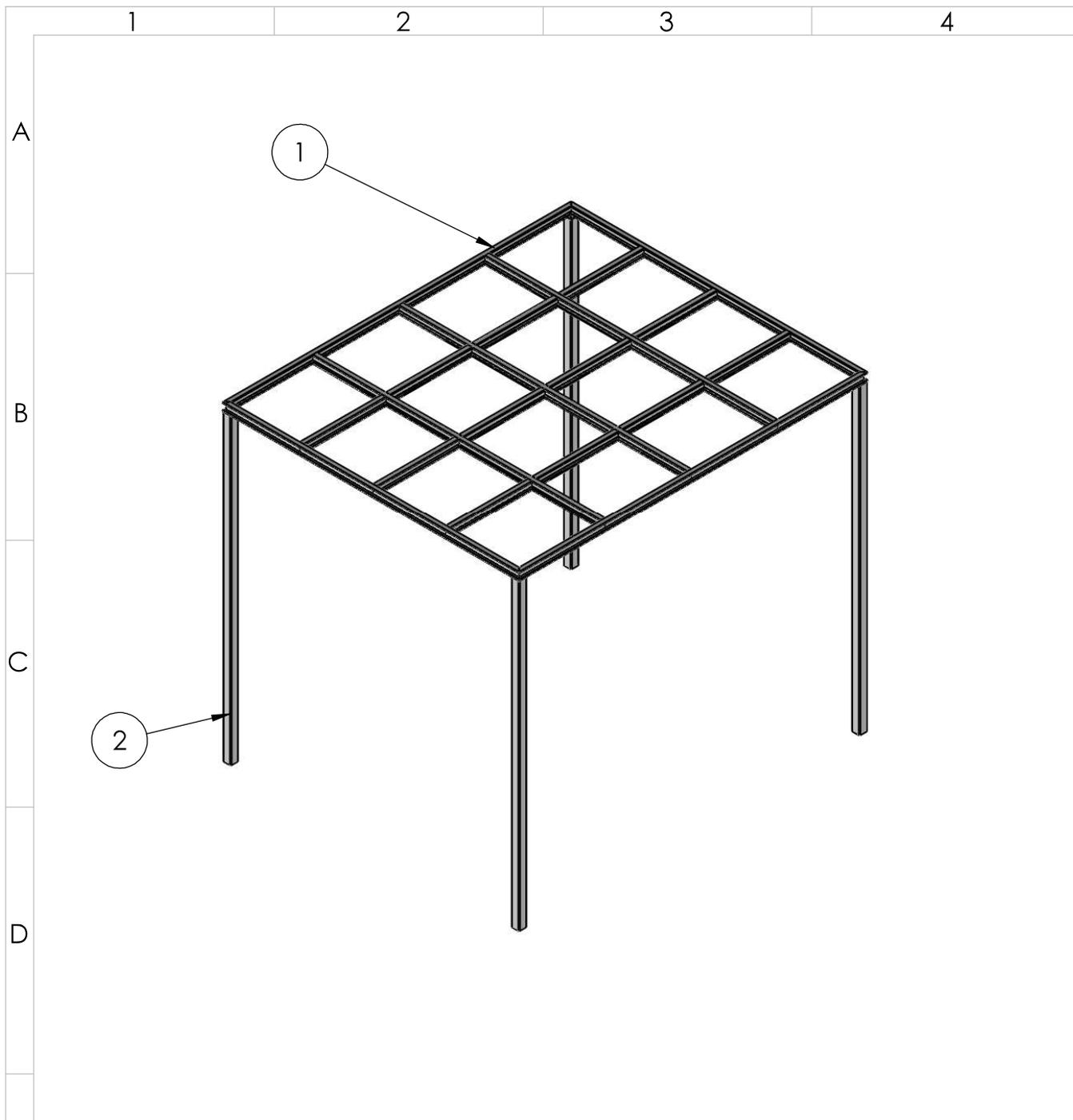
**Anexo V: Planos mecánicos del horno de
tratamiento térmico.**



20	Panel de control	1	Metálico	SMO-MM2-20	E7	400x400x200 mm
19	Sistema de elevación de la puerta	1	ASTM A36,	SMO-MM2-19	F10	
18	Sistema de transmisión para la solera	1	ASTM A36, AISI 43,40, hierro fundido	SMO-MM2-18	E9	
17	Plancha puerta	1	ASTM A36	SMO-MM2-17	E10	Laminada en caliente espesor 6 mm
16	Estructura puerta	1	ASTM A36	SMO-MM2-16	E10	IPN 100
15	Manta puerta	1	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO	SMO-MM2-15	E10	Manta cerámica CALORCOL B6-2"
14	Estructura pared atrás	1	ASTM A36	SMO-MM2-14	F8	IPN 100
13	Plancha pared izquierda	1	ASTM A36	SMO-MM2-13	F10	Laminada en caliente espesor 6 mm
12	Plancha pared derecha	1	ASTM A36	SMO-MM2-12	E8	Laminada en caliente espesor 6 mm
11	Estructura solera	1	ASTM A36	SMO-MM2-11	F9	IPN 100
10	Manta techo	1	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO	SMO-MM2-10	G9	Manta cerámica CALORCOL B6-2"
9	Manta pared atrás	1	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO	SMO-MM2-09	F8	Manta cerámica CALORCOL B6-2"
8	Plancha solera	1	ASTM A36	SMO-MM2-08	F9	Laminada en caliente espesor 6 mm
7	Manta pared derecha	1	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO	SMO-MM2-07	E8	Manta cerámica CALORCOL B6-2"
6	Ladrillo refractario	1	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃	SMO-MM2-06	F9	Ladrillo recto ERECOS
5	Manta pared izquierda	1	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO	SMO-MM2-05	F10	Manta cerámica CALORCOL B6-2"
4	Plancha atrás	1	ASTM A36	SMO-MM2-04	F8	Laminada en caliente espesor 6 mm
3	Plancha techo	1	ASTM A36	SMO-MM2-03	H9	Laminada en caliente espesor 6 mm
2	Estructura paredes laterales	2	ASTM A36	SMO-MM2-02	E8	IPN 100
1	Estructura techo y columnas	1	ASTM A36	SMO-MM2-01	G9	
Nº de pieza	Denominación	Cantidad	Material	Código	Zona	Observación

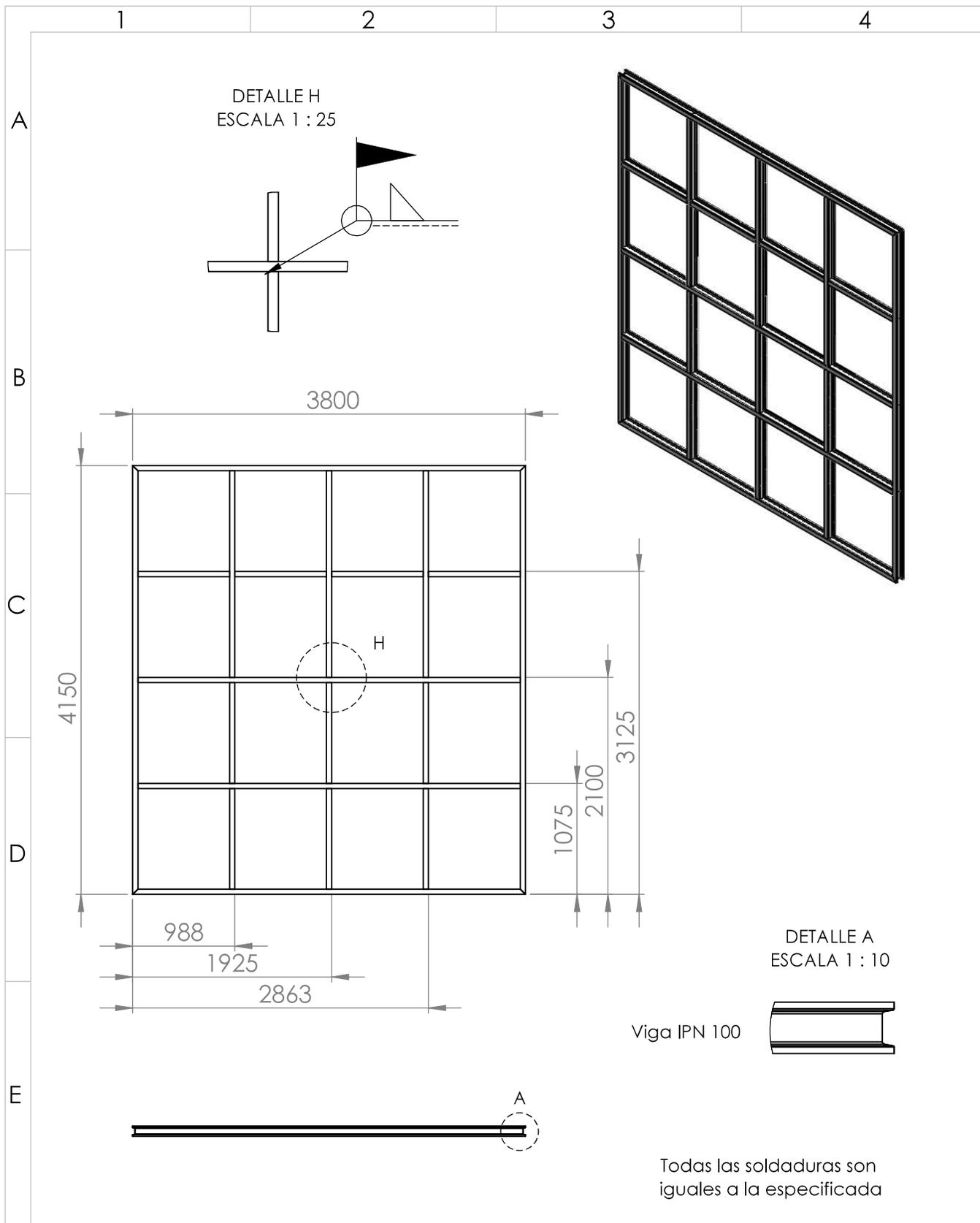
Tolerancia	Peso:	Materiales:		
	12227,51 Kg	Acero ASTM A36, acero AISI 4340, AL ₂ O ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , MgO, CaO, Na ₂ O		
Fecha	Nombre	Denominación:		Escala
Dib. 15/01/2019	Michael Martínez	Horno para tratamiento térmico de aceros		1:100
Rev. 17/01/2019	Fernando Valencia	Número de Dibujo:		
Aprob. 17/01/2019	Victor Erazo	SMO-MM2		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	
		4		
		3		
		2		
		1		

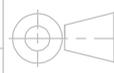


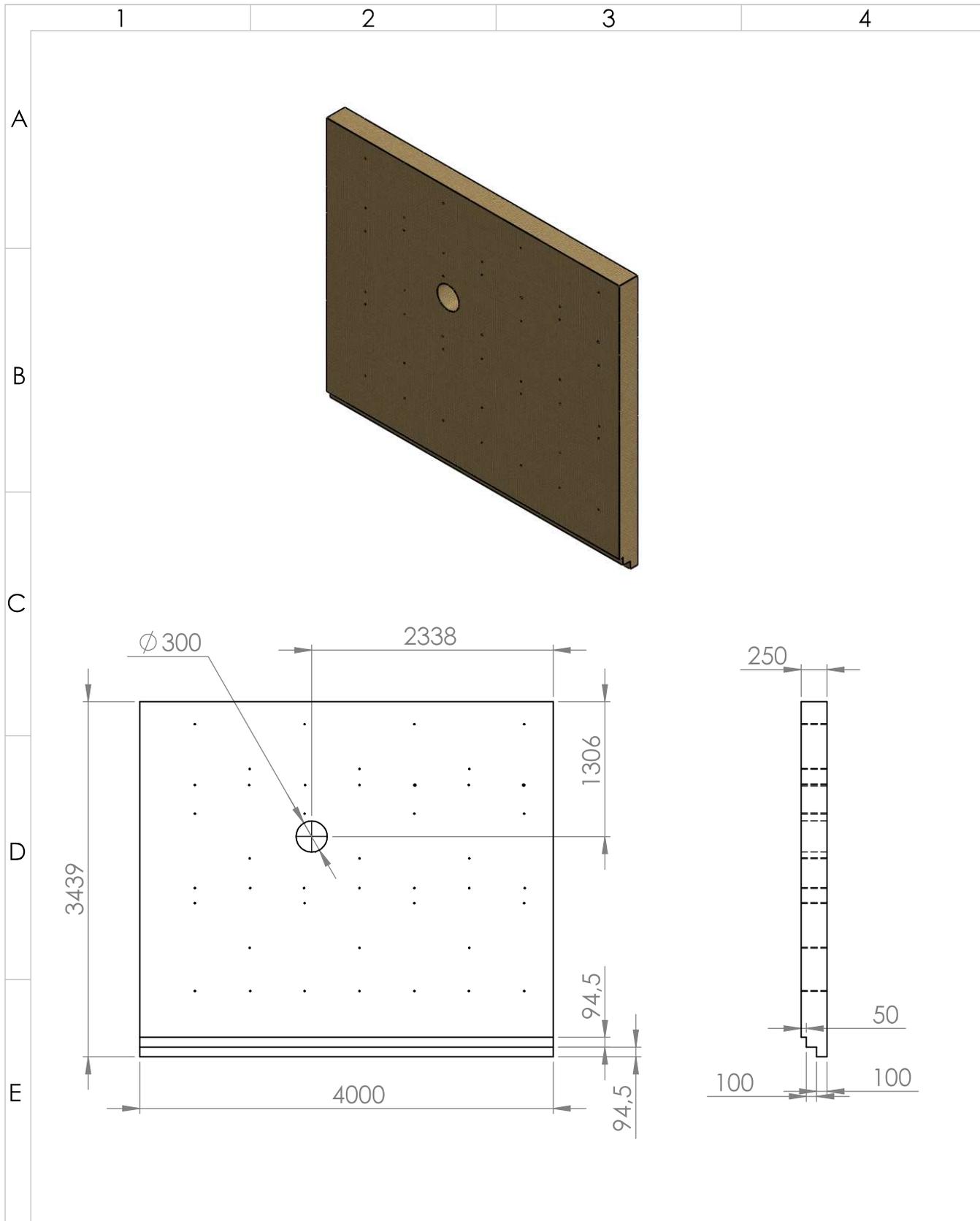


2	Estructura techo	1	ASTM A36	SMO-MM2-01-2	B2	Viga IPN 100
1	Columnas	4	ASTM A36	SMO-MM2-01-1	C1	Tubo estructural cuadrado negro (100x5 mm) 3800 mm de largo
N° de pieza	Denominación	Cantidad	Material	Código	Zona	Observación

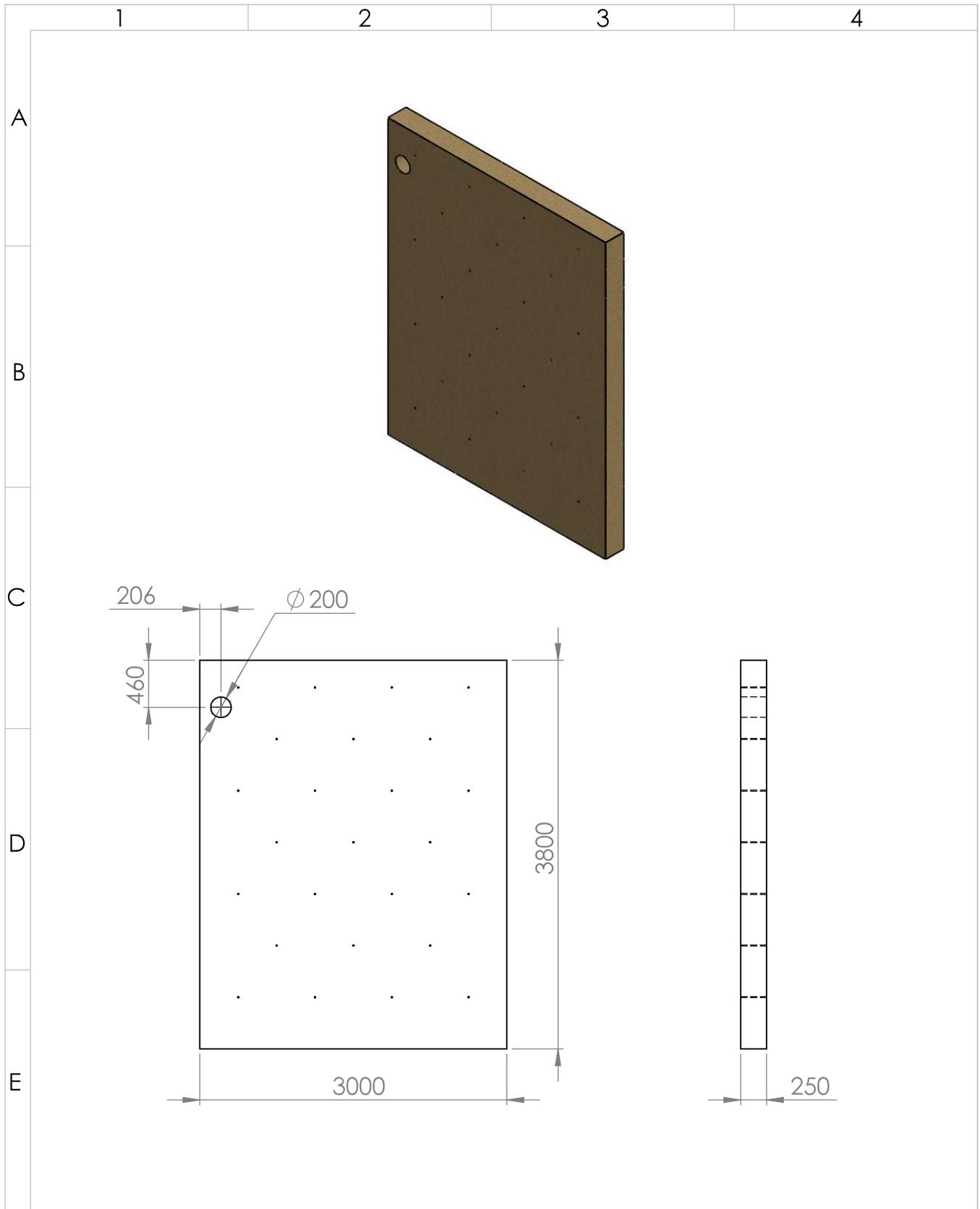
				Tolerancias	Peso: 831.16 Kg	Materiales: ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación: Estructura de techo y columnas	Escala 1:50
				Dib.	15/01/2020 Michael Martinez		
				Rev.	17/01/2020 Fernando Valencia		
				Apro.	17/01/2020 Victor Erazo	Número del dibujo: SMO-MM2-01 (Sustitución)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre				



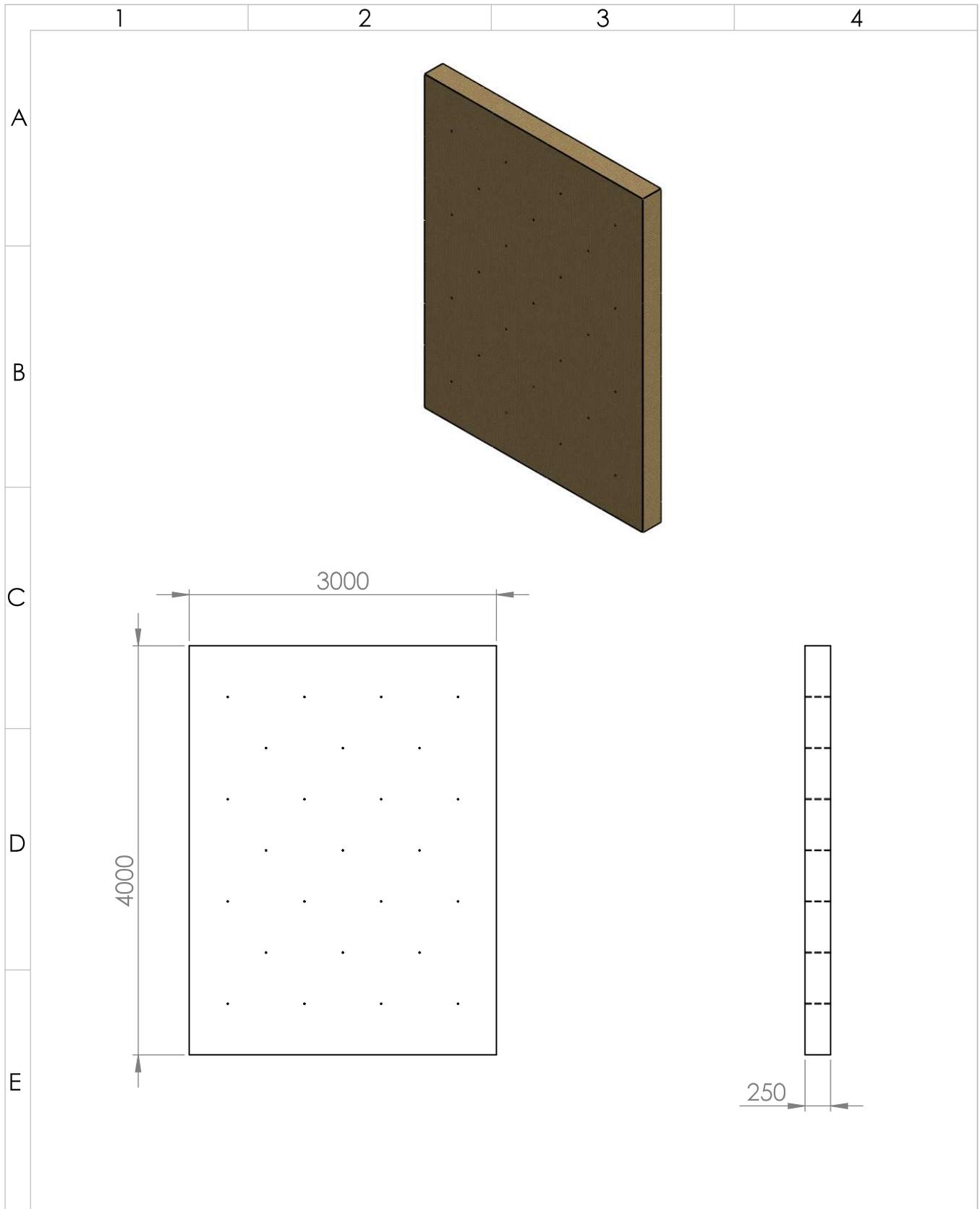
				Tolerancias	Peso: 604.31 Kg	Materiales: ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación Estructura de las paredes laterales	Escala 1:50
			Dib.	15/01/2020	Michael Martinez		
			Rev.	17/01/2020	Fernando Valencia		
				Apro.	17/01/2020	Victor Erazo	
						Número del dibujo: SMO-MM2-02	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



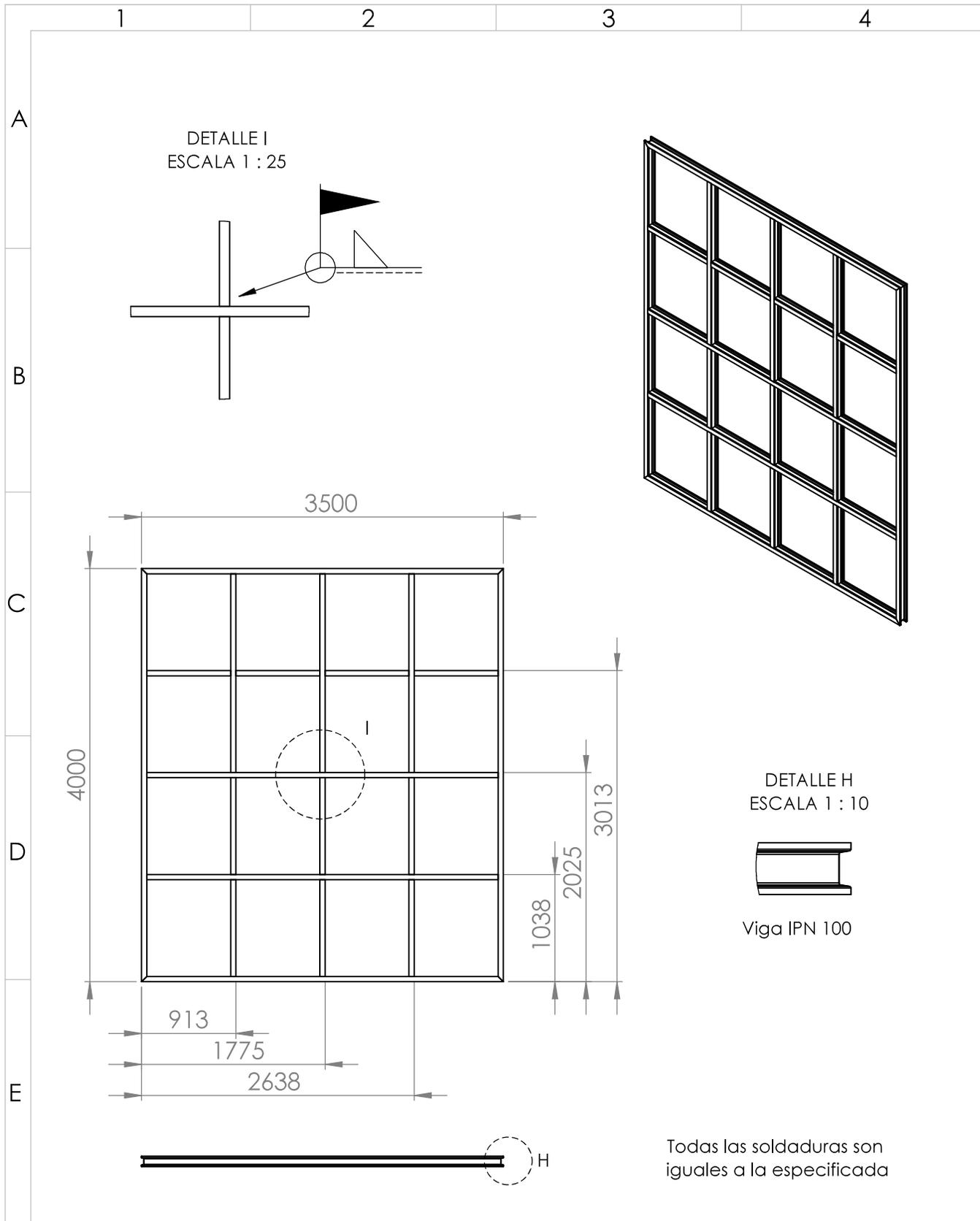
				Tolerancias	Peso: 321.10 Kg	Materiales: AL2O3, SiO2, Fe2O3, TiO2, MgO, CaO, Na2O	
						Denominación: Manta Cerámica (Izquierda)	
				Fecha	Nombre	Escala 1:50	
				Dib. 15/01/2020	Michael Martinez		
				Rev. 17/01/2020	Fernando Valencia		
				Apro. 17/01/2020	Victor Erazo		
						Número del dibujo: SMO-MM2-05	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

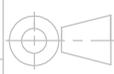


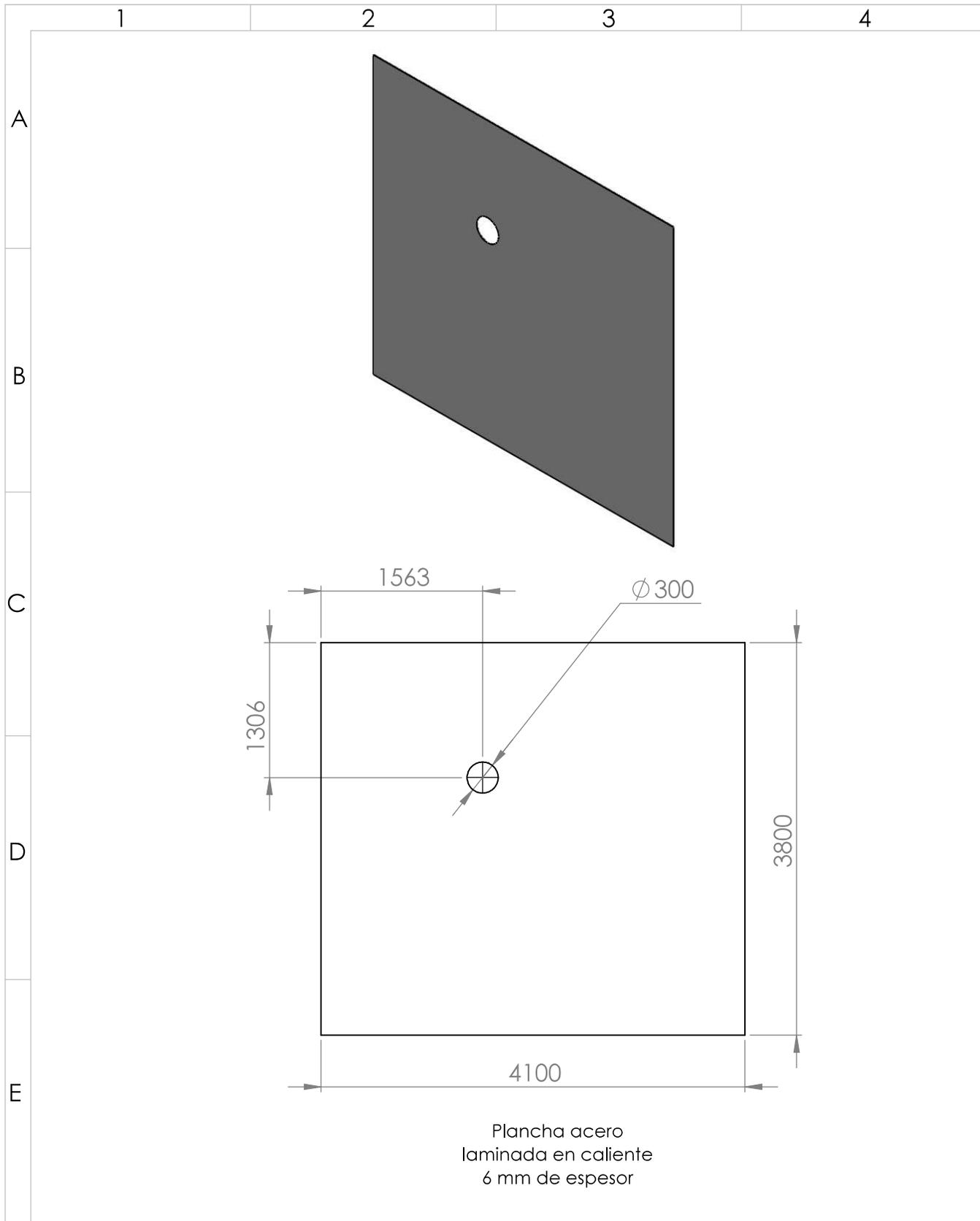
				Tolerancias	Peso: 272.80 Kg	Materiales: AL2O3, SiO2, Fe2O3, TiO2, MgO, CaO, Na2O	
						Denominación: Manta Cerámica (Atras)	Escala 1:50
				Fecha	Nombre		
				Dib. 15/01/2020	Michael Martinez		
				Rev. 17/01/2020	Fernando Valencia		
				Apro. 17/01/2020	Victor Erazo		
						Número del dibujo: SMO-MM2-09	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



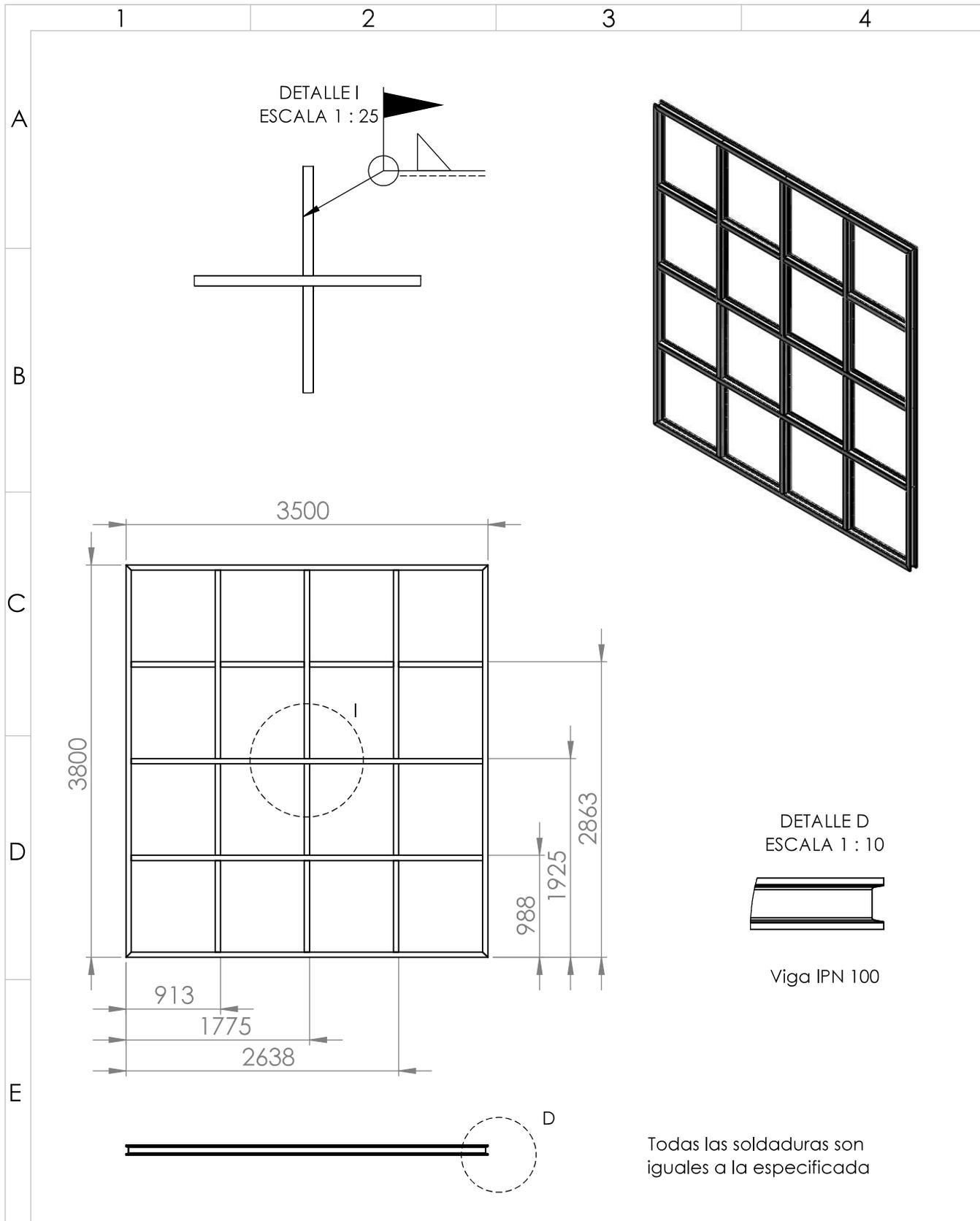
					Tolerancias	Peso: 287.95 Kg	Materiales: AL2O3, SiO2, Fe2O3, TiO2, MgO, CaO, Na2O	
							Denominación: Manta Cerámica (Techo)	Escala 1:50
					Fecha	Nombre		
					Dib. 15/01/2020	Michael Martinez		
					Rev. 17/01/2020	Fernando Valencia		
					Apro. 17/01/2020	Victor Erazo		
							Número del dibujo: SMO-MM2-10	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre				(Sustitución)	

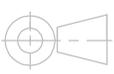


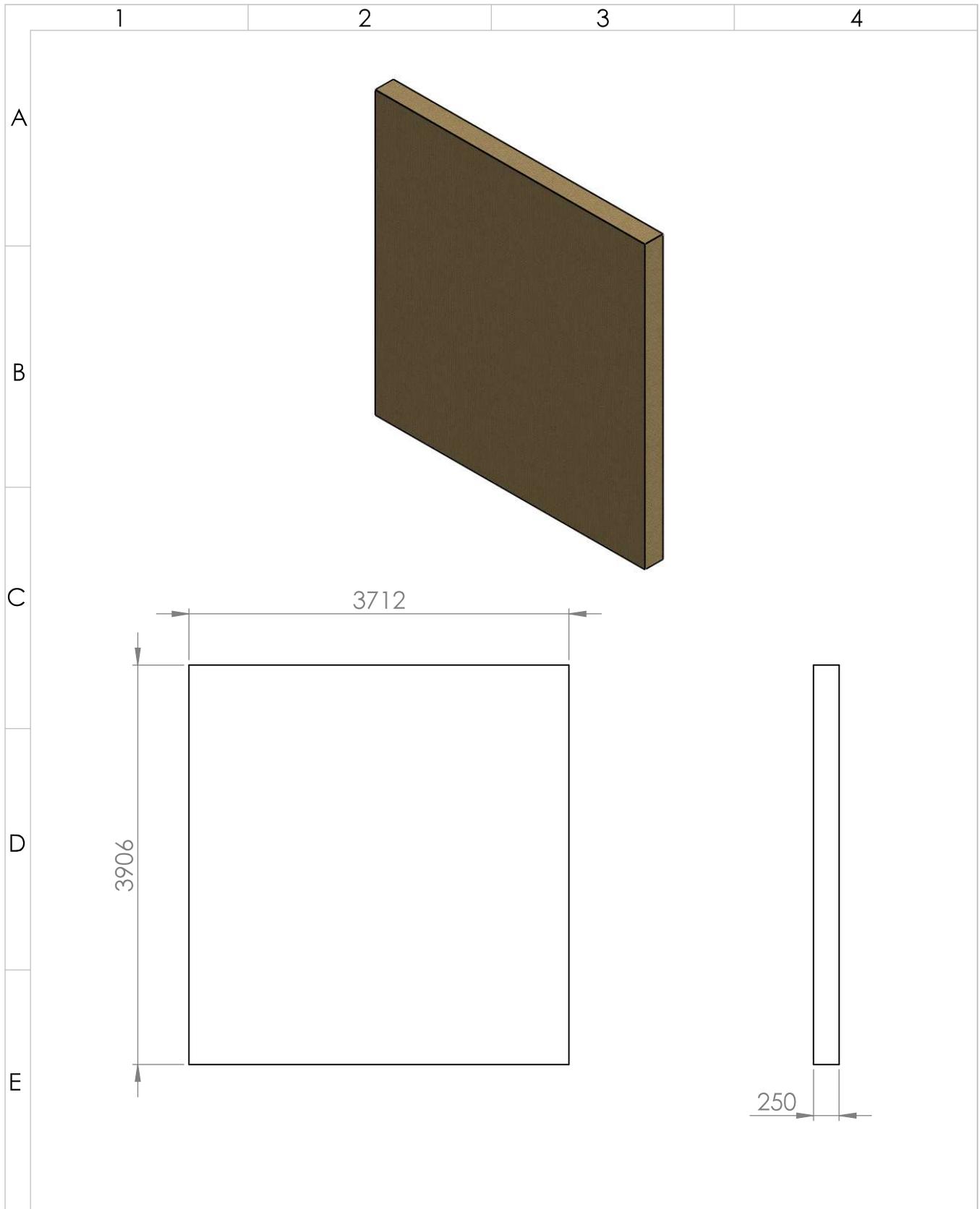
				Tolerancias	Peso: 569.10 Kg	Materiales: ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación: Estructura de la solera	Escala 1:50
			Dib.	15/01/2020	Michael Martinez		
			Rev.	17/01/2020	Fernando Valencia		
				Apro.	17/01/2020	Victor Erazo	
						Número del dibujo: SMO-MM2-11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



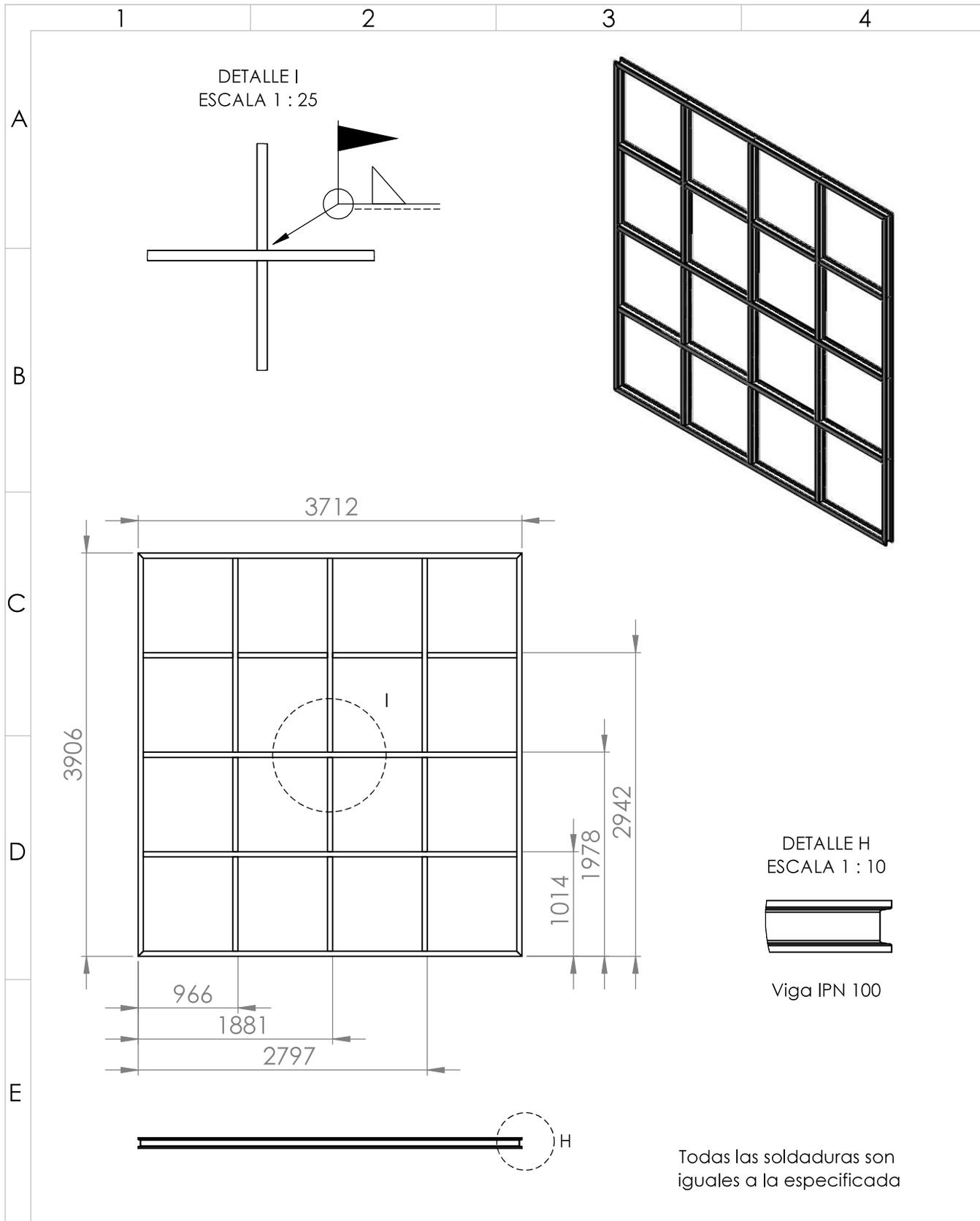
				Tolerancias	Peso: 730.49 Kg	Materiales: ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación: Plancha de acero (Pared izquierda)	Escala 1:50
				Dib. 15/01/2020	Michael Martinez		
				Rev. 17/01/2020	Fernando Valencia		
				Apro. 17/01/2020	Victor Erazo		
						Número del dibujo: SMO-MM2-13	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancias	Peso: 553.46 Kg	Materiales: ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación: Estructura pared atras	Escala 1:50
			Dib.	15/01/2020	Michael Martinez		
			Rev.	17/01/2020	Fernando Valencia		
				Apro.	17/01/2020	Victor Erazo	
						Número del dibujo: SMO-MM2-14	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancias	Peso: 347.98 Kg	Materiales: AL2O3, SiO2, Fe2O3, TiO2, MgO, CaO, Na2O	
						Denominación: Manta Cerámica (Puerta)	Escala 1:50
				Fecha	Nombre		
				Dib. 15/01/2020	Michael Martinez		
				Rev. 17/01/2020	Fernando Valencia		
				Apro. 17/01/2020	Victor Erazo		
						Número del dibujo: SMO-MM2-15	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

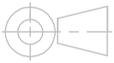


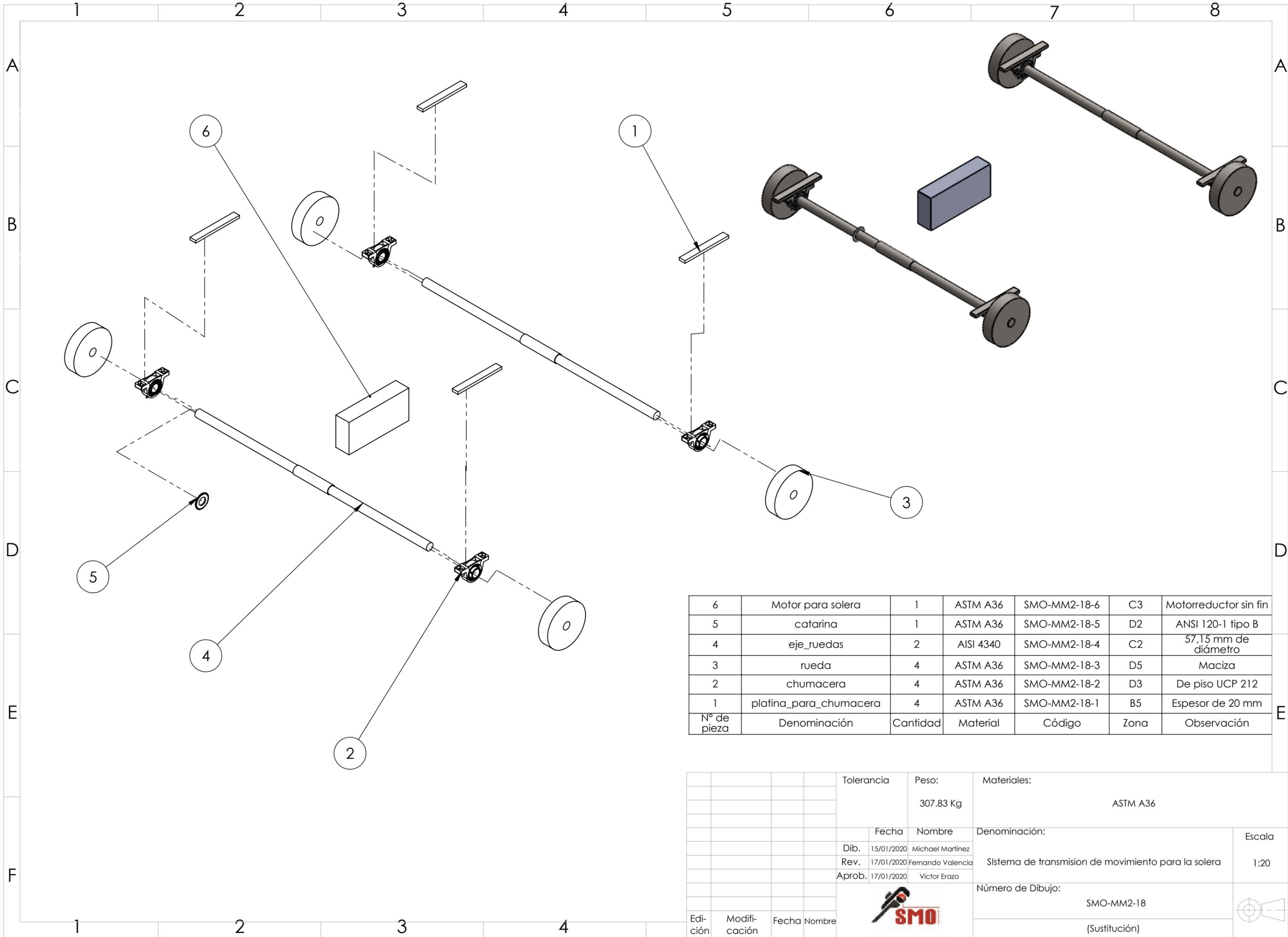
DETALLE H
ESCALA 1 : 10



Viga IPN 100

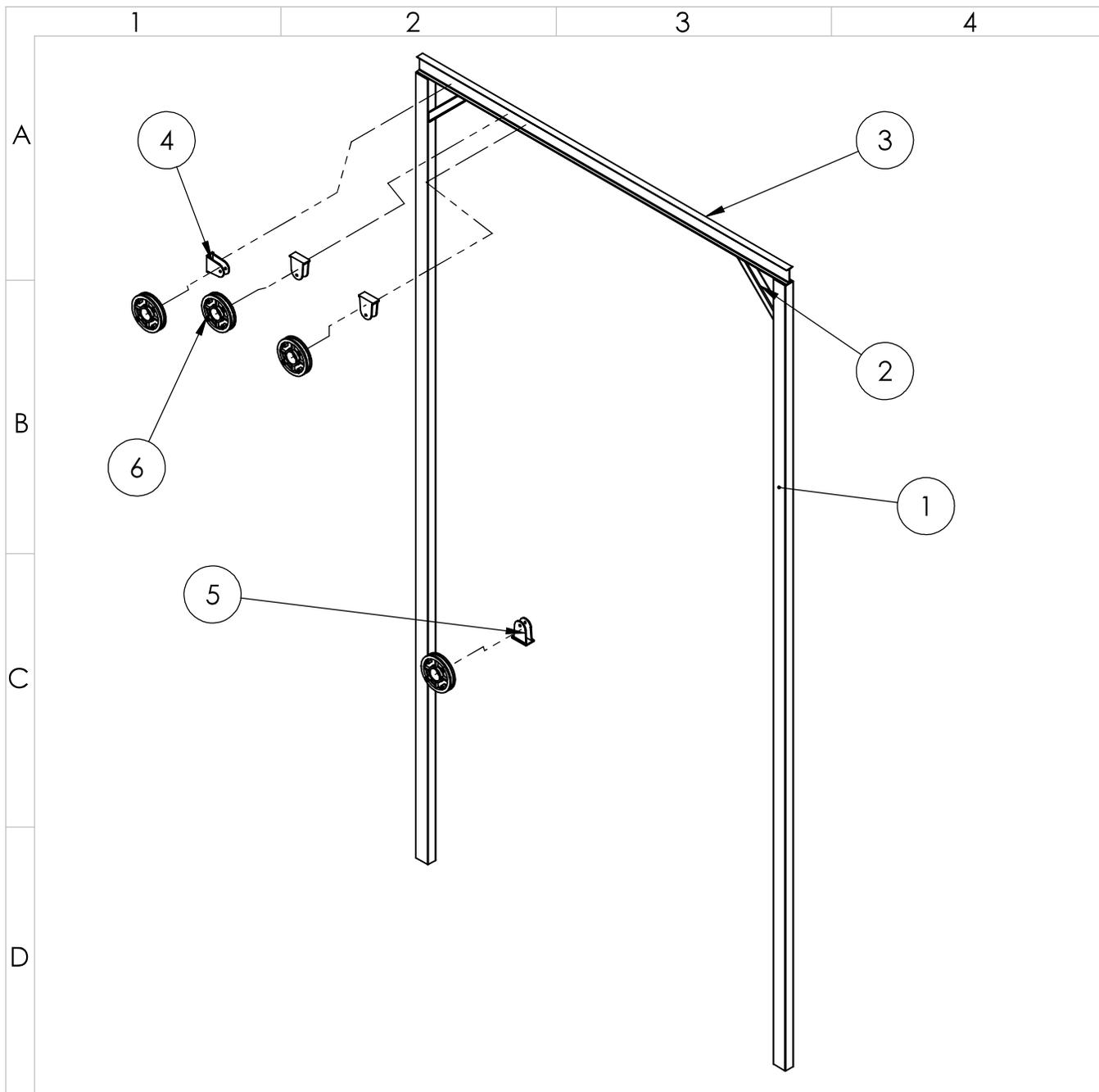
Todas las soldaduras son iguales a la especificada

				Tolerancias	Peso: 578.34 Kg	Materiales: ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación: Estructura de la puerta	Escala 1:50
			Dib.	15/01/2020	Michael Martinez		
			Rev.	17/01/2020	Fernando Valencia		
				Apro.	17/01/2020	Victor Erazo	
						Número del dibujo: SMO-MM2-16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



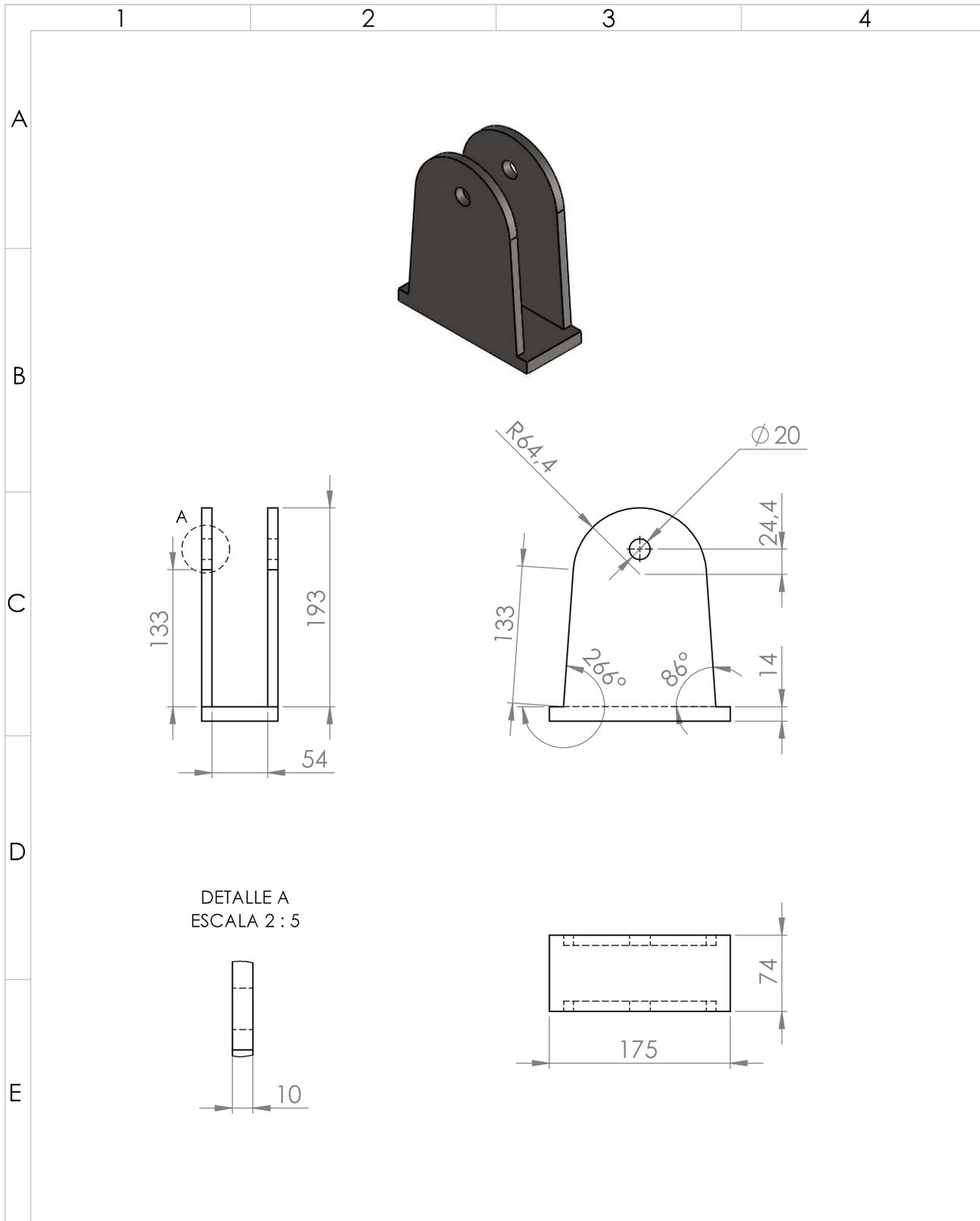
6	Motor para solera	1	ASTM A36	SMO-MM2-18-6	C3	Motorreductor sin fin
5	catarina	1	ASTM A36	SMO-MM2-18-5	D2	ANSI 120-1 tipo B
4	eje_ruedas	2	AISI 4340	SMO-MM2-18-4	C2	57,15 mm de diámetro
3	rueda	4	ASTM A36	SMO-MM2-18-3	D5	Maciza
2	chumacera	4	ASTM A36	SMO-MM2-18-2	D3	De piso UCP 212
1	platina_para_chumacera	4	ASTM A36	SMO-MM2-18-1	B5	Espesor de 20 mm
Nº de pieza	Denominación	Cantidad	Material	Código	Zona	Observación

		Tolerancia		Peso:		Materiales:	
				307.83 Kg		ASTM A36	
		Fecha		Nombre		Denominación:	
		Dib. 15/01/2020		Michael Martínez		Sistema de transmisión de movimiento para la solera	
		Rev. 17/01/2020		Fernando Valencia		Escala	
		Aprob. 17/01/2020		Victor Erazo		1:20	
						Número de Dibujo:	
						SMO-MM2-18	
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

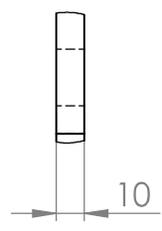


6	polea	4	ASTM A36	SMO-MM2-19-6	B1	Sin soporte
5	soporte_polea_puerta	1	ASTM A36	SMO-MM2-19-5	C2	
4	soporte_polea_superior	3	ASTM A36	SMO-MM2-19-4	A1	
3	Viga superior	1	ASTM A36	SMO-MM2-19-3	A2	Viga IPN 160 largo de 4512 mm
2	Nervios	2	ASTM A36	SMO-MM2-19-2	A3	Tubo estructural cuadrado negro a 45°, 400 mm desde la viga superior y de las guías
1	Guías	2	ASTM A36	SMO-MM2-19-1	B3	Correa tipo G
Nº de pieza	Denominación	Cantidad	Material	Código	Zona	Observación

				Tolerancias	Peso: 424.15 Kg	Materiales: ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación: Sistema de elevación de la puerta	
				Dib.	15/01/2020 Michael Martínez		
				Rev.	17/01/2020 Fernando Valencia		
				Apro.	17/01/2020 Victor Erazo	Escala 1:50	
							
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



DETALLE A
ESCALA 2 : 5



				Tolerancias	Peso: 5.18 kg	Materiales: ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación: Soporte para polea (superior)	Escala 1:5
			Dib.	15/01/2020	Michael Martinez		
			Rev.	17/01/2020	Fernando Valencia		
				Apro.	17/01/2020	Victor Erazo	
						Número del dibujo: SMO-MM2-19-4	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

