



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“DISEÑO DE UNA CÁMARA DE SANDBLASTING, PARA EL  
TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TANQUES BAJO  
NORMATIVA ASME EN LA EMPRESA INDUACERO CIA. LTDA.”**

---

**AUTOR:** John Sebastian Rodríguez Chicaiza

**TUTOR:** Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

**AMBATO - ECUADOR**

**Septiembre - 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO DE UNA CÁMARA DE SANDBLASTING, PARA EL TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TANQUES BAJO NORMATIVA ASME EN LA EMPRESA INDUACERO CIA. LTDA.”**, desarrollado por el estudiante, **John Sebastian Rodríguez Chicaiza**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 0504188376, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2022



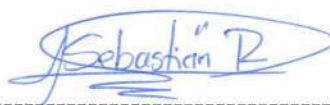
-----  
**Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa**

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **John Sebastian Rodríguez Chicaiza**, con C.I. 0504188376 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema **“DISEÑO DE UNA CÁMARA DE SANDBLASTING, PARA EL TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TANQUES BAJO NORMATIVA ASME EN LA EMPRESA INDUACERO CIA. LTDA.”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2022



---

**John Sebastian Rodríguez Chicaiza**

**C.I. 0504188376**

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2022



---

**John Sebastian Rodríguez Chicaiza**

**C.I. 0504188376**

**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante John Sebastian Rodríguez Chicaiza de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO DE UNA CÁMARA DE SANDBLASTING, PARA EL TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TANQUES BAJO NORMATIVA ASME EN LA EMPRESA INDUACERO CIA. LTDA.”**.

Ambato, septiembre 2022

Para constancia firman:



-----  
**Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**



-----  
**Ing. Mg. Francisco Agustín Peña Jordán**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto está dedicado a Dios y al Divino Niño de Isinche por haberme alumbrado en todo el camino de mi formación académica, a mi madre que siempre estuvo ahí para regalarme consejos y brindarme ánimos para salir adelante frente a cualquier obstáculo.

**Sebastian Rodríguez.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la UTA por haber compartido sus conocimientos y valores. Especialmente a mi madre y a mi familia quienes fueron el apoyo incondicional para llegar al objetivo de ser un profesional.

**Sebastian Rodríguez.**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
<b>CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes Investigativos .....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Obetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General .....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Fundamentación teórica .....	3
1.4.1 Tanques de almacenamiento .....	3
1.4.2 Tratamiento y mantenimiento de tanques .....	10
1.4.3 Métodos alternos de limpieza superficial.....	16



1.4.4 Proceso de sandblasting .....	25
<b>CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....</b>	<b>31</b>
2.1 Materiales.....	31
2.2 MÉtodos .....	31
<b>CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Análisis y discuSión.....	33
3.1.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PRESIÓN .....	33
3.1.1.1 Cálculo del número de tolvas.....	33
3.1.1.2 Cálculo de la presión que ejerce la granalla en la sección cónica y cilíndrica.....	36
3.1.1.3 Cálculo del espesor de la sección cónica y cilíndrica según ASME.....	40
3.1.1.4 Cálculo de esfuerzos en la soldadura del recipiente a presión .....	43
3.1.1.5 Resumen del diseño y selección del tanque a presión.....	50
3.1.1.6 Selección de válvulas y componentes para el sistema de presión.....	50
3.1.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL CICLÓN.....	54
3.1.2.1 Definimos los parámetros de entrada y calculamos las dimensiones ....	55
3.1.2.2 Cálculo de la eficiencia del ciclón .....	59
3.1.3 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL VENTILADOR.....	66
3.1.3.1 Cálculo de las pérdidas de presión en los diferentes elementos.....	66
3.1.3.2 Cálculo de la potencia requerida .....	67
3.1.3.3 Cálculo de la eficiencia del ventilador .....	68
3.1.4 DISEÑO DE LA CÁMARA DE SANDBLASTING.....	68

3.1.4.1 Datos de la cámara .....	68
3.1.4.2 Prediseño .....	69
3.1.4.3 Diseño por elementos finitos.....	71
3.1.4.4 Diseño de la placa base .....	74
3.1.4.5 Diseño de la soldadura .....	77
3.1.4.6 Plan de mantenimiento.....	83
3.1.4.7 Planos y estudio de costos.....	84
<b>CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
4.1 Conclusiones.....	87
4.2 Recomendaciones.....	88
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>
<b>PLANOS.....</b>	<b>103</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los ciclones de alta capacidad [19]. .....	55
Tabla 2: Descripción de gastos de diseño e ingeniería. ....	84
Tabla 3: Descripción de gastos de materiales de construcción y elementos de la máquina. ....	85
Tabla 4: Descripción de gastos por mano de obra. ....	85
Tabla 5: Descripción del presupuesto total. ....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tanque atornillado [5].	5
Figura 2: Tanque soldado.	6
Figura 3: Tanque remachado [5].	6
Figura 4: Clasificación de recipientes a presión [6].	8
Figura 5: Recipientes cilíndricos horizontales [7].	9
Figura 6: Recipientes cilíndricos verticales [8].	9
Figura 7: Recipientes esféricos [8].	10
Figura 8: Limpieza con Solvente (SSPC – SP1) [14].	17
Figura 9: Limpieza Manual (SSPC – SP2) [14].	18
Figura 10: Limpieza Mecánica (SSPC – SP3) [14].	18
Figura 11: Limpieza con Flama (SSPC – SP4) [14].	19
Figura 12: Limpieza por Hydroblast (SSPC – SP6) [14].	19
Figura 13: Limpieza Química (SSPC – SP8) [14].	20
Figura 14: Limpieza por Ultrasonido [14].	20
Figura 15: Arenado [15].	22
Figura 16: Granallado [15].	23
Figura 17: Aplicación de Sandblasting [15].	27
Figura 18: Equipo de succión [2].	28
Figura 19: Esquema de la cámara por succión [4].	29
Figura 20: Equipo de presión [4].	30

Figura 21: Flujograma del proyecto.....	32
Figura 22: Representación de la presión en la sección cónica.....	36
Figura 23: Representación en la sección cilíndrica.....	38
Figura 24: Representación de la soldadura en la sección cilíndrica.....	43
Figura 25: Representación de la soldadura en la sección cónica.....	45
Figura 26: Representación de la soldadura en la unión de la sección cilíndrica, cónica y la tapa.....	46
Figura 27: Circuito de tubería neumática [16].....	50
Figura 28: Válvula de bola [16].....	51
Figura 29: Válvula check [16].....	51
Figura 30: Válvula pop-up [16].....	52
Figura 31: Válvula dosificadora [16].....	52
Figura 32: Válvula de seguridad [16].....	53
Figura 33: Manguera para Sandblasting [17].....	54
Figura 34: Boquilla de Sandblasting [18].....	54
Figura 35: Dimensiones del ciclón [19].....	59
Figura 36: Configuración geométrica.....	71
Figura 37: Resultados viga principal IPE 200.....	72
Figura 38: Resultados viga secundaria TC 90x3mm.....	72
Figura 39: Resultados columna cuadrada 100x3mm.....	73
Figura 40: Resultados razones de esfuerzos.....	74
Figura 41: Representación placa base y columna.....	75

Figura 42: Soldadura a cortante. ....	78
Figura 43: Soldadura a flexión.....	79
Figura 44: Soldadura a cortante. ....	80
Figura 45: Soldadura a flexión.....	81
Figura 46: Soldadura a flexión.....	82

## RESUMEN

El presente proyecto técnico, se desarrolló debido a la necesidad de contar con una cámara de sandblasting para realizar el proceso de limpieza superficial de los recipientes a presión que fabrica la empresa INDUACERO Cia. Ltda. Logrando minimizar los tiempos de producción y mantener un espacio libre de contaminación para los operadores.

Para el respectivo diseño de la cámara se realizó la identificación de parámetros físicos y mecánicos como las dimensiones del recipiente más grande que debe ingresar en la cámara y en función de las necesidades que requiere la empresa. Como material abrasivo se asignó el uso de granalla metálica por su alta eficiencia y su capacidad de reutilización de 700 a 5000 veces estas partículas abrasivas están proyectadas a alta velocidad por medio de un sistema de presión contra la superficie del recipiente mediante una pistola, también se desarrolló un sistema de recirculación del abrasivo por medio de un ciclón tipo Stairmand de alta capacidad.

Se realizaron los cálculos pertinentes para el diseño de la cámara con los parámetros solicitados, posteriormente se ejecutó un análisis de resultados; finalmente se realizó el diseño en un software por elementos finitos y se incorporó los planos y el estudio financiero del proyecto obteniendo como resultado una cámara eficiente en cuanto a su funcionamiento y dimensiones que requiere la empresa.

**Palabras clave:** Abrasivo, Cámara de sandblasting, Ciclón stairmand, Contaminación ambiental, Elementos finitos, Granalla metálica, Parámetros de diseño, Presión manométrica, Producción de recipientes.

## ABSTRACT

This technical project was developed due to the need of having a sandblasting chamber to perform the surface cleaning process of the pressure vessels manufactured by INDUACERO Cia. Ltda. achieving to minimize production times and maintain a contamination free space for the operators.

For the respective design of the chamber, physical and mechanical parameters were identified, such as the dimensions of the largest container that should enter the chamber and according to the needs required by the company. As abrasive material was assigned the use of metallic shot for its high efficiency and its capacity of reuse from 700 to 5000 times these abrasive particles are projected at high speed by means of a pressure system against the surface of the container by means of a gun, also was developed a system of recirculation of the abrasive by means of a cyclone type Stairmand of high capacity.

The pertinent calculations were made for the design of the chamber with the requested parameters, then an analysis of the results was carried out; finally, the design was made in a finite element software and the plans and the financial study of the project were incorporated, obtaining as a result an efficient chamber in terms of its operation and dimensions required by the company.

**Keywords:** Abrasive, Sandblasting chamber, Cyclone stairmand, Environmental contamination, Finite elements, Metal shot, Design parameters, Manometric pressure, Vessel production.



# **CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO**

## **1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

El proceso de sandblasting posee un nombre genérico que se lo denomina arenado, se lo otorga por lo que la arena fue el primer material abrasivo utilizado para realizar este proceso hace algunos años. Con el paso del tiempo se dieron cuenta que este tipo de abrasivo no era recomendable su uso porque provoca daños irreparables en la salud [1].

Se las denomina arenadoras por su utilidad es decir a las máquinas que arrojan arena a presión, cuando se trata de granalla es un metal que se minimiza a pequeñas partículas para que pueda ser fundida. Los dos tipos de partículas son utilizados como materiales abrasivos para la limpieza de las piezas o elementos, en algunos países de América Latina son llamadas Arenadoras o Granalladoras [1].

El primer antecedente del sandblast, se conoce en Inglaterra Reino Unido, en agosto de 1870, cuando Benjamín Chew Tilgman, invento la primera máquina enfocada en el bombardeo con chorro de abrasivos y esta lo patento con el número 2147. Con el pasar del tiempo esta máquina ha sido transformada y modificada en función de los avances tecnológicos para así abarcar las necesidades y cumplir con los objetivos [2].

Para la ejecución de este proceso enfocado en las necesidades de la empresa y la demanda del mercado en cuanto al volumen de trabajo y la seguridad de los trabajadores existen dos equipos de trabajo mediante succión y por presión del equipo de granallado.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Con este proyecto técnico se pretende optimizar el proceso de sandblasting, para mejorar los resultados requeridos en la superficie de los tanques mediante una cámara cerrada de dimensiones tentativas requeridas por la empresa de 15 x 6 x 4 m e implementación del uso granalla metálica considerando su forma esférica y un tamaño de 0.2mm, también se requiere para este proceso una presión de trabajo de 115 psi según la empresa COLUMBEC indica que para el proceso debe existir una presión de trabajo superior a los 100 psi. De esta manera colaborar con un acabado superficial de

mejores características y así facilitar el proceso de pintura posterior; además existe la posibilidad de reutilizar la granalla reduciendo costos de producción y a la vez minimizar la contaminación acústica del proceso, debido a que actualmente se realiza mediante un proceso rudimentario con arena.

El arenado o sandblasting consiste en la limpieza superficial de materiales proyectando granos abrasivos por soplo de aire comprimido, o por la fuerza centrífuga de un rotor. El impacto del medio abrasivo se realiza a través de algún mecanismo o sistema, que lanza el abrasivo a velocidad y a granel para que impacte la superficie que se quiere procesar. El efecto de este choque provoca que las partículas no adheridas a la superficie sean desplazadas (polvo, óxido de corrosión, pintura, etc.) obteniendo como resultado una limpieza profunda [3].

Existe información relacionada en la tesis de diseño de una cabina de sandblasting con sistema de recirculación de granalla para válvulas tipo compuerta de 4" de diámetro, por lo que comparten el mismo fin de ayudar en la limpieza superficial de los componentes, el desarrollo de sistemas de recirculación para optimizar el consumo de granalla metálica [4].

Este proyecto técnico parte de estudios previamente desarrollados, en vista que el chorro de arena ha sido indispensable para el tratamiento de superficies a ser revestidas, y por lo tanto es aplicada en varias empresas e industrias dentro del ámbito.

El desarrollo del proyecto técnico es económicamente factible contemplando que se cuenta con los recursos necesarios; es factible técnicamente, en vista que se posee los conocimientos y herramientas necesarias para realizar el diseño, también existe acceso a información recopilada en investigaciones previas.

La entidad beneficiaria del proyecto técnico será la industria Inducero y empresas similares que se dediquen a la misma actividad; brindando un proceso eficiente y con ayuda de la tecnología contribuir al progreso nacional.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una cámara de sandblasting, para el tratamiento y mantenimiento de tanques bajo normativa ASME en la empresa Induacero Cia. Ltda.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros de diseño físicos y mecánicos.
- Diseñar la cámara de sandblasting.
- Generar un plan de mantenimiento.
- Realizar un informe técnico con planos y presupuesto.

## **1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **1.4.1 TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

#### **1.4.1.1 Tanque**

El tanque es una unidad que permite almacenar y procesar fluidos, son fabricados con diferentes características como tamaños, tipos y materiales las caracterizas están en función de su uso. Otra de las especificaciones importantes para la construcción es la volatilidad del fluido almacenado y la presión a la cual está sometido el mismo para determinar el tipo de tanque a construir. Existen tanques que habitualmente trabajan a presión atmosférica, diseñados para operar a una presión interna por lo cual la presión real de vapor esta alrededor de la presión atmosférica [5].

Comúnmente los tanques están fabricados de aleaciones de acero, carbón y metales dependiendo del servicio y tomando en cuenta el tipo de construcción es decir son soldados, atornillados y remachados. También se pueden fabricar de madera y concreto, para el diseño de tanques atmosféricos se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones que están dadas en las normas API [5]:

- API Standard 12A: Especificaciones para tanques de almacenamiento de aceite con cuerpo remachado.
- API Standard 12B: Especificaciones para tanques de producción atornillados.

- API Standard 12D: Especificaciones para tanques de producción soldados de gran tamaño.
- API Standard 2E: Especificaciones para tanques de producción de madera.
- API Standard 12F: Especificaciones para tanques pequeños soldados para producción.
- API Standard 650: Tanques de acero soldados para hidrocarburos.

Por otro lado, existen tanques de baja presión es decir son diseñados para desempeñarse a presiones donde el vapor supera los límites permitidos en la norma API 650, tomando en cuenta que no exceda los 15 psi. La mayoría de este tipo de tanques son fabricados de acero y soldados, existe la posibilidad de remacharlos [5].

#### **1.4.1.2 Materiales para su construcción**

Para construir recipientes de almacenamiento a finales del siglo XIX se utilizaban duelas de madera de pino, se biselaban para la unión entre ellas y luego se sujetaban con cinchos metálicos a su alrededor, estos eran usados para almacenar agua entonces al usarlo para almacenar aceite se generó varios inconvenientes por lo que al almacenar agua al ingresar en la madera esta se hincha generando un mejor ajuste en las uniones de las duelas, lo que con el aceite las encoge generando la pérdida del mismo [5].

Luego se introdujo el acero para la construcción de recipientes estos podían ser atornillados o remachados, las capacidades frente a los recipientes de madera se incrementaron considerablemente llegando a ser 10000 y 134000 barriles respectivamente [5].

Con el paso del tiempo se fabricaron los tanques de almacenamiento de acero inoxidable por lo que brindan mejor resistencia, mayor durabilidad, facilitan el desmontaje y transporte de un lugar a otro, estos poseen diferentes tipos de construcción siendo muy versátil para manipular varios tipos de fluidos. En la actualidad estos recipientes se los fabrica de una gran variedad de materiales como son el aluminio, el carbón y aleaciones de acero estos brindan mejores resultados dependiendo de su aplicación [5].

### 1.4.1.3 Tipos de tanques de acero

Existen varias formas de clasificar a continuación definiremos por el método usado para unir sus placas de acero los cuales son: atornillados, remachados y soldados.

- **Tanques atornillados**

Este tipo de tanques son relativamente pequeños a su dimensión, abarcan capacidades desde los 30 bl hasta los 10000 bl. Su transporte es sencillo, fácil montaje y desmontaje, son económicos y en cuanto al espacio no ocupan mucha área. En las uniones poseen un empaque saturado con pintura insoluble estos evitan el escurrimiento del fluido y la evaporación del mismo. Una de las ventajas de estos recipientes es que tienen la capacidad de intercambiar anillos y placas de techo de acuerdo con las normas API, su capacidad aumenta cuando se incrementan anillos verticalmente [5].



*Figura 1: Tanque atornillado [5].*

- **Tanques soldados**

La capacidad de estos recipientes va de 65 bl hasta los 120000 bl, para la construcción de estos tanques hasta los 250 bl se los realiza en la planta y posteriormente se transportan a la locación, cuando exceden el número de barriles mencionados se los debe armar y soldar en campo. Este tipo de tanques tienen sus uniones soldadas brindando una excelente resistencia frente a los escurrimientos entre costuras. Son demasiado costosos, no es fácil desarmarlos y por consiguiente volver armarlos resulta difícil cuando se necesite cambiarlos de lugar [5].



*Figura 2: Tanque soldado.*

- **Tanques remachados**

Son los recipientes más grandes de acero que se utilizan para el almacenamiento, contienen de 240 bl hasta 134000 bl. Son fabricados de anillos horizontales remachados en secuencia es decir uno arriba del otro. El fabricante de este tipo de recipientes proporciona los anillos calibrados, ajustados y perforados para únicamente en el campo remacharse y calafatearse, se debe marcar todas las placas para indicar la posición del recipiente [5].



*Figura 3: Tanque remachado [5].*

También hay otro tipo de tanques que son los recipientes de presión, es decir trabajan con presiones de gas superior a los 15 psi, para el diseño de este tipo de tanques existe el código ASME – Sec. VIII Div. 1.

El Código ASME Sección VIII Div. 1, define como recipiente a presión, cualquier recipiente cerrado que sea capaz de contener un líquido a una presión manométrica

interna o externa, también por la aplicación de calor en forma directa o indirecta, y también cualquier combinación de las condiciones [6].

- Recipientes que contienen agua o aire bajo presión y la compresión sirva solamente como amortiguador que sobrepasen:
  - Presión de diseño mayor a 300 psi.
  - Temperatura de diseño mayor a 210 °F.
- Recipientes de agua caliente calentado por medios indirectos que sobrepasen:
  - Entrada de calor de 200000 BTU/h.
  - Temperatura de agua de 210 °F.
  - Capacidad nominal de 120 Gal.
- Tanques que excedan 6 plg en su diámetro interior, ancho, altura o sección transversal sin limitación en longitud o presión.
- Tanques con una presión de operación interna o externa mayor a 15 psi sin restricciones en medidas.
- Recipientes que no sobrepasen los 3000 psi en la presión de diseño [6].

#### **1.4.1.4 Clasificación de recipientes a presión**

Los recipientes a presión se clasifican según su utilización y su forma. Por su utilización se dividen en tanques de almacenamiento y de proceso. Por su forma se dividen en tanques cilíndricos y esféricos [6].

Los recipientes de almacenamiento son generalmente conocidos como tanques de día, de mes, acumuladores, etc. Los recipientes de proceso son utilizados en la industria de la petroquímica, se encuentran los intercambiadores de calor, reactores, torres fraccionadoras, torres de destilación, separadores, etc. [6].

Los recipientes cilíndricos se subdividen en verticales y horizontales. Mientras que los recipientes esféricos son utilizados para almacenar grandes volúmenes a elevadas presiones por lo que son también considerados como tanques de almacenamiento.

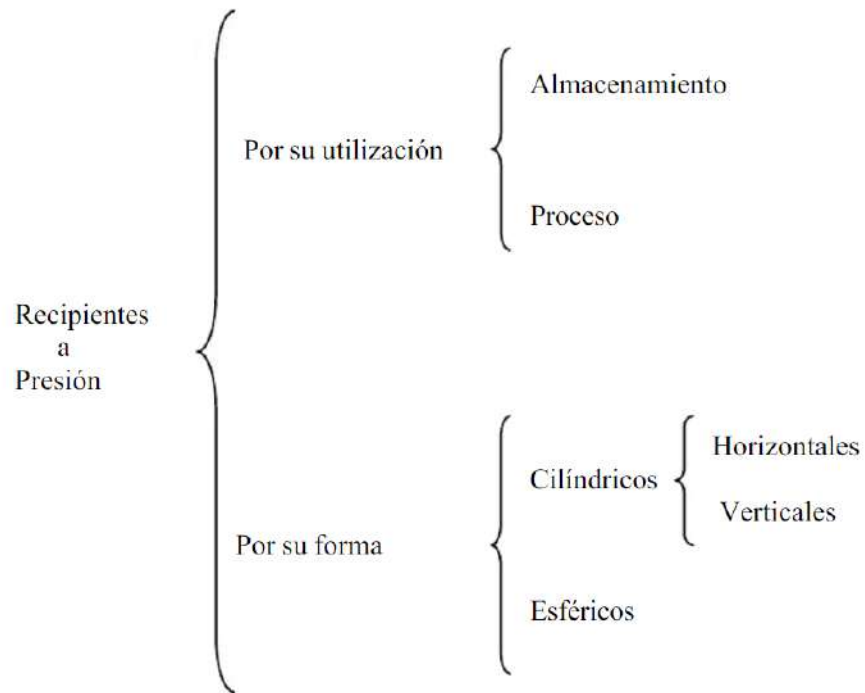


Figura 4: Clasificación de recipientes a presión [6].

#### 1.4.1.5 Componentes principales de recipientes a presión

A continuación, se indican las partes principales de ciertos tipos de recipientes a presión:

- Recipientes cilíndricos horizontales
  - Cuerpo o Envoltente.
  - Tapas.
  - Boquillas
  - Refuerzos de Boquillas
  - Anillos Atiezadores.
  - Soportes o Silletas [5].





*Figura 5: Recipientes cilíndricos horizontales [7].*

- Recipientes cilíndricos verticales
  - Cuerpo o Envoltente.
  - Tapas o Tapas.
  - Boquillas
  - Refuerzos de Boquillas.
  - Anillos Atieadores.
  - Faldón.
  - Placa Base.
  - Orejas de Montaje [5].



*Figura 6: Recipientes cilíndricos verticales [8].*

- Recipientes esféricos
  - Tapa Superior.

- Tapa Inferior.
- Anillo Superior.
- Anillo Central.
- Anillo Inferior.
- Boquillas.
- Estructura Soporte [5].



*Figura 7: Recipientes esféricos [8].*

## **1.4.2 TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE TANQUES**

### **1.4.2.1 TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE**

Para realizar el proceso de pintura en el tanque se debe realizar una previa limpieza de la superficie interior y exterior del recipiente. El nivel de limpieza se puede establecer de distintas formas, este se puede seleccionar y escoger por los requerimientos que necesita la empresa o el cliente [9].

El objetivo principal de la limpieza es eliminar las escamas de laminación, suciedad, grasa, aceite y cualquier material extraño. La escama de laminación se la define como la capa gruesa de óxidos de hierro de color gris azulado que se forma en el acero al culminar el proceso de laminado en caliente, si esta escama está sana y en condiciones para pintar se le aplica una protección, pero generalmente no se encuentra ese tipo de escamas, por lo que es indispensable someterle a un proceso de limpieza superficial [9].

En la actualidad existen varios tipos de limpieza superficial (Ver anexo 1), estos están en función de la calidad del proceso, posibilidades económicas, tiempo y el procedimiento que requiere la empresa o el cliente. La empresa Induacero Cia. Ltda. para la limpieza de recipientes requiere la preparación de la superficie según su número de especificación es la SSPC-SP-10 es un método abrasivo para lograr una superficie lo más blanca posible, este proceso también se lo conoce como Sandblasting.

El proceso de Sandblasting se realiza con trabajadores experimentados utilizando los respectivos equipos de protección personal (EPP), equipo de limpieza por medio de chorro, alimentación forzada y operación continua [9].

El Código ASME Sección VIII Div. 1, menciona que el metal de soldadura y las zonas afectadas por el calor pueden ser pelados por medios manuales, eléctricos o neumáticos cuando se considere necesario o útil para controlar la distorsión, aliviar las tensiones residuales o mejorar la calidad de la soldadura. El granallado no se utilizará en la capa inicial (raíz) del metal de soldadura ni en la capa final (cara), a menos que la soldadura sea tratada térmicamente posteriormente. En ningún caso, sin embargo, el granallado se realizará en lugar de cualquier tratamiento térmico posterior a la soldadura requerido por estas normas [10].

El granallado controlado y otros métodos similares que sólo tienen por objeto mejorar las propiedades superficiales de del recipiente o de las partes del recipiente se realizarán después de cualquier exámenes no destructivos y pruebas de presión requeridas por estas reglas [10].

#### **1.4.2.1 MANTENIMIENTO**

Mantenimiento son todas las actividades ejecutadas con el propósito de mantener un determinado nivel de disponibilidad en las maquinas o equipos para brindar un proceso de calidad, al mínimo costo y un alto nivel de seguridad.

La disponibilidad se define como la proporción de tiempo en que los equipos están preparados para la producción, en función al tiempo total; esta depende de dos factores importantes que son: la frecuencia de las averías y el tiempo requerido para solucionar las mismas. El primer factor también denominado como fiabilidad, es un índice de calidad de las instalaciones y del estado de conservación, se lo calcula por el tiempo

medio entre averías. El segundo factor o también se lo conoce como mantenibilidad está en función del diseño de la instalación y a su vez de la virtud del servicio de mantenimiento, se lo calcula por el inverso del tiempo medio de reparación de una avería. Para alcanzar estándares óptimos de fiabilidad y mantenibilidad hay que conseguir un adecuado nivel de disponibilidad es decir escasas averías y su tiempo de reparación sea corto [11].

El objetivo primordial del mantenimiento es mantener las condiciones de funcionamiento de los equipos e instalaciones de forma segura y eficiente.

#### **1.4.2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO**

##### **Mantenimiento Predictivo**

Se trata de realizar revisiones periódicas programadas para descubrir alguna condición de falla y poder corregirla manteniendo el equipo en excelentes condiciones de operación. Este tipo de mantenimiento se basa en la predicción de la falla antes que esta se genere para en un tiempo programado arreglarla sin discontinuidades en el proceso de producción. Para determinar las fallas por medio de este mantenimiento se utilizan herramientas y técnicas de monitoreo basadas en parámetros físicos (instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas) de forma periódica en función del equipo [12].

Los instrumentos que se utilizan para este tipo de mantenimiento son de diagnóstico es decir aparatos y pruebas no destructivas. A continuación, indicaremos algunos métodos predictivos utilizados [11].

- a. Monitoreo de condiciones eléctricas
- b. Análisis y monitoreo de vibraciones
- c. Análisis de lubricantes
- d. Termografía infrarroja
- e. Mediciones ultrasónicas
- f. Ensayos no destructivos

## **Ventajas**

- La verificación del estado de los equipos se realiza de forma periódica esto permite realizar un historial del comportamiento mecánico de los equipos reduciendo los tiempos de parada.
- Permite determinar con exactitud el tiempo límite de actuación y por lo tanto minimizar el desarrollo de un fallo imprevisto.
- Permite el análisis estadístico del sistema facilitando también el análisis de averías para determinar una correcta parada en la línea de trabajo [11].

## **Desventajas**

- Requiere una inversión inicial considerable por lo que requiere de equipos y personal capacitado para la lectura periódica de datos.
- El personal para realizar la lectura de datos y posteriormente su interpretación debe ser personal con un conocimiento técnico elevado [11].

## **Mantenimiento preventivo**

Es la ejecución de los ajustes, cambios, modificaciones, limpieza y reparaciones sencillas, es un proceso programado en los equipos e instalaciones, se toman las medidas necesarias para no afectar a la operación rutinaria de planta. El cumplimiento de las acciones de un mantenimiento preventivo permite la operación segura y eficiente de los equipos de la forma más económica y de esta forma minimizando las fallas imprevistas. Es una actividad que minimiza la reparación por medio de inspecciones periódicas y el reemplazo de elementos averiados para evitar fallas en el equipo y por lo tanto pérdidas de producción en la planta [12].

## **Metodología**

En un programa de mantenimiento preventivo se somete a los sistemas a registros periódicos tanto de materiales y equipos, también actividades de limpieza y lubricación para minimizar las fallas a futuro. Realizar pruebas habituales para determinar la calidad de las mismas. La alineación y calibración de los equipos para una mejor prestación [11].

Es indispensable que un programa de mantenimiento preventivo cumpla con la siguiente condición para decidir su continuidad:

$$(NB)(ACPBD)(\alpha) > (CPMS) \quad (1)$$

*Donde:*

*NB: Numero de fallas*

*ACPBD: Promedio del costo por falla*

*$\alpha$ : Factor propuesto 70% del total de costo de fallas*

*CPMS: Costo total del sistema de mantenimiento preventivo*

Para ejecutar un programa eficaz en un corto tiempo se debe seguir los siguientes pasos:

1. Identificas las áreas para el establecimiento del programa.
2. Identificar las necesidades del programa.
3. Establecer la frecuencia del mantenimiento.
4. Configurar el programa con actividades diarias y periódicas.
5. Crear un horario de mantenimiento preventivo anual.
6. Exponer y aplicar el programa en otras áreas de la empresa.

### **Ventajas**

- Manejar datos históricos los equipos y un conocimiento adecuado nos sirve para controlar los mismos.
- Al reducir los mantenimientos correctivos podemos apreciar también un ahorro en los costos y por lo tanto un aumento de disponibilidad en los equipos, entonces existe una planificación de trabajos en el departamento de mantenimiento.
- Se planifica el momento preciso para realizar el mantenimiento con los otros departamentos para de esta forma no afectar a la producción [11].

## **Desventajas**

- Este mantenimiento abarca una inversión inicial en infraestructura y mano de obra también requiere el desarrollo de planes de mantenimiento preventivo realizados por técnicos.
- Se debe crear sistemas imaginativos para convertir el trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción, cuando los trabajos se prolongan en el tiempo se vuelven rutinarios produciendo falta de motivación en el personal encargado del mantenimiento preventivo [11].

## **Mantenimiento correctivo**

Es el proceso de reparar, cambiar o modificar cualquier elemento de una maquinaria cuando se diagnostica una posible falla que pudiera poner en riesgo el funcionamiento de la misma. Es un mantenimiento no planeado e inesperado y por lo tanto requiere una atención inmediata [12].

### **Categorías del mantenimiento correctivo**

Se clasifica en 4 categorías que se detallan a continuación:

*Reparación del fallo:* reemplazo de un componente del equipo para seguir su funcionamiento.

*Salvataje:* rescate de componentes de un equipo para utilizarlos en otro.

*Reconstrucción:* restituir un componente a su estado original tanto en apariencia como en operación. Se lo puede realizar examinando todos los componentes y comparando con las especificaciones de fábrica.

*Overhaul:* inspección y total reparación de lo inadecuado [11].

### **Pasos para un mantenimiento correctivo**

Existen 5 pasos para un correcto mantenimiento correctivo.

1. Reconocimiento de las fallas
2. Localización
3. Diagnostico

4. Reparación
5. Revisión

Para minimizar el tiempo del mantenimiento correctivo se recomienda

- a. Eficacia para reconocer las fallas, localización y aislamiento.
- b. Efectiva intercambiabilidad.
- c. Redundancia de actividades.
- d. Facilidad efectiva para las reparaciones.
- e. Factores humanos como la habilidad, información, destreza, tiempos y movimientos.

### **Ventajas**

- Existe una acción rápida para realizar el mantenimiento si el equipo está preparado por lo tanto no habrá pérdidas de tiempo excesivas.
- El costo de mano de obra es mínimo es decir que los operarios serán suficientes.
- En los equipos que no intervienen directamente en el proceso de producción es una actividad rentable.

### **Desventajas**

- Generan estancadas y daños impredecibles en la producción por lo que afectan directamente a la planificación.
- No existe una garantía en las reparaciones debido a la rapidez con la que se desarrolla el trabajo, produciendo esto una sensación de insatisfacción e impotencia y cabe destacar que este tipo de intervenciones producen otras fallas por una ineficiente reparación de la anterior [11].

## **1.4.3 MÉTODOS ALTERNOS DE LIMPIEZA SUPERFICIAL**

### **1.4.3.1 Preparación de superficies**

Un adecuado preparativo de las superficies antes y durante de la aplicación de una película protectora, permitirá obtener excelentes resultados del substrato y de esta manera reducir los costos de mantenimiento [2].

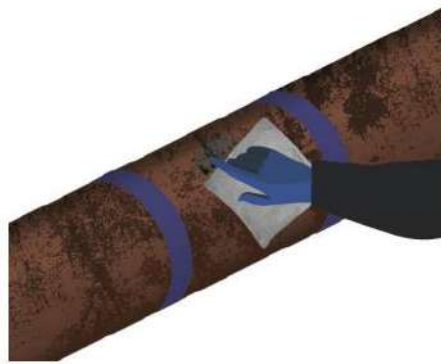


A continuación, se describe los principales métodos de preparación de superficies especificados por el STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL (SSPC) y la NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS (NACE), que son las principales organizaciones Internacionales que han normado los grados de preparación.

- Limpieza con Solvente (SSPC – SP1)

Esta limpieza se la puede realizar antes de la aplicación de la pintura y se puede realizar conjuntamente con otros métodos de preparación de superficie para la eliminación de óxido, pinturas o cascarilla de laminación.

Se pueden utilizar como solventes vapor de agua, emulsiones jabonosas, soluciones alcalinas, detergentes y también solventes orgánicos que ayuden a remover impurezas como: polvo, aceite, pintura y sales solubles [13].



*Figura 8: Limpieza con Solvente (SSPC – SP1) [14].*

- Limpieza Manual (SSPC – SP2)

La preparación de la superficie se lo realiza con herramientas manuales (lijas, cepillos manuales, etc.) con el fin de eliminar todos los residuos presentes como son: residuos de soldaduras, pintura, oxidación y otras incrustaciones. Este tipo de limpieza no es lo suficientemente eficaz para eliminar en su totalidad todas las incrustaciones adheridas a la superficie [13].



*Figura 9: Limpieza Manual (SSPC – SP2) [14].*

- Limpieza Mecánica (SSPC – SP3)

Preparación de la superficie con la ayuda de herramientas manuales mecánicas, pueden ser eléctricas o neumáticas, con el propósito de eliminar todas las impurezas. Al igual que la limpieza manual no es un método que elimine todas las impurezas adheridas a la superficie [13].



*Figura 10: Limpieza Mecánica (SSPC – SP3) [14].*

- Limpieza con Flama (SSPC – SP4)

Para la preparación de la superficie con este método consiste en pasar una flama de acetileno o gas licuado de alta temperatura, se utiliza para eliminar las impurezas de la superficie como puede ser la escama de laminación y oxido por las diferencias de dilatación con el acero. Por lo general se utiliza luego de aplicar SP2 o SP3 con el fin de eliminar el óxido que se desprenda [13].



*Figura 11: Limpieza con Flama (SSPC – SP4) [14].*

- Limpieza por Hydroblast (SSPC – SP6)

Preparación de la superficie mediante un chorro de abrasivo también conocido como granallado o arenado – grado comercial. Para este tipo de limpieza se utiliza algún tipo de abrasivo sometido a presión para limpiar la superficie.

La superficie debe mantenerse libre de polvo, oxido, grasa, aceite y los restos de capa de laminación no debe superar al 33% de la superficie por cada pulgada cuadrada de la misma. Los restos solo deben apreciarse de distinta coloración. Esto se lo especifica a menudo en las zonas poco solicitadas y sin ambientes corrosivos [13].



*Figura 12: Limpieza por Hydroblast (SSPC – SP6) [14].*

- Limpieza Química (SSPC – SP8)

Se la conoce también como limpieza con decapado químico, por reacción química, electrolisis o por acción de los dos métodos para limpiar la superficie generando mordiente. Mediante una reacción química con ayuda de algún producto determinado; se elimina la laminilla, pintura, oxido, materiales extraños de las superficies metálicas y luego la reacción es neutralizada con

otra solución y secada al vacío o con aire. Los resultados son aceptables, pero se lo considera un método de alto riesgo [13].



*Figura 13: Limpieza Química (SSPC – SP8) [14].*

- Limpieza por Ultrasonido

Preparación de la superficie mediante ondas longitudinales de alta frecuencia producidas en el líquido en el que se introducen las piezas para el proceso. Es un método eficaz para la limpieza de cualquier tipo de pieza industrial y de esta forma incrementar su capacidad productiva [13].



*Figura 14: Limpieza por Ultrasonido [14].*

#### **1.4.3.2 Preparación superficial por chorro con medios abrasivos**

Para la limpieza superficial mediante la aplicación de chorro es necesario la utilización de varios abrasivos según el tipo de limpieza y los resultados que se desean obtener. La dimensión, dureza, forma y el tipo de material abrasivo están directamente relacionados con los resultados finales de la limpieza [2].

La arena es el abrasivo más utilizado gracias a su costo mínimo, otros materiales abrasivos contienen escoria de carbón, escoria derretida, abrasivos minerales, sintéticos y metálicos. Al utilizar la arena de sílice en ambientes abiertos tiene un alto

nivel de fragmentación produciendo una elevada generación de polvo y por lo cual los operarios se exponen a la sílice cristalina procedente de la arena generando una preocupación al momento de realizar este proceso [2].

Los abrasivos sintéticos (carburo de silicio y óxido de aluminio) están sustituyendo en gran parte a la arena, otro abrasivo que reemplaza a la arena es la escoria de cobre o llamada también granalla mineral. Estos materiales abrasivos son más duraderos, generan menos polvo, existe la posibilidad de reutilizarlos y no contienen sílice [2].

La remoción de contaminantes presentes en una superficie mejora el aspecto visual y brinda un mejor anclaje para la aplicación de cualquier revestimiento o pintura.

#### **a) Limpieza por chorro en seco**

Es el método más eficaz para la limpieza y acabado de superficies metálicas, considerando el aspecto medioambiental es decir aplicando correctamente las normas de seguridad industrial, una ventilación adecuada para mantener el área de trabajo en óptimas condiciones. En este método existen dos alternativas que son: al arenado y el granallado [2].

#### ***Arenado***

El arenado es la eliminación de las impurezas de la superficie mediante el impacto de la arena a alta velocidad. El principio de funcionamiento se basa en el arrastre de arena por un flujo de aire comprimido a una presión de 90 a 100 psi, que llega a una boquilla que es dirigida por el operario para bombardear la superficie metálica provocando la limpieza de la misma [2].

Este proceso es utilizado para distintas variantes como cambiar el aspecto de las piezas por la antigüedad, dejando una superficie lista para aplicar un recubrimiento o pintura. Por lo general se utiliza en tanques, limpieza de grandes estructuras, equipos de transporte, frentes de edificios, etc.

Luego de aplicar este método la superficie presenta una serie de valles y picos que pueden ser observados mediante un microscopio que oscilan entre 1.5 a 3.5  $\mu m$  perfectamente uniforme. Con la calidad que presenta esa superficie metálica es decir áspera y micro – rugosa el revestimiento encuentra un mejor anclaje y adherencia. La

calidad de la superficie depende directamente de la presión de aire de la tobera, cono de barrido y la granulometría de la arena [2].

Es un abrasivo de muy bajo costo y posee una alta disponibilidad. Una de las desventajas de la arena es que es extremadamente frágil por lo que cuando se proyecta con los equipos de alta presión el 80% de esta se transforma en polvo, como consecuencia de ello solo se puede utilizar una vez [2].



*Figura 15: Arenado [15].*

### ***Granallado***

Es un método por impacto para limpieza y preparación superficial generando un excelente nivel de limpieza y a la vez una correcta terminación superficial. El granallado es el bombardeo de partículas abrasivas a alta velocidad (65 a 100m/s), liberando los materiales extraños de la superficie. La rugosidad que genera el granallado depende de las características de las partículas abrasivas por lo general logran rugosidades de 0.75 a 5 micrómetros [2].

La granalla es del abrasivo utilizado en este proceso, es producto de la escoria de cobre que luego de ser fundida atraviesa por una serie de tratamientos térmicos y mecánicos que le brindan ciertas características técnicas y específicas [2].

El granallado es utilizado para:

- Decapado mecánico de barras, alambres, chapas, etc.

- Limpieza y preparación de superficies para aplicar revestimientos, pintura, caucho etc.
- Limpieza de piezas ferrosas y no ferrosas, forjadas, etc.



*Figura 16: Granallado [15].*

#### **b) Limpieza por chorro con hielo seco**

Es una limpieza que utiliza un chorro abrasivo con partículas sólidas de  $\text{CO}_2$  mediante un flujo de aire o de otros gases. El granallado puede afectar a la superficie de algunas piezas sensibles a los cambios térmicos por lo que como una alternativa se utiliza este método [2].

La nieve de  $\text{CO}_2$  es muy eficaz para la eliminación de partículas que se encuentran en la superficie, pero no elimina el óxido, pintura o grasas. En cuestiones de seguridad es necesario ventilación y la protección de los operarios al contacto con la nieve fría.

#### **1.4.3.3 Tipos de limpieza en superficies metálicas**

Según el nivel de corrosión que presentan las superficies metálicas se aplican los diferentes tipos de limpieza, de donde se generan varios patrones de limpieza.

##### **a) Limpieza al metal blanco**

Este método es aplicable en todos los grados de corrosión del material, se trata de realizar un tratamiento intenso hasta remover en su totalidad la capa de laminación, partículas extrañas y óxidos. Se realiza una limpieza final con aspirador de polvo, aire

comprimido o una escobilla, luego de ello la superficie debe tener una coloración ceniza claro metálica uniforme y sin manchas o rayas [2].

La finalidad de este método es remover todas las partículas extrañas, óxido visible y restos de pintura. Un acero limpio toma un color gris claro semejante al del aluminio, ligeramente rugoso proporcionando un excelente anclaje para los recubrimientos posteriores. El recubrimiento primario debe aplicarse lo más pronto posible para evitar que el medio ambiente ataque a la superficie tratada [2].

#### **b) Limpieza al metal casi blanco**

Es un método que abarca una limpieza minuciosa deben ser removidas todas las capas de laminación, partículas extrañas y óxido hasta que los residuos solo se puedan apreciar como leves manchas o decoloraciones. Se realiza una limpieza final con aspirador de polvo, aire comprimido o una escobilla, luego de ello la superficie debe tener una coloración ceniza claro o aproximadamente al blanco, el 95% del área uniformemente distribuida debe estar libre de impurezas [2].

#### **c) Limpieza comercial**

Es un método de limpieza cuidadosa que remueve prácticamente toda la capa de laminación y partículas extrañas. La pintura en buen estado y las incrustaciones que permanezcan adheridas aun cuando ya se realizó la preparación de la superficie es permitido siempre y cuando no sobrepasen la tercera parte de cada superficie. Al finalizar esta limpieza la superficie se torna de un tono marrón ligeramente suave sobre un fondo gris más claro [2].

#### **1.4.3.4 Abrasivos para limpieza mecánica**

La característica fundamental para un abrasivo utilizado en proceso de sandblasting debe ser limpiar con rapidez, eficaz, durabilidad, mínimo desgaste en los componentes internos de la maquina y ejecutar un alto nivel de acabado en la superficie y siempre al mínimo costo.



#### **a) Clasificación de abrasivos**

En la actualidad hay una gran variedad de abrasivos metálicos y no metálicos, estos pueden ser utilizados con el mismo fin; cabe mencionar que cada uno poseen características específicas que facilitan el uso para cada caso presentando ciertas ventajas. A continuación, mencionamos algunos tipos de abrasivos [2].

- Granalla de acero
- Granalla de acero inoxidable
- Granalla de acero al carbono
- Oxido de aluminio
- Microesferas de vidrio
- Bicarbonato de sodio
- Carburo de silicio
- Cascara de nuez

#### **1.4.4 Proceso de sandblasting**

##### **1.4.4.1 Sandblast**

Esta palabra en ingles desciende de los vocablos Sand (arena) y Blast (presión), por lo que textualmente significa arena a presión. Pero el método no requiere necesariamente utilizar arena para realizar el proceso, por lo cual podemos definirlo como un método de sopleteo con chorro de abrasivos sometidos a presión. La limpieza por medio de este sistema es considerablemente usada para la eliminación de óxido, escama de laminación y principalmente para la preparación de superficies dejando así listas para la aplicación de recubrimiento. Es un sistema que se basa en la acción de un abrasivo granulado expulsado mediante aire comprimido a través de una boquilla provocando la limpieza de la superficie [4].

##### **1.4.4.2 Principios del proceso**

La limpieza de una superficie mediante un chorro de abrasivo se denomina una operación de "bombardeo", una infinidad de partículas abrasivas son arrojadas a alta velocidad contra la superficie. Inminentemente antes de que las partículas choquen

contra el objetivo estas poseen energía cinética, esta varía en función de la cantidad y las dimensiones de las partículas [4].

Las partículas experimentan una violenta desaceleración al momento del impacto, transformando en calor una fracción de la energía cinética, otra parte en energía de fractura o deformación, una tercera fracción en trabajo de limpieza y el residuo se conserva como energía cinética provocando el rebote de las partículas.

El trabajo efectivo de limpieza provocado por la conversión de la energía cinética depende de factores relacionados como características del abrasivo, ángulo de incidencia del chorro y el tipo de impurezas a retirar [4].

Antes de impactar las partículas contra la superficie están proporcionadas de energía cinética, que es directamente proporcional a la masa de la partícula y a la velocidad al cuadrado, como se define en la ecuación (2):

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (2)$$

*Donde:*

*E<sub>c</sub>: Energía cinética*

*m: Masa de la partícula*

*v: Velocidad de la partícula*

La masa de una partícula esférica se la determina con la ecuación (3):

$$m = \frac{\rho \cdot (4 \cdot \pi \cdot r^3)}{3} \quad (3)$$

*Donde:*

*m: Masa de la partícula*

*r: Radio de la partícula*

$\rho$ : Densidad del fluido

La energía cinética de una partícula esférica está determinada por la ecuación (4):

$$E_c = \rho \cdot \left(\frac{2}{3}\right) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot v^2 \quad (4)$$

Las ecuaciones anteriormente mencionadas indican que pueden existir variaciones significativas en la energía cinética presente en el chorro existiendo mínimas variaciones en las cantidades y dimensiones de las partículas. Por lo que, si la velocidad de la partícula no varía, independientemente de su tamaño, se puede apreciar la reducción del radio de una partícula para la mitad de su valor de origen esto equivale a la reducción de 8 veces su energía cinética [4].

#### 1.4.4.3 Definición

El proceso de sandblasting consiste principalmente en la limpieza superficial de materiales arrojando granos abrasivos mediante aire comprimido con una presión apropiada.



*Figura 17: Aplicación de Sandblasting [15].*

El choque del medio abrasivo se ejecuta mediante un sistema que arroja el abrasivo a alta velocidad y a granel para que impacte contra la superficie que se desea liberar las impurezas. La consecuencia de ese impacto provoca que las partículas no adheridas a la superficie sean liberadas en forma de polvo, óxido de corrosión, pintura, etc., provocando una limpieza profunda [4].

Con este proceso además de limpiar la superficie de los materiales se logra también el proceso de preparación de la superficie es decir una superficie áspera factible para un proceso posterior de recubrimiento, con esto se logra aumentar la rugosidad de la superficie, logrando un mejor resultado con el recubrimiento ya que existe una mejor adherencia del recubrimiento, una vida más larga y en mejores condiciones [4].

#### 1.4.4.4 Clasificación de los equipos de Sandblasting

Por lo general los equipos de sandblasting están compuestos por un contenedor de abrasivo, un sistema de lanzamiento y boquillas de expulsión. Para este proceso existen dos tipos de equipos de succión y de presión [2].

##### Equipos de succión

Funcionan mediante el efecto Venturi es decir arrastra el abrasivo no presurizado desde un contenedor o directamente desde la manguera hacia la cámara de vacío de una pistola, para posteriormente arrojarlo por la boquilla de la misma. Este equipo usualmente se los utiliza en cabinas y trabajo semi pesado, puede ser en retoques de materiales blandos, titanio, magnesio, aluminio; para eliminar escamas con una penetración mínima en el metal base [2].

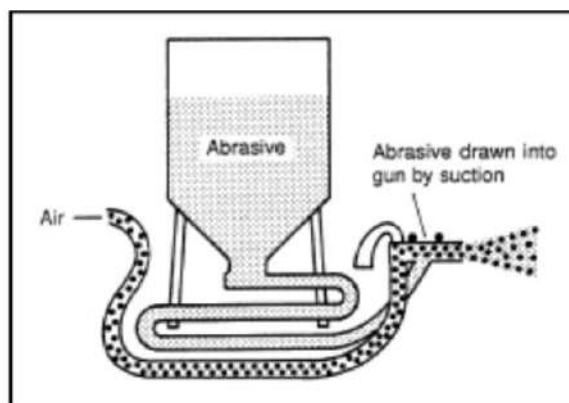
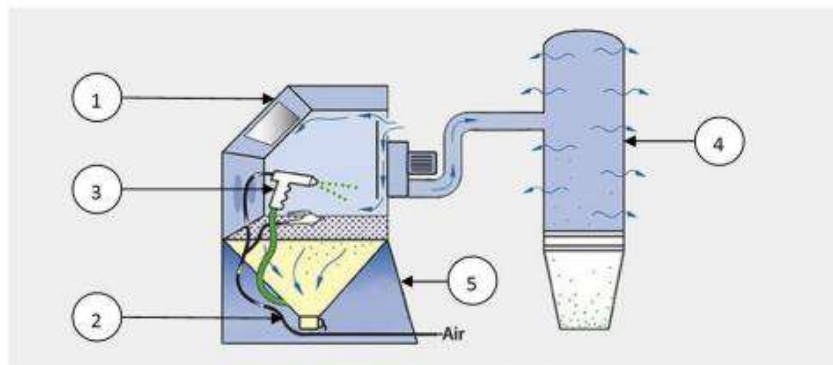


Figura 18: Equipo de succión [2].

La fuerza de impacto de este sistema no es muy eficaz frente al equipo de presión, pero presenta excelentes resultados en piezas pequeñas gracias a la relación tiempo-área del proceso. El sistema depende en gran parte de la potencia del compresor, puede utilizarse para la limpieza y preparación de superficies metálicas, proporcionando como máximo una limpieza superficial de nivel comercial [2].

Una cámara de sandblasting por succión está conformada por 5 elementos principales:

1. Cámara hermética
2. Control neumático
3. Sistema de proyección del abrasivo
4. Sistema de recuperación de abrasivo
5. Automatismos

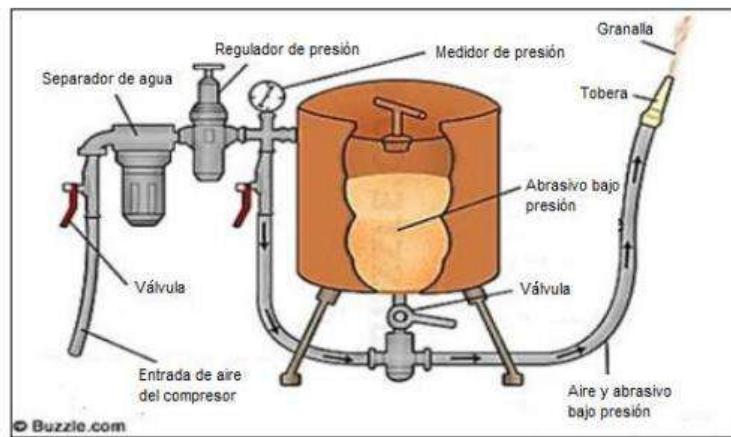


*Figura 19: Esquema de la cámara por succión [4].*

### **Equipos de presión**

Estos equipos alimentan el abrasivo mediante una válvula reguladora a un flujo de aire comprimido en movimiento. Conjuntamente el aire y el abrasivo viajan en la manguera a alta velocidad y presión. Se utilizan en acero estructural por su alta velocidad de producción, mínimo consumo de aire y poseen un mejor resultado que los equipos de succión [2].

En estos equipos el aire es presuriza en conjunto con el aire medioambiental en un recipiente que soporta elevados niveles de presión que están alrededor de los 130 PSI, con esto se puede lograr velocidades de salida que rodean los 90 m/s. La forma del recipiente es cilíndrica, en la parte superior posee un cono inverso y en el centro un orificio por donde ingresa el abrasivo [2].



*Figura 20: Equipo de presión [4].*

Una importante ventaja de este equipo es que existe la posibilidad de manejar un mayor volumen de partículas abrasivas y con un impacto elevado, consiguiendo mayor eficiencia en el proceso de limpieza y un proceso más rápido. El volumen que manejan estos equipos es de 1 a 10 pies cúbicos de capacidad interna de abrasivo [2].

## **CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA**

### **2.1 MATERIALES**

Para llevar a cabo el proyecto técnico se utilizará un software de diseño por elementos finitos.

### **2.2 MÉTODOS**

#### **2.2.1 De campo**

Se obtendrán datos e información en el área de producción donde se realiza el proceso de sandblasting en la empresa INDUACERO Cia. Ltda., esto permitirá obtener los parámetros, características geométricas y mecánicas para el diseño adecuado de la cámara, además se recolectará los requerimientos y necesidades de la empresa para mejorar la producción.

#### **2.2.2 Bibliográfica documental**

Se puede obtener información actualizada y validada en base a fuentes que nos brinden información sobre el problema a partir de libros, artículos técnicos, norma (ASME) y tesis relacionadas sobre el diseño de una cámara de limpieza mecánica.

#### **2.2.3 Análisis Documental**

Se identificará los parámetros requeridos por la norma (ASME) y en función de ello realizar el diseño adecuado de la cámara, así como también enfocarse en investigaciones previas.

#### **2.2.4 Análisis cuantitativo**

Cuantificar capacidad de procesamiento, esfuerzos, factores de seguridad y capacidad de producción.

### 2.2.5 Flujograma del proyecto

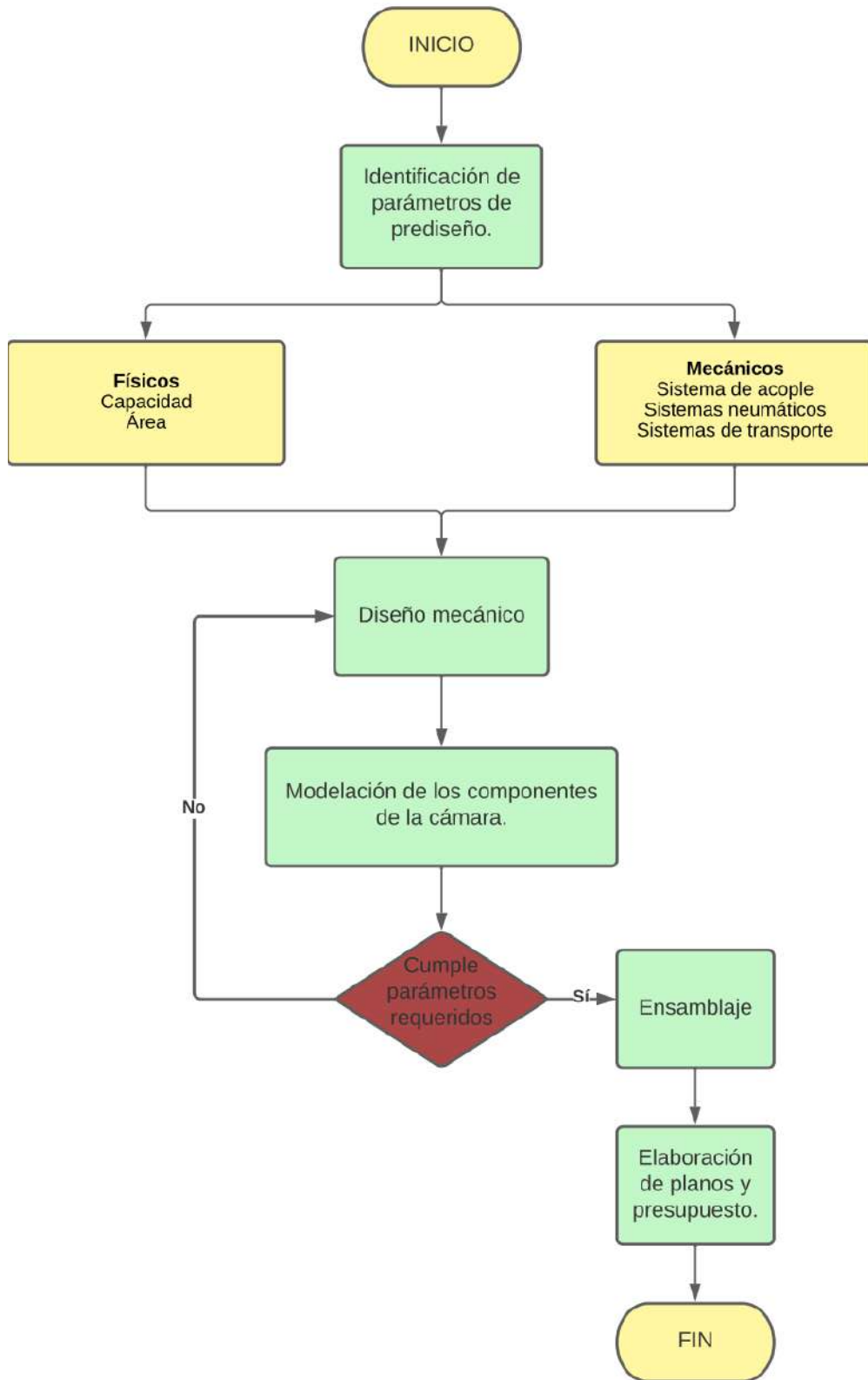


Figura 21: Flujograma del proyecto.



## CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

#### 3.1.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PRESIÓN

##### 3.1.1.1 Cálculo del número de tolvas

Para establecer el número de tolvas adecuadas primero calculamos el área a procesar para con estos datos establecer el consumo de granalla metálica.

*Área a procesar*

$$A = 2 \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) + \pi \cdot D \cdot L \quad (5)$$

*Donde:*

*A: Área a procesar*

*D: Diametro del tanque*

*L: Longitud del tanque*

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{2} + \pi \cdot D \cdot L$$

$$A = \frac{\pi \cdot (4m)^2}{2} + \pi \cdot 4m \cdot 12m$$

$$A = 176m^2 \leftarrow$$

***Consumo de granalla***

*Consumo mínimo ( $C_m$ ): 1.17 kg/m<sup>2</sup>*

*Consumo máximo ( $C_M$ ): 1.2 \* 1.17 kg/m<sup>2</sup> = 1.4 kg/m<sup>2</sup> ←*

***Masa total de granalla consumida por cada tanque de 176m<sup>2</sup>***

$$m_T = C_M \cdot A \quad (6)$$

*Donde:*

$m_T$ : Masa total de granalla

$C_M$ : Consumo máximo de granalla

$$m_T = 1.4 \text{ kg/m}^2 \cdot 176 \text{ m}^2$$

$$m_T = 247 \text{ kg} \leftarrow$$

**Numero de tolvas (n)**

Capacidad máxima de una tolva ( $C_t$ ): 80 kg

$$n = \frac{m_T}{C_t} \quad (7)$$

$$n = \frac{247 \text{ kg}}{80 \text{ kg}}$$

$$n = 3 \text{ tolvas} \leftarrow$$

Una vez calculado los parámetros anteriores y partiendo de la densidad de la granalla metálica calculamos el volumen que ocupa en el tanque.

*Entonces:*

$$\rho_{gr} = \frac{m}{v} = \frac{C_t}{v} \quad (8)$$

$$\rho_{gr} = \frac{C_t}{v}$$

$$v = \frac{C_t}{\rho_{gr}}$$

*Donde:*

$\rho_{gr}$ : Densidad de la granalla metálica

$$v = \frac{80 \text{ kg}}{7400 \text{ kg/m}^3}$$

$$v = 0.0108 \text{ m}^3$$

A este volumen calculado lo asignamos un 20% adicional para generar un espacio y evitar la caída de material al suelo.

*Entonces:*

$$v = 0.0108 \text{ m}^3 \cdot 1.2$$

$$v = 0.01296 \text{ m}^3$$

$$v = 12960 \text{ cm}^3 \leftarrow$$

El tanque a presión posee una geometría variable, en la parte superior adopta una forma cilíndrica y en la parte inferior posee una sección cónica, de esta forma garantiza la caída de la granalla metálica evitando el estancamiento de la misma, para evitar este fenómeno se le asigna un ángulo de caída para el tanque denominado ángulo de reposo, el cual depende del tipo de abrasivo utilizado en este caso para la granalla metálica asignamos un ángulo de  $27^\circ$  que nos especifica en el anexo 2.

Asignamos valores a priori y calculamos el volumen total del tanque.

*Datos:*

$$R = 12 \text{ cm}$$

$$r = 2.54 \text{ cm}$$

$$h_1 = 24 \text{ cm}$$

*Entonces:*

$$\operatorname{tg}27^\circ = \frac{R - r}{h_2} \quad (9)$$

$$h_2 = \frac{R - r}{\operatorname{tg}27^\circ}$$

$$h_2 = \frac{12 - 1.27}{\operatorname{tg}27^\circ}$$

$$h_2 = 21.06 \text{ cm} \leftarrow$$

$$v_t = \pi \cdot R^2 \cdot h_1 + \frac{\pi \cdot h_2}{3} (R^2 + r^2 + R \cdot r)$$

$$v_t = \pi \cdot 12^2 \cdot 24 + \frac{\pi \cdot 18.57}{3} (12^2 + 2.54^2 + 12 \cdot 2.54)$$

$$v_t = 14375.82 \text{ cm}^3 \leftarrow$$

### 3.1.1.2 Cálculo de la presión que ejerce la granalla en la sección cónica y cilíndrica.

#### Sección cónica

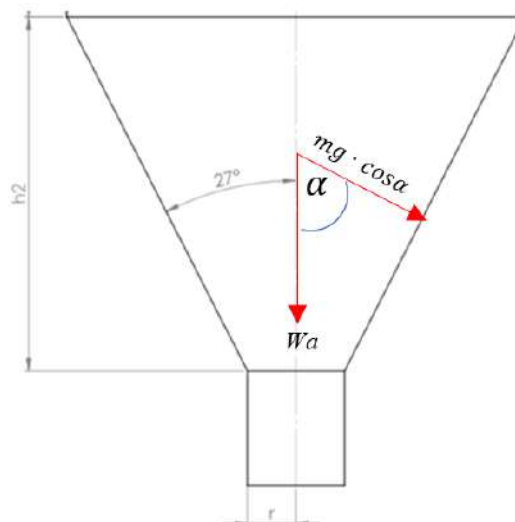


Figura 22: Representación de la presión en la sección cónica.

$$P = \frac{F}{A} \quad (10)$$

$$P_{cónica} = \frac{w_a \cdot \cos\alpha}{\pi(R + r) \cdot g}$$

Donde:

*R*: Radio mayor del cono.

*r*: Radio menor del cono.

*g*: Generatriz del cono.

Por lo tanto:

$$g = \sqrt{(R + r)^2 + h_2^2} \quad (11)$$

$$g = \sqrt{(4.72 + 0.5)^2 + 7.31^2}$$

$$g = 8.98 \text{ plg}$$

$$w_a = m \cdot g$$

$$w_a = 80 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$w_a = 784.8 \text{ N}$$

$$w_a = 176.43 \text{ lbf}$$

$$P_{cónica} = \frac{176.43 \text{ lbf} \cdot \cos 27^\circ}{\pi(4.72 + 0.5) \cdot 8.98}$$

$$P_{cónica} = 0.93 \text{ PSI} \leftarrow$$

**Sección cilíndrica.**

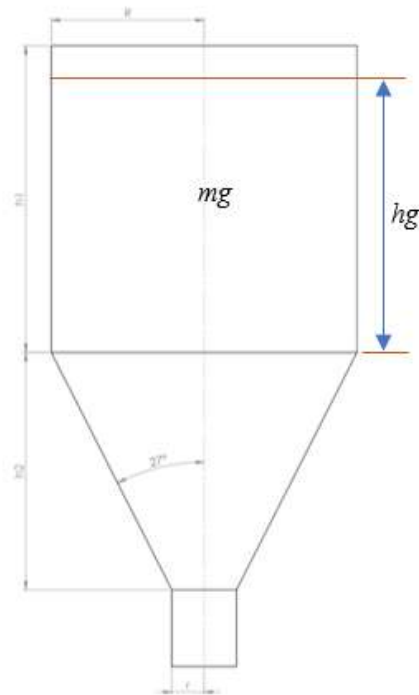


Figura 23: Representación en la sección cilíndrica.

$$P = \frac{F_R}{A}$$

$$P_{cilíndrica} = \frac{F_R}{2\pi \cdot R \cdot h_g}$$

Donde:

$F_R$ : Fuerza resultante.

$R$ : Radio mayor del cono.

$h_g$ : Altura de la granalla en la parte cilíndrica.

**Por lo tanto:**

$m_g$ : Masa de granalla en la parte cilíndrica.

$$m_g = m_{total \text{ de granalla}} - m_{cono} \quad (12)$$

$$m_g = 80kg - \frac{190.52plg^3}{61.02 plg^3}$$

$$m_g = 76.88 kg \leftarrow$$

$$\delta = \frac{m}{v} \tag{13}$$

$$\delta = \frac{m_g}{\pi \cdot R^2 \cdot h_g}$$

**Despejamos  $h_g$**

$$h_g = \frac{m_g}{\pi \cdot R^2 \cdot \delta}$$

$$h_g = \frac{76.88 kg}{\pi \cdot 0.12m^2 \cdot 7400 kg/m^3}$$

$$h_g = 0.229 m$$

$$h_g = 9.02 plg \leftarrow$$

$$F_R = \gamma \cdot \frac{h_g}{2} \cdot A$$

$$F_R = \frac{m_g \cdot g}{v} \cdot \frac{h_g}{2} \cdot A$$

$$F_R = \frac{m_g \cdot g}{A \cdot h_g} \cdot \frac{h_g}{2} \cdot A$$

$$F_R = \frac{m_g \cdot g}{2}$$

$$F_R = \frac{76.88kg \cdot 9.81 m/s^2}{2}$$

$$F_R = 377.096 N$$

$$F_R = 84.77 lbf \leftarrow$$

Entonces:

$$P_{cilindrica} = \frac{84.77 \text{ lbf}}{2\pi \cdot 4.72 \text{ plg} \cdot 9.02 \text{ plg}}$$

$$P_{cilindrica} = 0.32 \text{ PSI} \leftarrow$$

La presión que genera solo la granalla metálica en el recipiente a presión es de 1.25 PSI, para los cálculos se tomara como una presión de 2 PSI por lo tanto para el diseño del recipiente se asignara una presión de 117 PSI.

### 3.1.1.3 Cálculo del espesor de la sección cónica y cilíndrica según ASME

#### *Sección cónica*

Para el cálculo del espesor utilizamos las fórmulas que nos proporciona la norma ASME BPVC VIII Div.1 sección UG-32 parte (g).

#### *Cálculo del espesor*

$$t = \frac{PD}{2\cos\alpha(SE - 0.6P)} \quad (14)$$

Donde:

*P*: Presion de diseño 117 PSI

*D*: Diametro 9.44 plg

$\alpha$ : Ángulo de ápice 27°

*S*: Máximo esfuerzo permisible ASME BPVC. II. D. C Tabla 1 – A.

*E*: Eficiencia en las juntas ASME BPVC. VIII. 1 Tabla UW – 12.

$$t = \frac{117 \text{ PSI} \cdot 9.44 \text{ plg}}{2\cos 27^\circ (16600 \text{ PSI}(0.6) - 0.6(117 \text{ PSI}))}$$

$$t = 0.062 \text{ plg} = 1.59 \text{ mm} \leftarrow$$



Según ASME BPVC VIII. 1. UG-16 el espesor mínimo de la cabeza del tanque es de 3/32 plg (2.4mm) excluyendo el margen por corrosión por lo tanto seleccionamos una plancha de 3mm.

***Cálculo de la presión de diseño***

$$P = \frac{2 S E t \cos\alpha}{D + 1.2t \cos\alpha} \quad (15)$$

$$P = \frac{2 (16600PSI) (0.6) (0.118plg) \cos 27^\circ}{9.44plg + 1.2(0.118plg) \cos 27^\circ}$$

$$P = 218.93PSI \leftarrow$$

***Cálculo del factor de seguridad.***

$$F.S. = \frac{P_{admisible}}{P_{diseño}} \quad (16)$$

$$F.S. = \frac{218.93 PSI}{117 PSI}$$

$$F.S. = 1.87 \leftarrow$$

**Sección cilíndrica**

En función del radio y la presión determinamos las fórmulas a utilizar para el cálculo de los esfuerzos circunferenciales y longitudinales según ASME BPVC. VIII.1 UG-27 ver anexo 3.

***Cálculo de esfuerzos circunferenciales***

***Cuando  $t \leq R/2$***

$$P \leq 0.385 \cdot S \cdot E \quad (17)$$

$$117 \text{ PSI} \leq 0.385 \cdot 16600 \text{ PSI} \cdot 0.6$$

$$117 \text{ PSI} \leq 3834.6 \text{ PSI} \rightarrow \text{OK}$$

**Entonces:**

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (18)$$

$$t = \frac{117 \text{ PSI} * 4.73 \text{ plg}}{16600 \text{ PSI} * 0.6 - 0.6 * 117 \text{ PSI}}$$

$$t = 0.056 \text{ plg} = 1.42 \text{ mm}$$

**Cálculo de la presión de diseño**

$$P = \frac{S * E * t}{R + 0.6t} \quad (19)$$

$$P = \frac{16600 \text{ PSI} * 0.6 * 0.118 \text{ plg}}{4.73 \text{ plg} + 0.6 * 0.118 \text{ plg}}$$

$$P = 244.81 \text{ PSI}$$

**Cálculo de esfuerzos longitudinales**

**Cuando  $t \leq R/2$**

$$P \leq 1.25 \cdot S \cdot E \quad (20)$$

$$117 \text{ PSI} \leq 1.25 \cdot 16600 \text{ PSI} \cdot 0.6$$

$$117 \text{ PSI} \leq 12450 \text{ PSI} \rightarrow \text{OK}$$

**Entonces:**

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad (21)$$

$$t = \frac{117 \text{ PSI} * 4.73 \text{ plg}}{2 * 16600 \text{ PSI} * 0.6 + 0.4 * 117 \text{ PSI}}$$

$$t = 0.028 \text{ plg} = 0.71 \text{ mm}$$

**Cálculo de la presión de diseño**

$$P = \frac{2S * E * t}{R - 0.4t} \quad (22)$$

$$P = \frac{2 * 16600 \text{ PSI} * 0.6 * 0.118 \text{ plg}}{4.73 \text{ plg} - 0.4 * 0.118 \text{ plg}}$$

$$P = 501.96 \text{ PSI}$$

El espesor adecuado para el recipiente a presión según los cálculos realizados es de 3mm cumpliendo con todos los requerimientos de la norma.

### 3.1.1.4 Cálculo de esfuerzos en la soldadura del recipiente a presión

**Cálculo en la sección cilíndrica**

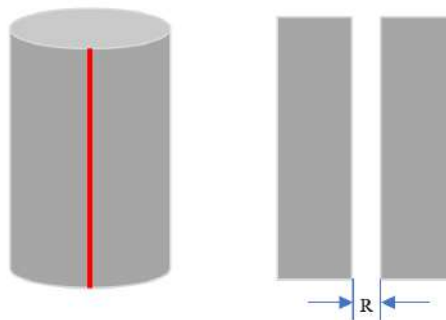


Figura 24: Representación de la soldadura en la sección cilíndrica.

**Donde:**

R: Garganta de soldadura (0 – 1/16 plg) Según AWS D1.1 ver Anexo 4

Asignamos un valor de garganta de soldadura de 0.039 plg. se encuentra dentro del rango solicitado.

Entonces:

$$F = P * d_i * l \quad (23)$$

Donde:

*P*: Presion de diseño

*d<sub>i</sub>*: Diametro interno

*l*: Longitud de soldadura

$$F = 117 \text{ PSI} * 9.45 \text{ plg} * 9.45 \text{ plg}$$

$$F = 10448.39 \text{ lbf}$$

**Cálculo del esfuerzo normal**

$$\sigma = \frac{F}{l * R} \quad (24)$$

$$\sigma = \frac{10448.39 \text{ lbf}}{9.45 \text{ plg} * 0.039 \text{ plg}}$$

$$\sigma = 28349.99 \text{ PSI} \leftarrow$$

**Cálculo del esfuerzo cortante**

$$\tau = \frac{F}{l * t} \quad (25)$$

$$\tau = \frac{10448.39 \text{ lbf}}{9.45 \text{ plg} * 0.118 \text{ plg}}$$

$$\tau = 9369.91 \text{ PSI} \leftarrow$$

### ***Cálculo del esfuerzo de Von Mises***

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (26)$$

$$\sigma' = \sqrt{28349.99^2 + 3 * 9369.91^2}$$

$$\sigma' = 32666.61 \text{ PSI} < 61496 \text{ PSI} \rightarrow \text{OK}$$

61496 PSI Límite de fluencia del electrodo 6011 Ver Anexo 5

### ***Cálculo en la sección cónica***

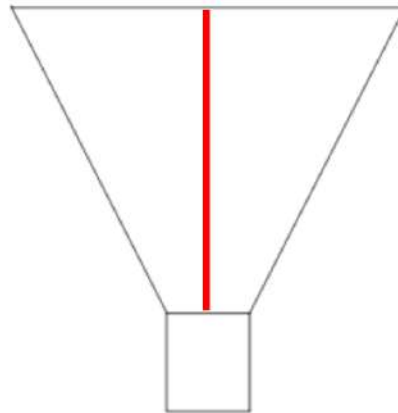


Figura 25: Representación de la soldadura en la sección cónica.

$$F = P * d_i * l$$

$$F = 117 \text{ PSI} * 9.45 \text{ plg} * 7.31 \text{ plg}$$

$$F = 8082.30 \text{ lbf}$$

### ***Cálculo del esfuerzo normal***

$$\sigma = \frac{F}{l * R}$$

$$\sigma = \frac{8082.30 \text{ lbf}}{7.31 \text{ plg} * 0.039 \text{ plg}}$$

$$\sigma = 28349.99 \text{ PSI} \leftarrow$$

***Cálculo del esfuerzo cortante***

$$\tau = \frac{F}{l * t}$$

$$\tau = \frac{8082.30 \text{ lbf}}{7.31 \text{ plg} * 0.118 \text{ plg}}$$

$$\tau = 9369.91 \text{ PSI} \leftarrow$$

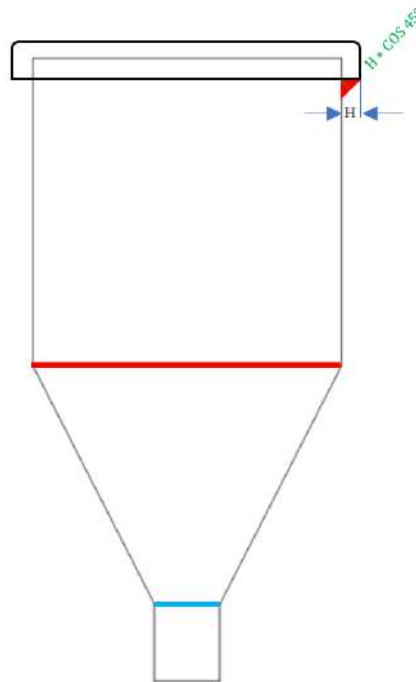
***Cálculo del esfuerzo de Von Mises***

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{28349.99^2 + 3 * 9369.91^2}$$

$$\sigma' = 32666.61 \text{ PSI} < 61496 \text{ PSI} \rightarrow \text{OK}$$

***Cálculo en la unión de la sección cilíndrica y cónica***



*Figura 26: Representación de la soldadura en la unión de la sección cilíndrica, cónica y la tapa.*

$$F = 10448.39 \text{ lbf}$$

*Cálculo del esfuerzo normal*

$$\sigma = \frac{F}{\pi * d_i * R} \quad (27)$$

$$\sigma = \frac{10448.39 \text{ lbf}}{\pi * 9.45 \text{ plg} * 0.039 \text{ plg}}$$

$$\sigma = 9024.08 \text{ PSI} \leftarrow$$

*Cálculo del esfuerzo cortante*

$$\tau = \frac{F}{\pi * d_i * t} \quad (28)$$

$$\tau = \frac{10448.39 \text{ lbf}}{\pi * 9.45 \text{ plg} * 0.118 \text{ plg}}$$

$$\tau = 2982.54 \text{ PSI} \leftarrow$$

*Cálculo del esfuerzo de Von Mises*

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{9024.08^2 + 3 * 2982.54^2}$$

$$\sigma' = 10398.11 \text{ PSI} < 61496 \text{ PSI} \rightarrow OK$$

*Cálculo en la parte inferior de la sección cónica*

$$F = P * d_i * l$$

$$F = 117 \text{ PSI} * 1 \text{ plg} * 7.31 \text{ plg}$$

$$F = 855.27 \text{ lbf}$$

*Cálculo del esfuerzo normal*

$$\sigma = \frac{F}{\pi * d_i * R}$$

$$\sigma = \frac{855.27 \text{ lbf}}{\pi * 1 \text{ plg} * 0.039 \text{ plg}}$$

$$\sigma = 6980.54 \text{ PSI} \leftarrow$$

***Cálculo del esfuerzo cortante***

$$\tau = \frac{F}{\pi * d_i * t}$$

$$\tau = \frac{855.27 \text{ lbf}}{\pi * 1 \text{ plg} * 0.118 \text{ plg}}$$

$$\tau = 2307.13 \text{ PSI} \leftarrow$$

***Cálculo del esfuerzo de Von Mises***

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{6980.54^2 + 3 * 2307.13^2}$$

$$\sigma' = 8043.4 \text{ PSI} < 61496 \text{ PSI} \rightarrow OK$$

***Cálculo en la tapa del tanque***

$$F = \frac{P * \pi * d_i^2}{4} \tag{29}$$

$$F = \frac{117 \text{ PSI} * \pi * (9.45 \text{ plg})^2}{4}$$

$$F = 8206.15 \text{ lbf}$$



### *Cálculo del esfuerzo normal*

$$\sigma = \frac{F}{H * \cos 45^\circ * \pi * d_e} \quad (30)$$

$$\sigma = \frac{8206.15 \text{ lbf}}{0.118 * \cos 45^\circ * \pi * 9.69 \text{ plg}}$$

$$\sigma = 3230.72 \text{ PSI} \leftarrow$$

### *Cálculo del esfuerzo cortante*

$$\tau = \frac{F}{H * \pi * d_e} \quad (31)$$

$$\tau = \frac{8206.15 \text{ lbf}}{0.118 * \pi * 9.69 \text{ plg}}$$

$$\tau = 2284.46 \text{ PSI} \leftarrow$$

### *Cálculo del esfuerzo de Von Mises*

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{3230.72^2 + 3 * 2284.46^2}$$

$$\sigma' = 5108.21 \text{ PSI}$$

Para este caso la resistencia nominal de la soldadura según los requisitos de la AISC menciona que el esfuerzo calculado de la soldadura debe ser menor al 0.6 de la resistencia mínima a la tensión del electrodo, es decir:

$$0.6F_{EXX} \quad (32)$$

$$0.6F_{EXX} = 0.6(61496) = 36897.6 \text{ PSI}$$

$$\sigma' = 5108.21 \text{ PSI} < 36897.6 \text{ PSI} \rightarrow OK$$

### 3.1.1.5 Resumen del diseño y selección del tanque a presión

**Material del tanque:** Acero A-36

**Altura del tanque:** 450.59 mm

**Ancho del tanque:** 240 mm

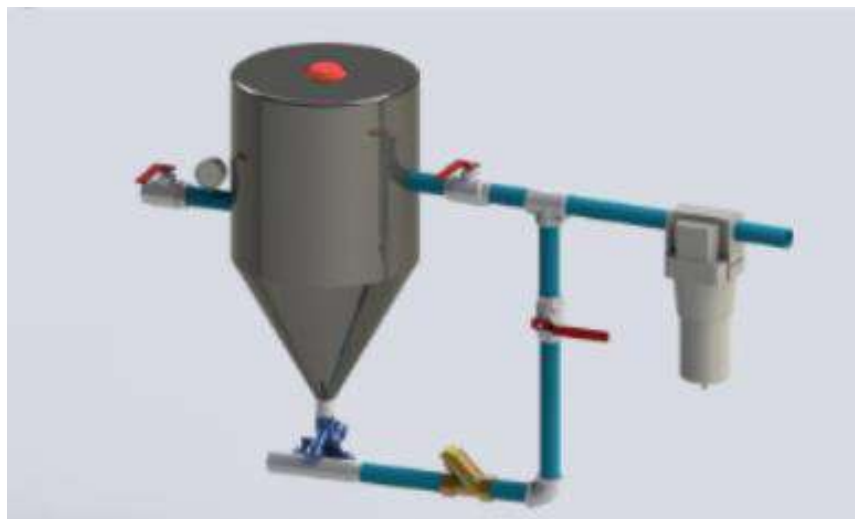
**Espesor de la pared:** 3 mm

### 3.1.1.6 Selección de válvulas y componentes para el sistema de presión

En el tanque de presión existen varios componentes que son indispensables para el adecuado funcionamiento, el objetivo principal de los componentes es conducir el aire y la granalla metálica, así como también permitir o restringir el paso de la misma. A continuación, enunciaremos cada uno de los elementos que conforman el sistema de presión.

#### *Tubería para el transporte de aire*

Para transportar el aire se usa una tubería de 1 pulgada de diámetro como se aprecia en la figura 27 en acero galvanizado para evitar la corrosión.



*Figura 27: Circuito de tubería neumática [16].*

### ***Válvulas para el paso de aire***

Para permitir y restringir el paso de aire se selecciona tres válvulas de bola de 1 pulgada de diámetro como se indica en la figura 28, una válvula permite el acceso de aire al tanque para poder presurizarlo, la otra permite el paso de aire a la válvula dosificadora que se ubica en la parte inferior del tanque y la última es la encargada de despresurizar el tanque para introducir nuevamente la granalla metálica.



*Figura 28: Válvula de bola [16].*

### ***Válvula check***

*Antes de la válvula dosificadora está ubicada la válvula check ver figura 29, el objetivo de esta es restringir el paso de aire y evitar que el abrasivo retorne brindando seguridad y eficiencia al proceso.*



*Figura 29: Válvula check [16].*

### ***Válvula pop-up***

*Denominada también válvula de sombrilla se observa en la figura 30 su objetivo principal es permitir que el tanque se quede presurizado cuando ingresa el aire.*



*Figura 30: Válvula pop-up [16].*

### ***Válvula dosificadora***

La función principal de esta válvula es regular el caudal de granalla metálica para mantener la mezcla adecuada se puede ver en la figura 31.



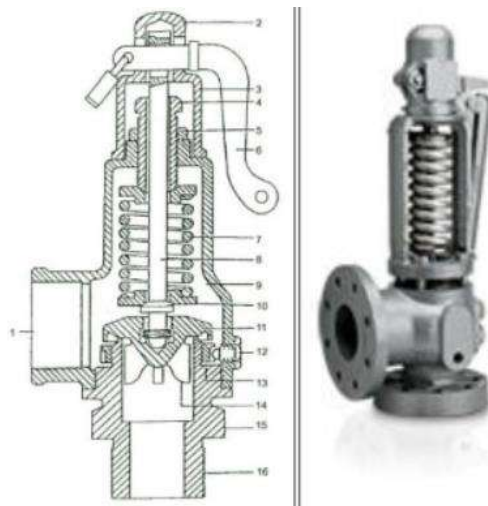
*Figura 31: Válvula dosificadora [16].*

### ***Válvula de seguridad***

También denominada válvula de alivio se ubica en la parte superior del tanque a presión, su función es liberar el aire del tanque una vez que haya sobrepasado la presión de trabajo indicada que es de 115 psi. En la figura 32 se puede observar este dispositivo y conta de varios elementos que se detallan a continuación:

1. Boca de salida lateral

2. Caperuza
3. Sombrete
4. Tornillo de ajuste
5. Tuerca de fijación del ajuste
6. Palanca de apertura manual
7. Resorte
8. Vástago
9. Cuerpo
10. Placa del extremo del resorte
11. Disco de cierre de la válvula
12. Tornillo de fijación del anillo de ajuste
13. Anillo de ajuste del escape
14. Elemento de guiado en la parte inferior
15. Asiento
16. Conexión roscada al recipiente



*Figura 32: Válvula de seguridad [16].*

### ***Manguera para Sandblasting***

Para el proceso de sandblasting se utiliza una manguera de 1 pulgada de diámetro como se puede ver en la figura 33, está compuesta de textil sintético de alta resistencia, alambre de cobre antiestático y cubierta de caucho sintético especial, presión de trabajo continuo de 174 psi, con una presión de rotura de 520 psi [17].



Figura 33: Manguera para Sandblasting [17].

### ***Boquilla para Sandblasting***

Se ubica en la parte final de la manguera de Sandblasting, está compuesta de carburo de silicio y cubierta en poliuretano como se observa en la figura 34, la vida útil de este dispositivo es de hasta 500 horas. Posee una entrada de 1 pulgada ofreciendo una transición suave y máxima productividad con mangueras del mismo diámetro.

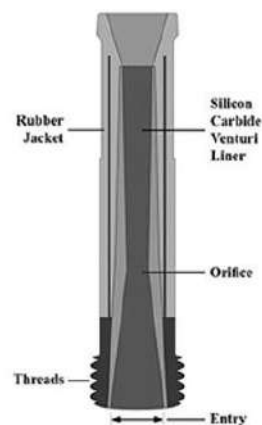


Figura 34: Boquilla de Sandblasting [18].

### **3.1.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL CICLÓN**

Se requiere un ciclón de entrada tangencial de alta capacidad debido al material que debe transportar, por lo tanto, un ciclón tipo Stairmand es el adecuado para remover partículas mayores a  $20\mu m$  [19].

### 3.1.2.1 Definimos los parámetros de entrada y calculamos las dimensiones

Para los ciclones de entrada tangencial, seleccionamos una velocidad de entrada que se encuentre dentro de este intervalo (15.2 – 27.4 m/s) un valor recomendado para el diseño de este tipo de ciclones es de 22 m/s [19].

El caudal de gas (aire) para un solo ciclón es de (0.5 – 12 m<sup>3</sup>/s) [19].

Entonces:

$$V_c = 22 \text{ m/s}$$

$$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del área del ciclón (A)

$$A = \frac{Q}{V_c} \quad (33)$$

$$A = \frac{1 \text{ m}^3/\text{s}}{22 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.045 \text{ m}^2$$

Tabla 1: Características de los ciclones de alta capacidad [19].

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón	
		Stairmand	Swift
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.75	0.8
Ancho de entrada	b/Dc	0.375	0.35
Altura de salida	S/Dc	0.875	0.85
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.75	0.75
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.7
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.0
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.7
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4
Factor de configuración	G	29.79	30.48
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	7.96
Número de vórtices	N	3.7	3.4

Área del ducto de entrada:  $a * b$

Altura de entrada ( $a$ )

$$a = 0.75 * D_c \quad (34)$$

Ancho de entrada ( $b$ )

$$b = 0.375 * D_c \quad (35)$$

Diámetro del ciclón ( $D_c$ )

$$A = a * b \quad (36)$$

$$A = (0.75 * D_c) * (0.375 * D_c)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{A}{0.75 * 0.375}} \quad (37)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{0.045 \text{ m}^2}{0.75 * 0.375}}$$

$$D_c = 0.4 \text{ m}$$

Altura de entrada al ciclón ( $a$ )

$$a = 0.75 * D_c \quad (38)$$

$$a = 0.75 * 0.4 \text{ m}$$

$$a = 0.3 \text{ m}$$



*Ancho de entrada al ciclón (b)*

$$b = 0.375 * D_c \quad (39)$$

$$b = 0.375 * 0.4 \text{ m}$$

$$b = 0.15 \text{ m}$$

*Altura de salida (s)*

$$s = 0.875 * D_c \quad (40)$$

$$s = 0.875 * 0.4 \text{ m}$$

$$s = 0.35 \text{ m}$$

*Diámetro de salida ( $D_s$ )*

$$D_s = 0.75 * D_c \quad (41)$$

$$D_s = 0.75 * 0.4 \text{ m}$$

$$D_s = 0.3 \text{ m}$$

*Altura parte cilíndrica (h)*

$$h = 1.5 * D_c \quad (42)$$

$$h = 1.5 * 0.4 \text{ m}$$

$$h = 0.6 \text{ m}$$

*Altura parte cónica (z)*

$$z = 2.5 * D_c \quad (43)$$

$$z = 2.5 * 0.4 \text{ m}$$

$$z = 1 \text{ m}$$

*Altura total del ciclón (H)*

$$H = 4 * D_c \quad (44)$$

$$H = 4 * 0.4 \text{ m}$$

$$H = 1.6 \text{ m}$$

*Diámetro salida de partículas (B)*

$$B = 0.375 * D_c \quad (45)$$

$$B = 0.375 * 0.4 \text{ m}$$

$$B = 0.15 \text{ m}$$

*Factor de configuración (G)*

$$G = 29.79$$

*Número de cabezas de velocidad (NH)*

$$NH = 8$$

*Número de vórtices (N)*

$$N = 3.7$$

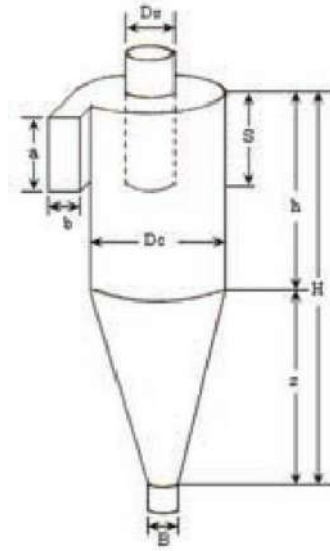


Figura 35: Dimensiones del ciclón [19].

Con los datos calculados, como el diámetro del ciclón es menor a 1m es necesario solo un ciclón.

### 3.1.2.2 Cálculo de la eficiencia del ciclón

Como primer paso se debe verificar si existe suspensión de partículas en el interior del ciclón entonces utilizamos la siguiente ecuación:

*Cálculo de la velocidad equivalente*

$$w = \sqrt[3]{\frac{4 * g * \mu * (\rho_p - \rho)}{3\rho^2}} \quad (46)$$

Donde:

*w*: Velocidad equivalente

*g*: Gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

*ρ<sub>p</sub>*: Densidad de la partícula (7400 kg/m<sup>3</sup>)

*ρ*: densidad del aire (0.933 kg/m<sup>3</sup>)

*μ*: Viscosidad dinámica del aire (1.905 \* 10<sup>-5</sup> kg/m · s)

La densidad y la viscosidad dinámica del aire son valores asumidos interpolando los valores del anexo 5 y 6 en la ciudad de Latacunga a 2770 m sobre el nivel del mar a una temperatura media anual de 19 °C (292.15 °K).

$$w = \sqrt[3]{\frac{4 * 9.81 \text{ m/s}^2 * 1.905 * 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s} * (7400 \text{ kg/m}^3 - 0.933 \text{ kg/m}^3)}{3 * (0.933 \text{ kg/m}^3)^2}}$$

$$w = 1.28 \text{ m/s}$$

*Cálculo de la velocidad de saltación*

$$V_s = \frac{4.913 * w * k_b^{0.4} * D_c^{0.67} * \sqrt[3]{V_c^2}}{\sqrt[3]{1 - k_b}} \quad (47)$$

*Donde:*

$V_s$ : *Velocidad de saltación*

$V_c$ : *Velocidad de entrada al ciclón.*

$k_b$ : *Relación del ancho de entrada vs el diámetro del ciclón.*

$$k_b = \frac{b}{D_c} \quad (48)$$

$$k_b = \frac{0.15 \text{ m}}{0.4 \text{ m}}$$

$$k_b = 0.375$$

$$V_s = \frac{4.913 * 1.28 \text{ m/s} * (0.375)^{0.4} * (0.4 \text{ m})^{0.67} * \sqrt[3]{(22 \text{ m/s})^2}}{\sqrt[3]{1 - 0.375}}$$

$$V_s = 36.69 \text{ m/s}$$

*Relación entre velocidades*

$$\frac{V_c}{V_s} < 1.35 \quad (49)$$

$$\frac{22 \text{ m/s}}{36.69 \text{ m/s}} < 1.35$$

$$0.6 < 1.35 \rightarrow OK$$

Esto quiere decir que no existe resuspensión del material particulado.

*Cálculo del volumen del ciclón evaluado sobre la salida*

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \left( s - \frac{a}{2} \right) (D_c^2 - D_s^2) \quad (50)$$

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \left( 0.35 \text{ m} - \frac{0.3 \text{ m}}{2} \right) [(0.4 \text{ m})^2 - (0.3 \text{ m})^2]$$

$$V_{sc} = 0.011 \text{ m}^3$$

*Longitud natural del ciclón*

$$L = 2.3 * D_s * \sqrt[3]{\frac{D_c^2}{a * b}} \quad (51)$$

$$L = 2.3 * 0.3 \text{ m} * \sqrt[3]{\frac{(0.4 \text{ m})^2}{0.3 \text{ m} * 0.15 \text{ m}}}$$

$$L = 1.05 \text{ m}$$

*Entonces comprobamos*

$$L < H - s \quad (52)$$

$$1.05 \text{ m} < 1.6 \text{ m} - 0.35 \text{ m}$$

$$1.05 \text{ m} < 1.25 \text{ m}$$

Al cumplir esta condición procedemos a calcular el volumen evaluado sobre la longitud natural del ciclón.

*Cálculo del factor de dimensiones lineales*

$$K_L = D_c - (D_c - B) \left( \frac{s + L - h}{z} \right) \quad (53)$$

$$K_L = 0.4 \text{ m} - (0.4 \text{ m} - 0.5 \text{ m}) \left( \frac{0.35 \text{ m} + 1.05 \text{ m} - 0.6 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right)$$

$$K_L = 0.2 \text{ m}$$

*Cálculo del volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural*

$$V_R = \frac{\pi}{4} (D_c^2) (h - s) + \frac{\pi}{12} (D_c^2) (L + s - h) \left[ 1 + \frac{K_L}{D_c} + \left( \frac{K_L}{D_c} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} (D_c^2) (L) \quad (3.54)$$

$$V_R = \frac{\pi}{4} (0.4^2) (0.6 - 0.35) + \frac{\pi}{12} (0.4^2) (1.05 + 0.35 - 0.6) \left[ 1 + \frac{0.2}{0.4} + \left( \frac{0.2}{0.4} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} (0.4^2) (1.05)$$

$$V_R = 0.0158 \text{ m}^3$$

*Cálculo del factor dimensional de las proporciones volumétricas del ciclón*

$$K_c = \frac{\left( V_{sc} + \frac{V_R}{2} \right)}{D_c^3} \quad (55)$$

$$K_c = \frac{\left(0.011 \text{ m}^3 + \frac{0.0158 \text{ m}^3}{2}\right)}{(0.4\text{m})^3}$$

$$K_c = 0.295 \text{ m}^3$$

*Cálculo de la relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón*

$$K_a = \frac{a}{D_c} \tag{56}$$

$$K_a = \frac{0.3 \text{ m}}{0.4 \text{ m}} = 0.75$$

*Cálculo de la relación entre la base de entrada y el diámetro del ciclón*

$$K_b = \frac{b}{D_c} \tag{57}$$

$$K_b = \frac{0.15 \text{ m}}{0.4 \text{ m}} = 0.375$$

*Cálculo del factor de configuración*

$$G = \frac{8 * K_c}{(K_a * K_b)^2} \tag{58}$$

$$G = \frac{8 * 0.295 \text{ m}^3}{(0.75 * 0.375)^2}$$

$$G = 29.8$$

Con este resultado podemos comprobar el valor del factor de configuración con la tabla 1.

*Cálculo del exponente de vórtice*

$$n = 1 - \left[ 1 - 0.67(D_c)^{0.14} \left( \frac{T}{283} \right)^{0.3} \right] \quad (59)$$

$$n = 1 - \left[ 1 - 0.67(0.4 \text{ m})^{0.14} \left( \frac{292.15}{283} \right)^{0.3} \right]$$

$$n = 0.595$$

*Cálculo del tiempo de relajación*

$$T_i = \frac{\rho_p * D_p^2}{18 * \mu} \quad (60)$$

*Donde:*

$D_p$ : *Diametro de la granalla metálica ver anexo 7*

$$T_i = \frac{7400 \text{ kg/m}^3 * (0.0002)^2}{18 * 1.905 * 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}$$

$$T_i = 0.86 \text{ seg}$$

*Cálculo de la eficiencia*

$$n_i = 1 - e^{\left[ -2 * \left( \frac{G * T_i * Q * (n+1)}{D_c^3} \right)^{\frac{0.5}{n+1}} \right]} \quad (61)$$

$$n_i = 1 - e^{\left[ -2 * \left( \frac{29.79 * 0.86 \text{ seg} * 1 \text{ m/s} * (0.595+1)}{(0.4 \text{ m})^3} \right)^{\frac{0.5}{0.595+1}} \right]}$$

$$n_i = 0.99 = 99\%$$



*Cálculo del número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón*

$$N_H = k \left( \frac{a * b}{D_s^2} \right) \quad (62)$$

*Donde:*

*k: Constante → 16 para ciclones de entrada tangencial [19].*

$$N_H = 16 \left( \frac{0.3 \text{ m} * 0.15 \text{ m}}{(0.3 \text{ m})^2} \right)$$

$$N_H = 8$$

*Cálculo de la caída de presión*

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho * V_i^2 * N_H \quad (63)$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} * 0.933 \text{ kg/m}^3 * (22 \text{ m/s})^2 * 8$$

$$\Delta P = 1806.29 \text{ Pa}$$

*Por lo tanto*

$$\Delta P < 2488.16 \text{ Pa} \quad (64)$$

$$1806.29 \text{ Pa} < 2488.16 \text{ Pa} \rightarrow OK$$

Al cumplir esta condición se puede decir que el ciclón es aceptable.

### 3.1.3 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL VENTILADOR

#### 3.1.3.1 Cálculo de las pérdidas de presión en los diferentes elementos

##### *Presión dinámica*

Es la presión que acelera el aire desde cero a la velocidad de operación esta se relaciona solo en la dirección del aire y viene dada por la siguiente formula [20]:

$$P_d = \frac{V_c^2}{16} \quad (65)$$

$$P_d = \frac{(22m/s)^2}{16}$$

$$P_d = 30.25 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$P_d = 296.64 \text{ Pa}$$

##### *Cálculo de pérdidas de presión en el ducto de extracción*

$$H_d = F_d * L \quad (66)$$

*Donde:*

*F<sub>d</sub>: Factor de pérdida de carga Ver Anexo 7 (4.8 mmcda/m)*

*L: Longitud del ducto (6 m)*

*Entonces:*

$$H_d = 4.8 \frac{\text{mmcda}}{\text{m}} * 6\text{m}$$

$$H_d = 28.8 \text{ mmcda}$$

$$H_d = 282.53 \text{ Pa}$$

##### *Cálculo de pérdidas de presión en las reducciones*

*Perdida de carga*

$$H_r = n * P_d \quad (67)$$

*Donde:*

*n: Coeficiente de perdidas en reducciones*

El ángulo de cambio de sección es de 15° dicho cambio se realiza de una sección circular a una rectangular en la entrada del ciclón, por lo tanto, el coeficiente n lo determinamos según el Anexo 7.

$$H_r = 0.15 * 296.64 Pa$$

$$H_r = 44.5 Pa$$

*Cálculo total de las caídas de presión*

*Sumamos todas las perdidas calculadas más un 10% por perdidas indeterminadas en el sistema.*

$$\Delta P_{TOTAL} = (\Delta P + H_d + H_r + P_d) * 1.1 \quad (68)$$

$$\Delta P_{TOTAL} = (1806.29 Pa + 282.53 Pa + 44.5 Pa + 296.64 Pa) * 1.1$$

$$\Delta P_{TOTAL} = 2673 Pa$$

### **3.1.3.2 Cálculo de la potencia requerida**

$$P_{req} = Q * \Delta P_{TOTAL} \quad (69)$$

$$P_{req} = 1 m^3/s * 2673 Pa$$

$$P_{req} = 2673 W$$

$$P_{req} = 3.58 HP$$

Entonces seleccionamos un ventilador con una potencia nominal de 4 HP.

### 3.1.3.3 Cálculo de la eficiencia del ventilador

$$n_{vent} = \frac{P_{req}}{P_{real}} \quad (70)$$

$$n_{vent} = \frac{3.58 \text{ HP}}{4 \text{ HP}} = 0.9$$

$$n_{vent} = 90\%$$

Según el catálogo de ventiladores centrífugos de la marca SODECA ver Anexo 8, en función de la potencia nominal requerida y el caudal seleccionamos un ventilador modelo CMT-1231-2T-4 IE3 con una velocidad de 2910 rpm y un caudal de  $5220 \text{ m}^3/h$ .

El caudal que se requiere para nuestro sistema es de  $3600 \text{ m}^3/h$  el ventilador estaría trabajando a una velocidad de 2007 rpm.

### 3.1.4 DISEÑO DE LA CÁMARA DE SANDBLASTING

#### 3.1.4.1 Datos de la cámara

Área entre ejes:  $7 * 4 = 98 \text{ m}^2$

Luz: 7m

Claro: 3.5m

Altura: 7m

Numero de pórticos: 5

Material del recubrimiento: Plancha laminado en frio de 1.5 mm

Ubicación: Latacunga (interior de un galpón)

Aplicación: Cámara para realizar proceso de sandblasting

Tipo de estructura: cerrada

### 3.1.4.2 Prediseño

#### Cálculo de cargas

*Carga viva de ocupación en el techo ( $L_r$ )*

Para la instalación de la lámina en el techo se necesita de 2 personas el peso calculado es el siguiente:

Peso por persona es de 70 Kg

$$L_r = 70\text{kg} * 2 = 140 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la carga viva total es igual a  $L_r$

*Carga muerta ( $D$ )*

*Peso de la plancha = 11.77 kg/m<sup>2</sup> ver Anexo 9*

$$P_{\text{plancha}} = 11.77 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 3.5\text{m} = 41.2 \text{ kg/m}$$

*Peso del perfil IPE 200 = 22.4 kg/m ver Anexo 10*

*Peso del perfil cuadrado 90x3mm = 8.01 kg/m ver Anexo 11*

$$P_{P.\text{cuadrado}} = 5 * 14 * 8.01 \text{ kg/m} = 560.7 \text{ kg}$$

$$P_{P.\text{cuadrado}} = \frac{560.7 \text{ kg}}{98\text{m}^2}$$

$$P_{P.\text{cuadrado}} = 5.72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 3.5\text{m} = 20.02 \text{ kg/m}$$

$$D = P_{\text{plancha}} + P_{\text{IPE}} + P_{P.\text{cuadrado}}$$

$$D = 41.2 \text{ kg/m} + 22.4 \text{ kg/m} + 20.02 \text{ kg/m}$$

$$D = 83.62 \text{ kg/m}$$

$$D = 0.84 \text{ kg/cm}$$

El valor de la carga muerta que ingresamos en el software de diseño por elementos finitos es de  $D = 0.41 \text{ kg/cm}$  despreciando el peso de los perfiles debido a que el programa asume automáticamente.

*Carga de sismo (E)*

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * D \quad (71)$$

*Donde:*

*Z: Factor de zona sísmica (0.40)*

*I: Coeficiente de importancia (1)*

*R: Factor de reducción de zona sísmica (7)*

*$\phi_p$ : Coeficiente de regularidad en planta (1)*

*$\phi_e$ : Coeficiente de regularidad en elevación (1)*

$$C = \frac{1.25S^S}{T} \leq C_m \quad (72)$$

*Donde:*

*T: Período de vibración*

*$C_m$ : Espectro de sismo (3)*

*S: Coeficiente de suelo (1.2)*

$$T = C_t(h_n)^\alpha \quad (73)$$

*$C_t$  y  $\alpha$ : Coeficientes que dependen del tipo de edificio ((0.072 y 0.8) pórticos de acero)*

$h_n$ : Altura total de la cámara (7m)

$$T = 0.072(7m)^{0.8}$$

$$T = 0.34$$

$$C = \frac{1.25(1.2)^{1.2}}{0.34} \leq C_m$$

$$C = 4.58 \leq C_m$$

$$C = 4.58 \leq 3$$

Como  $C > C_m$  entonces  $C = 3$

$$V = \frac{0.40 * 1 * 3}{7 * 1 * 1} * D$$

$$V = 0.17 * D$$

### 3.1.4.3 Diseño por elementos finitos

*Modelación de la estructura*

*La estructura de la cámara tiene la siguiente configuración geométrica.*

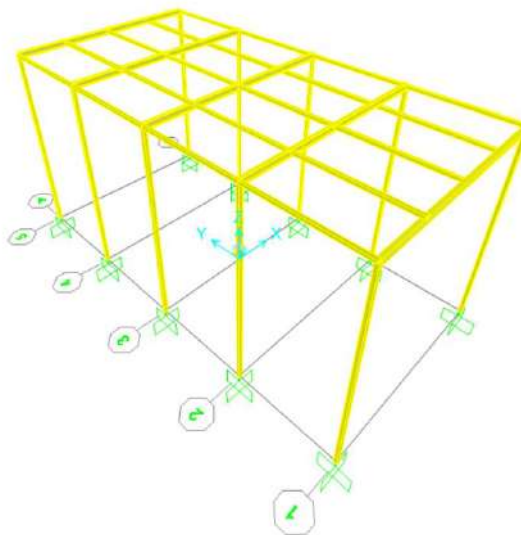


Figura 36: Configuración geométrica.

Ingresamos todos los parámetros en el software de diseño por elementos finitos y tenemos los valores máximos de esfuerzo cortante, momento y deflexión en las vigas principales, secundarias y en las columnas.

*Viga principal IPE 200*

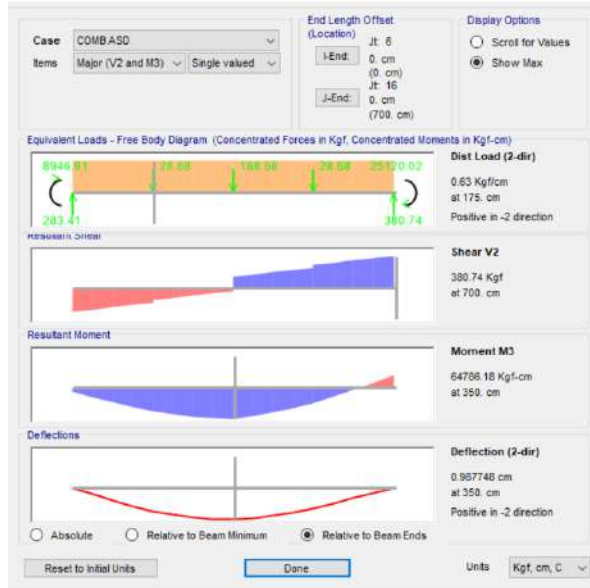


Figura 37: Resultados viga principal IPE 200.

*Viga secundaria cuadrada 90x3mm*

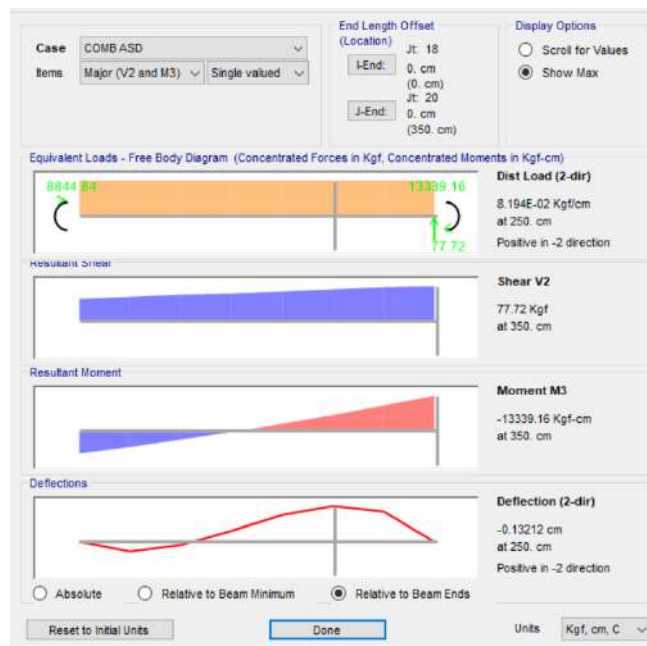
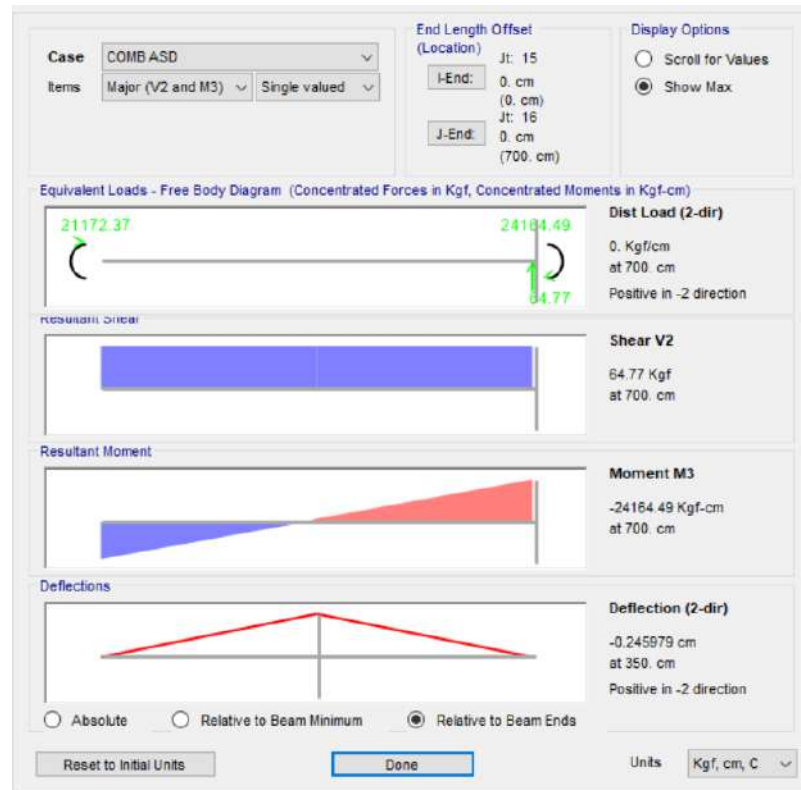


Figura 38: Resultados viga secundaria TC 90x3mm.



*Columna cuadrada 100x3mm*



*Figura 39: Resultados columna cuadrada 100x3mm.*

En la figura 40 podemos observar las razones de esfuerzos en los diferentes elementos de la estructura se visualiza en una escala de colores, el mayor valor que se tiene es de 0.318 representado con el color celeste, garantizando un margen de seguridad alrededor del 68%.

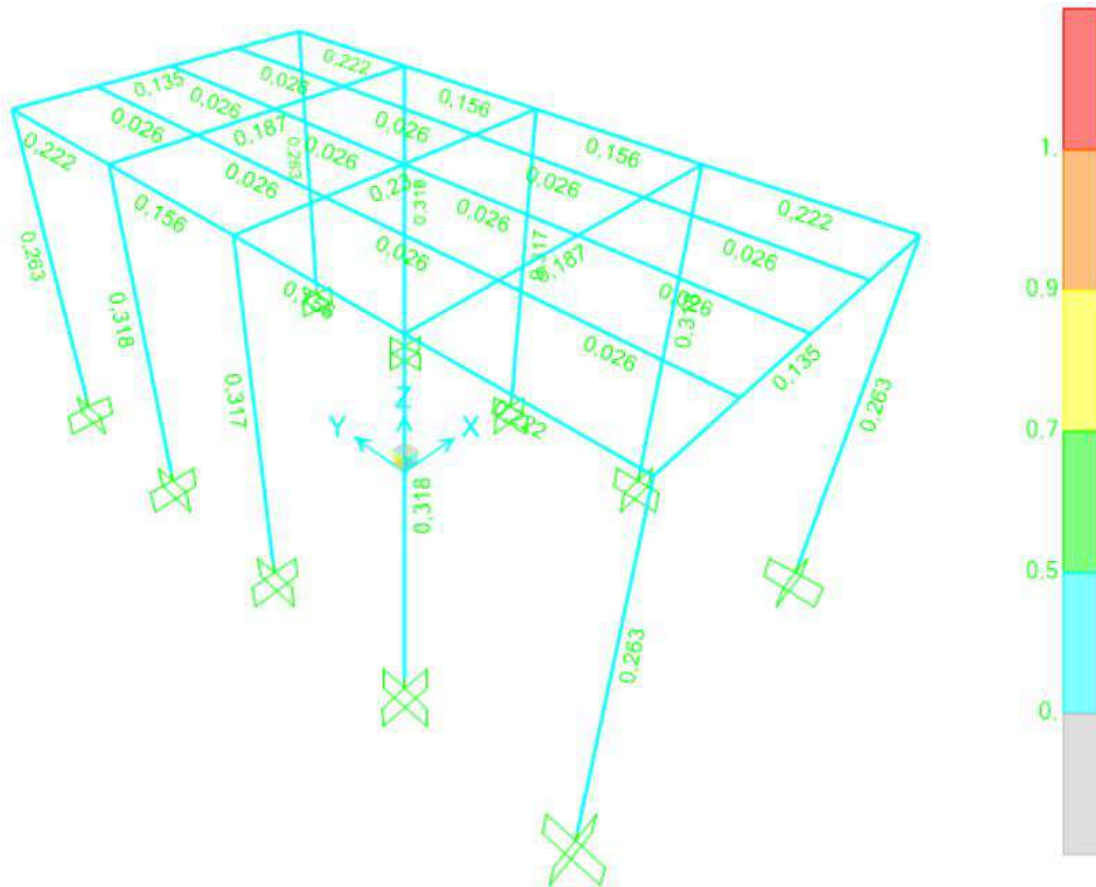


Figura 40: Resultados razones de esfuerzos.

### 3.1.4.4 Diseño de la placa base

Para el diseño de la placa base debe tomarse en cuenta la que se encuentre sometida a la mayor fuerza de compresión es decir en la dirección Z y al mayor momento sea este en  $M_x$  o  $M_y$ , por lo tanto, según los datos extraídos del software de diseño el nodo que cumple con las características presenta los siguientes datos:

$$F_z = 473 \text{ kgf}$$

$$M_y = 21173 \text{ kgf/cm}$$

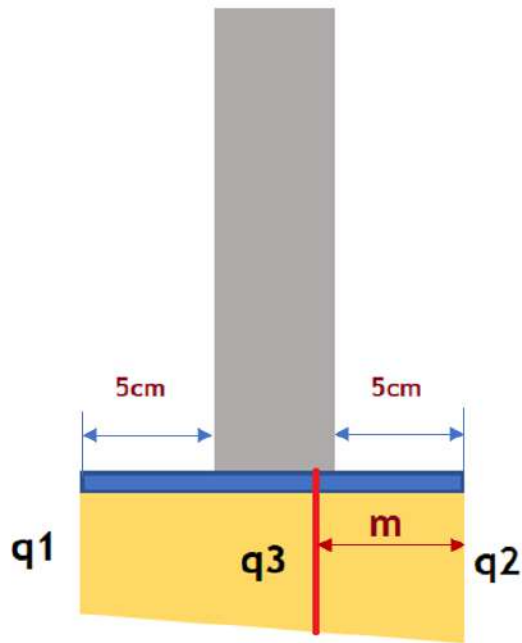


Figura 41: Representación placa base y columna.

Las dimensiones de la placa base esta dado en función de las medidas de la columna cuadrada que es de 10cm, para facilitar el anclaje se debe asignar una distancia denominada x que es de 5cm a cada lado por lo tanto la placa base será de 20x20cm.

Como la columna es un perfil cuadrado de acero el momento ultimo actúa un 5% hacia dentro de la columna por lo tanto la distancia m se determina con la siguiente ecuación.

$$m = x + 5\% \text{ de la columna} \quad (74)$$

$$m = 5\text{cm} + 5\%(10\text{cm})$$

$$m = 5.5 \text{ cm}$$

Cálculo de las reacciones  $q_1$  y  $q_2$

$$q = \frac{P}{b * h} \pm \frac{6M_y}{h * b^2} \quad (75)$$

Donde:

$P$ : Carga de compresión en dirección Z

*b*: Base de la placa

*h*: Altura de la placa

*M*: Momento máximo en *My*

$$q_1 = \frac{473 \text{kgf}}{20 \text{cm} * 20 \text{cm}} + \frac{6 * 21173 \text{ kgf/cm}}{20 \text{cm} * (20 \text{cm})^2}$$

$$q_1 = 17.06 \text{ kgf/cm}^2$$

$$q_2 = \frac{P}{b * h} - \frac{6M_y}{h * b^2}$$

$$q_2 = \frac{473 \text{kgf}}{20 \text{cm} * 20 \text{cm}} - \frac{6 * 21173 \text{ kgf/cm}}{20 \text{cm} * (20 \text{cm})^2}$$

$$q_2 = -14.7 \text{ kgf/cm}^2$$

La reacción  $q_3$  se calcula por relación de triángulos

$$q_3 = \frac{(q_1 - q_2)(b - m)}{b} + q_2 \quad (76)$$

$$q_3 = \frac{[170.6 \text{ kgf/cm}^2 - (-14.7 \text{ kgf/cm}^2)](20 \text{cm} - 5.5 \text{cm})}{20 \text{cm}} + (-14.7 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$q_3 = 8.33 \text{ kgf/cm}^2$$

Cálculo del momento último que actúa en la placa

$$M = \left( \frac{q_3 * m}{2} * \frac{m}{3} + \frac{q_1 * m}{2} * \frac{2m}{3} \right) * b \quad (77)$$

$$M = \left( \frac{q_3 * m^2}{6} + \frac{q_1 * 2m^2}{6} \right) * b$$

$$M = \left( \frac{q_3 * m^2 + q_1 * 2m^2}{6} \right) * b$$

$$M = m^2 * b \left( \frac{q_3 + 2q_1}{6} \right)$$

$$M = (5.5cm)^2 * 20cm \left( \frac{8.33 kgf/cm^2 + 2(17.06 kgf/cm^2)}{6} \right)$$

$$M = 4281 kgf/cm$$

*Cálculo del espesor de la placa base*

$$t = \sqrt{\frac{6M}{F_y * h}} \quad (78)$$

$$t = \sqrt{\frac{6(4281 kgf/cm)}{2530 kgf/cm^2 * 20cm}}$$

$$t = 0.71cm = 7.1mm$$

El espesor de la placa base para la estructura es de 8mm.

### **3.1.4.5 Diseño de la soldadura**

*Cálculo de soldadura entre la columna y la viga IPE 200*

Del programa de diseño por elemento finitos sacamos los siguientes datos:

$$M(\text{máx}) = 6353.35 N \cdot m$$

$$V(\text{máx}) = 3733.81 N$$

En el alma del perfil analizamos esfuerzo cortante.

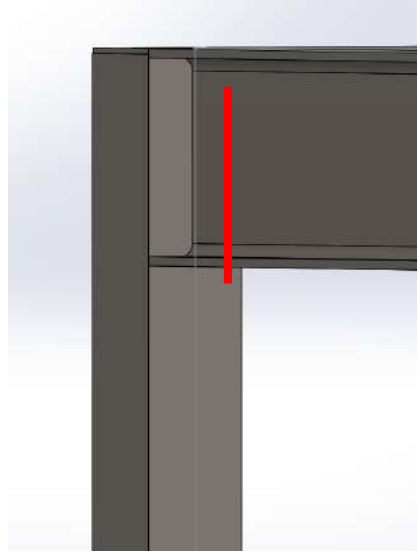


Figura 42: Soldadura a cortante.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (79)$$

Entonces:

$$A = b * h$$

$$A = 0.159m * 0.0056m$$

$$A = 8.9 * 10^{-4}m^2$$

$$\tau = \frac{3733.81 N}{8.9 * 10^{-4}m^2}$$

$$\tau = 4.19 MPa$$

$$\tau < 0.60 F_{EXX}$$

$$4.19 MPa < 0.60 (424MPa)$$

$$4.19 MPa < 254.4 MPa \rightarrow OK$$

Los patines del perfil analizamos a esfuerzo por flexión.

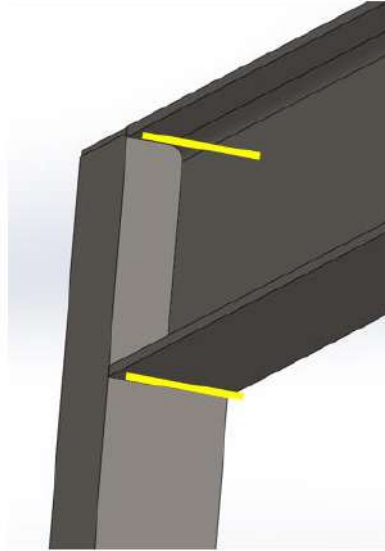


Figura 43: Soldadura a flexión.

$$M = F * d \quad (80)$$

$$F = \frac{M}{d}$$

$$F = \frac{6353.35 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.2 \text{ m}}$$

$$F = 31766.75 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (81)$$

$$A = b * h$$

$$A = 0.1 \text{ m} * 0.0085 \text{ m}$$

$$A = 8.5 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{31766.75 \text{ N}}{2(8.5 * 10^{-4} \text{ m}^2)}$$

$$\sigma = 18.69 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 0.60 F_{EXX}$$

$$18.69 \text{ MPa} < 0.60 (424 \text{ MPa})$$

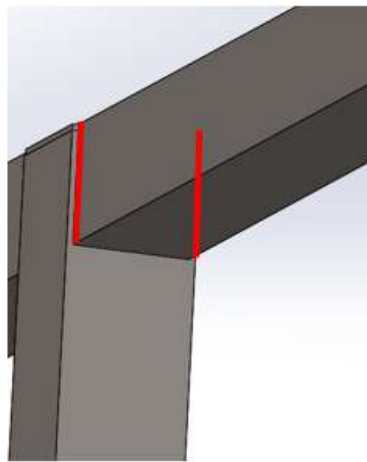
$$18.69 \text{ MPa} < 254.4 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

*Cálculo de soldadura entre la columna y la viga cuadrada 90x3mm*

$$M(\text{máx}) = 1234.43 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$V(\text{máx}) = 796.54 \text{ N}$$

La soldadura en sentido vertical analizamos a esfuerzo cortante.



*Figura 44: Soldadura a cortante.*

$$\tau = \frac{V}{A}$$

*Entonces:*

$$A = y * \cos(45^\circ) * b$$

$$A = 0.003\text{m} * \cos(45^\circ) * 0.09\text{m}$$

$$A = 1.91 * 10^{-4}\text{m}^2$$

$$\tau = \frac{796.54 \text{ N}}{2(1.91 * 10^{-4}\text{m}^2)}$$

$$\tau = 2.09 \text{ MPa}$$

$$\tau < 0.60 F_{EXX}$$



$$2.09 \text{ MPa} < 0.60 (424 \text{ MPa})$$

$$2.09 \text{ MPa} < 254.4 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

La soldadura en sentido horizontal analizamos a esfuerzo a flexión.

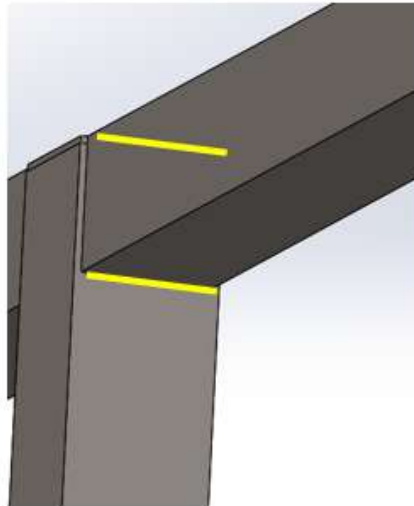


Figura 45: Soldadura a flexión.

$$M = F * d$$

$$F = \frac{M}{d}$$

$$F = \frac{1234.43 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.09 \text{ m}}$$

$$F = 13715.89 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{13715.89 \text{ N}}{2(1.91 * 10^{-4} \text{ m}^2)}$$

$$\sigma = 35.91 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 0.60 F_{EXX}$$

$$35.91 \text{ MPa} < 0.60 (424 \text{ MPa})$$

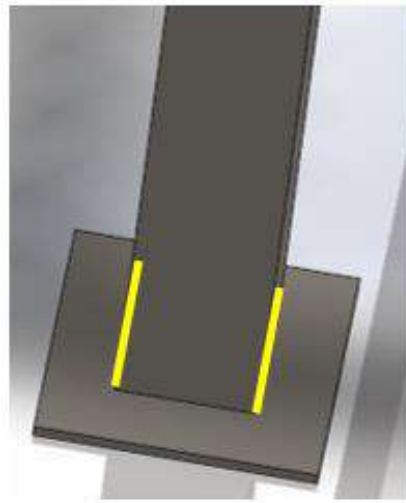
$$35.91 \text{ MPa} < 254.4 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

*Cálculo de soldadura entre la columna y la placa base*

$$M(\text{máx}) = 2076.3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$V(\text{máx}) = 635.15 \text{ N}$$

En esta parte analizamos la soldadura a esfuerzo a flexión



*Figura 46: Soldadura a flexión.*

$$M = F * d$$

$$F = \frac{M}{d}$$

$$F = \frac{2076.3 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.1 \text{ m}}$$

$$F = 20763 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

*Entonces:*

$$A = y * \cos(45^\circ) * b$$

$$A = 0.003\text{m} * \cos(45^\circ) * 0.1\text{m}$$

$$A = 2.12 * 10^{-4} m^2$$

$$\sigma = \frac{20763 N}{2(2.12 * 10^{-4} m^2)}$$

$$\sigma = 48.94 MPa$$

$$\sigma < 0.60 F_{EXX}$$

$$48.94 MPa < 0.60 (424 MPa)$$

$$48.94 MPa < 254.4 MPa \rightarrow OK$$

### 3.1.4.6 Plan de mantenimiento

#### *Mantenimiento en la tova de almacenamiento y en el ciclón stairmand*

Es un dispositivo simple una de las ventajas principales es que poseen un fácil y rápido mantenimiento a un bajo costo, a continuación, detallamos las principales acciones de mantenimiento que deben realizarse para mantener el dispositivo en óptimas condiciones de funcionamiento y extender la vida útil del mismo [21]:

- Limpieza de todo el dispositivo con aire a presión cada trimestre.
- Control y lubricación en el ventilador cada 6 meses.
- Control y verificación de obstrucciones de las partículas principalmente en el ventilador u otras partes que conforman el sistema una vez al mes.

El mantenimiento de este sistema se lo puede realizar con un sistema de aire o agua expulsada a presión, se lo realiza este proceso para evitar que el material particulado se quede atascado en los conductos o en el mismo ciclón y de esta forma evitar grandes obstrucciones [21].

#### *Mantenimiento en la cámara de sandblasting*

Para un adecuado mantenimiento de la cabina de sandblasting se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones [22]:

- Se debe realizar una inspección periódica cada 6 meses en los componentes que están expuestos indirectamente al impacto del chorro abrasivo como son (pistola de aplicación, boquilla y las paredes de la cámara).
- Mediante una inspección visual anual verificar el estado del recubrimiento (pintura) de la cámara tanto interna como externa para evitar el desgaste por corrosión.
- Realizar un control periódico cada 6 meses de los cauchos de las puertas de la cámara ya que con el uso y el tiempo pueden presentar fugas del abrasivo y afectar a la salud de los operadores.
- Realizar una limpieza de la cámara de acuerdo a la frecuencia de utilización de la misma.

### 3.1.4.7 Planos y estudio de costos

#### Planos

Los planos del proyecto se los puede visualizar en el Anexo 11.

#### Presupuesto

##### *Diseño e ingeniería*

*Tabla 2: Descripción de gastos de diseño e ingeniería.*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Autor	Horas	600	2,5	1500
2	Profesionales asesores	Horas	10	5	50
3	Asesoría especial	Horas	20	10	200
TOTAL					1750

*Equipos y maquinaria*

*Tabla 3: Descripción de gastos de materiales de construcción y elementos de la máquina.*

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Tubo cuadrado 100x3mm (6m)	12	92,47	1109,64
2	Tubo cuadrado 90x3mm (6m)	26	82,66	2149,16
3	Tubo cuadrado 30x1,5mm (6m)	21	13,42	281,82
4	Canal C 5025x2mm	14	14,96	209,44
5	Viga IPE 200 (6m)	6	231,17	1387,02
6	Viga HBE 120 (6m)	3	275,54	826,62
7	Lámina en frío 1.5mm (m2)	700	20,26	14182
8	Plancha de acero de 8mm (m2)	1	107,91	107,91
9	Plancha de acero de 5mm (m2)	42	39,21	1646,82
10	Plancha de acero de 3mm (m2)	15	23,53	352,95
11	Ángulo L laminado 50x3mm (6m)	3	23,82	71,46
12	Tubo redondo de 25,4x2mm (6m)	4	11,87	47,48
13	Tubería redonda galvanizada 25,4x2mm (6m)	3	16,68	50,04
14	Válvula de bola de 1"	9	12,5	112,5
15	Válvula check de 1"	3	26,6	79,8
16	Válvula POP-UP	3	258	774
17	Válvula dosificadora	3	1187	3561
18	Válvula de seguridad	3	187,5	562,5
19	Manguera para sandblasting (m)	25	52	1300
20	Manguera de poliuretano flexible de 6"	15	32,8	492
21	Boquilla para sandblasting	1	298,48	298,48
22	Manómetro 150 PSI	3	20,85	62,55
23	Ventilador centrífugo	1	3900	3900
24	Rueda de acero tipo V	8	8,9	71,2
25	Tornillo autoroscante 1/4x13mm (caja)	50	2,5	125
TOTAL				33761,39

*Mano de obra*

*Tabla 4: Descripción de gastos por mano de obra.*

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Sericio de torno	Horas	24	10	240
2	Servicio de Dobladora	Horas	40	3	120
3	Soldador	Mes	2	1200	2400
4	Taladro	Horas	24	2	48
5	Ensamble	Mes	4	600	2400
TOTAL					5208

*Presupuesto total*

*Tabla 5: Descripción del presupuesto total.*

<b>Costos directos</b>	<b>Subtotal</b>
Diseño e Ingeniería	1750
Materiales y elementos de construcción	33761,39
Mano de obra	5208
<b>TOTAL</b>	<b>40719,39</b>

## **CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES**

- En este proyecto se determinó los parámetros de diseño en función de las solicitudes de la empresa para el óptimo diseño de la cámara de sandblasting como son las medidas del recipiente más grande que va a ingresar en la cámara y el tipo de material abrasivo con el cual funcionara el sistema para la limpieza de la superficie metálica.
- El diseño realizado en este proyecto cumple con las necesidades de la empresa además de contar con un sistema de recirculación de la granalla metálica logrando reducir los tiempos de producción y adquiriendo innovación en el proceso de limpieza mecánica. Para el mencionado sistema se utilizó un ciclón tipo Stairmand de alta capacidad el mismo que cuenta con un ventilador centrifugo (SODECA CMT-1231-2T-4 IE3) para generar el flujo de aire adecuado brindando un excelente funcionamiento al ciclón y en cuanto a la estructura metálica de la cámara cumple los requerimientos de la norma ecuatoriana de construcción y AWS D1.1.
- Se realizo un plan de mantenimiento adecuado para mantener todo el sistema y la cámara de sandblasting en perfectas condiciones para garantizar su funcionamiento y de esta forma evitar inconvenientes en el proceso de producción por fallas imprevistas, evitando pérdidas de tiempo y económicas a la empresa.
- Tras el análisis del sistema mediante un software de diseño por elementos finitos para garantizar los cálculos realizados, procedemos a la elaboración de los planos y el presupuesto que necesitaría la empresa para poner en práctica la construcción del proyecto.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Para el correcto diseño del proyecto es necesario enfocarse en los requerimientos iniciales tanto físicos como mecánicos de tal modo que al considerar cada uno de ellos se generará un adecuado diseño cubriendo todas las necesidades y de esta forma evitar un rediseño.
- En el diseño de la cámara se debe tener en cuenta el uso de normas o códigos para poder sustentar el mismo y además es de gran ayuda manejar un software de diseño por elementos finitos para realizar simulaciones y obtener resultados más precisos.
- Emplear el plan de mantenimiento a los equipos a su debido tiempo para no generar complicaciones, en el caso de requerir un plan más detallado se recomienda hacerlo por medio de una matriz AMFE ya que esta se utiliza para estimar y predecir fallos que pueden ocurrir en la fase de diseño ayudando a reducir tiempos y costos en el proceso.
- Se recomienda a parte de los planos de despiece elaborar planos de taller con sus respectivos códigos para de esta manera facilitar la construcción y mantenimiento del proyecto.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Romero, Artist, *Implementacion de Máquina Arenadora para limpieza de autopartes automotrices*. [Art]. Universidad Internacional del Ecuador , 2021.
- [2] S. Torres, Artist, *Diseño y construcción de un prototipo de una estación de limpieza mecánica mediante el proceso de sandblasting utilizando granalla mineral en ciclo continuo para una unidad de mantenimiento y transporte*. [Art]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2013.
- [3] S. I. & I. C. Ltda., «Tanques de lodos de perforación del taladro CCDC 28, empresa CNPC,» S2i, 16 05 2019. [En línea]. Available: <http://s2i.com.ec/index.php/component/k2/item/33-sand-blasting-y-pinturade-tanques-de-lodos-de-perforacion-del-taladro-ccdc-28-empresa-cnpc>. [Último acceso: 21 12 2021].
- [4] A. Espinosa, Artist, *Diseño y simulación de una cabina de sandblasting con sistema de recirculacion de granalla para valvulas tipo compuerta de 4" de diametro*. [Art]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, 2015.
- [5] J. Parrales, Artist, *Prevención de incendios en tanques de almacenamiento de petróleo crudo*. [Art]. Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.
- [6] F. Rodríguez, Artist, *Guía del código ASME sección VIII división 1 tomo 1*. [Art]. Esime Azcapotzalco I.P.N.
- [7] J. Massa, J. Giro y A. Giudici, Artists, *Compendio de cálculo estructural II*. [Art]. FCEFyU - UNC, 2015.

- [8] F. Díaz, Artist, *Recipientes a presión*. [Art]. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, 2018.
- [9] A. Iza, Artist, *Diseño y simulación de un tanque hidroneumático vertical para el almacenamiento de agua, con capacidad de 400 GL para la empresa P MEC S.A. según la norma asme sección VIII división I*. [Art]. Escuela Politécnica Nacional , 2015.
- [10] *Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión VIII Division 1*, 2021.
- [11] M. Mateus y D. Vivas, Artists, *Mantenimiento de tanques Hidrostaticos de techo fijo para la industria petrolera*. [Art]. Escuela Politecnica Nacional , 2007.
- [12] L. Romero, Artist, *Elaboracion de procedimientos para la inspección técnica, mantenimiento y reparación de tanques a presión para el almacenamiento de G.L.P.*. [Art]. Escuela Politecnica Nacional , 2013.
- [13] C. Materiales, «Preparación de Superficie - Norma SSPC,» CYM MATERIALES S.A. Soluciones Industriales, Brazil, 2015.
- [14] F. Ramirez, «Recubrimientos Anticorrosivos,» EIC, Mexico, 2016.
- [15] «SAND BLASTING COLOMBIA SAS.,» [En línea]. Available: <https://www.sandblastingcolombia.com/sandblasting-chorro-de-arena-y-granallado/diferencias-entre-samblasteado-granallado-y-arenado-en-bogota-colombia>. [Último acceso: 18 Febrero 2022].
- [16] J. Martínez, Artist, *Diseño de una máquina de Sand-Blasting para vidrio, para la empresa industrias vitales S.A.S.*. [Art]. Fundación Universidad de América, 2016.

- [17] *ECUAMANGUERAS*, 2022.
- [18] *Columbec del Ecuador*, 2019.
- [19] C. Echeverri, Artist, *Diseño Óptimo de Ciclones*. [Art]. Universidad de Medellín, 2006.
- [20] S. Palau, Cálculos y aplicación práctica para una correcta circulación de aire por conductos, España, 2012.
- [21] D. Pilay y L. Gavidia, Artists, *Estudio y Diseño de un Ciclón para el control de Partículas para una empresa Productora de Libros en la ciudad de Guayaquil*.. [Art]. Universidad Politécnica Salesiana , 2020.
- [22] J. Lozada y D. Preciado, Artists, *Construcción de una cabina para limpieza superficial de probetas de soldadura mediante chorro de arena*.. [Art]. Escuela Politécnica Nacional , 2008.
- [23] I. Zuriguel, Artist, *Flujo y atascos de un medio granular en la descarga de silos*. [Art]. Universidad de Navarra, 2005.
- [24] *ABRASIVOS Y MAQUINARIA S.A.*, 2020.
- [25] *DISMETAL*, 2022.
- [26] *IMPORTACEROS*, 2022.
- [27] E. Megyesy, Artist, *Manual de recipientes a presión*. [Art]. Universidad de Tulsa , 1992.

## ANEXOS

### *Anexo I: Preparación de la superficie.*

<b>PINTURA</b>		
<b>TABLA III, ESPECIFICACIONES PARA LA PREPARACION DE SUPERFICIES</b>		
Referencia a la Tabla I	Titulo y objetivo	Número de especificación
1	<b>LIMPIEZA CON DISOLVENTES</b> Eliminación de aceite, grasa, mugre, tierra natural, sales y contaminantes con disolventes, emulsiones, compuestos para limpieza o vapor de agua.	SSPC-SP 1-63
2	<b>LIMPIEZA CON HERRAMIENTAS DE MANO</b> Eliminación de escamas de laminación sueltas, herrumbre y pintura sueltas cepillando, lijando, raspano o eliminando las rebabas a mano o con otras herramientas manuales de impacto, o por combinación de estos métodos.	SSPC-SP 2-63
3	<b>LIMPIEZA CON MAQUINAS HERRAMIENTAS</b> Eliminación de escamas de laminación sueltas, herrumbre y pintura sueltas con cepillos de alambre, herramientas de impacto, esmeriles y lijadoras mecánicas o por combinación de estos métodos.	SSPC-SP 3-63
4	<b>LIMPIEZA A LA FLAMA DEL ACERO NUEVO</b> Eliminación de escamas, herrumbre y otras materias extrañas perjudiciales por medio de llamas oxiacetilénicas de alta velocidad, seguida por la limpieza con cepillo de alambre.	SSPC-SP 4-63
5	<b>LIMPIEZA A METAL BLANCO CON CHORRO A PRESION</b> Eliminación de escamas de laminación, herrumbre, de oxidación, pintura o materia extraña por medio de chorro de arena, moyuelo o munición hasta obtener una superficie metálica de color uniforme blanco grisáceo.	SSPC-SP 5-63
6	<b>LIMPIEZA COMERCIAL CON CHORRO A PRESION</b> Eliminación completa de las escamas de laminación, herrumbre, escamas de oxidación, pintura o materia extraña, excepto las sombras, rayaduras o decoloraciones ligeras ocasionadas por la oxidación, el manchado, los óxidos de escamas de laminación y los residuos de pintura o recubrimientos que pueden quedar.	SSPC-SP 6-63
7	<b>LIMPIEZA DE CEPILLADO PROFUNDO A CHORRO DE PRESION</b> Eliminación de todos los residuos, excepto los de alto grado de adherencia de las escamas de laminación, herrumbre y pintura mediante el impacto de abrasivos. (Arena, moyuelo o munición).	SSPC-SP 7-63
8	<b>LIMPIEZA QUIMICA</b> Eliminación completa de las escamas de laminación, herrumbre y escamas de oxidación por reacción química, electrólisis, o por ambos procesos. La superficie debe quedar sin restos de ácido, álcali y lodos que no hayan reaccionado o sean perjudiciales.	SSPC-SP 8-63
10	<b>LIMPIEZA A CHORRO HASTA LOGRAR UNA SUPERFICIE CASI BLANCA</b> Eliminación de casi toda la escama de laminación, herrumbre, escamas de oxidación, pintura o materia extraña por medio de abrasivos (arena, moyuelo, munición). Pueden quedar las sombras, rayaduras o decoloraciones muy ligeras producidas por manchas de oxidación, óxidos de escamas de laminación o residuos ligeros muy adheridos de pintura o recubrimientos.	SSPC-SP 10-63T

**Anexo 2: Características del medio granular [23].**

grupo	material	masa (mg)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e$	$\theta_i$	$d_s$ (mm)	$d_l$ (mm)	$d_{eq}$
1	vidrio	1.3 ± 0.4	2.4 ± 0.1	0.97 ± 0.03	26 ± 1°			1.04 ± 0.01
2	vidrio	10.1 ± 0.3	2.2 ± 0.1	0.97 ± 0.03	26 ± 1°			2.06 ± 0.02
3	vidrio	34.7 ± 0.4	2.4 ± 0.1	0.97 ± 0.03	27 ± 1°			3.04 ± 0.02
4	vidrio	11.1 ± 3.9	2.4 ± 0.1	0.97 ± 0.03	29 ± 1°			2.06 ± 0.24
5	vidrio	26.0 ± 2.1	2.5 ± 0.1	0.97 ± 0.03	26 ± 1°			2.70 ± 0.08
6	plomo	46.0 ± 3.8	11.4 ± 0.5	0.49 ± 0.1	25 ± 1°			1.98 ± 0.06
7	plomo	150 ± 14	10.9 ± 0.5	0.49 ± 0.09	27 ± 1°			3.0 ± 0.1
8	delrin	18.9 ± 0.3	1.34 ± 0.05	0.92 ± 0.02	29 ± 1°			3.00 ± 0.02
9	acero	4.0 ± 0.1	7.6 ± 0.3	0.97 ± 0.03	27 ± 1°			1.00 ± 0.01
10	bolillos	6.0 ± 0.5	1.7 ± 0.2		31 ± 1°	1.85 ± 0.2	1.95 ± 0.02	1.9 ± 0.2
11	lentejas	33 ± 5	1.3 ± 0.5		38 ± 1°	2.44 ± 0.04	4.4 ± 0.4	3.6 ± 0.2
12	arroz	16 ± 3	1.2 ± 0.4		42 ± 1°	2.0 ± 0.2	6.6 ± 0.8	3.0 ± 0.3

Tabla 3.3. Propiedades de los diferentes tipos de partículas.  $\rho$  es la densidad del material,  $\theta_i$  es el ángulo con el que se desarrolla una avalancha en una pila granular y  $e$  es el coeficiente de restitución de las partículas al chocar contra una placa de vidrio. Para partículas no esféricas  $d_s$  y  $d_l$  son el diámetro menor y mayor respectivamente.  $d_{eq}$  es el diámetro equivalente a una esfera con el mismo volumen que el grano. Los errores mostrados son la desviación estándar obtenida con varias mediciones.

**Anexo 3: Resumen de ecuaciones para calcular el espesor del cuerpo bajo presión interna.**

Ecuaciones para calcular el espesor del cuerpo bajo presión interna			
		$t \leq R/2$	$t > R/2$
Esfuerzos circunferenciales	$P \leq 0.385 * S * E$	UG-27(C)(1), Appendices 1-1(a)(1) Or 1-2(a)(1)	Apéndice 1-2(a)(1)
	$P > 0.385 * S * E$	Apéndices 1-2(a)(1)	Apéndice 1-2(a)(1)
Esfuerzos longitudinales	$P \leq 1.25 * S * E$	UG-27(C)(2)	--
	$P > 1.25 * S * E$	Apéndice 1-2(b)(3)	Apéndice 1-2(b)(3)

**Anexo 4: especificaciones de soldadura cuadrada a tope según AWS D1.1**

Square-groove weld (1)  
Butt joint (B)

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation			Allowed Welding Positions	Weld Size (S)	Notes
		$T_1$	$T_2$	Root Opening	Tolerances				
					As Detailed (see 5.4.2.2)	As Fit-Up (see 5.4.2.7)			
SMAW	B-P1a	1/8	—	$R = 0$ to 1/16	+1/16, -0	±1/16	All	$T_1 - 1/32$	b
	B-P1c	1/4 max.	—	$R = \frac{T_1}{2}$ min.	+1/16, -0	±1/16	All	$\frac{T_1}{2}$	b
GMAW FCAW	B-P1a-GF	1/8	—	$R = 0$ to 1/16	+1/16, -0	±1/16	All	$T_1 - 1/32$	b, e
	B-P1c-GF	1/4 max.	—	$R = \frac{T_1}{2}$ min.	+1/16, -0	±1/16	All	$\frac{T_1}{2}$	b, e



Anexo 4: especificaciones del electrodo INDURA E-6011.

SISTEMA ARCO MANUAL

<b>INDURA 6011</b>	<b>Clasificación AWS: E-6011 / E-4311</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrodo para acero al carbono</li> <li>• Revestimiento celulósico potásico. Color canela</li> <li>• Corriente continua, electrodo positivo o corriente alterna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toda posición</li> <li>• <b>Certificado por Canadian Welding Bureau y</b> anualmente por American Bureau of Shipping y Lloyd's Register of Shipping</li> </ul>

Descripción

El electrodo 6011 posee un revestimiento de tipo celulósico diseñado para ser usado con corriente alterna, pero también se le puede usar con corriente continua, electrodo positivo.

La rápida solidificación del metal depositado facilita la soldadura en posición vertical y sobrecabeza.

El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de deposición (soldadura).

Usos

Este electrodo es apto para ser utilizado en todas las aplicaciones de soldadura en acero dulce, especialmente en trabajos donde se requiera alta penetración.

Aplicaciones típicas

- Cordón de raíz en cañerías
- Cañerías de oleoductos
- Reparaciones generales
- Estructuras
- Planchas galvanizadas

Procedimiento para soldar

Debe seguirse el mismo procedimiento utilizado para soldar con un electrodo E-6010.

Composición química (típica) del metal depositado:				
C 0,11%; Mn 0,41%; Si 0,23%; P 0,010%; S 0,017%				
Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.1/A5.1M-04):				
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos	
Resistencia a la tracción : 495 MPa	430 MPa	34J a -30°C	27J a -30°C	
Límite de fluencia : 424 MPa	330 MPa			
Alargamiento en 50 mm : 27%	22%			
Amperajes recomendados:				
Diámetro mm	Longitud mm	Amperaje		Electrodos x kg aprox.
		mín.	máx.	
2,4	300	50	90	74
3,2	350	80	120	34
4,0	350	120	160	24
4,8	350	160	220	17

*Anexo 5: Valores de la densidad del aire ambiente para alturas varias [16].*

**Tabla C-1. Valores de la Densidad del Aire Ambiente para Alturas Varias**

Altitud (metros)	Valores de la densidad del aire ambiente		
	Mínimo (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Máximo (kg/m <sup>3</sup> )
0	1,1405	1,2254	1,3167
305	1,1101	1,1886	1,2735
610	1,0812	1,1533	1,2302
914	1,0524	1,1197	1,2222
1000	1,0444	1,1101	1,1902
1219	1,0252	1,0861	1,1501
1524	0,9996	1,0556	1,1133
1829	0,9739	1,0236	1,0764
2000	0,9595	1,0076	1,0572
2134	0,9483	0,9931	1,0412
2438	0,9243	0,9643	1,0060
2743	0,8986	0,9355	0,9723
3000	0,8794	0,9115	0,9467
3048	0,8762	0,9082	0,9419

*Anexo 6: Viscosidad dinámica del aire a diferentes temperaturas [16].*

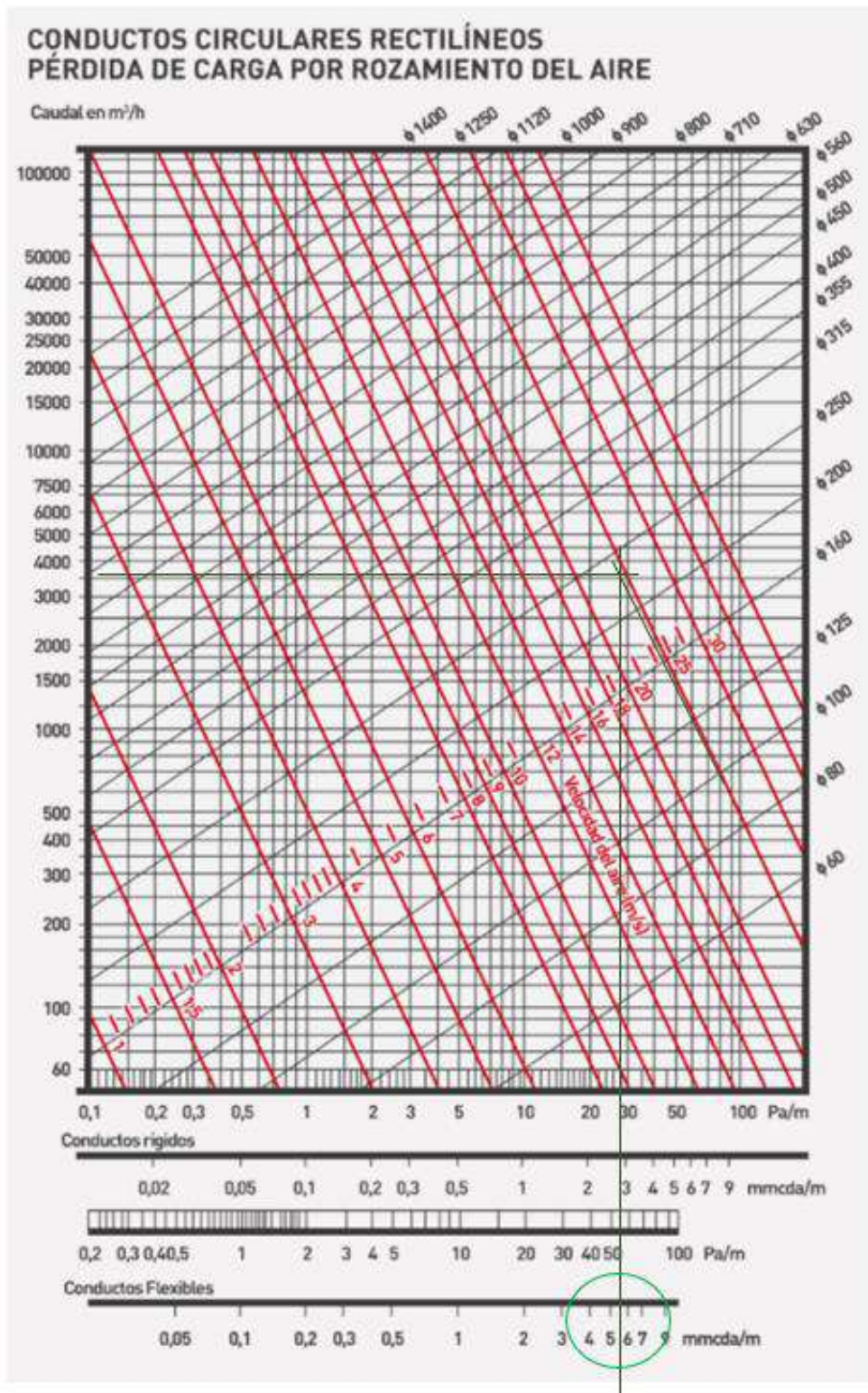
Temperatura (K)	Densidad $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico $c_p$ (kJ/kg°C)	Conductividad térmica $k$ (W/m°C)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^5$ (Kg/m.seg)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /seg)
100	3,6010	1,027	0,0092	0,692	1,92
150	2,3675	1,010	0,0137	1,028	4,34
200	1,7684	1,006	0,0181	1,329	7,49
250	1,4128	1,005	0,0223	1,488	10,53
300	1,1774	1,006	0,0262	1,983	16,84
400	0,8826	1,014	0,0336	2,286	25,90
500	0,7048	1,030	0,0404	2,671	37,90
600	0,5879	1,055	0,0466	3,018	51,34
700	0,5030	1,075	0,0523	3,332	66,25
800	0,4405	1,098	0,0578	3,625	82,29
900	0,3925	1,121	0,0628	3,899	99,30
1000	0,3524	1,142	0,0675	4,152	117,80
1200	0,2947	1,179	0,0782	4,690	159,10
1400	0,2515	1,214	0,0891	5,170	205,50
1600	0,2211	1,248	0,1000	5,630	254,50
1800	0,1970	1,287	0,1110	6,070	308,10
2000	0,1762	1,338	0,1240	6,500	369,00
2500	0,1394	1,688	0,1750	7,570	543,50

*Anexo 6: Diámetro de la granalla metálica [24].*

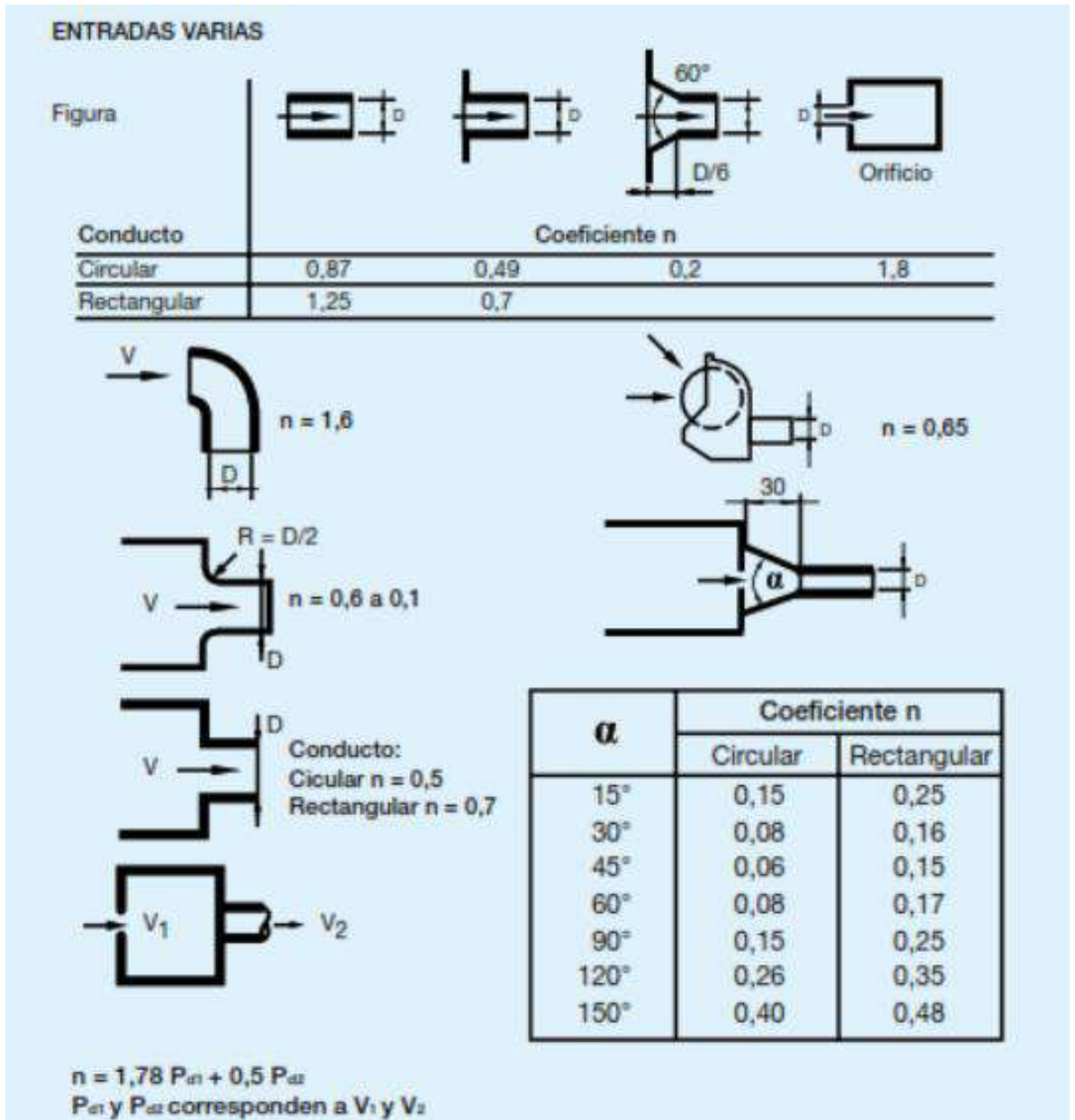
GRANULOMETRÍA		
esférica	mm.	angular
S-70	0,2	G-80
S-110	0,3	G-50
S-170	0,4	G-40
S-230	0,6	—
S-280	0,7	G-25
S-330	0,8	—
S-390	1,0	G-18
S-460	1,2	G-16
S-550	1,4	G-14
S-660	1,7	G-12
S-780	2,0	G-10



Anexo 6: Conductos circulares rectilíneos pérdida de carga por rozamiento del aire [20].

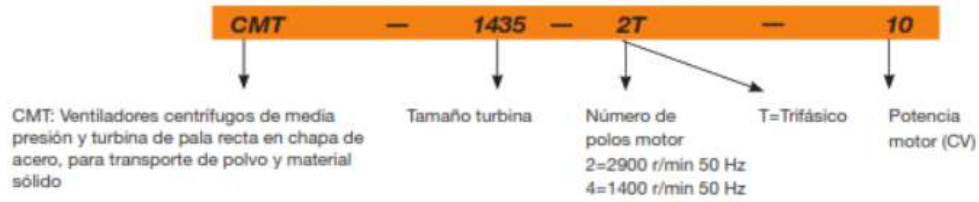


Anexo 7: Coeficiente  $n$  de pérdidas de carga en diferentes entradas [20].



## Anexo 8: Catalogo de ventiladores centrífugos de la marca SODECA

### Código de pedido



### Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V	690V				
CMT-922-2T IE3	2830	4,03	2,34		1,10	2180	71	23
CMT-922-4T	1380	2,92	1,69		0,55	1080	66	20
CMT-1025-2T IE3	2875	5,34	3,07		1,50	2850	74	35
CMT-1025-4T	1380	2,92	1,69		0,55	1390	70	27
CMT-1128-2T IE3	2910	7,32	4,21		2,20	4500	76	42
CMT-1128-4T	1380	2,92	1,69		0,55	2250	72	30
CMT-1231-2T-4 IE3	2910	10,00	5,77		3,00	5220	78	57
CMT-1231-2T-5.5 IE3	2900	13,00	7,50		4,00	6300	79	79
CMT-1231-4T IE3	1455	4,07	2,34		1,10	3000	73	47
CMT-1435-2T-7.5 IE3	2930		10,10	5,86	5,50	7800	85	109
CMT-1435-2T-10 IE3	2930		14,10	8,17	7,50	8260	87	91
CMT-1435-4T IE3	1435	7,93	4,56		2,20	4175	76	63
CMT-1640-2T-7.5 IE3	2930		10,10	5,86	5,50	5600	88	119
CMT-1640-2T-10 IE3	2930		14,10	8,17	7,50	9600	90	101
CMT-1640-4T IE3	1435	7,93	4,56		2,20	4800	77	79
CMT-1845-2T-10 IE3	2930		14,10	8,17	7,50	5000	89	151
CMT-1845-2T-15 IE3	2945		20,00	11,60	11,00	10500	91	215
CMT-1845-2T-20 IE3	2945		27,70	16,10	15,00	13000	94	218
CMT-1845-4T IE3	1450	13,90	8,00		4,00	8200	80	146
CMT-2050-2T-25 IE3	2945		33,90	19,70	18,50	8500	98	242
CMT-2050-2T-30 IE3	2950		39,70	23,00	22,00	13600	99	275
CMT-2050-4T IE3	1465		10,30	5,97	5,50	11300	85	183



*Anexo 9: Catalogo DISMETAL de planchas de acero laminado en frio [25].*

ESPESOR	DIMENSIONES		PESO
mm	ancho	largo	kg.
	mm	mm	
0.50	1220	2440	11.69
0.70	1220	2440	16.36
0.75	1220	2440	17.53
0.90	1220	2440	21.03
1.00	1220	2440	23.37
1.10	1220	2440	25.71
1.20	1220	2440	28.04
1.50	1220	2440	35.06
1.90	1220	2440	44.40
2.00	1220	2440	46.74

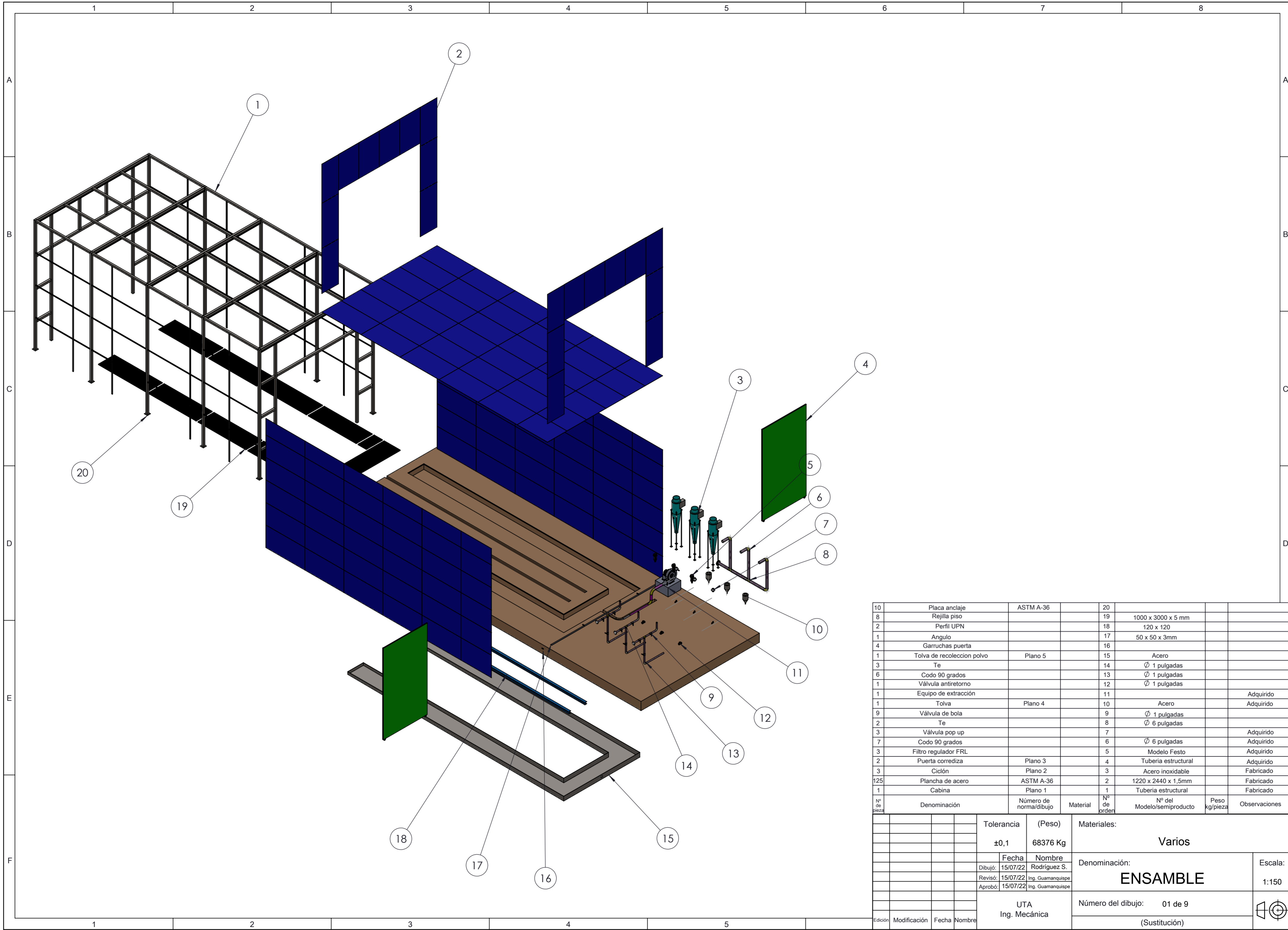
*Anexo 10: Catalogo IMPORTACEROS de perfiles IPE de acero [26].*

PERFILES IPE																					
Perfil	Dimensiones							Términos de la sección										Agujeros			Peso p kp/m
	h mm	b mm	e mm	e <sub>t</sub> mm	r mm	h <sub>1</sub> mm	u mm	A cm	S <sub>x</sub> cm <sup>2</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>5</sup>	w mm	a mm	e <sub>2</sub> mm	
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118			3,8	6,00
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,3	19,7	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	1,140	351			4,1	8,10
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,2	30,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	1,770	890	35		4,4	10,4
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,4	44,2	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	2,630	1981	40	11	4,7	12,9
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,1	61,9	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	3,640	3959	44	13	5	15,8
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,9	83,2	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	5,060	7431	48	13	5,3	18,8
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,5	110	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	6,670	12990	52	13	5,6	22,4
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	848	33,4	143	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	9,150	22670	58	17	5,9	26,2
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	190	922	39,1	183	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	12,00	37390	65	17	6,2	30,7
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	220	1040	45,9	242	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	15,40	70580	72	21	6,6	36,1
IPE 300	300	150	7,1	10,7	15	249	1160	53,8	314	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	20,10	125900	80	23	7,1	42,2

*Anexo 10: Catalogo IMPORTACEROS de perfiles cuadrados de acero [26].*

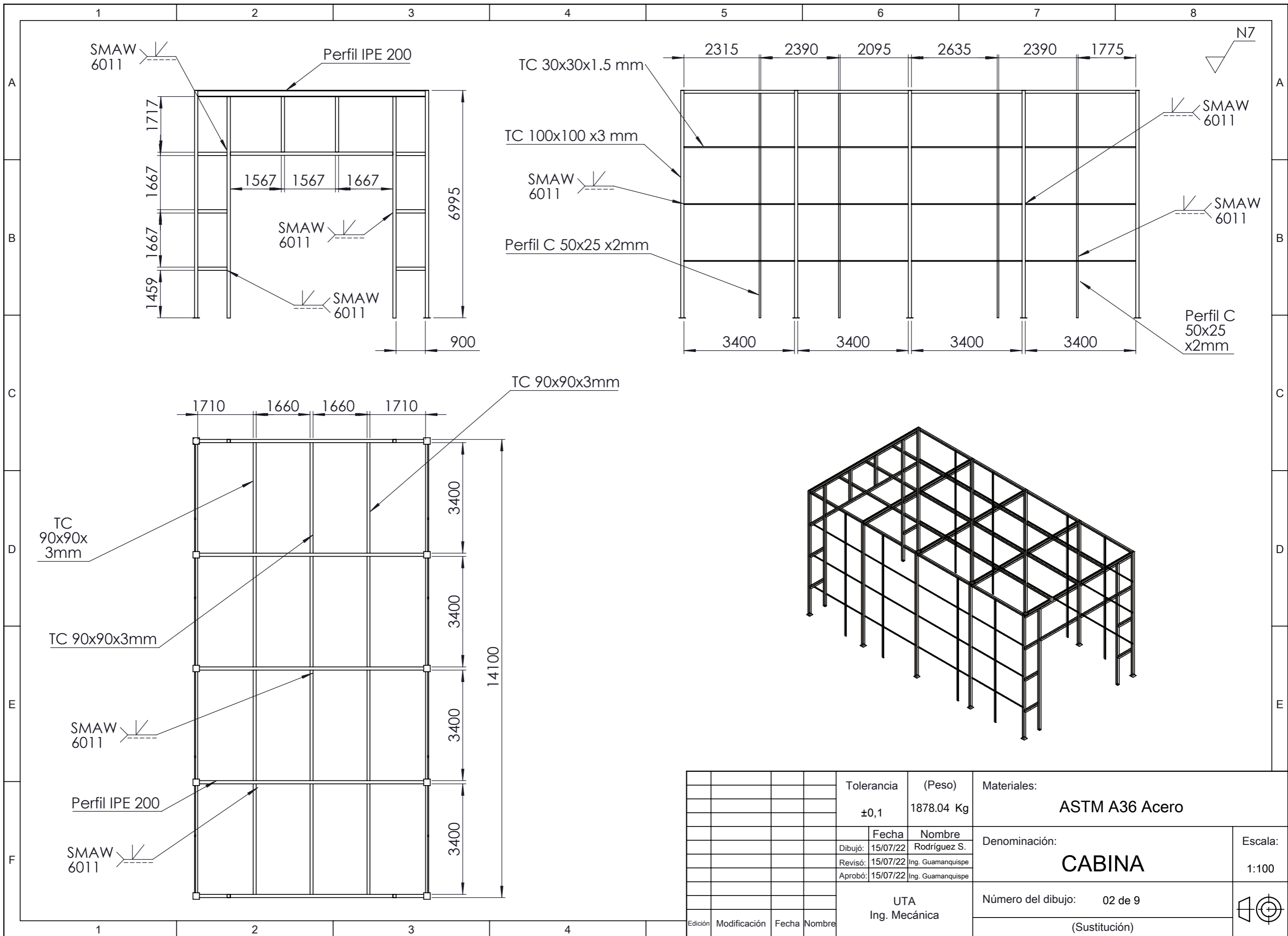
Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
				Eje x-x = y-y		
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	I
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
75	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87
90	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94	3,59
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	8,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53
	4,00	13,35	10,48	162,02	36,01	3,48
100	1,80	6,99	5,48	111,62	22,32	4,00
	2,00	7,74	6,07	123,01	24,60	3,99
	2,50	9,59	7,53	150,65	30,13	3,96
	3,00	11,41	8,96	177,08	35,42	3,94
	4,00	14,95	11,73	226,46	45,29	3,89
	5,00	18,36	14,41	271,36	54,27	3,84
	6,00	21,63	16,98	312,00	62,40	3,80

*Anexo 11: Planos de las máquinas y equipos que conforman el proyecto.*



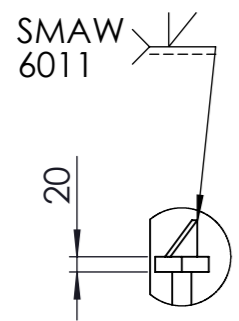
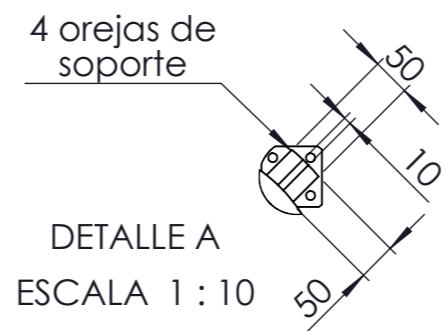
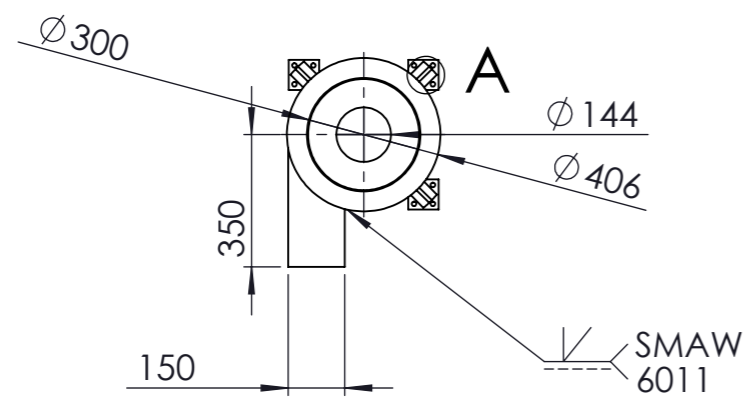
10	Placa anclaje	ASTM A-36	20				
8	Rejilla piso		19	1000 x 3000 x 5 mm			
2	Perfil UPN		18	120 x 120			
1	Angulo		17	50 x 50 x 3mm			
4	Garruchas puerta		16				
1	Tolva de recoleccion polvo	Plano 5	15	Acero			
3	Te		14	Ø 1 pulgadas			
6	Codo 90 grados		13	Ø 1 pulgadas			
1	Válvula antiretorno		12	Ø 1 pulgadas			
1	Equipo de extracción		11			Adquirido	
1	Tolva	Plano 4	10	Acero		Adquirido	
9	Válvula de bola		9	Ø 1 pulgadas			
2	Te		8	Ø 6 pulgadas			
3	Válvula pop up		7			Adquirido	
7	Codo 90 grados		6	Ø 6 pulgadas		Adquirido	
3	Filtro regulador FRL		5	Modelo Festo		Adquirido	
2	Puerta corrediza	Plano 3	4	Tubería estructural		Adquirido	
3	Ciclón	Plano 2	3	Acero inoxidable		Fabricado	
125	Plancha de acero	ASTM A-36	2	1220 x 2440 x 1.5mm		Fabricado	
1	Cabina	Plano 1	1	Tubería estructural		Fabricado	
Nº de pieza	Denominación	Número de norma/dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo/semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones

		Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
		±0,1	68376 Kg	Varios		
		Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
		Dibujó: 15/07/22	Rodríguez S.	ENSAMBLE		1:150
		Revisó: 15/07/22	Ing. Guamanquispe	Número del dibujo: 01 de 9		
		Aprobó: 15/07/22	Ing. Guamanquispe	(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica		

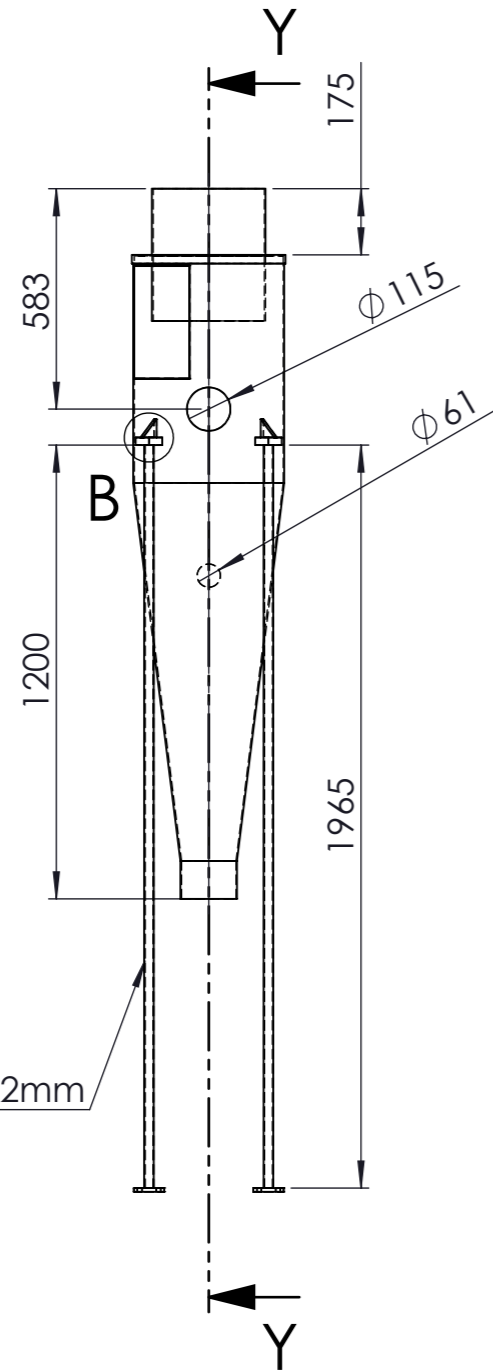


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1878.04 Kg	ASTM A36 Acero	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	15/07/22	Rodríguez S.	
				Revisó:	15/07/22	Ing. Guamanquispe	
				Aprobó:	15/07/22	Ing. Guamanquispe	Escala:
				UTA		Número del dibujo: 02 de 9	
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Escala:
							1:100

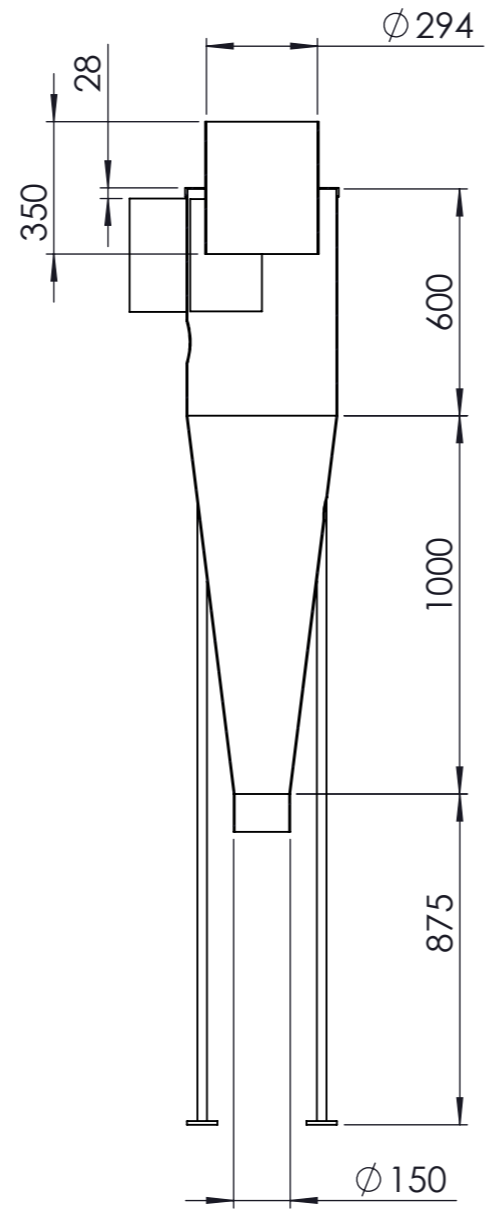




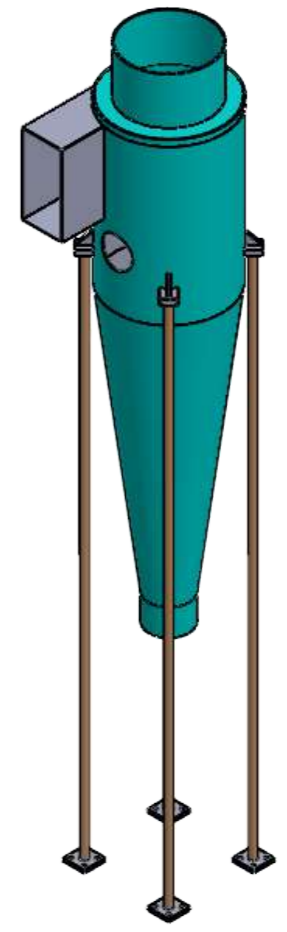
DETALLE B  
ESCALA 1 : 10



Tubo redondo 25.4 x2mm

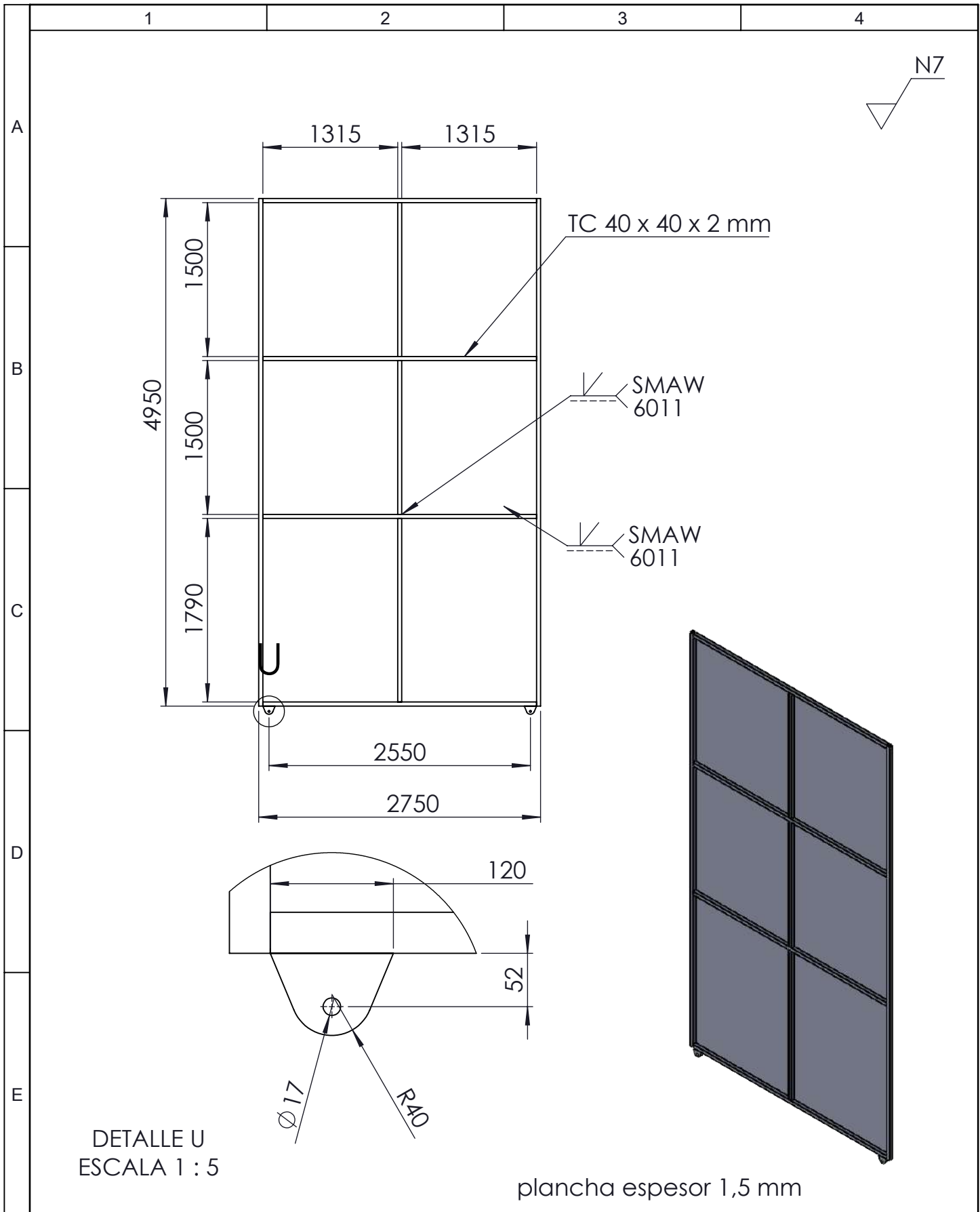


SECCIÓN Y-Y



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	61.92 Kg	ASTM A36 Acero	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 15/07/22	Rodríguez S.	<b>CICLÓN STAIRMAND</b>	1:20
				Revisó: 15/07/22	Ing. Guamanquispe		
				Aprobó: 15/07/22	Ing. Guamanquispe		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 03 de 9	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

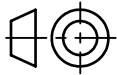


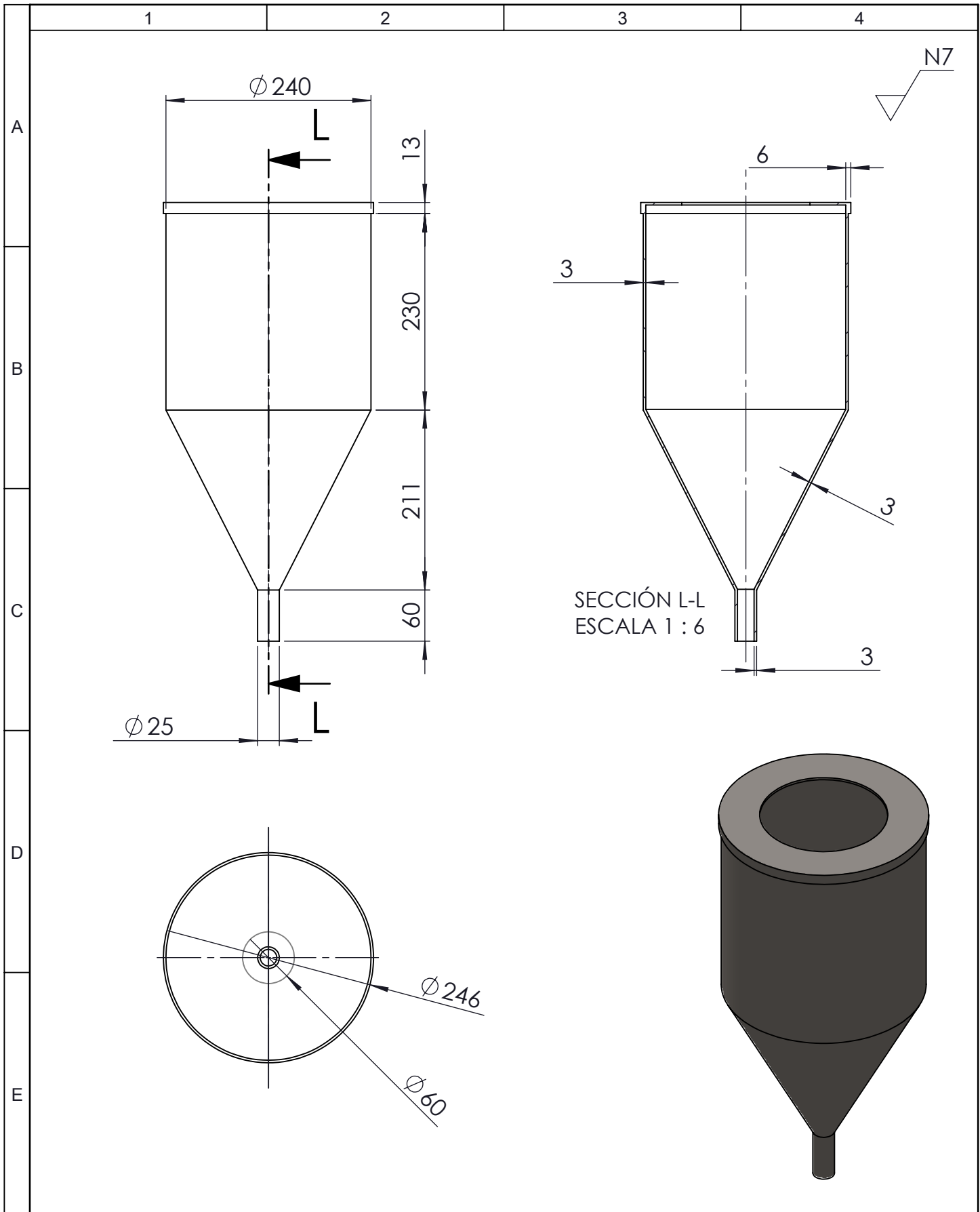


DETALLE U  
ESCALA 1 : 5

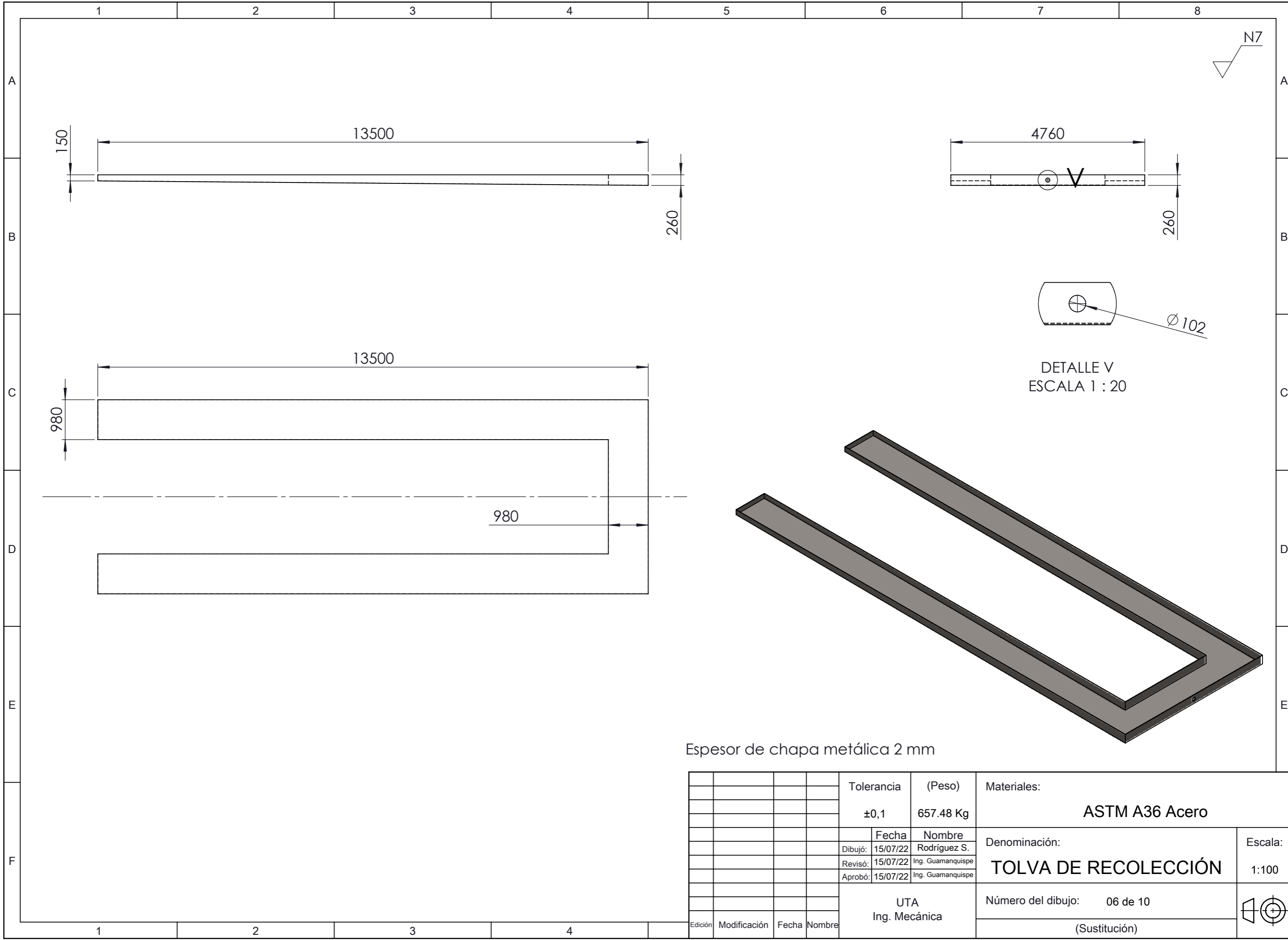
plancha espesor 1,5 mm

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1000 Kg	ASTM A36 Acero	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 15/07/22	Rodríguez J		
				Revisó: 15/07/22	Ing. Guamanquispe		
				Aprobó: 15/07/22	Ing. Guamanquispe		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 04 de 9	1:50
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	





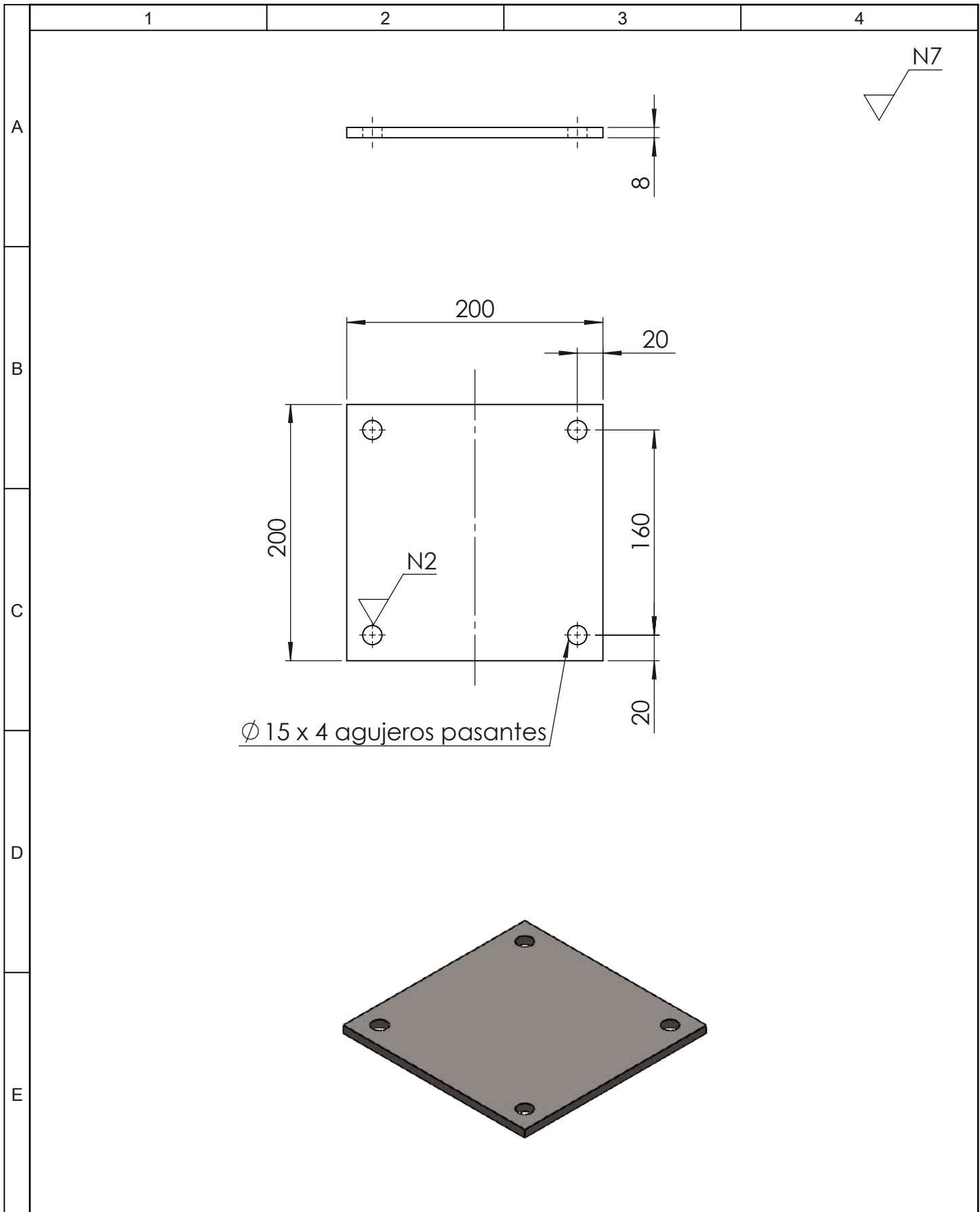
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	7.46 Kg	ASTM A36 Acero	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 15/07/22	Rodríguez S.		
				Revisó: 15/07/22	Ing. Guamanquispe		
				Aprobó: 15/07/22	Ing. Guamanquispe	TOLVA	1:6
				UTA Ing. Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



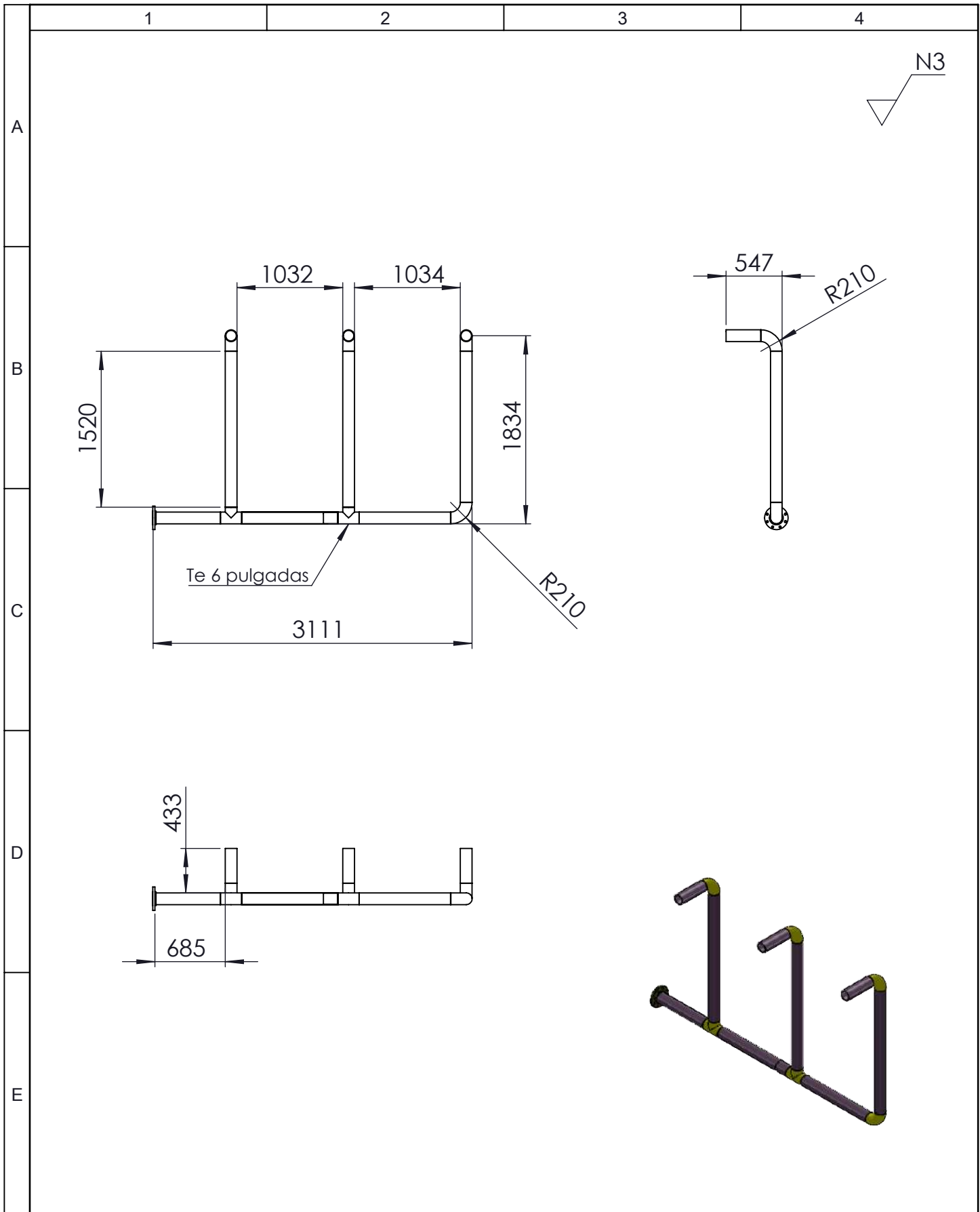
DETALLE V  
 ESCALA 1 : 20  
 $\phi 102$

Espesor de chapa metálica 2 mm

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	657.48 Kg	ASTM A36 Acero	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	15/07/22	Rodríguez S.	
				Revisó:	15/07/22	Ing. Guamanquispe	
				Aprobó:	15/07/22	Ing. Guamanquispe	TOLVA DE RECOLECCIÓN
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 06 de 10	
						(Sustitución)	Escala: 1:100
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

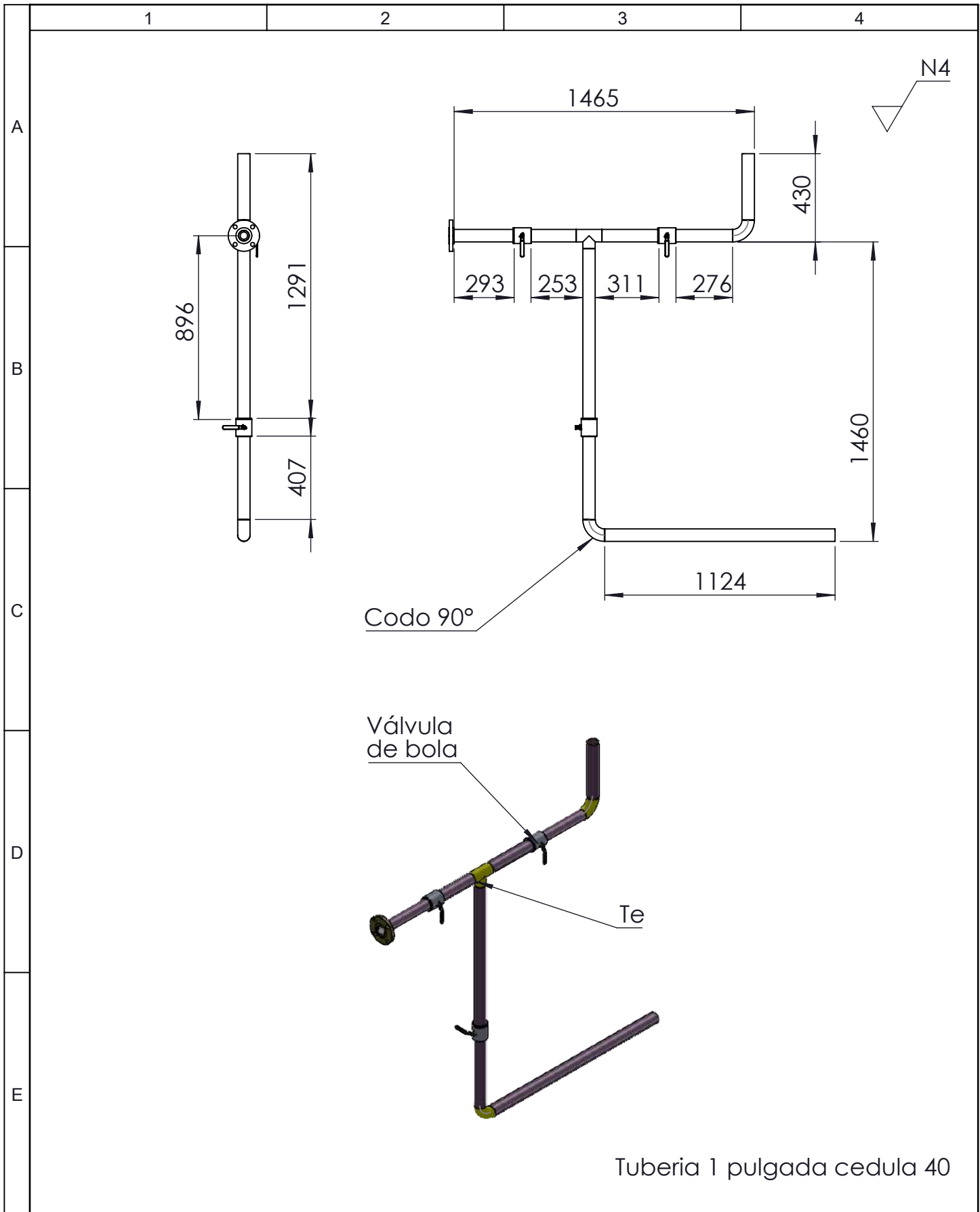


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2.47 Kg	ASTM A36 Acero	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	15/07/22	Rodríguez S.		
			Revisó:	15/07/22	Ing. Guamanquispe		
				Aprobó:	15/07/22	Ing. Guamanquispe	1:4
				UTA		Número del dibujo:	
				Ing. Mecánica		07 de 9	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



N3

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				±0,1	10.52 Kg	Poluuretano			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
			Dibujó:	15/07/22	Rodríguez S.			MANGUERA	1:50
			Revisó:	15/07/22	Ing. Guamanquispe				
				Aprobó:	15/07/22	Ing. Guamanquispe			
				UTA		Número del dibujo:	08 de 9		
				Ing. Mecánica		(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				±0,1	9.23 Kg	ASTM A36 Acero			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
			Dibujó:	15/07/22	Rodríguez S.			<b>TUBERIA</b>	1:50
			Revisó:	15/07/22	Ing. Guamanquispe				
			Aprobó:	15/07/22	Ing. Guamanquispe				
				UTA		Número del dibujo:	09 de 9		
				Ing. Mecánica		(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						