



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional de Rosario.



Departamento de Ingeniería Mecánica

Cátedra – Proyecto Final

**Diseño y cálculo de un silo de fibra de vidrio para  
almacenamiento de urea granular**

Profesor Titular:

Ingeniero Javier Masetro

Auxiliares:

Ingeniero Néstor Gazquez

Ingeniero Andrés Bressan

Ingeniero Pablo Tosto

Proyecto realizado por:

Chaula, José Luis

Título de Grado que se aspira – Ingeniero Mecánico

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecer a mis padres, Edit y Ricardo, quienes supieron darme las primeras herramientas para avanzar en este camino, y siempre me han apoyado para nunca baje los brazos.

Luego, un especial agradecimiento a aquellas personas que contribuyeron enormemente a la realización de este proyecto, Ing. Santiago Di Nardo e Ing. Pablo del Bo. Gracias a su gentil aporte se pudieron obtener datos y materiales para la realización del proyecto en general, y, particularmente, los ensayos y experimentos, claves para el desarrollo.

Continuando, reconocer y agradecer profundamente al Ing. Mariano Serenelli, quien generosamente y con gran paciencia ha sabido guiarme en materia de metodología experimental y tratamiento de errores, parte fundamental de este proyecto.

Agradecer y mencionar la gran ayuda recibida por el Ing. Juan Sismondi, durante la etapa de cálculos estructurales, la del Ing. Mauro Zocco, durante la ejecución de ensayos en el laboratorio del DAT, junto con la colaboración de Ing. Diego Gazquez, quién facilitó el contacto, y la contribución del Ing. Leonardo Ferra, en la ejecución de ensayos de humedad en el laboratorio de química de la Universidad Tecnológica Nacional, FRRo.

Mi reconocimiento para todos los compañeros y amigos encontrados durante esta etapa, particularmente al Ing. Pablo Eugster, con quien hemos compartido gran parte de la carrera, llegando a forjar una gran amistad, siempre apoyándonos para poder conseguir nuestro objetivo.

Por último, mostrar mi más sincero agradecimiento a mi tutor, Ing. Javier Masetro, quien en todo momento estuvo a disposición para ayudarme y guiarme a lo largo del proyecto, transmitiendo sus conocimientos y experiencia, para que pueda alcanzar la meta planteada.

A todos, GRACIAS.

---

**ÍNDICE GENERAL**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	PROBLEMÁTICA .....	2
1.2	JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3	OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5	CONDICIONES DE CONTORNO .....	3
1.6	ALCANCE DEL PROYECTO.....	4
1.7	TRABAJOS FUTUROS .....	4
<b>2</b>	<b>PLANIFICACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>6</b>
3.1	MATERIAL ALMACENADO: UREA.....	6
3.1.1	Proceso de obtención de urea.....	6
3.1.2	Propiedades de la Urea.....	7
3.1.3	Apelmazamiento .....	11
3.1.4	Comportamiento en el suelo.....	13
3.1.5	Papel nutricional.....	13
3.2	ALMACENAMIENTO EN SILOS .....	14
3.2.1	Propiedades de flujo de sólidos .....	14
3.2.2	Propiedades de falla .....	14
3.2.3	Formación de arcos en la descarga.....	20
3.2.4	Tipos de flujos en silos.....	21
3.2.5	Perfiles de presión en silos .....	22
3.2.6	Descarga de silos.....	24
3.2.7	Apertura de descarga y ángulo .....	25
3.2.8	Factor de flujo y diseño de la descarga .....	26
3.2.9	Resumen sobre estudios en teorías de comportamiento de silos .....	27
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>29</b>
4.1	PRESIONES LATERALES DURANTE EL LLENADO .....	29
4.2	PRESIONES LATERALES DURANTE EL VACIADO: FLUJO MÁSSICO.....	30
<b>5</b>	<b>TÉCNICAS Y FORMULACIONES.....</b>	<b>31</b>

---

5.1	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	31
5.1.1	Experimentos realizados con materia seca .....	32
5.1.2	Experimento de consolidación .....	45
5.1.3	Experimentos realizados con material húmeda .....	53
5.2	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL CONSTRUCTIVO PRFV .....	63
<b>6</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>67</b>
6.1	DISEÑO GENERAL Y CÁLCULOS DE RESISTENCIA .....	67
6.1.1	Pre diseño .....	67
6.1.2	Cálculo de esfuerzos.....	69
<b>7</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO .....</b>	<b>87</b>
7.1	ESTUDIO DE MERCADO Y PROYECCIÓN DE VENTAS .....	87
7.1.1	Resumen de costos .....	88
7.1.2	Valor de venta .....	89
7.2	VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO .....	89
7.3	ESTADO DE RESULTADOS.....	91
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>92</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>94</b>
<b>10</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>96</b>
10.1	ANEXO I – CRONOGRAMA DEL PROYECTO .....	96
10.2	ANEXO II - PROCESO DE OBTENCIÓN DE UREA .....	97
10.3	ANEXO III - RESULTADOS DE EXPERIMENTOS.....	98
10.4	ANEXO IV - DETALLE DIMENSIONAL DE LAS PROBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN.....	99
10.5	ANEXO V - REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN.....	100
10.6	ANEXO VI - MEMORIA DE CÁLCULO DE CARGAS DE VIENTO .....	101
10.7	ANEXO VII - MEMORIA DE CÁLCULO DE RESISTENCIA MEC. DE PRFV .....	102
10.8	ANEXO VIII - MEMORIA DE CÁLCULO DE COLUMNAS.....	103
10.9	ANEXO IX - APERTURA DE COSTOS .....	104
10.10	ANEXO X - PLANOS .....	105

---

## LISTA DE SÍMBOLOS

- B. *Diámetro de la boca de salida del silo*
- C. *Cohesividad*
- D. *Diámetro del recipiente*
- fc. *Tensión del material en condiciones no confinadas*
- $f_{crit}$ . *Tensión del material no confinado crítica*
- FF. *Factor de flujo*
- $H_{(\theta)}$ . *Factor de descarga*
- HFF. *Factor de flujo de descarga*
- kj. *Factor de Janssen*
- $M_p$ . *Caudal de material que sale del silo*
- $P_H$ . *Presión en sentido horizontal*
- $P_V$ . *Presión en sentido vertical*
- $P_{V0}$ . *Presión en  $z=0$*
- $\delta$ . *Ángulo efectivo de fricción interna*
- $\theta_H$ . *Ángulo de descarga del silo*
- $\mu_w$ . *Coefficiente de fricción con la pared*
- $\rho_B$ . *Densidad del material*
- $\sigma$ . *Esfuerzo de tracción*
- $\sigma_x$ . *Tensión principal máxima*
- $\phi$ . *Ángulo de fricción con la pared*

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Silo F150 (150 m <sup>3</sup> ) y Silo F100 (100m <sup>3</sup> ) .....	XI
<b>Figura 2.</b> Principales hitos del proyecto .....	5
<b>Figura 3.</b> Torre de Prilling y Ecuaciones de obtención de la Urea .....	7
<b>Figura 4.</b> Fertilizante degradado por absorción de agua.....	9
<b>Figura 5.</b> Humedad relativa crítica de fertilizantes a 25°C.....	10
<b>Figura 6.</b> Puentes cristalinos entre partículas de fertilizante causando apelmazamiento.....	11
<b>Figura 7.</b> Formación de bloques de fertilizante, producto del apelmazamiento .....	11
<b>Figura 8.</b> Ciclo del nitrógeno.....	13
<b>Figura 9.</b> Aplicación de urea .....	14
<b>Figura 10.</b> Celda de corte de Jenike.....	15
<b>Figura 11.</b> Esfuerzo de corte vs esfuerzo de tracción - Partículas no cohesivas.....	16
<b>Figura 12.</b> Esfuerzo de corte vs esfuerzo de tracción - Partículas cohesivas.....	17
<b>Figura 13.</b> Test para determinar el ángulo de fricción con la pared .....	17
<b>Figura 14.</b> Ángulo efectivo de fricción.....	18
<b>Figura 15.</b> Tensión del material en condiciones no confinadas .....	19
<b>Figura 16.</b> Ejemplo de construcción de curva PFF.....	20
<b>Figura 17.</b> Función de flujo de polvo típica.....	20
<b>Figura 18.</b> Formación de arco cohesivo .....	21
<b>Figura 19.</b> Tipos de flujos en silos.....	22
<b>Figura 20.</b> Balance de fuerzas en la sección cilíndrica de un silo.....	23
<b>Figura 21.</b> Perfiles de presión en un silo .....	24
<b>Figura 22.</b> Esquema de silo con descarga cónica .....	25
<b>Figura 23.</b> Ejemplo, carta de Jenike - Factor de flujo (FF) como función de $\delta$ , $\phi_w$ y $\theta$ .....	26
<b>Figura 24.</b> Factor de flujo de la descarga (HFF) y Función de flujo de polvo (PFF) .....	27
<b>Figura 25.</b> Flujograma del Método Científico .....	31
<b>Figura 26.</b> Representación teórica de la pila de urea y sus dimensiones .....	33
<b>Figura 27.</b> Dispositivo utilizado en el experimento de ángulo de fricción .....	34
<b>Figura 28.</b> Ajuste del error sistemático en la formación de la base .....	35
<b>Figura 29.</b> Ajuste del error sistemático. Modificación de dispositivo y método .....	35
<b>Figura 30.</b> Ajuste del error sistemático en altura.....	36
<b>Figura 31.</b> Ajuste del error sistemático. Modificación de la forma de medición de la altura .....	36
<b>Figura 32.</b> Resultados para Diámetro, Ángulo de Fricción Interna, .....	37
<b>Figura 33.</b> Resultados para Altura, Ángulo de Fricción Interna.....	37
<b>Figura 34.</b> Representación teórica del experimento de ángulo de fricción grano-pared.....	40
<b>Figura 35.</b> Dispositivo utilizado en el experimento de ángulo de fricción grano-pared.....	40
<b>Figura 36.</b> Ajuste del error sistemático. Modificación de dispositivo y método .....	41
<b>Figura 37.</b> Secuencia de experimento. Placa de PRFV sin recubrimiento.....	42
<b>Figura 38.</b> Resultados Ángulo de Fricción Grano Pared Sin Recubrimiento .....	42
<b>Figura 39.</b> Secuencia de experimento. Placa de PRFV con recubrimiento .....	43

<b>Figura 40.</b> Resultados Ángulo de Fricción Grano Pared Con Recubrimiento .....	44
<b>Figura 41.</b> Comparación entre las placas con y sin recubrimiento .....	44
<b>Figura 42.</b> Tensión crítica.....	45
<b>Figura 43.</b> Representación teórica del experimento de consolidación.....	47
<b>Figura 44.</b> Dispositivo y equipo utilizado en el experimento de consolidación .....	47
<b>Figura 45.</b> Detalle del dispositivo de consolidación.....	48
<b>Figura 46.</b> Factor de flujo para placa sin recubrimiento .....	48
<b>Figura 47.</b> Factor de flujo para placa con recubrimiento.....	49
<b>Figura 48.</b> Evaluación de flujo de descarga con ángulos de 30° y 45° del cono de descarga, considerando placa sin recubrimiento.....	49
<b>Figura 49.</b> Superposición de gráficas PFF y HFF .....	50
<b>Figura 50.</b> Matrices impresas en 3D para el moldeo de las maquetas .....	51
<b>Figura 51.</b> Maquetas utilizadas en el experimento .....	52
<b>Figura 52.</b> Comparación de flujos de descarga. Cono a 70° y 45° respectivamente .....	52
<b>Figura 53.</b> 1. Dispositivo para incrementar la humedad. 2. Muestra de urea .....	53
<b>Figura 54.</b> Balanza utilizada junto al bloque calibrador .....	54
<b>Figura 55.</b> Pesaje de muestras sin y con humedad agregada .....	55
<b>Figura 56.</b> Resultados de ensayo de humedad gravimétrica.....	57
<b>Figura 57.</b> Balanza de precisión OHAUS utilizada en el ensayo .....	57
<b>Figura 58.</b> Humedad relativa crítica de fertilizantes. Fuente YARA.....	58
<b>Figura 59.</b> Resultado luego del proceso de la absorción de humedad .....	59
<b>Figura 60.</b> Gráficas Boxplot del experimento de ángulo de fricción interna realizado con materia húmeda .....	59
<b>Figura 61.</b> Ángulo de fricción interna. Comparación entre materia seca y húmeda .....	60
<b>Figura 62.</b> Experimento de ángulo de fricción interna. Formación de bloqueos durante la descarga .....	60
<b>Figura 63.</b> Comparación de valores obtenidos para K.....	61
<b>Figura 64.</b> Relación ángulo de reposo-fluencia de fertilizantes en general. ....	61
<b>Figura 65.</b> Gráficas Boxplot. Ángulo de fricción grano-pared sin recubrimiento. Materia húmeda .....	62
<b>Figura 66.</b> Experimento de ángulo de fricción grano-pared. Materia húmeda .....	62
<b>Figura 67.</b> Placas y probetas utilizadas en los ensayos.....	64
<b>Figura 68.</b> Máquina universal de ensayos utilizada.....	65
<b>Figura 69.</b> Ejemplo de gráfica comparativa para en ensayo de tracción del compuesto D.....	65
<b>Figura 70.</b> Resultado y probeta 3C utilizada para ensayo de flexión.....	66
<b>Figura 71.</b> Equipo utilizado para el ensayo de flexión .....	66
<b>Figura 72.</b> Pre diseño del silo. Etapa 1 - Dimensiones y su fuente.....	67
<b>Figura 73.</b> Pre diseño del silo - Etapa 2 - Cálculo de volúmenes y peso de las secciones.....	68
<b>Figura 74.</b> Detalle de uniones horizontales y verticales en silo de 150 m3 .....	69
<b>Figura 75.</b> Presiones laterales durante el llenado según Ec. de Janssen .....	70
<b>Figura 76.</b> Influencia de los valores de K sobre las presiones laterales. Fuente: J. Ravenet .....	71
<b>Figura 77.</b> Comparación de presiones verticales durante el vaciado .....	71
<b>Figura 78.</b> Comparación de presiones horizontales durante el vaciado.....	72

---

<b>Figura 79.</b> Comparación entre presiones verticales y horizontales para distintos coeficientes de fricción con la pared .....	73
<b>Figura 80.</b> Representación de fuerzas de empuje debido al viento (silo 150 m <sup>3</sup> ) .....	75
<b>Figura 81.</b> Definición de UTUS según BS 4994 .....	77
<b>Figura 82.</b> Listado de perfiles para columnas .....	84
<b>Figura 83.</b> Molde para matriz de cono superior.....	85
<b>Figura 84.</b> Molde para matriz de cilindro .....	85
<b>Figura 85.</b> Molde para matriz de cono inferior.....	86
<b>Figura 86.</b> Estado de resultados empresarial .....	91
<b>Figura 87.</b> Representación gráfica de los silos F150, F100 y la proyección de una planta de silos. ....	93



---

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Propiedades de la urea granular .....	8
<b>Tabla 2.</b> Los principales tipos de materiales de cobertura .....	12
<b>Tabla 3.</b> Valores obtenidos durante el experimento de consolidación .....	47
<b>Tabla 4.</b> Verificación de excentricidad .....	54
<b>Tabla 5.</b> Verificación de repetibilidad .....	55
<b>Tabla 6.</b> Pesaje utilizado para el experimento de ángulo de fricción interno de urea con 1,5 %HR .....	56
<b>Tabla 7.</b> Pesaje para experimento de ángulo de fricción grano-pared .....	56
<b>Tabla 8.</b> Compuestos utilizados en los ensayos .....	64
<b>Tabla 9.</b> Datos generales para el cálculo de la resistencia estructural del silo .....	76
<b>Tabla 10.</b> Constantes de espesor. Fuente: .....	79
<b>Tabla 11.</b> Incremento de consumo de urea período 2017-2021 .....	87
<b>Tabla 12.</b> Distribución por tipo de almacenamiento .....	87
<b>Tabla 13.</b> Proyección de volúmenes de venta .....	88
<b>Tabla 14.</b> Mix de producción de silos .....	88
<b>Tabla 15.</b> Resumen de costos fijos .....	88
<b>Tabla 16.</b> Resumen de costos variables .....	89
<b>Tabla 17.</b> Precio de venta silo F150 .....	89
<b>Tabla 18.</b> Precio de venta silo F100 .....	89
<b>Tabla 19.</b> Flujo de fondos .....	90
<b>Tabla 20.</b> Análisis VAN y TIR .....	90
<b>Tabla 21.</b> Análisis PRC .....	90
<b>Tabla 22.</b> Estado de resultados empresarial .....	91

**ABSTRACT**

This project deals with the problem of designing and calculating two models of GRP silos (Glass Fiber Reinforced Polyester) for the storage of fertilizers, especially Urea, in a granular state.

Throughout the work will be explained the main complications concerning the storage of fertilizers (hygroscopic and corrosive products) and what are the proposed solutions, one of them GRP silos.

The silos developed have a raised conical bottom of 100 m<sup>3</sup> and 150 m<sup>3</sup> capacity, which are unique at a national and international level since, according to the latest records, there are no silos of that capacity built entirely in GRP.

It will be seen how, using tests and experiments, it was possible to characterize the base material for the silo and the material to be stored, acquiring an understanding of the behavior of the material inside the silo, reaching a graph of the efforts that it generates during the charge and discharge cycles.

Finally, the financial analysis of the project is presented, with the feasibility details.

**Keywords:** Silos, GRP, Storage of fertilizers, Urea in granular state, BS 4994-1987.

## RESUMEN

En el presente proyecto se aborda la problemática de diseñar y calcular dos modelos de silos de PRFV (Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio) para almacenamiento de fertilizantes, en particular, Urea en estado granular.

A lo largo del trabajo se explicarán cuáles son las principales complicaciones que existen en la actualidad con respecto al almacenamiento de fertilizantes (productos higroscópicos y corrosivos) y cuáles son las soluciones propuestas, siendo una de ellas los silos de PRFV.

Los silos desarrollados son de fondo cónico elevado de  $100\text{ m}^3$  y  $150\text{ m}^3$  de capacidad, los cuales son únicos a nivel nacional e internacional, ya que, según los últimos registros, no existen silos de esa capacidad construidos íntegramente en PRFV.

Se verá cómo, a través de ensayos y experimentos, se logró caracterizar tanto los materiales base para la fabricación del silo, cómo el material a almacenar, obteniendo, además, un entendimiento del comportamiento del material dentro del silo, llegando a graficar los esfuerzos que éste genera durante los ciclos de carga y descarga.

Finalmente, se presenta el estudio económico del proyecto, con los detalles de la viabilidad del mismo.

**Palabras clave:** Silos, PRFV, Almacenamiento de fertilizantes, Urea granular, BS 4994-1987.

### Figura 1.

*Silo F150 ( $150\text{ m}^3$ ) y Silo F100 ( $100\text{ m}^3$ )*



## 1 INTRODUCCIÓN

Según estudios realizados por FERTILIZAR Asociación Civil, desde 1993 al 2019, el consumo de fertilizantes en Argentina ha tenido un aumento de 500.000 toneladas a 4.600.000 toneladas, estimando un nuevo aumento en 2020 a más de 5.000.000 de toneladas.

En términos del uso de fertilizante para cultivos intensivos, podemos decir que el aumento ocurre por algunos factores, de los cuales podemos listar: el incremento del área implantada y el incremento de rendimientos, lo cual hace necesario que se devuelva mayor cantidad de nutrientes al suelo, para conservar así su fertilidad.

Del total de fertilizante consumido, aproximadamente el 66% corresponde a fertilizante de origen importado, y el 34% restante es de fabricación nacional.

Este incremento del consumo de fertilizantes hizo que sea necesario desarrollar y/o adaptar medios para almacenar el material. Dependiendo si el fertilizante es líquido o sólido, se puede almacenar desde bidones y tanques, hasta bolsones y silos.

Haciendo referencia al almacenaje de fertilizante en silos, en la actualidad existen varias empresas que se dedican a la construcción de silos de chapa (las cuales deben ser tratadas y recubiertas internamente con pinturas epoxi para evitar la corrosión) y algunas que utilizan como material la fibra de vidrio.

Dentro de las empresas que utilizan fibra de vidrio se encuentra Fibratec, una empresa con 9 años de participación en el mercado argentino, la cual ofrece 4 modelos de silos, 14, 21, 42 y 75 m<sup>3</sup>.

La empresa está apostando al desarrollo de nuevos modelos, que atiendan las necesidades del mercado actual.

Esto nos lleva a las problemáticas que se abordarán en el proyecto.

Por un lado, tenemos la problemática del diseño general del silo, íntimamente ligada a la parte comercial de la empresa, de acuerdo a los requerimientos de mercado y, por otro lado, tenemos la problemática de falta de estudio e información sobre los esfuerzos que se generan en un silo de fibra de vidrio, que almacena fertilizantes, considerando el movimiento que se produce en el material al momento de la descarga.

Si bien en la actualidad existen otros silos de fibra de vidrio, no se sabe a ciencia cierta cuales son los esfuerzos que se generan internamente debido al movimiento del material en su interior. Tampoco

hay registros sobre las causas y efectos de la formación de piedras (bloques de fertilizante) que se generan por el ingreso de agua o humedad.

La mayoría de los diseños que se encuentran en el mercado, propios y de la competencia, se han realizado teniendo en cuenta experiencias prácticas sobre materiales similares, utilizando ingeniería inversa, pero hasta el momento no hay bibliografía que explique concretamente como se generan los esfuerzos en un silo de estas características.

Si bien la problemática central que se abordará en el proyecto es el diseño del silo, las bases sobre las cuales se fundamentará el diseño serán el estudio del movimiento del material y los esfuerzos que se generan. Por ende, es de especial interés analizar y desarrollar dichos temas, a través de investigaciones teóricas y prácticas, con el objeto de encontrar ecuaciones que fundamenten en movimiento del material dentro del silo, los coeficientes que interviene y los esfuerzos generados. Así mismo, se definirá la necesidad de sistemas de fluidificación para ayudar al movimiento.

## **1.1 PROBLEMÁTICA**

De manera directa, la principal problemática que se abordará durante el proyecto, será el diseño de 2 silos, de 100 y 150m<sup>3</sup> de capacidad, para almacenar un material granular, higroscópico y corrosivo, para el cual se posee poca información sobre el comportamiento ensilado y los esfuerzos que genera.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad existen silos para almacenamiento de fertilizantes, construidos en acero o fibra de vidrio, de variadas capacidades.

Los construidos en acero presentan especial inconveniente con la corrosión, es por ello que se deben tratarse internamente con pinturas epoxi o poliuretano para proteger la chapa (que generalmente es cincada) del efecto corrosivo que tiene la UREA. Este proceso debe realizarse cada 3 años, como mantenimiento programado, dependiendo de la frecuencia de uso del silo.

Los construidos en fibra de vidrio no poseen inconveniente con la corrosión, sin embargo, no existen en el mercado silos de las capacidades requeridas.

Además, algo común en ambos materiales, es que no se posee un estudio en detalle del comportamiento del material ensilado y los esfuerzos que genera. Todo lo construido hasta el

---

momento se ha realizado teniendo en cuenta experiencias prácticas con productos similares, y aplicando ingeniería inversa en algunos casos.

En resumen, el proyecto se encuentra motivado por 3 razones fundamentales:

- Necesidad de negocio
- Brecha de conocimientos en la aplicación
- El desafío de la solución a problemas de operación

### **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un silo para almacenamiento de urea granulada.

### **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Obtener los coeficientes de las ecuaciones características que rigen el movimiento del producto dentro del silo.
2. Obtener las ecuaciones que rigen los esfuerzos entre el material almacenado y el silo.
3. Definir y caracterizar el material constructivo del silo y el material almacenado.
4. Desarrollar el diseño general del silo teniendo en cuenta las condiciones de contorno.
5. Estudiar si son necesarios sistemas de fluidificación para las descargas.

### **1.5 CONDICIONES DE CONTORNO**

1. Debe estar diseñado para almacenar fertilizante (Urea)
2. Debe ser de mayor capacidad que los actuales.
  - a. Modelo para poder cargar con cinta transportadora (100 m<sup>3</sup>)
  - b. Modelo para para carga con noria (150 m<sup>3</sup>)
3. Debe poseer una altura tal que permita el llenado mediante cinta transportadora.
4. Deberá ser aéreo y estar soportado por una estructura metálica compuesta por perfiles comerciales.
5. El cálculo de la estructura metálica deberá ser realizado teniendo en consideración la norma CIRSOC 301.
6. La estructura metálica deberá ofrecer protección contra la corrosión.
7. Cuando sea aplicable, el diseño deberá respetar las condiciones de Higiene y Seguridad de acuerdo a la LEY 19587.

- 
8. Fácil de armar.
  9. Fácil de transportar.
  10. Costo competitivo (comparado con uno de chapa de la misma capacidad de la competencia).
  11. El material granular se debe descargar libremente, sin restricciones.
  12. No debe retener o filtrar agua.
  13. Debe poseer ventilación y puertas de inspección.
  14. Debe poseer escaleras y todos los elementos de seguridad necesarios.

## **1.6 ALCANCE DEL PROYECTO**

En el presente proyecto se contemplará:

1. Diseño y cálculo del silo
  - Implica el diseño general de la geometría, cálculos de resistencia del Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (en adelante PRFV).
2. Diseño y cálculo de la estructura portante
  - Cálculos de la resistencia estática, carga de viento, volcamiento y selección de perfiles.
3. Diseño de modelos para matrices
  - Diseño general de los modelos que se utilizarán para las matrices de PRFV.

## **1.7 TRABAJOS FUTUROS**

Se propone continuar con los estudios sobre el comportamiento del material ensilado, principalmente aquel referido al tiempo necesario para la aglomeración del material producto de la incorporación de agua, ya sea de manera directa por la humedad ambiente dentro del silo o por medio de la condensación sobre las paredes y techo.

Se considera de suma importancia poder obtener una gráfica que relacione el tiempo necesario para la aglomeración del material con el porcentaje de humedad relativa del ambiente dentro del silo. De esta manera, podremos determinar si es necesario o no desarrollar sistemas de ventilación y control de humedad. Además, se podrían programar ciclos de mantenimiento para evitar la formación de piedras, dependiendo del tiempo de permanencia del material dentro del silo y su humedad; dos parámetros que se podrían controlar fácilmente mediante sensores.

## 2 PLANIFICACIÓN

El proyecto será desarrollado en 4 fases bien definidas:

1. Definición del proyecto
2. Diseño y cálculo de los silos
3. Diseño y cálculo de la estructura portante
4. Diseño de modelos para matrices

En el siguiente diagrama se pueden observar los hitos que definirán la línea de tiempo del proyecto. A modo de complemento, en el *Anexo I* se puede observar el cronograma con el detalle de las tareas a realizar.

**Figura 2.**

*Principales hitos del proyecto*





---

### 3 ESTADO DEL ARTE

#### 3.1 MATERIAL ALMACENADO: UREA

##### 3.1.1 *Proceso de obtención de urea.*

La urea granulada es uno de los productos nitrogenados más económicos y de mayor uso en Argentina, su proceso se divide en distintas etapas de producción, desde la determinación de la materia prima como lo es el Amoníaco y el Dióxido de carbono hasta la obtención del carbonato de amonio (Urea artificial) y finalmente el producto granulada ya terminado. Sus usos abarcan en su mayoría el área de la agronomía como fertilizante, la ganadería e incluso la producción de plásticos y resinas.

La urea a nivel industrial se realiza a partir de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) líquido y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El proceso se caracteriza por verificarse la reacción en dos pasos, donde en el primer paso los reactivos mencionados forman un producto intermedio llamado carbonato de amonio y una segunda etapa donde el carbonato se deshidrata para así formar la urea.

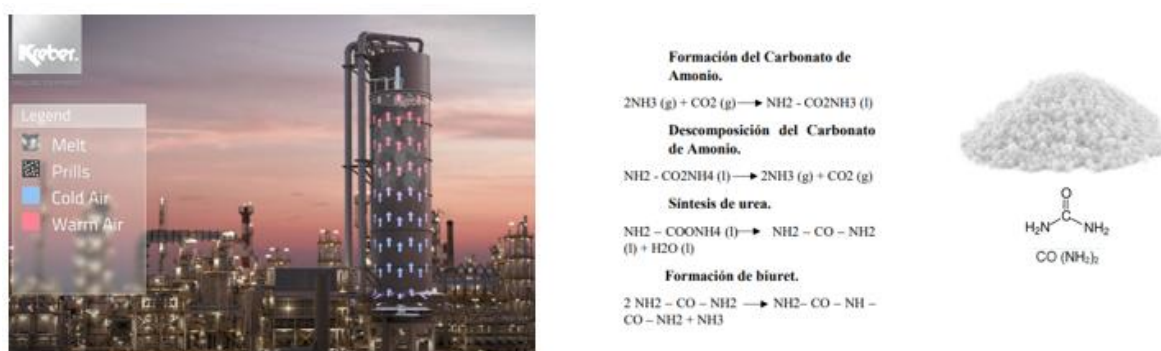
La Urea fundida es bombeada a la parte superior de la torre de 80 m de altura y 16 m de diámetro. Mediante un canasto giratorio con unas 6000 pequeñas perforaciones se logra obtener una lluvia de Urea fundida, cuyas gotas se van solidificando primero y enfriando luego durante su caída libre, a la vez que se hace circular aire en sentido contrario mediante grandes ventiladores ubicados en la parte superior de la torre.

Se obtiene de este modo el producto final, a unos 40 – 50 °C de temperatura, el cual es transportado mediante elevadores y los silos de almacenaje.

En el *Anexo II* se puede observar con detalle el proceso de obtención de la urea, así como también los equipos que intervienen en el mismo.

**Figura 3.**

*Torre de Prilling y Ecuaciones de obtención de la Urea*



*Nota:* Adaptado de *Proceso de Fabricación de la Urea Granulada* (p.7), por Bellorin, Dhamarys; Mora, Daniel; Serrano, Martín; 2016.

Los fertilizantes son fabricados con altos estándares de calidad, pero están bajo riesgos de degradación y otros daños a lo largo de los procesos de fabricación, manipuleo, almacenamiento y otras operaciones de la cadena de distribución. Éstos afectan la uniformidad, el valor y la efectividad de la aplicación de fertilizantes.

Para asegurar una performance óptima la elección del fertilizante toma en cuenta su contenido de nutrientes, la forma química de su presentación, y otros factores de calidad. Sin embargo, el almacenamiento deficiente y el manipuleo inapropiado pueden conducir a un deterioro de las cualidades físicas y a una menor performance como aportantes de nutrientes.

La calidad física de los fertilizantes depende de:

- Las propiedades físicas de los productos desde la producción
- Las instalaciones de almacenamiento y las condiciones climáticas durante éste
- El manipuleo durante la transferencia a lo largo de la cadena de distribución comercial

### 3.1.2 *Propiedades de la Urea*

Las propiedades físicas de un producto están determinadas por su composición química y las condiciones industriales, es decir, como se fabrica. Las propiedades más importantes de un producto a los fines de manipuleo, almacenamiento y distribución son:

- Higroscopicidad
- Apelmazamiento
- Distribución de forma y tamaño de las partículas

- Dureza de las partículas y resistencia mecánica
- Segregación
- Tendencia a generar polvo o “finos” (partículas por debajo del estándar)
- Densidad aparente
- Compactibilidad, química y física

La Urea, entre los fertilizantes sólidos, es la fuente nitrogenada de mayor concentración (46%), siendo por ello de gran utilidad en la integración de fórmulas de mezclas físicas de fertilizantes, dando grandes ventajas en términos económicos y de manejo de cultivos altamente demandantes de Nitrógeno (N).

### **Tabla 1.**

#### *Propiedades de la urea granular*

Presentación Física:	Perlas o Perdigones Esféricos, color blanco.
Tamaño de partícula:	0.85 a 3.35 mm
Solubilidad en agua, a 20° C (100 g/100 ml):	100 g/100 ml. de agua
pH en solución al 10%:	7.5-10.0 Unidades
Densidad Aparente (Kg/m <sup>3</sup> ):	770 - 809 Kg/m <sup>3</sup>
Índice de Salinidad:	75.4
Humedad Relativa Crítica (a 30° C):	73%
Acidez equivalente a Carbonato de Calcio:	84 partes de Carbonato de Calcio por 100 de Urea.

*Nota:* Tabla extraída de *Ficha técnica Urea 46-0-0*, Fertinova Agroproductos.

#### *Higroscopicidad:*

La higroscopicidad es una característica importante de los fertilizantes sólidos a causa de su efecto en la calidad física de un producto, la que a su vez afecta las propiedades de almacenamiento y manipuleo. Se define como la propiedad de un fertilizante de absorber humedad bajo condiciones específicas de temperatura y humedad. Cuanto mayor es la higroscopicidad de un fertilizante, mayor será la probabilidad de tener problemas en el curso del almacenamiento y manipuleo. Las propiedades higroscópicas de un fertilizante pueden ser cuantificadas y calificadas midiendo la Humedad Relativa Crítica (HRC) y sus características de absorción y penetración de la humedad.

---

**Figura 4.**

*Fertilizante degradado por absorción de agua*



*Nota:* Adoptado de *Propiedades Físicas de los Fertilizantes*, YARA, 2022.

<https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/almacenaje-y-manejo-de-fertilizantes/propiedades-fisicas-de-fertilizantes/>

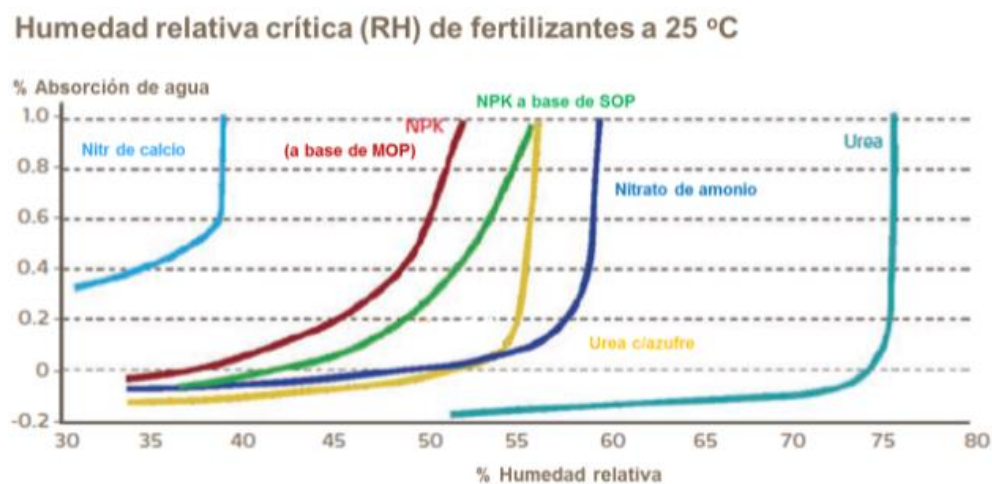
El aire contiene humedad como vapor de agua y por eso ejerce una presión de vapor ( $p_{H_2O}$ ) determinada por la humedad y temperatura.

Todos los fertilizantes minerales son más o menos higroscópicos, lo que significa que empiezan a absorber humedad a una humedad específica o a una cierta presión de vapor de agua.

Absorción de agua ocurre si la presión de agua del aire excede la presión de agua del fertilizante.

**Figura 5.**

*Humedad relativa crítica de fertilizantes a 25°C*



*Nota:* Adoptado de *Propiedades Físicas de los Fertilizantes*, YARA, 2022.

<https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/almacenaje-y-manejo-de-fertilizantes/propiedades-fisicas-de-fertilizantes/>

Si ocurre absorción de humedad durante almacenaje y manejo se reducirán las cualidades físicas del fertilizante. Conociendo la temperatura y humedad del aire y la temperatura de la superficie del fertilizante, se puede calcular si habrá o no absorción de humedad.

Como se puede observar en la **Figura 5**, lo típico es que la curva de absorción de agua ascienda poco con humedad baja, pero que a cierta humedad se eleve rápidamente. Este nivel es la humedad crítica de un fertilizante. La humedad crítica baja cuando la temperatura aumenta.

La absorción significativa de humedad tiene consecuencias indeseadas para los fertilizantes:

- Las partículas se vuelven blandas y pegajosas
- Las partículas aumentan en volumen
- Las partículas empiezan a agrietarse
- Blanqueamiento, cambio de color
- Resistencia física reducida
- El piso de los almacenes se vuelve húmedo y resbaladizo
- Nitrato de amonio estabilizado pierde su termo-estabilidad
- La calidad del esparcimiento del fertilizante puede ser afectado
- Se tapa el equipo de manejo y aplicación del fertilizante
- Aumento de producto fuera de las especificaciones

### 3.1.3 *Apelmazamiento*

La mayoría de los fertilizantes tienden a asentarse o apelmazarse durante almacenaje. El apelmazamiento ocurre como resultado de formación de puentes cristalinos fuertes y fuerzas adhesivas entre los gránulos.

Varios mecanismos pueden estar involucrados pero los más importantes son:

- Reacciones químicas en el producto terminado
- Disolución y recristalización de sales de fertilizante en la superficie de la partícula
- Fuerzas adhesivas y capilares entre las superficies

#### **Figura 6.**

*Puentes cristalinos entre partículas de fertilizante causando apelmazamiento*



*Nota: Adoptado de *Propiedades Físicas de los Fertilizantes*, YARA, 2022.*

<https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/almacenaje-y-manejo-de-fertilizantes/propiedades-fisicas-de-fertilizantes/>

#### **Figura 7.**

*Formación de bloques de fertilizante, producto del apelmazamiento*



*Nota: Adoptado de *Minimizando las Pérdidas durante el Manipuleo*, Revista N° 31, Fertilizar A.C, 2015.*

Los factores que afectan al apelmazamiento son:

- Humedad relativa del aire
- Temperatura y presión ambiental
- Contenido de humedad del producto
- Resistencia mecánica y forma de la partícula
- Composición química

Si se puede controlar estos parámetros, las tendencias de apelmazamiento se mantendrán a un nivel bajo.

Existen tendencias a apelmazamiento en nitrato de calcio, pero es un fenómeno importante a considerarse en NPKs, AN y urea.

El recubrimiento de los fertilizantes (coating), reduce la tasa de absorción de humedad del producto. Posee un componente con actividad superficial que controla la formación de cristales para evitar que se formen puentes cristalinos, y un polvo que reduce la superficie de contacto.

## Tabla 2.

*Los principales tipos de materiales de cobertura*

Tipo de impregnante	Pros y contras
Particulados (arcillas, talcos)	Estos son buenos para asegurar la flotabilidad y prevenir el apelmazamiento, pero puede resultar en formación de polvo y deben aplicarse en grandes cantidades
Aceites impregnantes. Derivados del fuel oil, aceites asfálticos, aceites refinados, o grasas.	Son muy efectivos como agentes supresores de polvo, pero menos efectivos para combatir el apelmazamiento
Mezclas termoplásticas. Ceras, surfactantes cerosos, azufre, resinas y polímeros	Efectivos agentes para el control de polvo y del apelmazamiento, pero pueden ser más costosos
Líquidos solubles en agua. Glicerina, melazas, soluciones surfactantes y soluciones de polímeros	Para aplicaciones especiales donde además se precise solubilidad
Sistemas de polímeros. Películas polimerizadas formados por reacción o entrelazamiento sobre la superficie del fertilizante	Costoso, proceso complicado, pero resulta en un producto de alta performance

*Nota:* Adoptado de *Minimizando las Pérdidas durante el Manipuleo*, Revista N° 31, Fertilizar A.C, 2015.

### 3.1.4 Comportamiento en el suelo

La Urea, en su forma original, no contiene Amonio ( $\text{NH}_4$ ), sin embargo, ésta se hidroliza con rapidez por efecto de la enzima “ureasa” y por la temperatura del suelo.

En suelos desnudos y con aplicaciones superficiales de Urea, algún porcentaje de Amoniac (NH<sub>3</sub>) se pierde por volatilización. Al hidrolizarse produce Amonio y bicarbonato. Los iones bicarbonato reaccionan con la acidez del suelo e incrementan el pH en la zona próxima al sitio de reacción de este fertilizante (banda de aplicación). Una vez que la urea se ha convertido en Amonio ( $\text{NH}_4$ ), éste es absorbido por las arcillas y la materia orgánica del suelo, y es eventualmente nitrificado o absorbido directamente por las plantas.

### 3.1.5 Papel nutricional

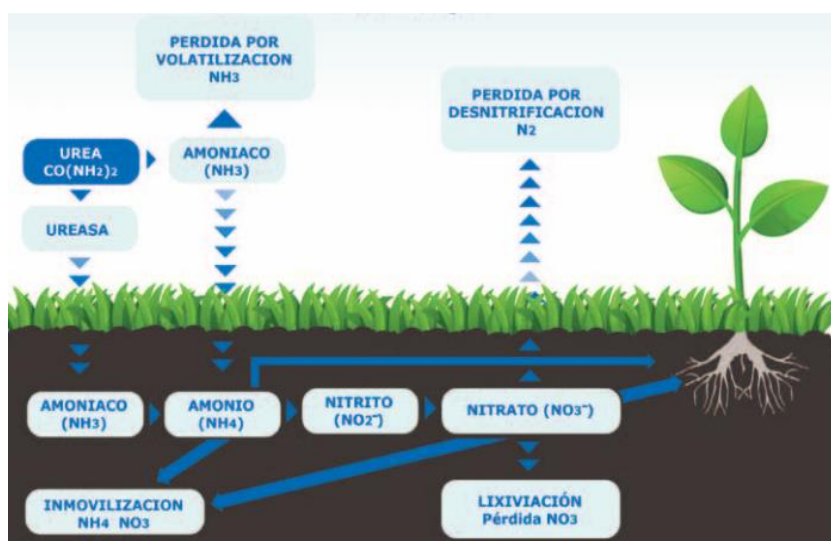
El Nitrógeno (N) es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, es parte constitutiva de cada célula viva. En las Plantas, el nitrógeno es necesario para la síntesis de la clorofila y como parte de la molécula de clorofila está involucrado en el proceso de la fotosíntesis.

Es parte de las vitaminas y de los componentes energéticos de las plantas, igualmente es parte esencial de los aminoácidos y, por tanto, es determinante para el incremento en el contenido de proteínas en las plantas.

Una planta deficiente de nitrógeno no puede hacer un óptimo uso de la luz solar, por lo que se ve afectada la capacidad de fotosintetizar y en consecuencia su capacidad de aprovechamiento y absorción de nutrientes, limitando con esto el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas.

**Figura 8.**

*Ciclo del nitrógeno*



*Nota:* Adoptado de *La Urea y su Comercialización en Chile*, ODEPA, Chile, 2012.



**Figura 9.***Aplicación de urea*

Nota: Adoptado de *La Urea y su Comercialización en Chile*, ODEPA, Chile, 2012.

## 3.2 ALMACENAMIENTO EN SILOS

### 3.2.1 *Propiedades de flujo de sólidos*

Cuando un material particulado es almacenado, se tiene que asegurar que el producto puede ser recuperado con las características originales.

Los sólidos en flujo son sometidos a fuerzas de:

- Gravedad
- Fricción
- Cohesión (fuerzas inter particulares)
- Adhesión (atracción entre las partículas y las paredes)

Es necesario entonces identificar las propiedades de flujo claves para garantizar la fluidez del material y tener nociones básicas de su medición.

### 3.2.2 *Propiedades de falla*

Las propiedades de falla tienen en cuenta el estado de compactación de la muestra, el cual puede ser afectado notablemente por ejemplo por la humedad del ambiente; por lo tanto, el tiempo de consolidación en una dada condición puede afectar estas propiedades. Las propiedades que describen la condición de falla son:

- Ángulo de fricción con la pared ( $\phi$ ): Es equivalente a la fricción entre dos superficies sólidas, sólo que en este caso una de las superficies es el sólido. La fricción con la pared de los

recipientes donde el sólido está contenido hace que parte del peso del material sea soportado por el contenedor.

- Angulo efectivo de fricción interna ( $\delta$ ): Es una medida de la fricción entre las partículas, la cual es función del tamaño, forma, rugosidad y dureza del material sólido.
- Cohesión: Es una función de la atracción entre partículas, las cuales tienden a prevenir el desplazamiento entre ellas.

Las propiedades de falla se miden en celdas de corte, como por ejemplo la celda que se muestra en la **Figura 10**.

El procedimiento para realizar el ensayo se detalla en la norma ASTM D 6128.

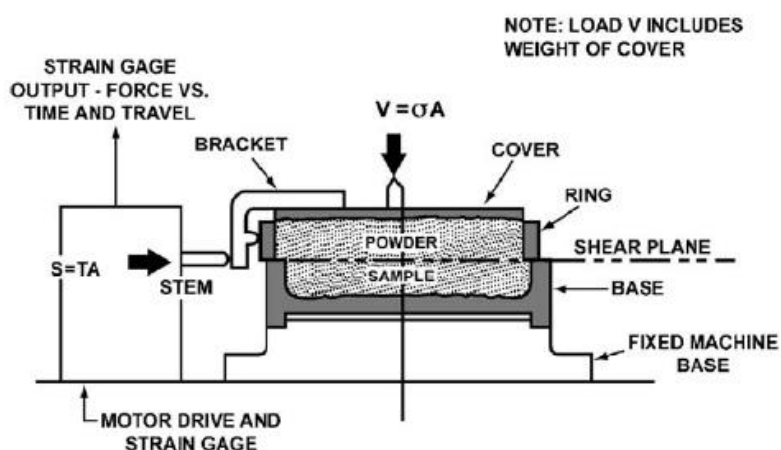
Los experimentos llevados a cabo en esta celda son representativos de los esfuerzos de corte a los que se ven sometidos los sólidos durante la operación de un silo.

La celda consta de una base y un anillo que se coloca sobre la base, ambos dispositivos están inicialmente sujetos por tornillos. La celda se llena con el sólido que se desea analizar, luego la tapa se coloca sobre el anillo.

Posteriormente se aplica una carga normal ( $V$ ) a la superficie de la tapa (por ejemplo, una pesa). Luego se liberan los elementos que mantienen solidarios el anillo y la base, para comenzar a aplicar lateralmente una tensión.

**Figura 10.**

*Celda de corte de Jenike*



*Nota: Adoptado de Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell, ASTM D6128-06.*

En la etapa de consolidación, para la carga  $V$  elegida, la tensión de corte en función del tiempo alcanza un valor de estado estacionario, que denominaremos  $E$ .

Luego de la etapa de consolidación, se utilizan progresivamente menores cargas normales. Para cada carga se aplica la tensión de corte y se registra. El valor de la tensión se registra hasta el punto que esta adquiere un máximo valor, el cual se sigue de una caída abrupta en el valor de la misma. En ese punto se ha producido un plano de deslizamiento.

Con los datos experimentales obtenidos de este experimento se obtienen gráficos de tensión de corte versus carga normal.

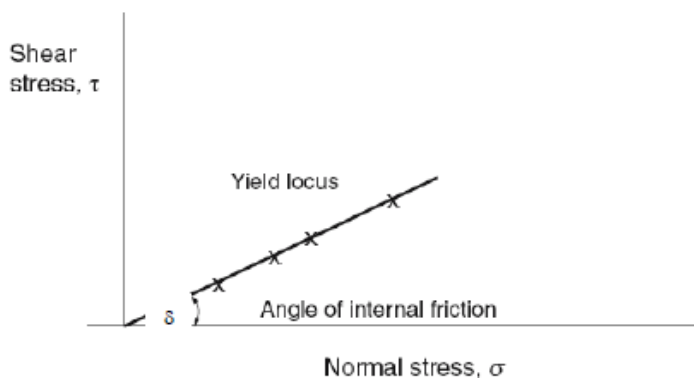
En la **Figura 11** se presentan los resultados típicos obtenidos para un material que fluye libremente, por ejemplo, arena. Del gráfico de  $\tau$  (esfuerzo de corte) vs  $\sigma$  (esfuerzo de tracción) es posible determinar el ángulo de fricción interna.

La **Figura 12** muestra los puntos experimentales obtenidos en una celda tipo Jenike para un material particulado cohesivo. La funcionalidad ya no es una recta, y se observa claramente el punto  $E$  de consolidación.

Si el material es cohesivo, la cohesividad ( $C$ ) puede determinarse de la ordenada al origen. Sin embargo, no es posible determinar directamente el ángulo de fricción interna.

### Figura 11.

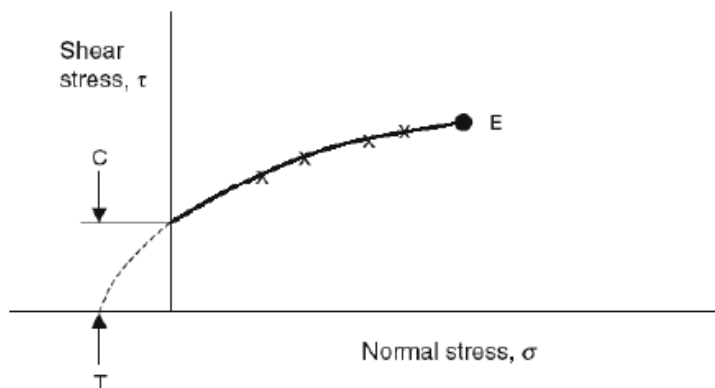
*Esfuerzo de corte vs esfuerzo de tracción - Partículas no cohesivas*



*Nota: Adoptado de Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell, ASTM D6128-06.*

**Figura 12.**

*Esfuerzo de corte vs esfuerzo de tracción - Partículas cohesivas*

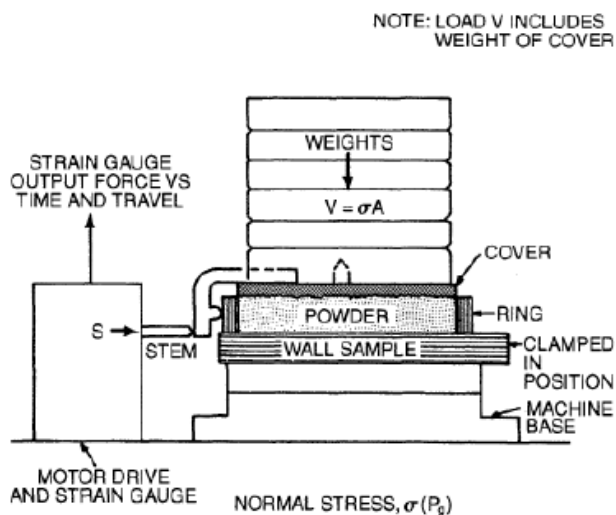


*Nota: Adoptado de Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell, ASTM D6128-06.*

Si se quiere obtener el ángulo de fricción con la pared, el dispositivo de Jenike es como el que se muestra en la **Figura 13**.

**Figura 13.**

*Test para determinar el ángulo de fricción con la pared*



*Nota: Adoptado de Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell, ASTM D6128-06.*

Estos gráficos junto con los círculos Mohr son de importancia al momento del diseño de los silos. Los gráficos de Mohr permiten el cálculo del ángulo de fricción interna para los materiales que son cohesivos, caso en el cual el gráfico de  $\tau$  vs  $\sigma$  no da una línea recta.

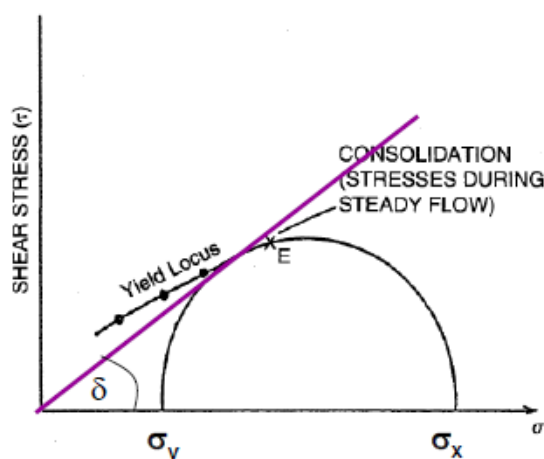
### 3.2.2.1 Ángulo de fricción interna ( $\delta$ )

El ángulo de fricción interna es una medida de la resistencia que ofrecen los sólidos para fluir cuando se encuentran en condiciones de flujo estable.

El ángulo  $\delta$  se obtiene de la recta que pasa por el origen del gráfico  $\tau$  vs.  $\sigma$  y que es tangente al círculo de Mohr, el cual a su vez es tangente al punto de fluencia E.

**Figura 14.**

*Ángulo efectivo de fricción*



*Nota:* Adoptado de *Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell*, ASTM D6128-06.

### 3.2.2.2 Tensión del material en condiciones no confinadas ( $f_c$ ) y tensión principal máxima ( $\sigma_x$ )

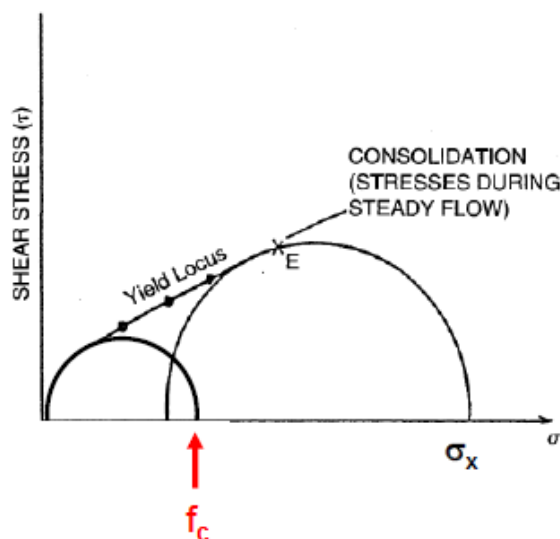
El círculo de Mohr provee dos variables claves al momento de caracterizar sistemas particulados y de diseñar silos: tensión del material en condiciones no confinadas ( $f_c$ ) y tensión principal máxima ( $\sigma_x$ )

La tensión del material en condiciones no confinadas es la máxima tensión en un plano, cuando la tensión de corte es cero y además la tensión en el otro plano principal también es cero. Se puede calcular haciendo pasar un círculo de Mohr por el origen, y además tiene que ser tangencial a la curva  $\tau$  vs.  $\sigma$ , (**Figura 15**).

La tensión principal máxima se determina también mediante el círculo de Mohr, esta variable representa la tensión máxima de consolidación del sistema particulado.

**Figura 15.**

*Tensión del material en condiciones no confinadas*



*Nota: Adoptado de Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell, ASTM D6128-06.*

### 3.2.2.3 Función de flujo de polvo (PFF)

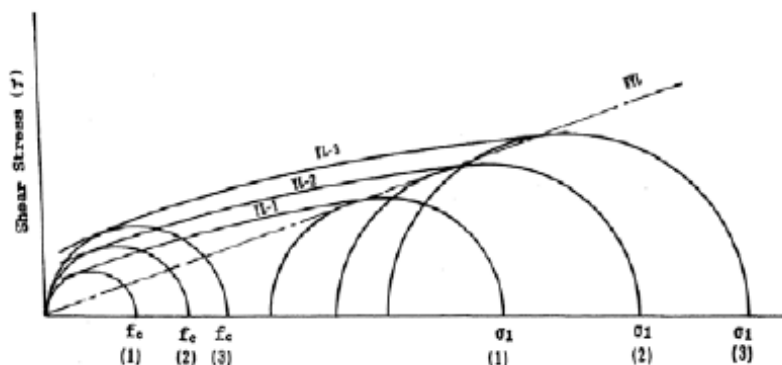
La función de flujo indica como un polvo compacto se comporta, y está definida por la siguiente función:

$$PFF = \frac{\sigma_x}{f_c} \quad (1)$$

Esta funcionalidad se obtiene haciendo experimentos en celdas de corte usando distintos grados de compactación, y trazando los círculos de Mohr tangentes al punto de fluencia y los que pasan por el origen, tal como se describe en la **Figura 16**.

**Figura 16.**

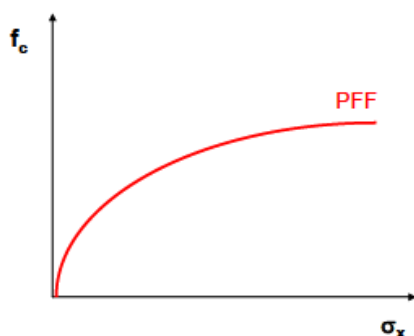
*Ejemplo de construcción de curva PFF*



*Nota: Adoptado de Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell, ASTM D6128-06.*

**Figura 17.**

*Función de flujo de polvo típica*



### 3.2.3 Formación de arcos en la descarga

Un arco es una obstrucción estable que se forma en el punto de descarga del silo. El arco soporta el contenido del silo evitando la descarga.

En el caso de polvos finos, la formación de arcos está relacionada con la tensión del material no confinado, donde las fuerzas cohesivas contribuyen a la formación del arco.

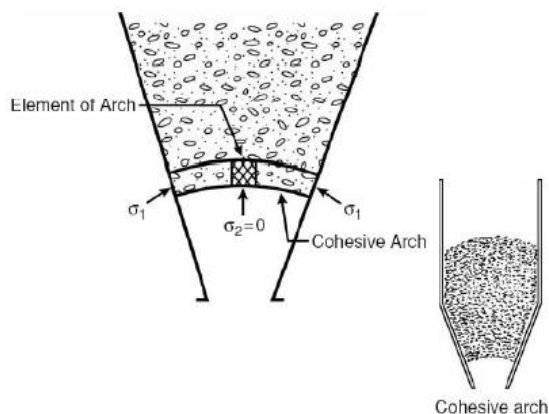
Cuando las partículas son más grandes, la obstrucción se da por el bloqueo que ocasionan las partículas que se organizan como si fuera un puente.

Existe una fricción entre las paredes del silo y las partículas que ocasiona la formación del arco, el cual sólo puede romperse mecánicamente.

La **Figura 18** describe la formación del arco. La principal tensión en el arco está dada por la tensión normal a las paredes del recipiente ( $\sigma_x$ ). Como no existe una tensión que actúe debajo del arco, el componente de tensión de menor magnitud es cero ( $\sigma_y$ ). El arco podría colapsar si la componente principal  $\sigma_x$  fuese mayor que la fuerza cohesiva entre las partículas.

**Figura 18.**

*Formación de arco cohesivo*



*Nota:* Adoptado de Holdich, R.G., *Fundamentals of Particle Technology*, Midland Information Technology and Publishing, United Kingdom, 2002.

### 3.2.4 Tipos de flujos en silos

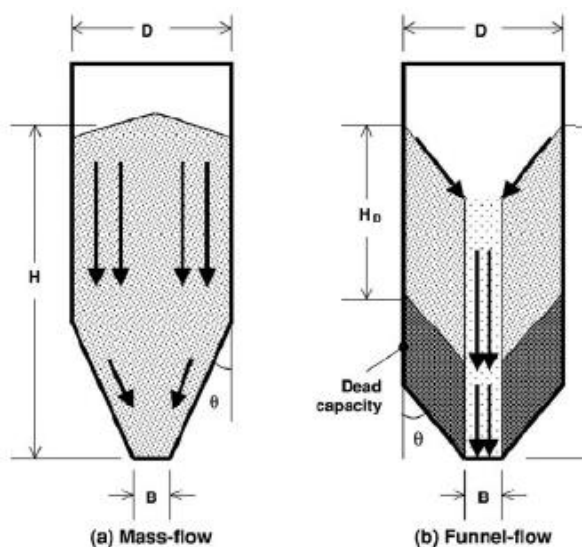
La descarga del material, como lo describe la **Figura 19**, puede responder a flujo másico o a flujo tipo embudo.

En el flujo másico lo primero que entra, primero sale. En cambio, en el flujo tipo embudo, lo último que entra es lo primero que sale.



**Figura 19.**

*Tipos de flujos en silos*



*Nota:* Tipo de flujos en silos. (A) Flujo tipo Máfico. (B) Flujo tipo Embudo. Adoptado de Holdich, R.G., *Fundamentals of Particle Technology*, Midland Information Technology and Publishing, United Kingdom, 2002.

Como se menciona en Ravenet (también notado por otros autores), las presiones laterales en un flujo tipo másico aumentan significativamente durante la descarga del material.

### 3.2.5 *Perfiles de presión en silos*

Las tensiones del sistema particulado dentro de la parte cilíndrica del silo pueden analizarse mediante el modelo diferencial de Janssen. Para obtener el perfil de presiones en el silo se plantea un balance de fuerzas, donde los componentes son (ver **Figura 20**):

*Fuerza vertical (ejercida por los sólidos) hacia abajo*

$$F_{V1} = \frac{\pi D^2}{4} \times P_V \quad (2)$$

*Fuerza vertical (ejercida por los sólidos) hacia arriba*

$$F_{V2} = \frac{\pi D^2}{4} \times P_V + \Delta P_V \quad (3)$$

*Fuerza (ejercida por los sólidos) horizontal*

$$F_H = \mu_w \times \pi \times P_H \times D \times \Delta Z \quad (4)$$

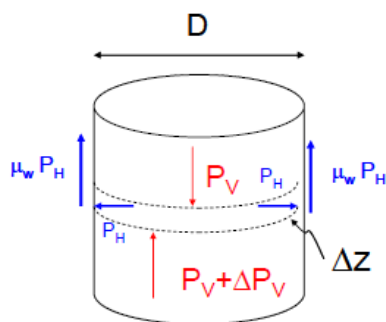
*Fuerza vertical debido al peso de los sólidos hacia abajo*

$$F_g = \frac{\pi D^2}{4} \times \rho_B \times g \times \Delta Z \quad (5)$$

donde D es el diámetro del recipiente,  $P_V$  la presión en sentido vertical,  $P_H$  la presión en sentido horizontal,  $\rho_B$  la densidad del lecho y  $\mu_w$  es el coeficiente de fricción con la pared. La ecuación (3) representa la fuerza de reacción del sólido que se encuentra por debajo de la rodaja de espesor diferencial.

**Figura 20.**

*Balace de fuerzas en la sección cilíndrica de un silo*



Los sistemas particulados tienen propiedades intermedias entre los fluidos y los cuerpos sólidos continuos (como por ejemplo las monedas), para estos sistemas la presión en sentido horizontal puede expresarse como:

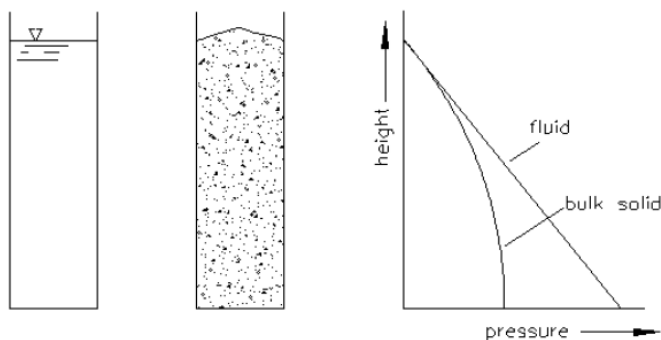
$$P_H = k_J \times P_V \quad (6)$$

donde  $k_J$  es el factor de Janssen, siendo cero para sólidos continuos y 1 para líquidos.

Luego de integrar, se llega a la ecuación:

$$P_V = \frac{\rho_B \times g \times D}{4 \times \mu_w \times k_J} \times \left[ 1 - e^{\left( \frac{-4 \times \mu_w \times k_J \times z}{D} \right)} \right] + P_{V0} \times e^{\left( \frac{-4 \times \mu_w \times k_J \times z}{D} \right)} \quad (7)$$

donde  $P_{V0}$  es la presión en  $z=0$ , que es la tensión de carga a silo.

**Figura 21.***Perfiles de presión en un silo*

*Nota:* Adoptado de Thomson, F. M., *Storage and Flow of Particulate Solids*, Capítulo 8 en *Handbook of Powder Science & Technology*, editado por Fayed, M. E., Otten, L., Chapman & Hall, N.Y., 1997.

El coeficiente de fricción  $\mu_w$  puede estimarse de ensayos en celdas similares a la presentada en la **Figura 13**. A partir de los datos de la tensión de corte y la tensión normal pueden estimarse gráficos similares al descrito por la **Figura 11** y **Figura 12**.

Conociendo el valor del ángulo de fricción con la pared ( $\varphi_w$  o  $\varphi$ ), el coeficiente de fricción o el componente de tensión de corte se puede calcular como:

$$\tan(\varphi_w) = \frac{\tau}{\sigma} = \mu_w \quad (8)$$

Para poder calcular los perfiles de presión, sólo nos resta saber cómo estimar la constante de Janssen. Existen varias correlaciones para estimar la constante de Janssen, entre las disponibles, una de ellas es:

$$k_J = \frac{1 + \text{sen}(\delta)}{1 - \text{sen}(\delta)} \quad (9)$$

donde  $\delta$  es el ángulo efectivo de fricción interna.

### 3.2.6 Descarga de silos

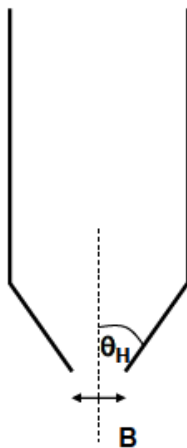
El caudal de sólidos que abandona un silo con descarga cónica puede estimarse a partir de la ecuación que se presenta a continuación, teniendo en cuenta las propiedades descritas en la **Figura 22**.

$$M_p = \frac{\pi}{4} \times \rho_B \sqrt{g \times B^{0,5} \times 2 \times \tan(\theta_H)} \quad (10)$$

Donde  $M_p$  es el caudal,  $B$  es el diámetro de la boca de salida y  $\theta_H$  es el ángulo de descarga del material.

**Figura 22.**

*Esquema de silo con descarga cónica*



### 3.2.7 *Apertura de descarga y ángulo*

El diseño apropiado de un silo que permita una descarga del tipo flujo de masa se basa en dos factores: ángulo y apertura de descarga.

Hay que dar una inclinación suficiente a la descarga y la apertura debe ser lo suficientemente ancha para que el silo opere bien. Para que esto ocurra se debe romper el arco que tienden a formar los sistemas particulares en la parte inferior del silo.

Haciendo un balance de fuerzas sobre el arco es posible determinar el tamaño mínimo del orificio:

$$B = \frac{H(\theta) \times f_{crit}}{\rho_B \times g} \quad (11)$$

donde  $f_{crit}$  es la tensión del material no confinado crítica (que veremos en la próxima sección como se calcula,  $H(\theta)$  es un factor determinado por la pendiente de la pared de la zona de descarga, y puede estimarse como sigue:

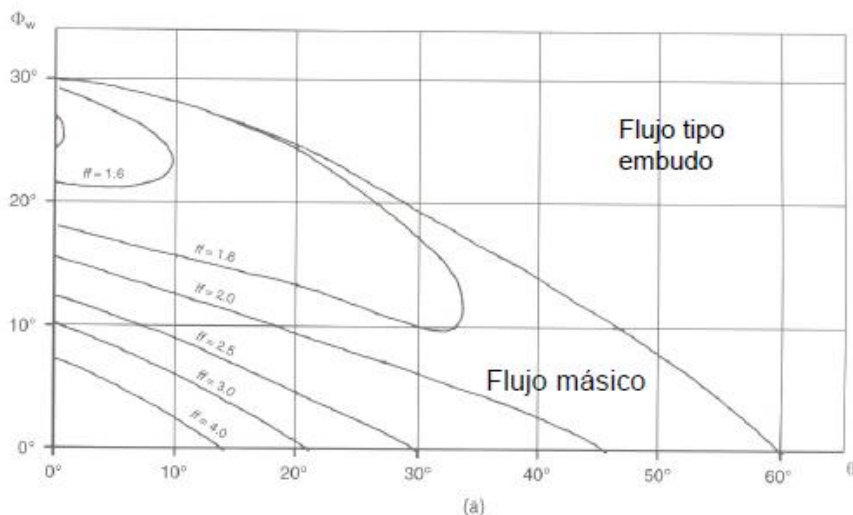
$$H(\theta) = 2 + \frac{\theta}{60^\circ} \quad (12)$$

### 3.2.8 Factor de flujo y diseño de la descarga

El factor de flujo de la descarga (Hopper Flow Factor, HFF) se determina a partir de las cartas de Jenike (obtenidas experimentalmente), para distintos valores del ángulo efectivo de fricción interna. Las cartas de Jenike dividen la operación en dos zonas (flujo másico o tipo embudo, ver **Figura 23**).

#### Figura 23.

Ejemplo, carta de Jenike - Factor de flujo (FF) como función de  $\delta$ ,  $\phi_w$  y  $\theta$ .



Nota: Adoptado de Jenike, A. W., *Storage and flow of solids. Bulletin No 123*, University of Utah, Salt Lake City, USA, 1964.

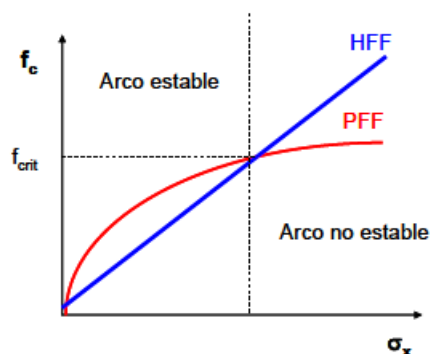
Entonces a partir de experimentación y de la geometría del equipo es posible conocer  $\delta$ ,  $\phi_w$  y  $\theta$ . Con esta información queda definido el valor del factor de flujo FF mediante el uso de dichas cartas.

Una vez calculado el valor de FF es posible construir un gráfico como el que se muestra en la **Figura 24**. La curva del factor de flujo de descarga HFF se construye teniendo en cuenta la ecuación (1) y el valor de FF obtenido de las cartas de Jenike. El punto de intersección de las curvas HFF y PFF da la tensión del material no confinado que divide las zonas de operación con arcos estables y no estables.

Se puede calcular la tensión crítica, la cual debe utilizarse para calcular el tamaño de la descarga B, que evita la formación de arcos estables.

**Figura 24.**

Factor de flujo de la descarga (HFF) y Función de flujo de polvo (PFF)



En resumen, las pautas para el diseño de silos que se recomiendan son:

- Hacer ensayos en las celdas de corte sólo con partículas.
- Estimar las tensiones de material no confinado ( $f_c$ ) y las máximas tensiones ( $\sigma_x$ ). Estimar el ángulo de fricción efectiva ( $\delta$ ).
- Con pares de  $f_c$  y  $\sigma_x$  estimar la curva PFF.
- Hacer ensayos en la celda de corte para estimar el ángulo de fricción con la pared ( $\varphi_w$ ).
- A partir de los datos  $\delta$  y  $\varphi_w$  calcular el ángulo  $\theta$  que divide las zonas de flujo másico y de embudo. Disminuir el valor hallado en  $3^\circ$ , estimar el valor de FF (recomendación como seguridad)
- Dibujar las funciones PFF y HFF, estimar  $f_{crit}$ .
- Calcular B.

### 3.2.9 Resumen sobre estudios en teorías de comportamiento de silos

De las conclusiones obtenidas por el Dr. Ravenet en su libro “Silos. Teoría, investigación, construcción” se destacan las siguientes:

- Obtener un conocimiento del producto o productos a ensilar, determinando el ángulo de rozamiento interno y el ángulo del cono de vaciado, para saber en qué punto el cono de vaciado corta a la pared. En ese punto sabemos que aparecen las sobrepresiones máximas.
- La sobrepresión máxima no aparece particularmente en la parte alta de la celda, como afirman REIMBERT, NAKONZ y normas alemanas DIN 1055, ni particularmente en la parte baja de la celda, como afirman PLATONOV, GENIEV, KOVTUM Y KIM, sino que depende de la relación altura lado del tipo y características del producto a ensilar.
- Para el caso de un producto pulverulento cohesivo, todos los estudios realizados anteriormente no son válidos debidos a su carácter cohesivo. En este caso es muy fácil que se forme un tubo de vaciado central, que se formen bóvedas cuyo desprendimiento producirá

sobrepresiones incontroladas, que en un momento determinado pueden ser muy superiores a las obtenidas para el caso de cereales. El valor del coeficiente de sobrepresión puede llegar a ser de 5 debido al flujo de émbolo, con sobrepresiones en la parte baja de la celda y sobrepresiones en la parte alta.

La clave para el ensilado de este tipo de productos consiste en un adecuado diseño de la tolva y boca de salida; tolva con paredes muy inclinadas y lisas; boca de salida lo suficientemente grande para evitar la formación de un arco o bóveda.

- En un producto ensilado las presiones laterales dependen fundamentalmente de las siguientes propiedades:
  - Densidad
  - Ángulo de talud natural semejante al ángulo de rozamiento interno
  - Ángulo de rozamiento grano-pared.

Estas propiedades varían lógicamente al pasarse del estado estático al dinámico y son la causa de la aparición de sobrepresiones de vaciado.

## 4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El principal fundamento teórico que se seguirá durante el proyecto es el de las presiones verticales y horizontales, según los autores Jenssen y Ravenet.

### 4.1 PRESIONES LATERALES DURANTE EL LLENADO

*Presión Horizontal a la altura z*

$$P(z) = \frac{\delta \times R}{\mu'} \times \left[ 1 - e^{-\left(\frac{\mu' \times K}{R} \times z\right)} \right] \quad (13)$$

Siendo,

$P(z)$  = Presión lateral a la profundidad Z durante el llenado en kgf/m<sup>2</sup>

$\delta$  = Densidad del producto pulverulento almacenado en kg/m<sup>3</sup>

$\mu'$  = tg  $\phi'$

$\phi'$  = Ángulo de rozamiento producto pulverulento-pared del silo, en °

A = Área de la sección recta del silo, en m<sup>2</sup>

U = Perímetro de la misma sección recta del silo, en m

R = A/U = Radio hidráulico medio de la sección recta, en m

K = Relación entre las presiones verticales y horizontales

$$K = \frac{1 - \text{sen } \theta}{1 + \text{sen } \theta}$$

$\theta$  = Ángulo de rozamiento interno del producto pulverulento, en °

Z = Altura desde la parte superior del silo, en m

Presión vertical

$$P_V = \frac{\delta \times R}{\mu' \times K} \times \left[ 1 - e^{-\left(\frac{\mu' \times K}{R} \times z\right)} \right] \quad (14)$$

Siendo,

$P_V$  = Presión Vertical

Presión horizontal

$$P_h = K \times P_V = \frac{\delta \times R}{\mu'} \times \left[ 1 - e^{-\left(\frac{\mu' \times K}{R} \times z\right)} \right] \quad (15)$$

Siendo,

$P_h$  = Presión horizontal



---

## 4.2 PRESIONES LATERALES DURANTE EL VACIADO: FLUJO MÁSSICO

$$P_z = 2,32 \times \frac{\delta \times R}{\mu'} \times \left[ 1 - e^{-\left(\frac{\mu' \times K}{R} \times z\right)} \right] \quad (16)$$

Nota: el factor 2,32 es el coeficiente de sobrepresión, sugerido por el autor Juan Ravenet, en su libro “Silos – Flujo de vaciado, formación de bóvedas, efectos” página 308, teniendo en cuenta la curva de sobrepresiones según Platonov y su extensa experiencia en ensayos con maquetas y silos en escala real.

Una de las conclusiones que expone el autor Juan Ravenet, es que las presiones que aparecen por la caída de bóvedas y efecto émbolo crecen en función directa con la altura del silo. Así, para silos de 10 m de altura el coeficiente de sobrepresión en las paredes es de 3,00 y en la tolva de 2,19.

## 5 TÉCNICAS Y FORMULACIONES

Debido a la falta de información específica, para obtener los valores de los coeficientes requeridos para realizar los cálculos de presiones dentro del silo fue necesario realizar una serie de experimentos. A continuación, se presentan los realizados tanto con materia seca como con materia húmeda. El detalle de cada uno se podrá encontrar en el *Anexo III*.

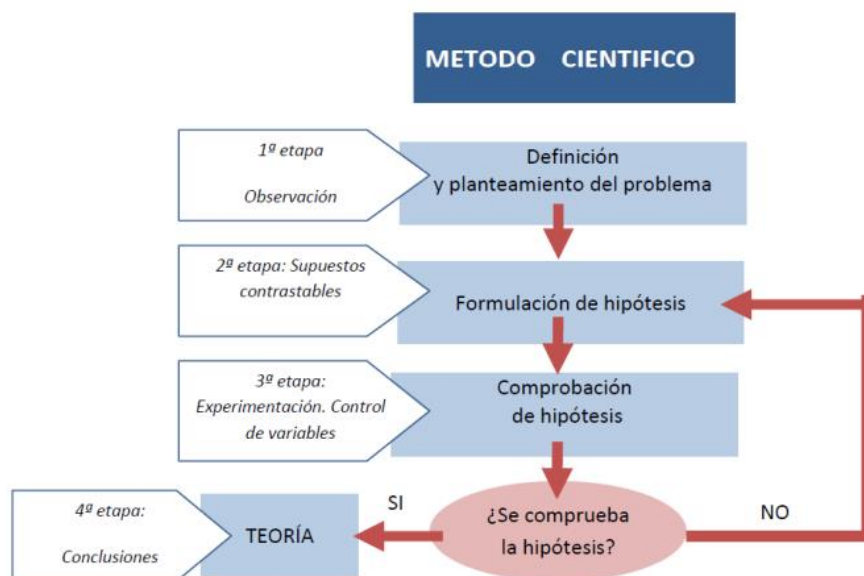
### 5.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Como base teórica para ejecutar los experimentos se utilizaron los lineamientos del método científico, el cual posee una serie de etapas que han de seguirse. La designación de las etapas varía según los autores, pero lo importante es transmitir el concepto de que dicho método es un proceso sistemático de investigación que consta de partes interdependientes.

En sentido general, las etapas que integran el método científico son: 1) definición del problema, 2) formulación de hipótesis (razonamiento deductivo), 3) recopilación y análisis de datos, 4) confirmación o rechazo de hipótesis, 5) resultados, 6) conclusiones.

**Figura 25.**

*Flujograma del Método Científico*



*Nota:* Adoptado de Castán, Yolanda. *Introducción al Método Científico y sus Etapas*

Particularmente en el presente proyecto, y para cada uno de los experimentos, se siguieron los pasos a continuación:

1. Pregunta de Investigación/Problema
  - a. Es la pregunta que da el puntapié inicial, en este caso se formuló a través de la incógnita del valor de los parámetros para los cálculos de presiones internas dentro del silo.
2. Documentación/Observación Previa
  - a. Observar con detenimiento el fenómeno y casos similares que puedan ayudar a la elaboración de los experimentos. Al mismo tiempo, recolectando documentación que pueda servir de respaldo.
3. Formulación de Hipótesis
  - a. Los experimentos que se realizaron son de carácter exploratorio. Es decir, no existía una hipótesis previa a comprobar o validar ya que se poseía pocos conocimientos sobre el problema como para realizar el planteo.
  - b. Solo se plantearon hipótesis para controlar las variables de cada experimento.
4. Diseño Experimental/Fabricación de dispositivos
  - a. Es la determinación de cómo vamos a desarrollar nuestro experimento u observación.
  - b. Se definieron las variables que deben ser observadas, la relación entre elementos, cómo van a ser las variables medidas (dispositivos y procedimientos) y cómo se analizarán los datos obtenidos.
5. Recolección de datos/Contraste de hipótesis
  - a. Ejecución de los experimentos y registro mediante planillas de Excel para luego facilitar los cálculos y análisis.
6. Interpretación y Análisis de resultados
  - a. Incorporando el análisis estadístico de los datos.
7. Difusión y divulgación.
  - a. Realizado mediante documentos y exposiciones

### **5.1.1 Experimentos realizados con materia seca**

#### **5.1.1.1 Ángulo de fricción interna**

#### **Objetivo:**

- Determinar el ángulo de fricción interna del material granular.

#### **Descripción:**

- Se determina el ángulo de fricción interna del material granular utilizando el ángulo de reposo.

- En este experimento, las variables a medir son altura y diámetro de la base del cono. Luego se determina el ángulo aplicando el Arctang  $\theta$ .
- El ángulo será utilizado para determinar el **factor de Janssen K**, el cual es utilizado para relacionar las presiones horizontales y verticales.
- El cálculo del error  $\delta y$  asociado al resultado de  $y = \text{Arctang } \theta$  se obtiene por cálculo de **propagación de errores**.
- Se obtiene diferenciando la función  $\text{arctang } \theta$ , asemejando las diferencias a incrementos finitos, y por lo tanto a errores.
- Para la lectura, se utilizó una hoja milimetrada y 2 reglas, con resolución de 1 y 0,5mm respectivamente.

#### Hipótesis:

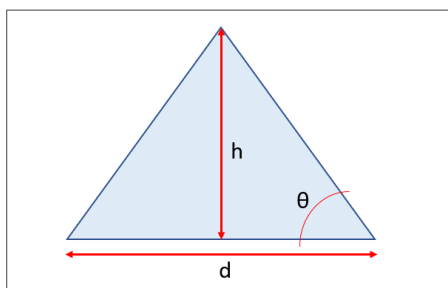
- La humedad de la muestra es una condición del ensayo, pero no se realiza correlación. No afecta al error.
- Se asume que la altura obtenida corresponde a la cima del cono.
- Se asume que el promedio de las 2 medidas en X e Y representa el diámetro de la base del cono.

#### Procedimiento:

1. Se coloca el dispositivo sobre la hoja milimetrada.
2. Se toma una muestra de material granular ( $500 \text{ cm}^3$ ) y se deposita sobre el contenedor.
3. Se abre la boquilla y se deja que el material caiga libremente.
4. Se retira el dispositivo.
5. Se toma la lectura del diámetro formado en las direcciones de X e Y.
6. Se toma la lectura de la altura de la pila utilizando las 2 reglas en cruz.
7. Se registran los valores obtenidos en la planilla Excel.
8. Se repite 19 veces el proceso, desde el punto 1 a 7, con la misma muestra de material.

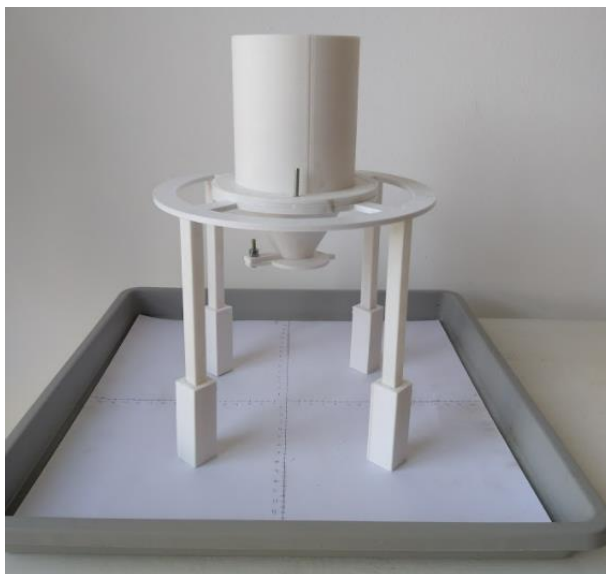
#### Figura 26.

*Representación teórica de la pila de urea y sus dimensiones*



**Figura 27.**

*Dispositivo utilizado en el experimento de ángulo de fricción*



En primera instancia se procede a la estabilización del método del experimento y el dispositivo utilizado, mediante la corrección de errores sistemáticos.

#### 5.1.1.2 Corrección de errores sistemáticos

Durante la realización de los experimentos se observó que existían factores que aportaban incertidumbre a las mediciones. Los más importantes fueron:

1. Formación de la base del cono
  - *Error por la variación en altura y velocidad de descarga del grano.*
  - *Error por el contenedor base y la cantidad de material ensayado.*
    - Exceso del tamaño de la muestra. Se excedía los límites de la hoja de medición y se presentaba una “deformación” de la base.
2. Altura del cono
  - *Error por la formación de la cima “chata” o “aplanada”.*
  - *Error por el instrumento utilizado para tomar la medida.*

Estas fuentes de incertidumbre, se corrigieron modificando tanto el método como el dispositivo utilizado. A continuación, se detallan las acciones llevadas a cabo.

## Correcciones

1. Error por *la variación en altura y velocidad de descarga del grano.*
  - a. Se diseña y fabrica un contenedor con fondo cónico (60°) y una boquilla (diámetro 20mm).
2. Error por *el contenedor base y la cantidad de material ensayado.*
  - a. Se define el tamaño de la muestra. 500 cm<sup>3</sup>. Se diseña y fabrica un envase especial para tomar la muestra.
  - b. Se utiliza un contenedor base de mayor área.
3. Error por *la formación de la cima “chata” o “aplanada”.*
  - a. Si bien es un comportamiento propio de la condición de la muestra, se observó que se podía disminuir el efecto modificando el ángulo y el diámetro del cono de descarga.
4. Error por *el instrumento utilizado para tomar la medida*
  - a. Se definió utilizar un par de reglas con resolución de 0,5mm en cruz, junto con un dispositivo para conservar la perpendicularidad.

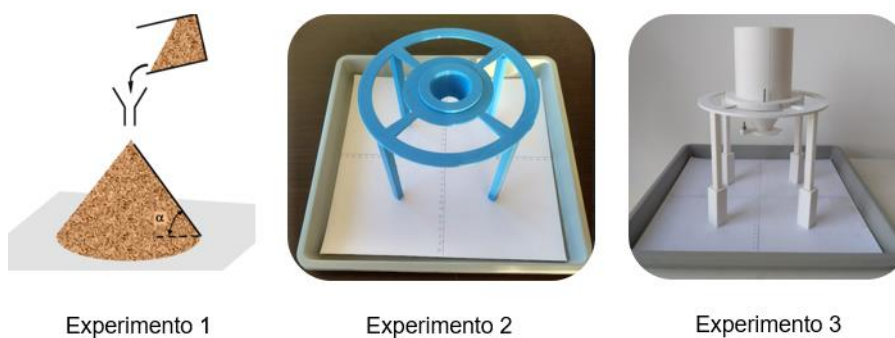
**Figura 28.**

*Ajuste del error sistemático en la formación de la base*



**Figura 29.**

*Ajuste del error sistemático. Modificación de dispositivo y método*

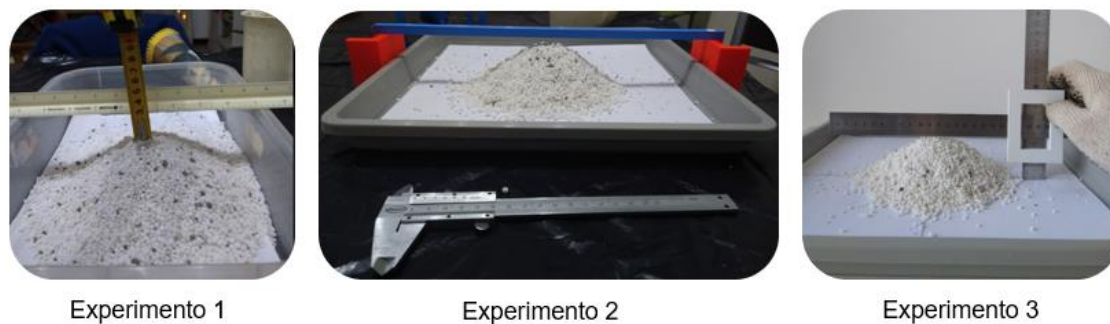


**Figura 30.**

*Ajuste del error sistemático en altura*

**Figura 31.**

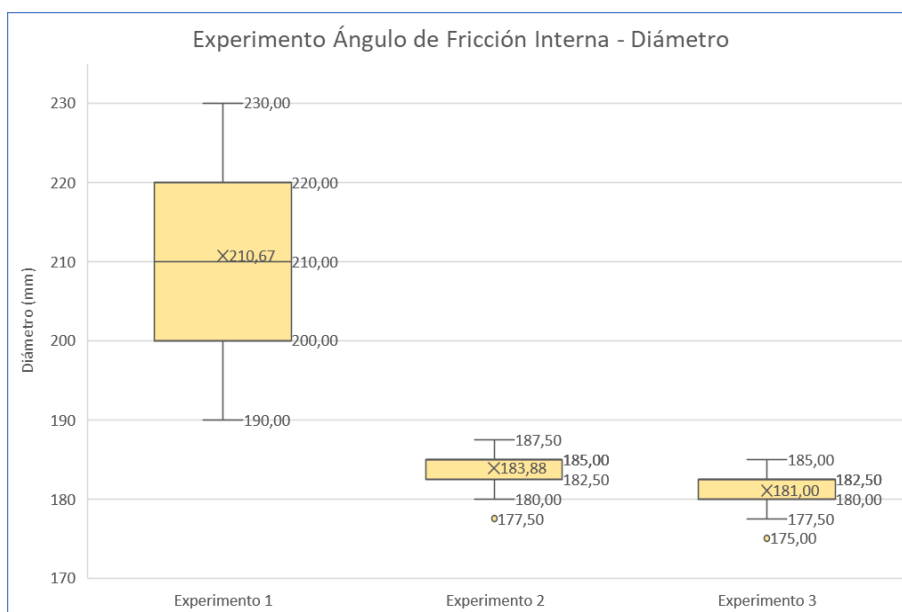
*Ajuste del error sistemático. Modificación de la forma de medición de la altura*



En las siguientes gráficas se podrá observar claramente la reducción de errores sistemáticos, mediante el esfuerzo realizado para ajustar tanto el método como el dispositivo de medición. Se ha mejorado la precisión y la exactitud de las mediciones, lo que refleja la calidad de la medición.

**Figura 32.**

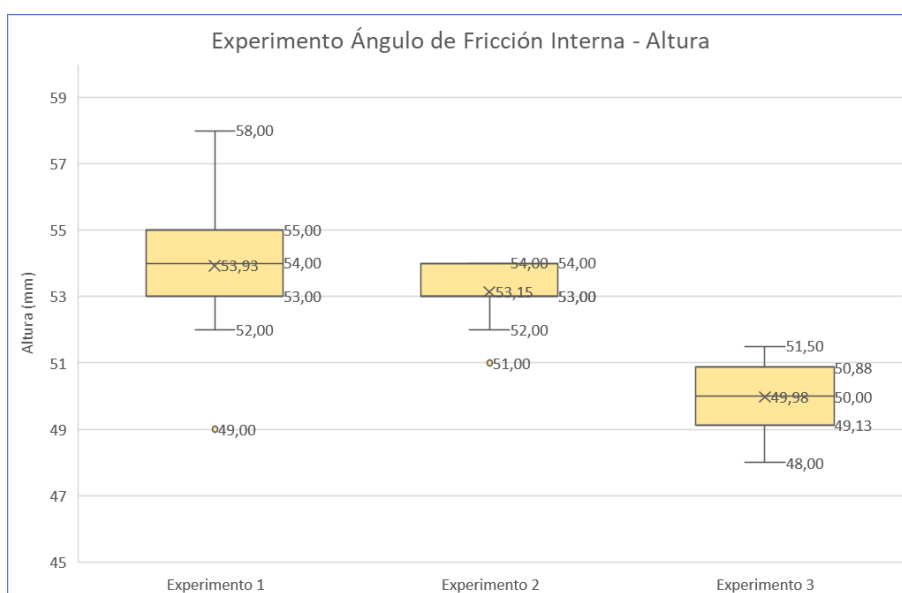
*Resultados para Diámetro, Ángulo de Fricción Interna,*



*Nota:* Gráficas Boxplot que muestran la reducción de errores sistemáticos del experimento de ángulo de fricción interna, en particular en la medición del diámetro del cono.

**Figura 33.**

*Resultados para Altura, Ángulo de Fricción Interna*



*Nota:* Gráficas Boxplot que muestran la reducción de errores sistemáticos del experimento de ángulo de fricción interna, en particular en la medición de la altura del cono.



### Conclusiones del experimento

Con los valores de altura y diámetro de la pila de material obtenidos en los experimentos, se procede al cálculo del valor del ángulo de reposo, mediante la ecuación (17) y luego al cálculo de su error asociado, utilizando el método de propagación de errores en mediciones indirectas, con la ecuación (23).

$$\theta = \text{Arctang} \left( \frac{2h}{d} \right) \quad (17)$$

$$f(x) = \text{Arctang} (x) \quad (18)$$

$$\Delta f = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \Delta x = \frac{1}{(x')^2 + 1} \Delta x \quad (19)$$

$$x = \frac{2h}{d} \quad (20)$$

$$\Delta x = \left| \frac{\partial x}{\partial 2} \right| \Delta 2 + \left| \frac{\partial x}{\partial h} \right| \Delta h + \left| \frac{\partial x}{\partial d} \right| \Delta d \quad (21)$$

$$\Delta x = \frac{2}{d'} \Delta h + \frac{2h'}{(d')^2} \Delta d$$

$$\Delta x = \frac{2}{d'} \left( \Delta h + \frac{h'}{d'} \Delta d \right) \quad (22)$$

$$\Delta f = \frac{\frac{2}{d'} (\Delta h + \frac{h'}{d'} \Delta d)}{\left( \frac{2h'}{d'} \right)^2 + 1} \quad (23)$$

En donde,

$\theta$  = Ángulo de reposo del material granular

$h'$  = Altura – Promedio de los valores

$d'$  = Diámetro – Promedio de los valores

$\Delta x$  = Incremento de  $x$

$\Delta f$  = Incremento de la función  $f$  – Error de la medición

$\Delta h$  = Error de medida – Aleatorio o de Escala

$\Delta d$  = Error de medida – Aleatorio o de Escala

Del experimento realizado podemos inferir que el valor del ángulo de reposo de la Urea granular con 1,5 %HR es de **28,9° +/- 0.4°**.

Con este valor, podemos proceder y calcular el factor de Janssen, K, que relaciona las presiones horizontales y verticales en el silo.

$$K(\theta) = \frac{1 - \text{Sen } \theta}{1 + \text{Sen } \theta} \quad (24)$$

$$\Delta K = \left| \frac{\partial K}{\partial \theta} \right| \Delta \theta = \frac{2 \text{Cos } \theta}{(1 + \text{Sen } \theta)^2} \Delta \theta \quad (25)$$

Siendo,

$K = \text{Factor de Janssen}$

$\Delta K = \text{Incremento de la función } K - \text{Error de la medición}$

$\Delta \theta = \text{Incremento de } \theta - \text{Error de medida indirecta}$

Realizando el cálculo obtenemos un valor de  $\mathbf{K= 0,348 +/- 0,005}$  para Urea granular con 1,5 %HR.

### 5.1.1.3 Ángulo de fricción grano -pared

#### Objetivo:

- Determinar el coeficiente de rozamiento entre el material granular y el material constructivo del silo, PRFV.

#### Descripción:

- Se determina el coeficiente de rozamiento utilizando la tangente del ángulo de fricción.
- En este experimento, la variable a medir es el ángulo de rozamiento  $\phi'$ . Luego se valoriza la tangente con dicho ángulo.
- Tomando como referencia la norma ASTM D 6128, se diseñó un dispositivo que, mediante la elevación de uno de sus extremos, permite tomar la lectura del ángulo crítico de rozamiento entre en material granular (Urea) y la placa de material (PRFV) con y sin recubrimiento Gelcoat.
- Para la lectura, se utiliza un nivel angular, con una resolución de  $1^\circ$ . Este instrumento permite tomar una medida directa, con un error de escala de  $1^\circ$ .

#### Hipótesis:

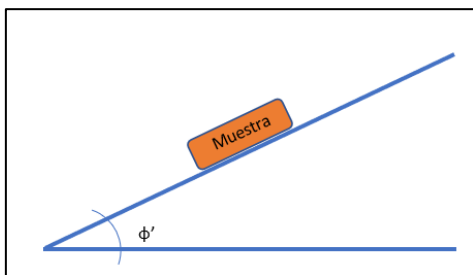
- La humedad de la muestra es una condición del ensayo, pero no se realiza correlación. No afecta al error.
- Se asume que la placa de fibra de vidrio y el soporte impreso son perfectamente planos.
- Se asume que no hay vibraciones durante la elevación mediante el tornillo que puedan afectar en el deslizamiento prematuro de la muestra.

**Procedimiento:**

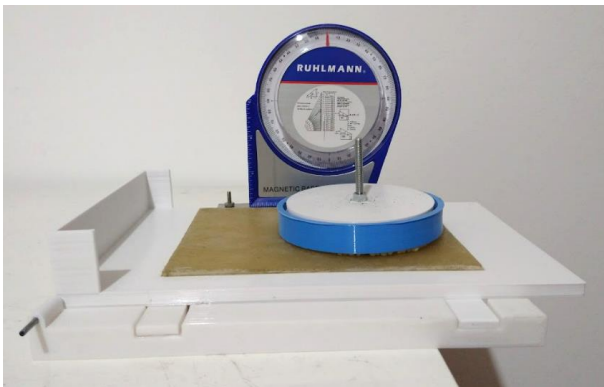
1. Se coloca una placa de PRFV sobre el dispositivo.
2. Se toma una muestra de material granular, se deposita sobre la celda. Luego se distribuye el material haciendo girar 10 veces, en sentido horario, la tapa.
1. Se eleva la celda para evitar el contacto con la placa de PRFV.
2. Se eleva la base mediante una varilla roscada en uno de los extremos, tratando de mantener una velocidad constante, hasta que el material granular comience a moverse.
1. Se registra el valor obtenido en el nivel angular.
2. Se repite 19 veces el proceso, desde el punto 2 a 5, con muestras nuevas de material granular cada vez.

**Figura 34.**

*Representación teórica del experimento de ángulo de fricción grano-pared*

**Figura 35.**

*Dispositivo utilizado en el experimento de ángulo de fricción grano-pared*



## Ángulo de rozamiento grano-pared sin recubrimiento

### 5.1.1.4 Corrección de errores sistemáticos

De igual manera que en el experimento anterior, antes de comenzar, se procede a la estabilización del método y el dispositivo utilizado, mediante la corrección de errores sistemáticos.

Las fuentes de incertidumbre encontradas fueron:

- *Error debido a vibraciones. Oscilación de la placa base.*
  - Vibración de la plataforma debido al punto de apoyo y el voladizo que quedaba
- *Error por velocidad de ascenso variable.*
  - “Arranques y paradas” de cada giro podría estar dando lugar a un reacomodamiento de los granos.
- *Error por la oscilación de la varilla.*
  - El punto de apoyo no asegura la posición de la varilla, oscila continuamente y genera vibraciones.

### Correcciones

1. *Error debido a vibraciones. Oscilación de la placa base.*
  - a. Se cambia el punto de elevación de 50 a 200mm.
2. *Error por velocidad de ascenso variable.*
  - a. Se cambia el ascenso manual por ascenso mediante llave de impacto electrónica.
3. *Error por la oscilación de la varilla.*
  - a. Se diseña un nuevo apoyo transversal.

### **Figura 36.**

*Ajuste del error sistemático. Modificación de dispositivo y método*



Experimento 1



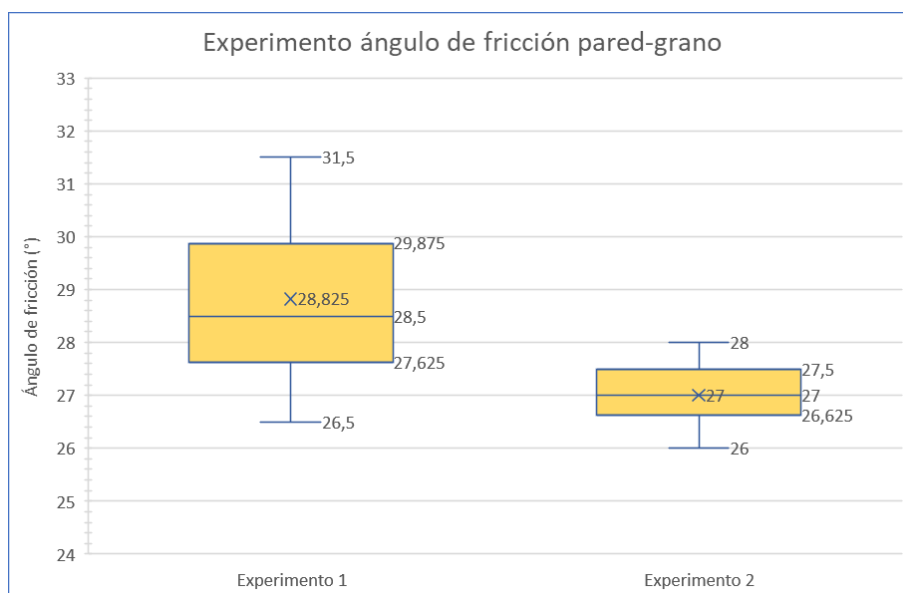
Experimento 2

**Figura 37.**

*Secuencia de experimento. Placa de PRFV sin recubrimiento*

**Figura 38.**

*Resultados Ángulo de Fricción Grano Pared Sin Recubrimiento*



*Nota:* Gráficas Boxplot que muestran la reducción de errores sistemáticos del experimento de ángulo fricción grano pared.

### Conclusiones del experimento

Con los valores obtenidos se procede al cálculo del valor del ángulo crítico de fricción entre el material granular y la pared de PRFV sin recubrimiento (Gelcoat), solamente utilizando el valor promedio de las 20 mediciones realizadas, ya que se trata de una medida directa, y como error asociado se define utilizar el error de escala del instrumento, siendo éste el mayor comparado con el error aleatorio (desviación estándar).

Del experimento realizado podemos inferir que el valor del ángulo de rozamiento de la Urea granular con 1,5 %HR contra la pared de PRFV es de  $27^\circ \pm 1^\circ$ .

Con este valor, podemos proceder y calcular el coeficiente de rozamiento,  $\mu'$ .

$$\mu'_{(\varphi)} = \text{Tan } \varphi \quad (26)$$

$$\Delta\mu' = \left| \frac{\partial\mu'}{\partial\varphi} \right| \Delta\varphi = \text{Sec}^2 \varphi \Delta\varphi = \frac{1}{\text{Cos}^2 \varphi} \Delta\varphi \quad (27)$$

Siendo,

$\mu'$  = Coeficiente de rozamiento grano – pared

$\varphi$  = Ángulo de rozamiento grano – pared

$\Delta\mu'$  = Incremento de la función  $\mu'$  – Error de la medición

$\Delta\varphi$  = Error de medida directa – Mayor valor entre error aleatorio y de escala

Realizando el cálculo obtenemos un valor de  $\mu' = 0,51 \pm 0,02$  para Urea granular con 1,5 %HR y la pared de PRFV sin recubrimiento.

#### Ángulo de rozamiento grano-pared con recubrimiento

Se repite el experimento anterior, pero en este caso utilizando la placa de PRFV con recubrimiento (Gelcoat).

Es de interés poder determinar la variación de coeficiente de fricción de la pared con y sin recubrimiento, para analizar el comportamiento del silo, en cuanto a las variaciones de presiones laterales, y el flujo de descarga.

Se infiere que el valor del ángulo de rozamiento de la Urea granular con 1,5 %HR contra la pared de PRFV con recubrimiento es de  $24^\circ \pm 1^\circ$ , (una reducción de 3 grados comparada con la placa sin recubrimiento) y el valor de  $\mu' = 0,44 \pm 0,02$ .

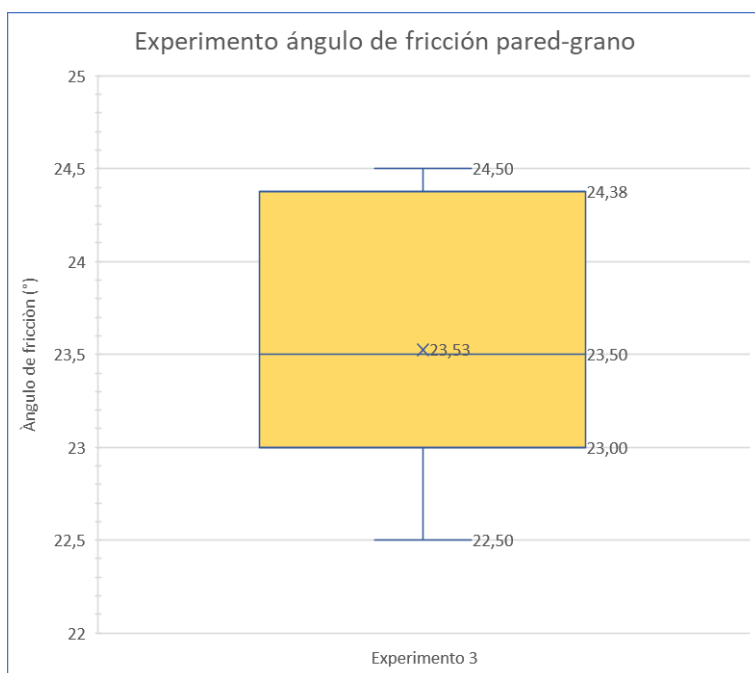
#### **Figura 39.**

*Secuencia de experimento. Placa de PRFV con recubrimiento*



**Figura 40.**

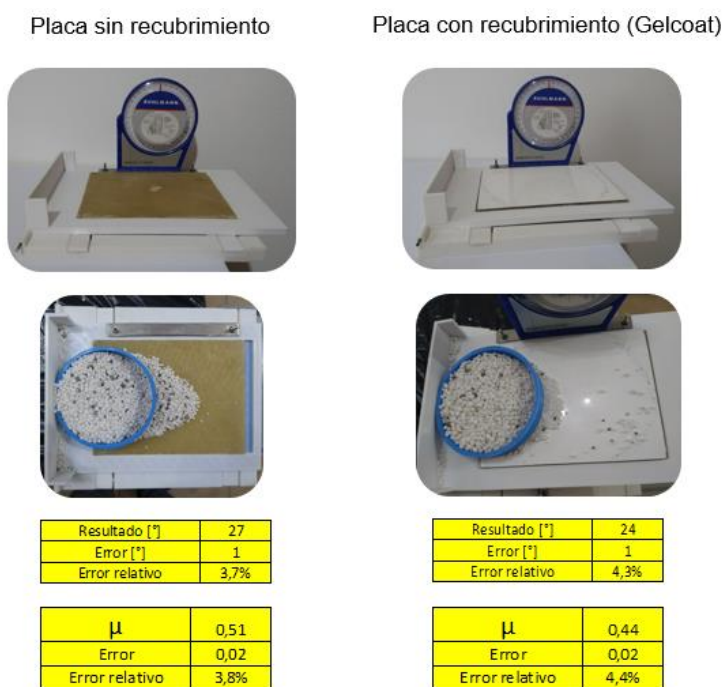
*Resultados Ángulo de Fricción Grano Pared Con Recubrimiento*



*Nota: Gráficas Boxplot. Ángulo de fricción grano-pared con recubrimiento.*

**Figura 41.**

*Comparación entre las placas con y sin recubrimiento*



### 5.1.2 Experimento de consolidación

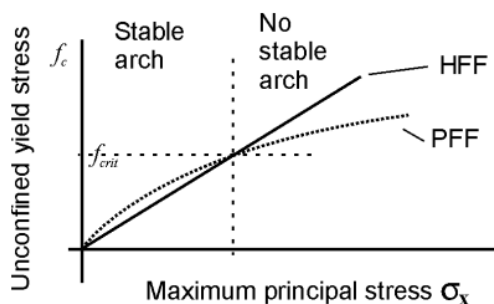
En el diseño del silo, uno de los puntos clave a tener en cuenta para el buen funcionamiento del mismo es asegurar que exista un flujo continuo de material sin obstrucciones. Para ello, se debe verificar que no se formen arcos (Figura 18) que obstruyan la salida del material, para lo cual debemos tener en consideración 2 factores fundamentales: el diámetro de la boca de salida, y el ángulo de descarga del cono inferior.

Para determinar el diámetro de la boca de descarga se utilizarán las ecuaciones (11) y (12).

Luego, la tensión del material no confinado se obtiene mediante la intersección de las curvas de factor de flujo de polvo PFF (por sus siglas en inglés) y la curva de flujo del cono HFF (por sus siglas en inglés).

**Figura 42.**

*Tensión crítica*



*Nota:* Adoptado de Holdich, R.G., *Fundamentals of Particle Technology*, Midland Information Technology and Publishing, United Kingdom, 2002.

Para determinar la curva de flujo de polvo PFF, se diseñó y ejecutó un experimento de consolidación de material, siguiendo como referencia la norma ASTM-D6128 – Standard test method for shear testing of bulk solids.

#### Objetivo:

- Determinar las tensiones del material no confinado ( $f_c$ ) y las máximas tensiones ( $\sigma_x$ ) para estimar la curva PFF (factor de flujo de polvo, por sus siglas en inglés).



**Descripción:**

- El experimento está orientado a obtener los parámetros necesarios para poder utilizar la ecuación (11) y determinar el diámetro de la boca de descarga (B). Para ello, es necesario contar con la  $f_{crit}$ , la cual se estima a través de la intersección de las curvas HFF y PFF.
- El tamaño de la boca de descarga es importante para determinar si en el silo tendremos formación de arcos de material que impidan el flujo del mismo. A su vez, también predeciremos el tipo de flujo.
- En este experimento, la variable a medir es la fuerza ( $f_{corte}$ ), la cual mediremos a través del peso necesario para mover la celda de corte luego de que el material haya sido consolidado utilizando una carga durante un tiempo determinado.
- Tomando como referencia la norma ASTM D 6128, se diseñó un dispositivo similar a una celda de corte de Jenike, en donde la fuerza es aplicada mediante el agregado de pesos en un extremo.
- Para la lectura, se utiliza una balanza previamente verificada, con una resolución de 0.1g y capacidad máxima de 2000 g.

**Hipótesis:**

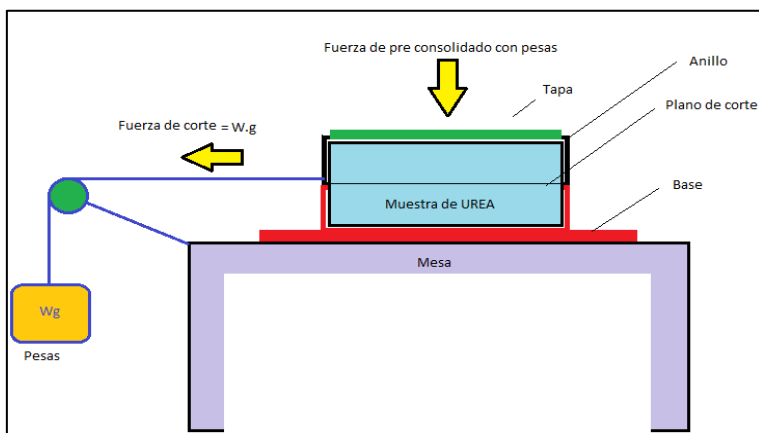
- La humedad de la muestra es una condición del ensayo, pero no se realiza correlación. No afecta al error.

**Procedimiento:**

1. Se toma una muestra de material granular, se deposita sobre la celda. Luego se distribuye el material haciendo girar 10 veces en sentido horario la tapa junto con los pesos de consolidación.
2. Se deja los pesos de consolidación durante 10 minutos y luego se retiran.
3. Se coloca el hilo de tensión junto con el porta pesas y se van agregando distintos pesos hasta que la celda se mueva.
4. Se retira el conjunto con las pesas y se realiza el pesaje en la balanza. Se registran los valores obtenidos en una tabla.
5. Se repite 6 veces el proceso, desde el punto 2 a 5, con muestras nuevas de material granular cada vez.
6. Finalmente se calculan los esfuerzos de corte y se grafican.

**Figura 43.**

*Representación teórica del experimento de consolidación*

**Tabla 3.**

*Valores obtenidos durante el experimento de consolidación*

kp	kgf/cm <sup>2</sup>	Area tapa (cm <sup>2</sup> )	Pesas (kg)	Cantidad de pesa	Cantidad de fila	Valor real de peso (gr)	ox (kgf/cm <sup>2</sup> )	Valor de corte (gr)	fc (kgf/cm <sup>2</sup> )
0	0,0000	70,88	0	0,0	0,00	71	0,001	70,4	0,0010
1	0,0102	70,88	0,72	8,6	2,15	696,1	0,010	83,1	0,0012
1,5	0,0153	70,88	1,08	12,9	3,23	1034,8	0,015	70	0,0010
2	0,0204	70,88	1,45	17,2	4,30	1454,7	0,021	81,8	0,0012
2,5	0,0255	70,88	1,81	21,5	5,38	1794,2	0,025	88,1	0,0012
3	0,0306	70,88	2,17	25,8	6,45	2051,3	0,029	82,2	0,0012

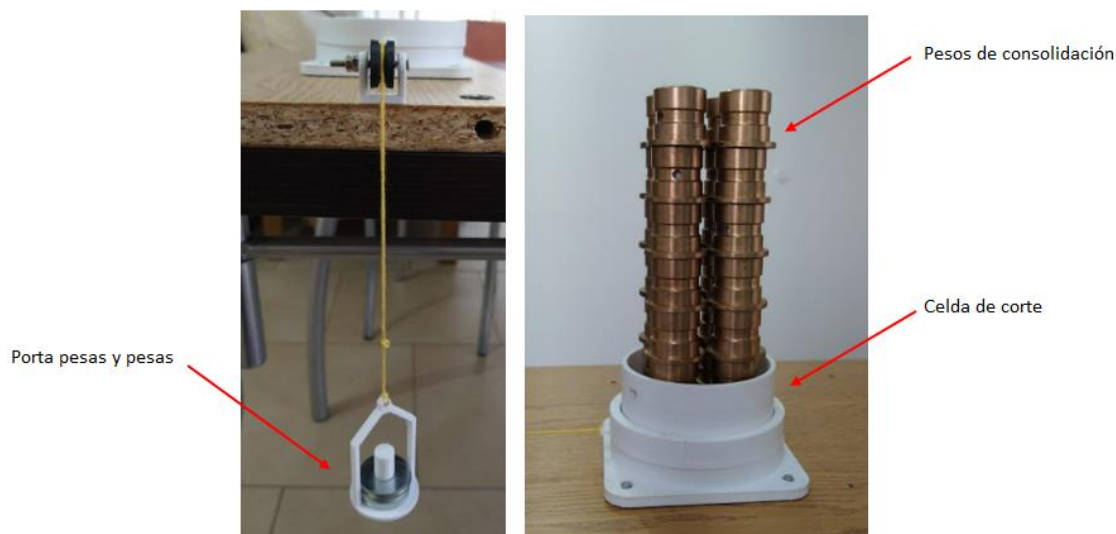
**Figura 44.**

*Dispositivo y equipo utilizado en el experimento de consolidación*



**Figura 45.**

*Detalle del dispositivo de consolidación.*



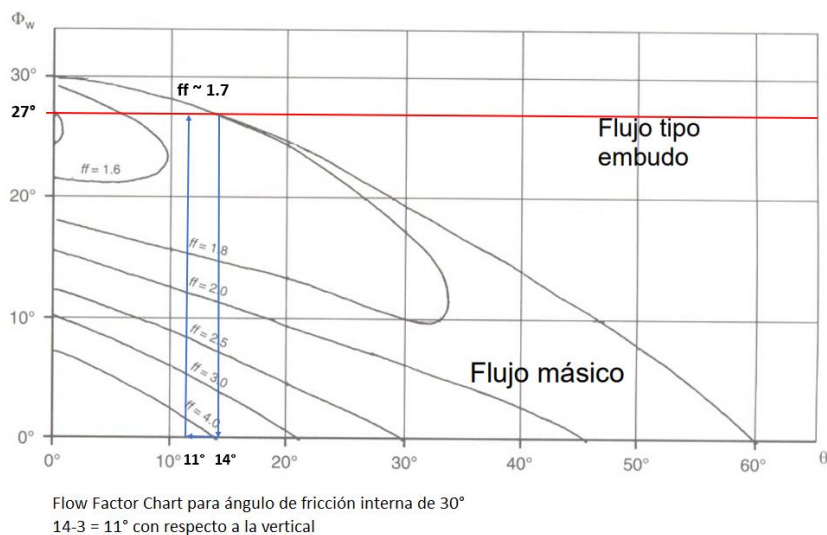
Con el valor del ángulo de fricción con la pared  $\phi$ , ingresamos a las cartas de Jenike para un ángulo de fricción interna de material de  $30^\circ$  (aproximando el ángulo de  $28,9^\circ$  obtenido del experimento) y obtenemos el factor de flujo ( $ff$ ) que se utilizará para graficar la función de flujo del cono de descarga, considerando el tipo de flujo deseado, en este caso másico.

Se realiza la evaluación del factor de flujo para los casos de ángulo de fricción con la pared con y sin recubrimiento Gelcoat.

En ambos casos, para considerar una seguridad, se resta un ángulo de  $3^\circ$  para asegurar el tipo de flujo.

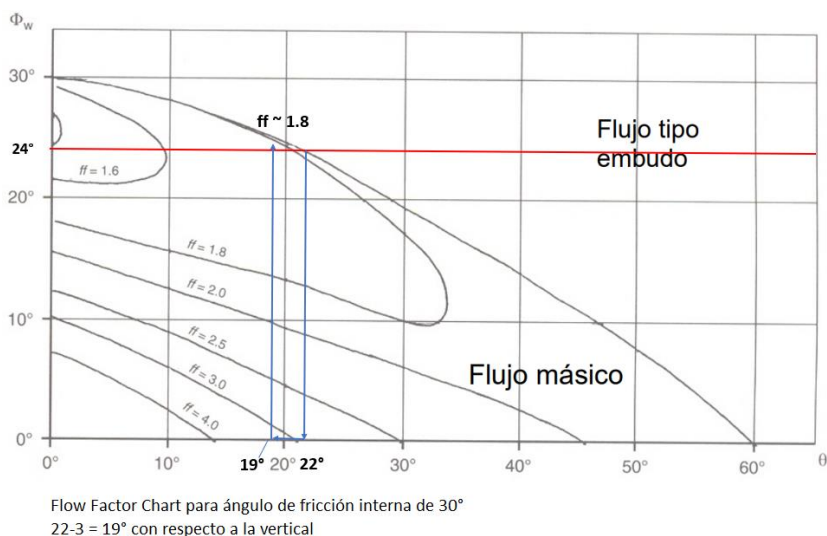
**Figura 46.**

*Factor de flujo para placa sin recubrimiento*



**Figura 47.**

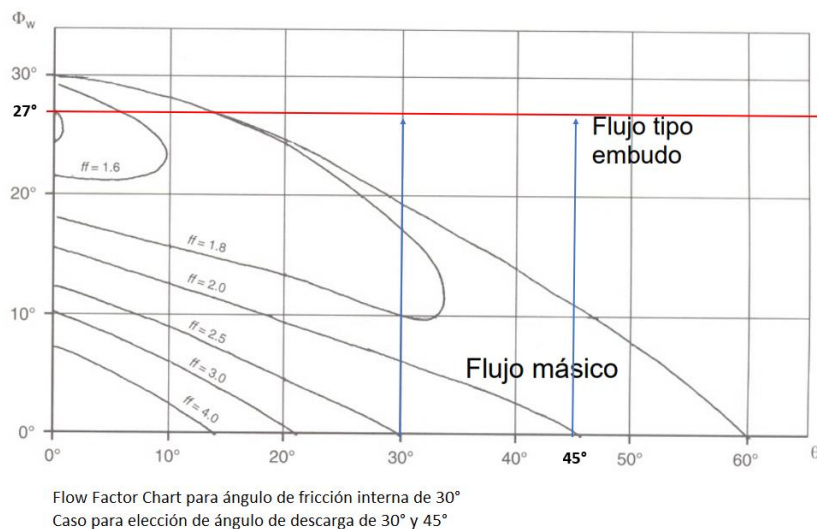
*Factor de flujo para placa con recubrimiento.*



Dado que los ángulos obtenidos para el cono de descarga son excesivamente agudos, se procede a evaluar qué tipo de flujo se tendría con un ángulo de 30° y 45° en el cono de descarga. Como se observa en la gráfica siguiente, en ambos casos tendríamos la tendencia a formación de un flujo tipo embudo.

**Figura 48.**

*Evaluación de flujo de descarga con ángulos de 30° y 45° del cono de descarga, considerando placa sin recubrimiento.*



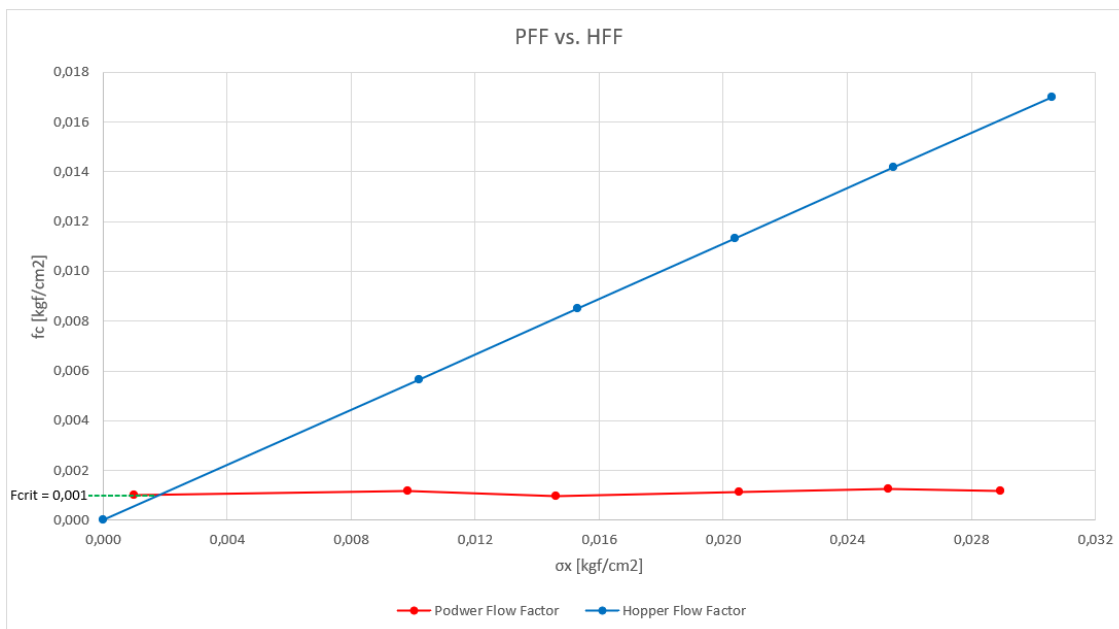
Luego, suponiendo un  $ff=1.8$  y utilizando la ecuación:

$$fc = \frac{1}{ff} \times \sigma_x \quad (28)$$

Se procede a graficar la curva HFF y se superpone con la PFF para obtener la fuerza crítica,  $f_{crit}$ .

**Figura 49.**

*Superposición de gráficas PFF y HFF*



Finalmente, el valor de la tensión crítica es  $f_{crit} = 0,098 \text{ kN/m}^2$ .

Utilizando la Ec. (12) y valorizando  $\theta$  para el caso de pared sin recubrimiento ( $\theta_{SR} = 11^\circ$ ) y con recubrimiento ( $\theta_{CR} = 19^\circ$ ) obtenemos:

$$H(\theta_{SR}) = 2 + \frac{\theta}{60^\circ} = 2 + \frac{11^\circ}{60^\circ} = 2,18 \quad (29)$$

$$H(\theta_{CR}) = 2 + \frac{\theta}{60^\circ} = 2 + \frac{19^\circ}{60^\circ} = 2,32 \quad (30)$$

De la Ec. (11) tenemos:

$$B_{SR} = \frac{H(\theta) \times f_{crit}}{\rho_B \times g} = \frac{2,18 \times 98 \text{ N/m}^2}{720 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,03\text{m} = 30\text{mm} \quad (31)$$

$$B_{CR} = \frac{H(\theta) \times f_{crit}}{\rho_B \times g} = \frac{2,32 \times 98 \text{ N/m}^2}{720 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,032\text{m} = 32\text{mm} \quad (32)$$

Como los valores obtenidos en las Ec. (31) y (32) no son coherentes con las dimensiones generales del silo, se presume que, tanto la metodología utilizada como las ecuaciones no son aplicables para este tipo de material granular.

Para constatar que exista un flujo correcto durante el funcionamiento del silo, se propone la fabricación de maquetas a escala (1:20) y realizar experimentos de vaciado de material con conos de descarga a  $70^\circ$  y  $45^\circ$ . Con ello, podemos verificar si existe flujo tipo másico, embudo o formación de arcos.

#### 5.1.2.1 Experimento de flujo de descarga con maquetas

##### Objetivo:

- Con este experimento se pretende comparar los flujos entre 2 maquetas con ángulos de descarga de  $70^\circ$  y  $45^\circ$ , de manera cualitativa.

##### Descripción:

- Se desarrollaron e imprimieron matrices para moldeo en escala 1:20 de las maquetas.
- A cada media sección se le coloca un acrílico y se llenan de una muestra de urea.
- Luego se realiza la comparación visual de los flujos de descarga.

##### Hipótesis:

- La relación entre el tamaño de grano del material y las dimensiones de la maqueta no influye en el flujo.

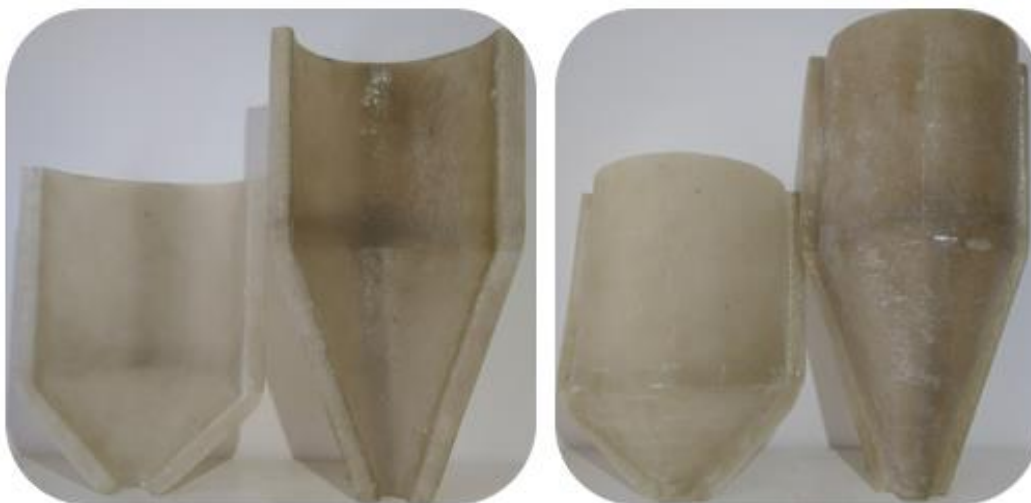
##### Figura 50.

*Matrices impresas en 3D para el moldeo de las maquetas*



**Figura 51.**

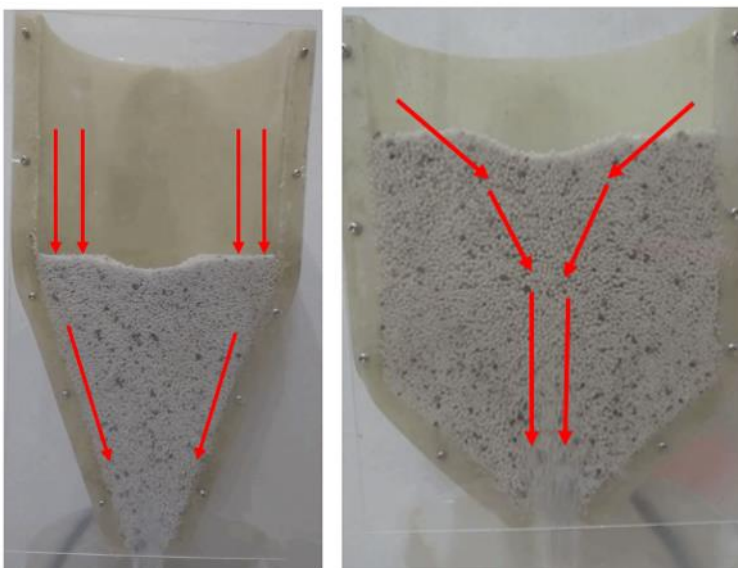
*Maquetas utilizadas en el experimento*



Rápidamente se observa que, en el caso del cono a  $70^\circ$  se presenta la tendencia al desarrollo de un flujo tipo másico, y en el cono a  $45^\circ$ , un flujo tipo embudo, con una clara formación de un canal central de descarga.

**Figura 52.**

*Comparación de flujos de descarga. Cono a  $70^\circ$  y  $45^\circ$  respectivamente*



### Conclusiones del experimento

Habiendo evaluado los flujos de descarga, y considerando las dimensiones de las secciones de cono a  $45^\circ$  y  $70^\circ$ , se decide continuar con la utilización de un cono de descarga a  $45^\circ$ , ya que con un cono

a 70° se dificultaría el diseño modular del silo y, además, se excedería la altura máxima permitida (condición de borde) para el silo de 100 m<sup>3</sup>.

### 5.1.3 Experimentos realizados con material húmeda

#### Proceso de incremento de humedad de la muestra

##### Objetivo:

- Aumentar el contenido de humedad de una muestra de 500 cm<sup>3</sup> de Urea.

##### Descripción:

- Se determina el aumento de humedad, por el método gravimétrico.

##### Hipótesis:

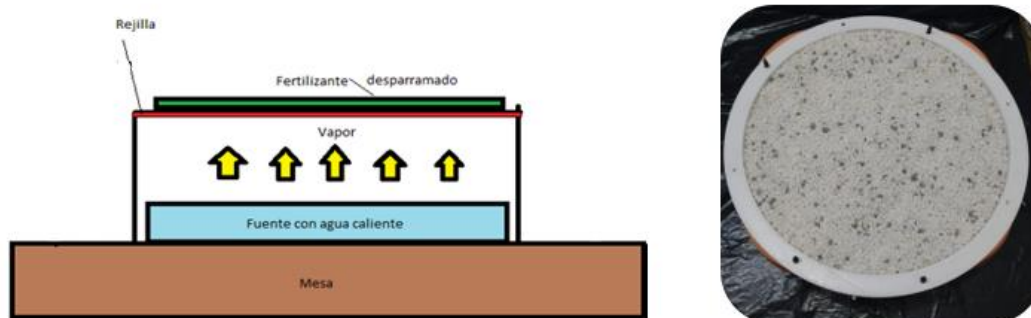
- El tiempo de exposición de la muestra es el suficiente como para lograr un aumento de humedad homogéneo en toda la muestra

##### Procedimiento:

1. Se procede a verificar la balanza con un peso de calibración.
2. Se realiza el pesaje de la muestra en seco, 10 veces, y se registran los valores.
3. Se distribuye la muestra sobre el aro con la rejilla.
4. Se llena el recipiente con agua hirviendo y se coloca el aro con la muestra.
5. Se deja humectar por un tiempo de 10 minutos.
6. Luego de pasado el tiempo, se retira el aro con la muestra y se pasa el material al envase de pesaje
7. Se realiza el pesaje de la muestra húmeda, 10 veces, y se registran los valores.

#### Figura 53.

1. Dispositivo para incrementar la humedad. 2. Muestra de urea





### Proceso de verificación de la balanza

Se realiza la verificación de la balanza utilizada para determinar el aumento de humedad de la muestra.

Los aspectos verificados fueron: repetibilidad y excentricidad. No se verificó linealidad.

Cabe destacar que la verificación de excentricidad se realizó con un peso menor al requerido. Se utilizó un bloque calibrador de 1.18Lb de Robinar, número 542146.

### **Figura 54.**

*Balanza utilizada junto al bloque calibrador*

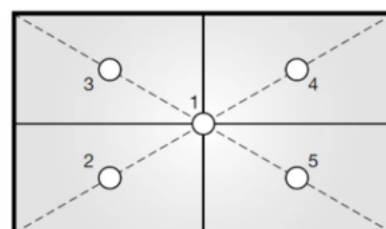


Al concluir las verificaciones se observa que el error es mayor a 1 división, con lo cual se plantea la duda sobre la idoneidad del instrumento para realizar las mediciones de aumento de humedad.

### **Tabla 4.**

*Verificación de excentricidad*

<b>Verificación de excentricidad</b>			
<b>Carga [grs]</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Indicación [grs]</b>	<b>Error Exc. [grs]</b>
535,2	1	534,8	--
535,2	2	534,8	0
535,2	3	534,6	-0,2
535,2	4	534,8	0
535,2	5	534,4	-0,4



**Tabla 5.***Verificación de repetibilidad*

<b>Repetibilidad</b>	
<b>Nº</b>	<b>Peso en Balanza [Grs]</b>
1	535
2	535,1
3	534,7
4	534,7
5	534,7
6	534,8
7	535,2
8	535,3
9	534,6
10	534,6
Desv. Est. Muestral	<b>0,26</b>

Determinación del % H gravimétrica

El modelo matemático utilizado para el cálculo fue:

$$\%H = \frac{P_{mh} - P_{ms}}{P_{ms}} \times 100 \quad (33)$$

Siendo,

$\%H$  = Porcentaje de humedad gravimétrica

$P_{mh}$  = Peso de la materia húmeda, en gf

$P_{ms}$  = Peso de la materia seca, en gf

**Figura 55.***Pesaje de muestras sin y con humedad agregada*

El proceso de aumento de humedad se realizó en 2 ocasiones, luego de las cuales se utilizó el material para realizar los experimentos de ángulo de fricción interno y ángulo de fricción con la pared.

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 6.**

*Pesaje utilizado para el experimento de ángulo de fricción interno de urea con 1,5 %HR*

<i>Pesaje para experimento de ángulo de fricción interno</i>		
N° de Muestra	Peso sin humedad [gf]	Peso con humedad [gf]
1	369,2	373,8
2	368,9	373,9
3	369,1	374
4	369	374
5	368,8	374,1
6	368,9	374
7	368,9	374,1
8	368,8	374,1
9	368,9	374,2
10	368,9	374,2
Promedio	368,94	374,04
Desviación Estándar M	0,1	0,1
Desviación %	0,03%	0,03%
disp	0,40	0,40
disp rel	0,11%	0,11%
Varianza Muestral	0,02	0,02
%H	1,4%	

**Tabla 7.**

*Pesaje para experimento de ángulo de fricción grano-pared*

<i>Pesaje para experimento de ángulo de fricción con la pared</i>		
N° de Muestra	Peso sin humedad [gf]	Peso con humedad [gf]
1	373,5	373,7
2	373,6	374
3	373,6	374,1
4	373,6	374,1
5	373,5	374,2
6	373,6	374,4
7	373,7	374,3
8	373,5	374,4
9	373,4	374,5
10	373,3	374,5
Promedio	373,53	374,22
Desviación Estándar M	0,1	0,3
Desviación %	0,03%	0,07%
disp	0,40	0,80
disp rel	0,11%	0,21%
Varianza Muestral	0,01	0,06
%H	0,2%	

A la vez, se realizó un ensayo para determinar el porcentaje de humedad absorbido utilizando el método de humedad gravimétrica realizando el ensayo en una estufa de secado a 106°C durante 2,5

Hs. Para realizar el pesaje se utilizó una balanza de precisión OHAUS – AR2140 con capacidad máxima de pesaje 210 g y división 0,001 g.

Como conclusión se obtuvo que durante el experimento se incrementó la humedad de la muestra en aproximadamente 280% y que el porcentaje de humedad inicial (1.5%) concuerda con el porcentaje de humedad que informan los proveedores de urea al momento de la entrega del material, lo cual indica que la muestra se condice con la condición de entrega.

### Figura 56.

#### Resultados de ensayo de humedad gravimétrica

FECHA: 19/11/2021

UREA (FRASCO CON TAPA AZUL)

PESO INICIAL:	0,9904
PESO FINAL:	0,9751
DIFERENCIA:	0,0153
% HUMEDAD (BASE HUMEDA):	1,5448
% HUMEDAD (BASE SECA):	1,5691

UREA HUMEDA (FRASCO CON TAPA DORADA)

PESO INICIAL:	1,0005
PESO FINAL:	0,9582
DIFERENCIA:	0,0423
% HUMEDAD (BASE HUMEDA):	4,2279
% HUMEDAD (BASE SECA):	4,4145

CONDICIONES:

ESTUFA DE SECADO @ 106°C

TIEMPO TOTAL DE SECADO A PESADA CTTE. 2,5 HRS



### Figura 57.

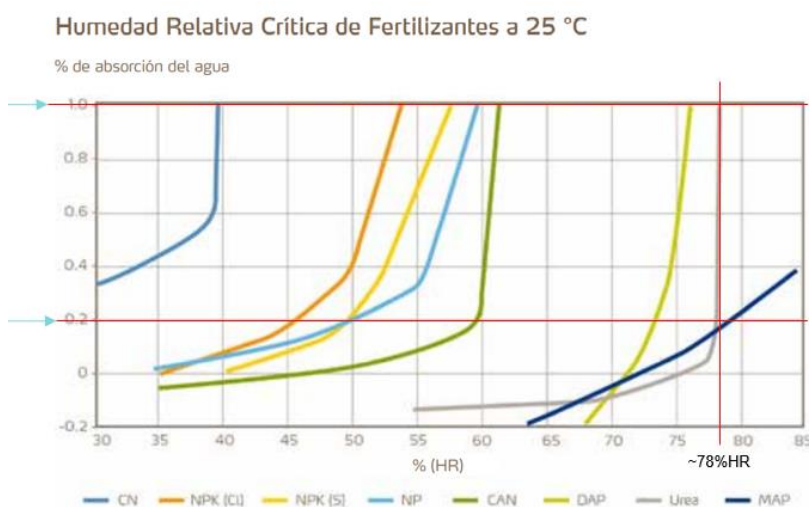
#### Balanza de precisión OHAUS utilizada en el ensayo



Luego, realizando una comparación de los valores obtenidos de absorción de humedad, con la gráfica proporcionada por el fabricante de fertilizantes YARA, podemos observar que, en ambas situaciones nos encontramos en un 78%HR aproximadamente. Esto es por la particularidad que posee la curva de absorción de humedad de la urea, la cual es asintótica pasados los 0,1% de absorción de humedad aproximadamente.

### Figura 58.

*Humedad relativa crítica de fertilizantes. Fuente YARA*

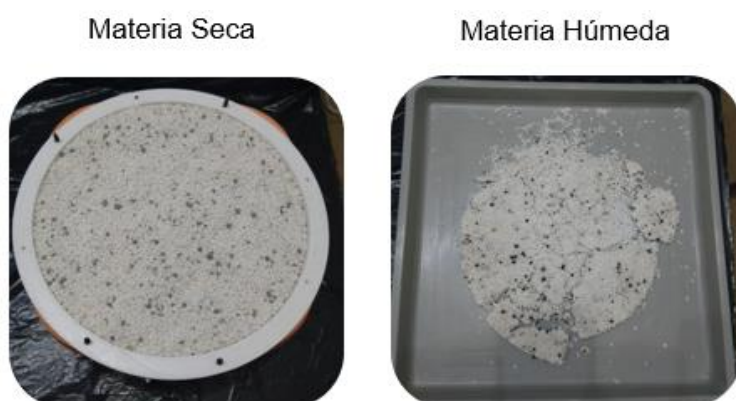


### Observaciones:

- Durante el proceso de humectación se observó que el material se aglomera y adhiere a la rejilla.
- Se forman bloques de urea que fue necesario romper para poder realizar los experimentos.
- Fenómeno: La materia incorpora agua, se aglomeran los granos, y, a medida que se va “secando” nuevamente la materia, se solidifican los bloques o conjunto de granos, formando las llamadas piedras.

**Figura 59.**

Resultado luego del proceso de la absorción de humedad



### 5.1.3.1 Ángulo de fricción interna

Durante el experimento realizado se pudo observar la complejidad de trabajar con el material húmedo, en su porcentaje máximo de absorción de agua.

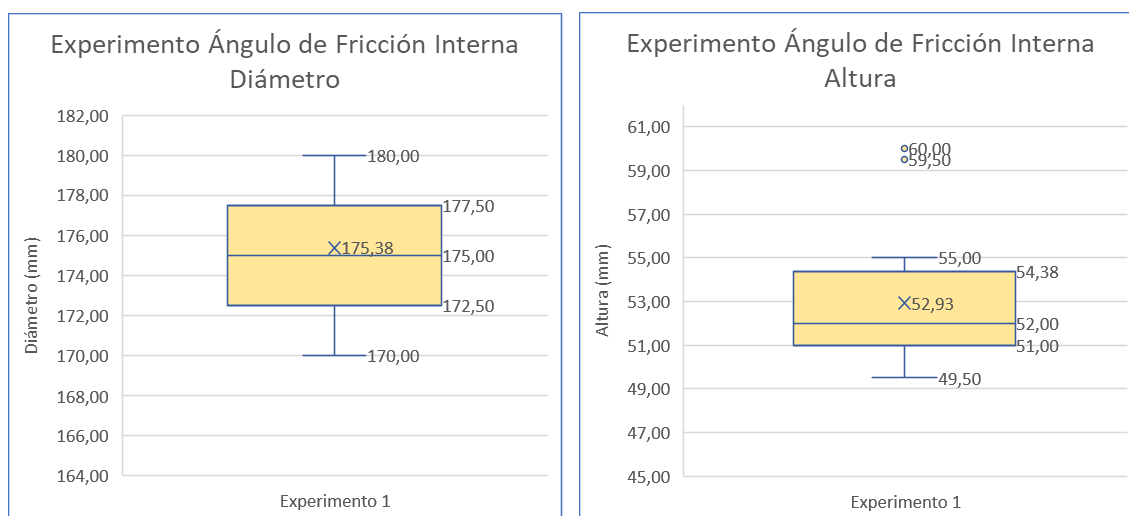
Lo primero que podemos destacar, es una gran dispersión de los datos. Pasamos de un 7% de dispersión de datos en condición seca a un 20% de dispersión en condición húmeda.

Esto nos indica que quizás el método y/o dispositivo utilizado quizás no sean aceptables para este tipo de experimento.

De todas maneras, se decide proseguir con el experimento y se obtiene un ángulo de fricción interna de  $31,1^\circ \pm 0,4^\circ$  para urea granular con 78%HR.

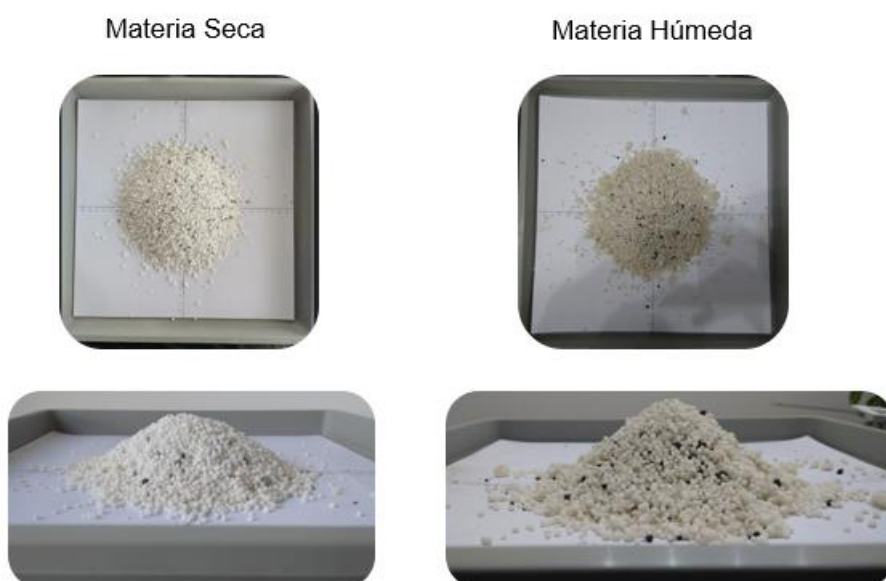
**Figura 60.**

Gráficas Boxplot del experimento de ángulo de fricción interna realizado con materia húmeda



**Figura 61.**

*Ángulo de fricción interna. Comparación entre materia seca y húmeda*



En la **Figura 62** se pueden observar los bloqueos de descarga que ocurrieron durante los experimentos.

El 80% de las mediciones tuvieron al menos un atasco de material. Se presume que estos atascos de material influyeron directamente en la variación de la altura del cono, generando así dispersiones en los datos y una medición de baja calidad.

**Figura 62.**

*Experimento de ángulo de fricción interna. Formación de piedras y bloqueos durante la descarga*



Con el valor de  $\theta = 31,1^\circ \pm 0,4$  se lleva a cabo el cálculo de K obteniéndose  $K = 0,319 \pm 0,005$  para Urea granular con 78%HR.

**Figura 63.**

Comparación de valores obtenidos para  $K$

K	0,319
Error	0,005
Error Relativo	1,6%

(Materia húmeda)

K	0,348
Error	0,005
Error Relativo	1,5%

(Materia seca)

Se observa una reducción del valor de  $K$ , generado por el aumento del ángulo de reposo  $\theta$ . Esto indica que las presiones horizontales ( $P_h = K P_v$ ) se reducirán. Se puede suponer que si ocurre esto es porque el material se descargará con flujo tipo túnel o embudo. Ver **Figura 19**.

Esta suposición concuerda con lo informado por Profertil con respecto a los ángulos de reposo y su relación con el flujo, **Figura 64**. Sin embargo, debido a la gran dispersión relativa se pone en duda el uso de estos valores.

**Figura 64.**

Relación ángulo de reposo-fluencia de fertilizantes en general.

ÁNGULO DE REPOSO (°)	CARACTERIZACIÓN DEL FLUJO
> 50	Sin flujo libre
30-50	Pobre - aceptable
< 30	Flujo fácil

*Nota:* Adoptado del Boletín N° 15, *Propiedades y Aspectos de la Manipulación de Fertilizantes*

*Sólidos a Granel*, Profertil, 2009.

### 5.1.3.2 Ángulo de fricción grano-pared

#### Observaciones

Se evidencian las mismas complicaciones de aglomeramiento de material que en el experimento de ángulo de fricción interna.

- En el 100% de las mediciones hubo inconvenientes para realizar una correcta distribución del material en la celda.
- Quedan más espacios vacíos entre el material por contener “piedras” de urea.
- Se presenta un cambio en la densidad a granel del material.
- Se disminuye el área de contacto del material granular con la placa, influyendo directamente sobre el valor del ángulo de fricción.
- El valor pico (Outlier) se obtuvo en la primera medición, con el material aún húmedo superficialmente.

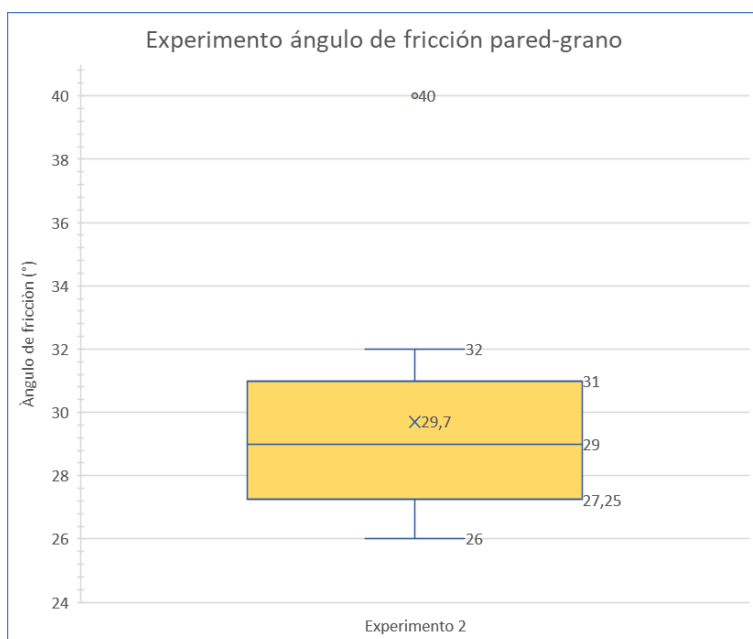


Luego de algunos ajustes, se continúa con los experimentos, pero se observa una marcada disminución en el ángulo de rozamiento. Probablemente debido a que, al transcurrir cierto tiempo, el material granular se “seca” superficialmente, se solidifica, y reduce su adherencia con la placa.

Se obtiene como resultado un valor de ángulo de fricción grano-pared de PRFV sin recubrimiento de  $\varphi = 30^\circ \pm 2$ .

**Figura 65.**

*Gráficas Boxplot. Ángulo de fricción grano-pared sin recubrimiento. Materia húmeda*



**Figura 66.**

*Experimento de ángulo de fricción grano-pared. Materia húmeda*



### Conclusiones del experimento con materia húmeda:

- Luego de realizados los experimentos, **emerge la dificultad** del estudio del material granular con un 78% H.
- Existe cierta complejidad en la curva de absorción de agua de la urea. Sería conveniente realizar más experimentos o ensayos para **determinar el tiempo necesario para la absorción** de un cierto porcentaje de agua a un % HR determinada.
- Luego de realizar la humectación, se observa que no toda la masa de material granular adquiere humedad, sino que, la parte en contacto con el vapor de agua es la que incorpora humedad. Luego va ascendiendo, pero queda una parte seca en la superficie.
- Debido a esto, se desprende una serie de incógnitas a resolver:
  - ¿Es correcto considerar que todo el material absorbe humedad?
  - ¿Tiene validez “romper” todo el material aglomerado para realizar los experimentos?
  - ¿Se debe **estudiar el fenómeno acoplado o desacoplado** de lo que ocurre dentro del silo?
  - ¿La condición a estudiar sería con toda la masa húmeda o tiene validez estudiar una humectación parcial como se obtuvo en el experimento?
    - ❖ Recordando, la humedad dentro del silo puede ingresar mediante filtraciones o mediante la **condensación de humedad** por los cambios de temperatura. En ese sentido, la humedad se condensa sobre las paredes, y produciría un efecto similar al experimentado. Parte de la materia estará con humedad, y parte no, desde la periferia hacia el centro.

De acuerdo a lo expuesto, se plantea la **duda sobre la idoneidad del método** para realizar los experimentos con la materia húmeda y se define continuar con el pre diseño del silo utilizando los valores obtenidos durante los experimentos con materia seca, dejando abierta la posibilidad de continuar el estudio del comportamiento de la materia húmeda para un trabajo posterior.

## **5.2 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL CONSTRUCTIVO PRFV**

Con objeto de poder determinar las características y propiedades mecánicas del material constructivo del silo, se realizaron ensayos de tracción y de flexión en el Laboratorio de Ensayos Mecánicos del DAT (Dirección de Asistencia Técnica).

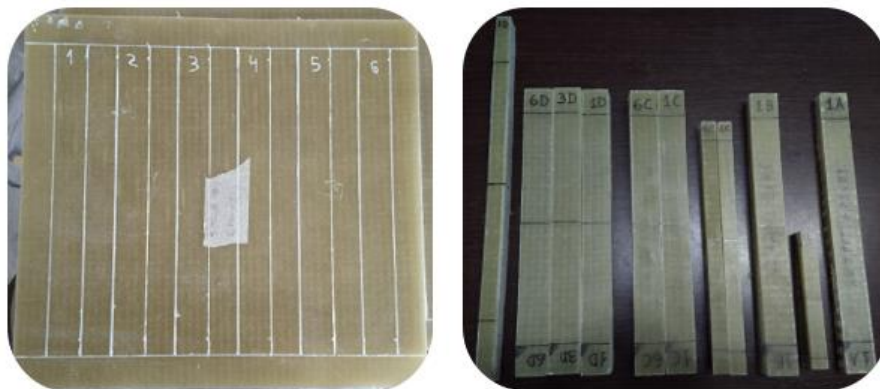
En primera instancia se moldean placas de 4 compuestos distintos para luego poder extraer 6 probetas de cada compuesto para los ensayos de tracción. En el caso del ensayo de flexión se utilizó solamente

3 compuestos por practicidad, ya que el primer compuesto es de un espesor muy pequeño para dicho ensayo.

En el *Anexo IV* se encuentra el detalle dimensional de las probetas y en el *Anexo V* el reporte completo de los ensayos realizados.

**Figura 67.**

*Placas y probetas utilizadas en los ensayos*



**Tabla 8.**

*Compuestos utilizados en los ensayos*

	Compuesto A		Compuesto B		Compuesto C		Compuesto D	
Refuerzo	Mat	Roving	Mat	Roving	Mat	Roving	Mat	Roving
Cantidad de capas	1	1	2	1	5	2	7	4
Peso individual (kg/m <sup>2</sup> )	0,45	0,8	0,45	0,8	0,45	0,8	0,45	0,8
Peso de vidrio (kg/m <sup>2</sup> )	1,25		1,7		3,85		6,35	
Peso de resina (kg/m <sup>2</sup> )	2,13		2,89		6,56		10,81	
Espesor de vidrio (mm)	0,49		0,66		1,51		2,48	
Espesor de resina (mm)	1,93		2,63		5,96		9,83	
Espesor total del laminado (mm)	2,42		3,30		7,46		12,31	

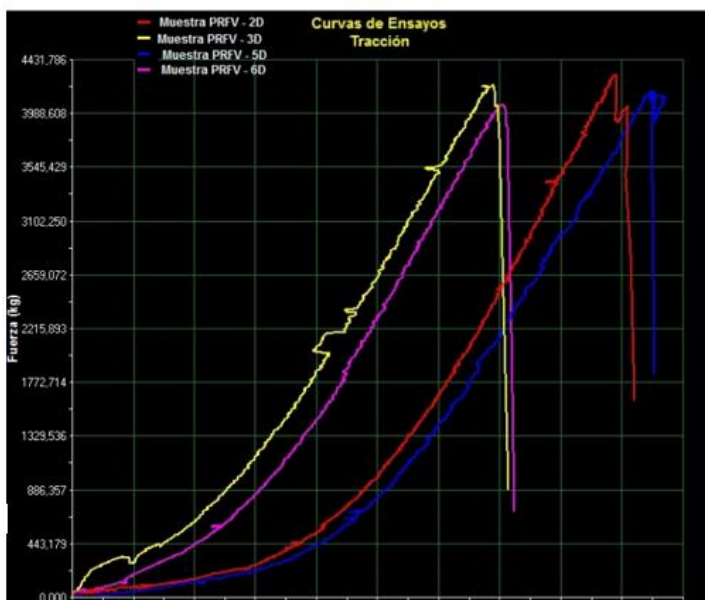
Tanto los ensayos como las probetas se realizaron siguiendo como referencia los lineamientos de la norma ASTM D 3039 - Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials – y la norma ASTM D 7264 - Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

**Figura 68.**

*Máquina universal de ensayos utilizada*

**Figura 69.**

*Ejemplo de gráfica comparativa para en ensayo de tracción del compuesto D*



IDENTIFICACIÓN	MUESTRAS "D"					
	1D	2D	3D	4D	5D	6D
EVALUACIÓN						
PROMEDIO MEDIDAS DE LAS PROBETAS (mm)	25mm x 10mm					
CARGA DE ROTURA [kg]	3814	4302	4224	3973	4179	4058
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN [Mpa]	161	172	162	152	160	155
PROMEDIO DE DURACIÓN DE TIEMPO DEL ENSAYO	2' 27"					

Como se puede observar en la gráfica, el compuesto tiene un comportamiento similar al de un material frágil, llegando (en el caso de la muestra 2D) hasta los 172 Mpa de resistencia a la tracción. Durante el ensayo se pudo notar que la mayoría de las roturas fueron por delaminación, es decir, rotura en secuencia de las capas de refuerzo.

En el caso del ensayo de flexión, se pudo apreciar la sorprendente recuperación que tiene el material luego de aplicada la carga, similar al período elástico de un acero dúctil.

Con una carga de 34 kgf (en el caso de la probeta 3C) se llegó hasta 30mm de flecha.

### Figura 70.

*Resultado y probeta 3C utilizada para ensayo de flexión*

IDENTIFICACIÓN EVALUACIÓN	MUESTRAS "C"					
	1C	2C	3C	4C	5C	6C
PROMEDIO MEDIDAS DE LAS PROBETAS (mm)	13mm x 5,8mm					
CARGA DE ROTURA [kg]	36	55	34	33	30	28
FLEXIÓN [mm]	23	23	30	26,86	25,26	28,8
PROMEDIO DE DURACIÓN DE TIEMPO DEL ENSAYO	3' 40"					



### Figura 71.

*Equipo utilizado para el ensayo de flexión*



## 6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

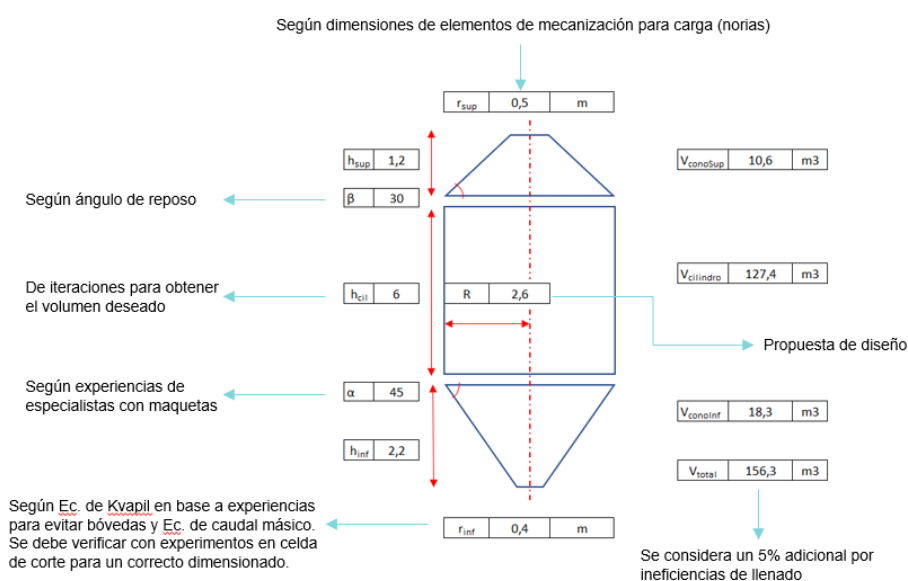
### 6.1 DISEÑO GENERAL Y CÁLCULOS DE RESISTENCIA

#### 6.1.1 Pre diseño

Luego de haber llevado a cabo varios experimentos y ensayos, se procede a la utilización de los valores obtenidos para realizar el pre diseño del silo.

**Figura 72.**

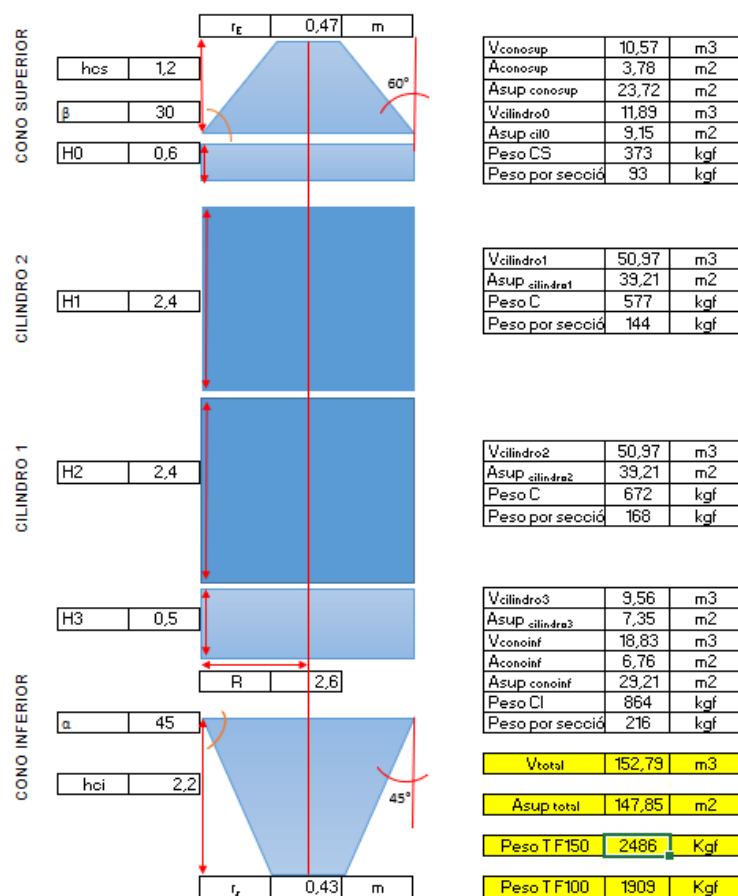
*Pre diseño del silo. Etapa 1 - Dimensiones y su fuente.*



En la segunda etapa, ya orientado al diseño final, se piensa en un sistema modular, el cual nos permita tener las mismas secciones para ensamblar tanto el silo de  $100m^3$  como el de  $150m^3$ . Para ello, se proyecta que las secciones cilíndricas del silo tengan una capacidad de  $50 m^3$ .

**Figura 73.**

Pre diseño del silo - Etapa 2 - Cálculo de volúmenes y peso de las secciones



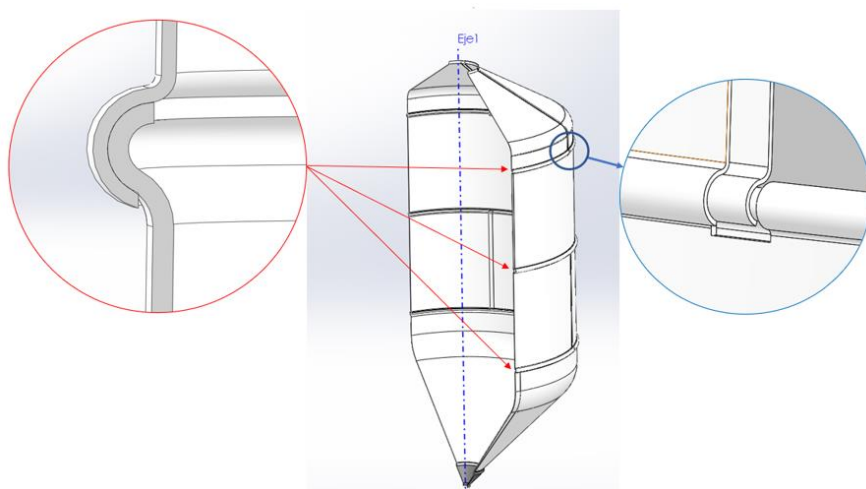
En las uniones horizontales se propone utilizar una estructura tipo “sándwich”, utilizando una media caña superpuesta, la cual se estima que aportará rigidez a la estructura general del silo, formando anillos, similar al comportamiento que tendría si estuviera zunchado.

Luego, en uniones verticales se utilizará un solape, también considerado el aspecto estético del diseño.

Todas las uniones serán abulonadas, con bulones M10 de acero inoxidable (ya que el material que se almacenará en el silo es corrosivo).

**Figura 74.**

*Detalle de uniones horizontales y verticales en silo de 150 m<sup>3</sup>*



### 6.1.2 Cálculo de esfuerzos

Con los valores del pre diseño del silo, y la ecuación de presiones horizontales de Janssen (13), se procede al cálculo del esfuerzo horizontal y su error asociado.

$$P_Z(\mu', \kappa) = \frac{\delta \times R}{\mu'} \times \left[ 1 - e^{-\left(\frac{\mu' \times \kappa}{R} \times Z\right)} \right] \quad (34)$$

$$\Delta P_Z = \left| \frac{\partial P_Z}{\partial \mu'} \right| \Delta \mu' + \left| \frac{\partial P_Z}{\partial \kappa} \right| \Delta \kappa \quad (35)$$

$$\Delta P_Z = \left| -\frac{936 \times (1 - e^{-5.538 \times \kappa \times \mu})}{\mu'^2} + \frac{5184 \times e^{-5.538 \times \kappa \times \mu} \kappa}{\mu'} \right| \Delta \mu' + |5184 \times e^{-5.538 \times \kappa \times \mu}| \Delta \kappa \quad (36)$$

Resolviendo mediante el software Wolfram Mathematica para:

$$\mu' = 0,51 \pm 0,02$$

$$\kappa = 0,348 \pm 0,005$$

$$R = 1,3 \text{ m}$$

$$Z = 7,2 \text{ m}$$

$$\delta = 720 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P_Z = 925,70 \times 0,02 + 1949,08 \times 0,005 = 28,3 \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right] \quad (37)$$



Por lo tanto,

$$P_z = 1148 \pm 30 \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right] \quad (38)$$

$\delta$  = Densidad a granel del material almacenado (Urea), en  $\text{kg}/\text{m}^3$

$R$  = Radio hidráulico medio de la sección recta, en  $m$

$Z$  = Altura desde la parte superior del silo, en  $m$

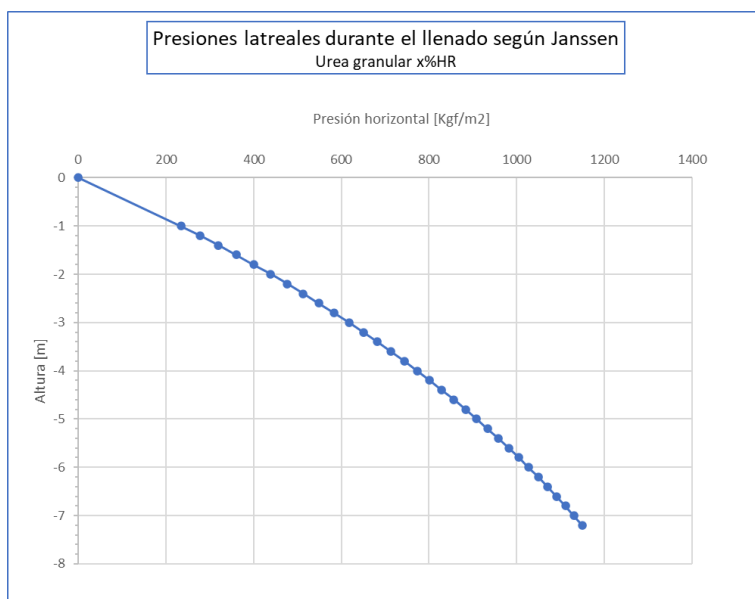
$P_z$  = Presión horizontal a la altura  $z$ , en  $\text{kgf}/\text{m}^2$

Nota: Para simplificar el procedimiento de cálculo de errores se define  $R$ ,  $Z$  y  $\delta$  como constantes, pero se sabe que en la práctica varían.

Se procede con el gráfico de las presiones laterales obtenidas utilizando la Ec. de Janssen para la muestra de Urea con  $x$  %HR.

### Figura 75.

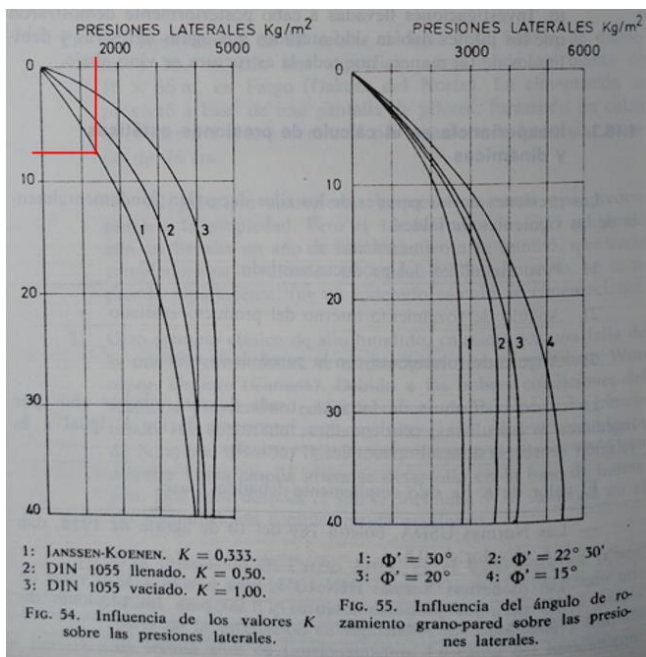
Presiones laterales durante el llenado según Ec. de Janssen



Nota: Si se compara la gráfica obtenida con las gráficas desarrolladas por distintos especialistas, para un valor de  $K$  similar, se advierte que existe cierta consistencia en los valores obtenidos.

**Figura 76.**

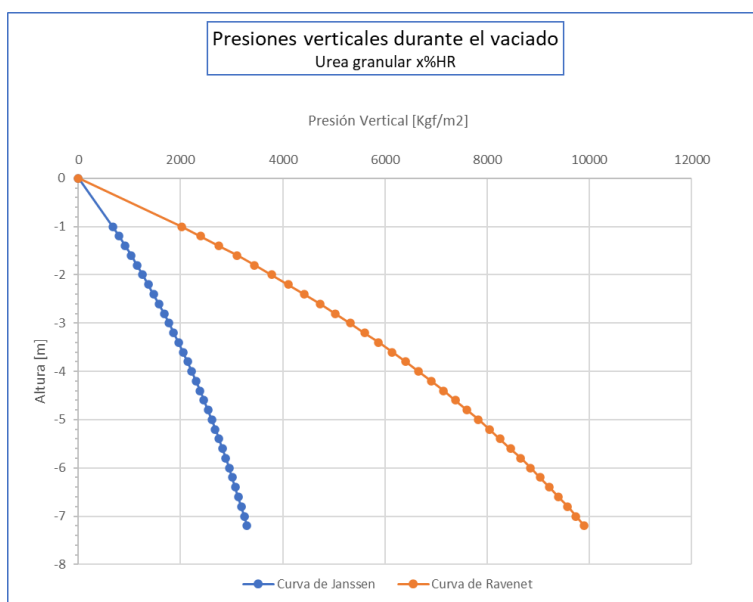
Influencia de los valores de  $K$  sobre las presiones laterales. Fuente: J. Ravenet



A continuación, se procede con el gráfico de comparación entre las presiones verticales y horizontales obtenidas utilizando la Ec. de Janssen y Ravenet.

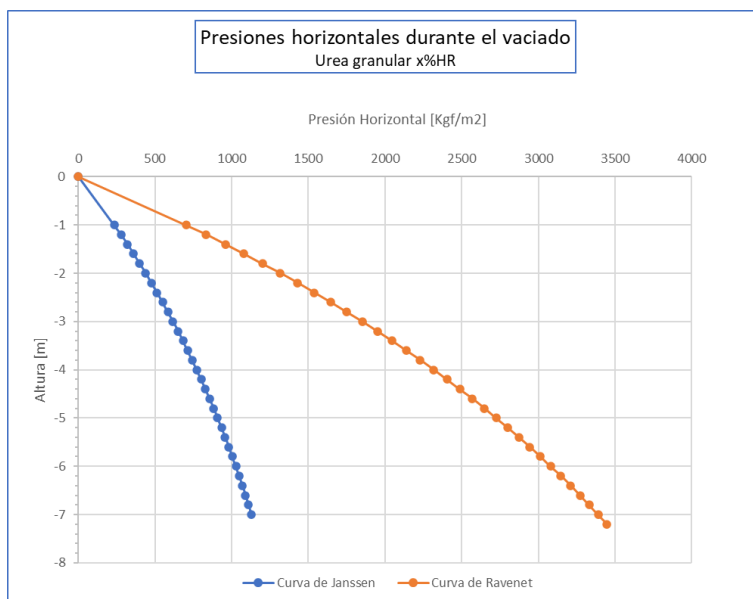
**Figura 77.**

Comparación de presiones verticales durante el vaciado



**Figura 78.**

*Comparación de presiones horizontales durante el vaciado*



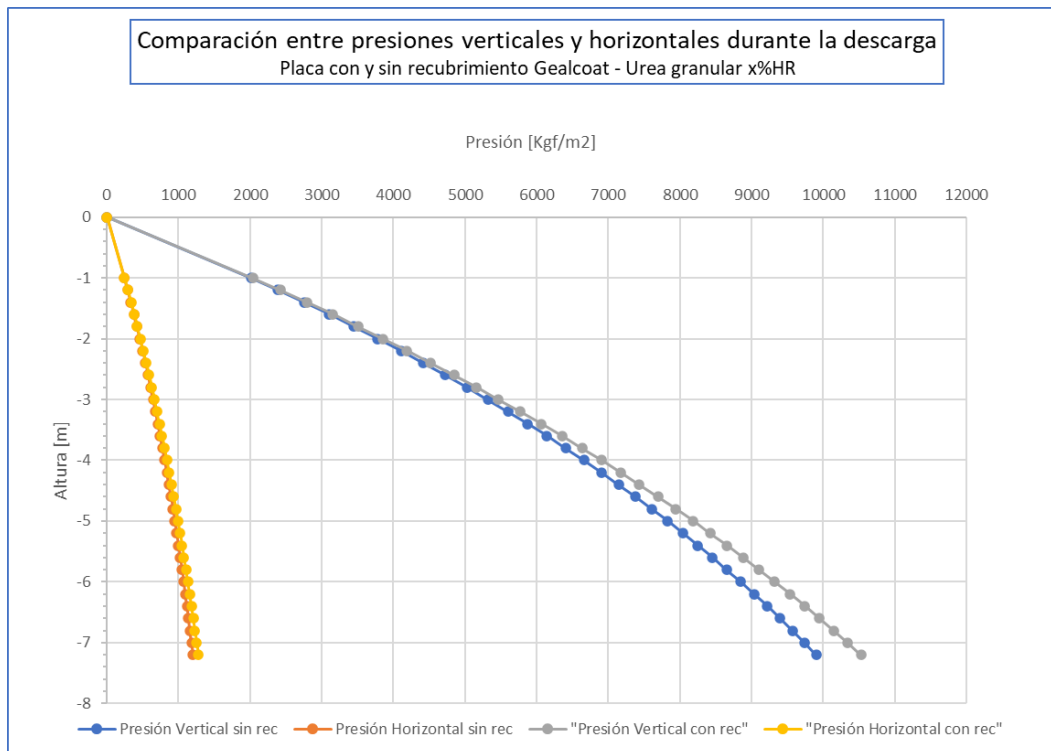
La curva de Ravenet contempla un factor de **3**, debido a las presiones que aparecen por la caída de bóvedas y el efecto émbolo. Estas presiones crecen en función directa con la altura del silo. Este factor se basa en experiencias prácticas y en la curva desarrollada por Platonov.

Por último, se considera de interés exponer la comparación entre las presiones verticales y horizontales, variando  $\mu$  (coeficiente de rozamiento con la pared) y considerando un factor de sobrepresión igual a 3. Se observa un incremento de las presiones, tanto horizontales como verticales, al utilizar un recubrimiento (gelcoat) en la pared de fibra de vidrio.

En un análisis preliminar se podría decir que, si bien poseer un coeficiente de fricción bajo facilitaría la descarga del material, en contrapartida, aumentarían las presiones internas del silo durante la descarga.

**Figura 79.**

Comparación entre presiones verticales y horizontales para distintos coeficientes de fricción con la pared



$$P_z(\mu', K) = 3 \times \frac{\delta \times R}{\mu'} \times \left[ 1 - e^{-\left(\frac{\mu' \times K}{R} \times z\right)} \right] \quad (39)$$

$$\Delta P_z = \left| \frac{\partial P_z}{\partial \mu'} \right| \Delta \mu' + \left| \frac{\partial P_z}{\partial K} \right| \Delta K \quad (40)$$

$$\Delta P_z = \left| -\frac{2808 \times (1 - e^{-5.538 \times k \times \mu})}{\mu'^2} + \frac{15552 \times e^{-5.538 \times k \times \mu} k}{\mu'} \right| \Delta \mu' + |15552 \times e^{-5.538 \times k \times \mu}| \Delta K \quad (41)$$

Resolviendo para:

$$\mu' = 0,51 \pm 0,02$$

$$K = 0,348 \pm 0,005$$

$$R = 1,3 \text{ m}$$

$$Z = 7,2 \text{ m}$$

$$\delta = 720 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P_z = 2777,09 \times 0,02 + 5847,238 \times 0,005 = 84,8 \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right] \quad (42)$$

Por lo tanto, tomando el criterio de 1 sola cifra significativa:

$$P_z = 3442 \pm 90 \left[ \frac{kgf}{m^2} \right] \quad (43)$$

#### Conclusión:

En este punto, luego de analizar los valores de los esfuerzos en placas con y sin recubrimiento de Gelcoat, se decide avanzar con el recubrimiento solamente en la parte exterior del silo, ya que, si bien sería beneficioso tener el recubrimiento interno para facilitar la descarga, por otro lado, tendríamos un aumento en los esfuerzos laterales dentro del silo, como indica la gráfica de la **Figura 79**; además de aportar incremento de costo y complejidad en la manufactura.

#### 6.1.2.1 Cargas de viento

Para el cálculo de las cargas de viento en el silo se siguieron los lineamientos del reglamento CIRSOC 102 – Reglamento Argentino de acción del viento sobre las construcciones – en especial en **Anexo IV**, el cual especifica los coeficientes de presión externa para depósitos, silo y tanques circulares.

Utilizando la ecuación (44) determinamos las presiones externas a las cuales estará solicitado el silo:

$$p = G \times C_p \times q_h \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (44)$$

$$p = 0,85 \times 0,85 \times 1234,95 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$p = 892,25 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

Siendo:

$p$  = Presión externa, en  $N/m^2$

$G$  = Factor de efecto ráfaga (0,85)

$C_p$  = Coeficiente de presión externa

$q_h$  = Presión dinámica calculada a la altura  $h$ , en  $N/m^2$

En donde la presión dinámica fue calculada como:

$$q_h = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \times I \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (45)$$

$$q_h = 0,613 \times 0,975 \times 1 \times 0,95 \times 50^2 \times 0,87 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$q_h = 1234,95 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$K_d$  = Factor de direccionalidad del viento (CIRSOC 5.4.4)

$K_z$  = Coeficiente de exposición para la presión dinámica (CIRSOC 5.6.4)

$K_{zt}$  = Factor topográfico (CIRSOC 5.7.2)

$V$  = Velocidad básica del viento, en  $\frac{m}{s}$

$I$  = Factor de importancia (CIRSOC 5.5)

Con estos valores fue calculada la fuerza total de empuje  $F_e$  a la altura  $h = 4,77$  m.

$$F_e = 0,63 \times q_h \times b \times c \quad [N] \quad (46)$$

$$F_e = 0,63 \times 1234,95 \left[ \frac{N}{m^2} \right] \times 5,20 [m] \times 5,36 [m]$$

$$F_e = 21685 [N]$$

Donde,

$F_e$  = Fuerza total de empuje, en N

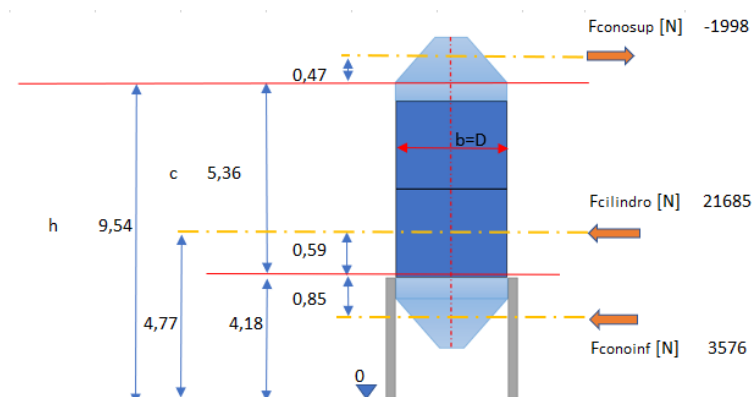
$b$  = Diámetro del silo, en m.

$c$  = Altura de la sección cilíndrica desde las columnas hasta la cubierta, en m.

En el **Anexo VI** se encuentra el detalle de todos los cálculos realizados.

### Figura 80.

Representación de fuerzas de empuje debido al viento (silo  $150 \text{ m}^3$ )



### 6.1.2.2 Resistencia estructural del silo

Luego de obtener las presiones externas debidas al viento se procede con el cálculo de la resistencia estructural del silo de PRFV siguiendo los lineamientos de la norma BS 4994 – 1987.

En primera instancia, con los valores obtenidos en los experimentos y en los ensayos realizados se confecciona la tabla de datos generales, que serán utilizados en los cálculos.

**Tabla 9.**

*Datos generales para el cálculo de la resistencia estructural del silo*

Datos generales de diseño				
Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Densidad a granel del material a almacenar	$\delta$	720	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	[Hoja técnica de producto]
Angulo de fricción grano-pared	$\alpha$	27	$[\text{°}]$	[Dato experimental]
Coefficiente de rozamiento grano-pared	$\mu$	0,51		[Dato experimental]
Angulo de fricción interna del material	$\vartheta$	28,9	$[\text{°}]$	[Dato experimental]
Coefficiente K de Janssen	$\kappa$	0,35		[Ravenet - Tomo I - 1.3.1]
Diámetro interno del silo (parte cilíndrica considerada como lámina cuando $e < 10\%$ del diámetro interno)	$D_i$	5200	$[\text{mm}]$	
Área de la sección recta del silo	$A$	21,2	$[\text{m}^2]$	
Perímetro de la sección recta del silo	$U_p$	16,3	$[\text{m}]$	
Radio hidráulico de la sección	$R$	1,3	$[\text{m}]$	
Altura (desde la parte superior del silo) a la cual se evalúa la presión	$Z$	6	$[\text{m}]$	
Factor de sobrepresión por colapso de bóvedas	$F_{sp}$	3		[Ravenet - Tomo III - Pág. 326]
Factor de conversión de $\text{kgf}/\text{m}^2$ a $\text{N}/\text{mm}^2$	$F_x$	9,81E-06		

#### Factor de diseño

El factor de diseño se calcula tomando como referencia la EC. (1) de la sección 9.2.2 de la Norma BS 4994. Resultando,

$$K = 3 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 \quad (47)$$

$$K = 3 \times 1.5 \times 1.2 \times 1 \times 1.2 \times 1.3$$

$$K = 8,42$$

Donde,

$K_1$  = Factor relacionado con el método de manufactura

$K_2$  = Factor relacionado con el comportamiento en el tiempo

$K_3$  = Factor relacionado con la temperatura de trabajo

$K_4$  = Factor relacionado con los ciclos de carga

$K_5$  = Factor relacionado con el proceso de curado

### Carga límite permisible

Conociendo el valor del factor de diseño, K, se calcula la carga permisible utilizando:

$$U_L = \frac{U}{K} \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right] \quad (48)$$

$$U_{L-MAT} = 23,74 \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$

$$U_{L-ROV} = 29,68 \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$

Siendo,

$$U_{MAT} = \text{UTUS para el MAT de fibra de vidrio} = 200 \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$

$$U_{ROV} = \text{UTUS para la tela ROVING de fibra de vidrio} = 250 \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$

Cabe aclarar que la norma utiliza el término UTUS (Ultimate Tensile Unit Strength) para valorar la resistencia del material compuesto, y lo define como la resistencia de un tipo de refuerzo expresada como fuerza por unidad de ancho por unidad de masa de refuerzo.

### **Figura 81.**

*Definición de UTUS según BS 4994*

Term	Definition	Derivation
Ultimate tensile unit strength (UTUS)	The strength of a reinforcement type, expressed as force per unit width, per unit mass of reinforcement	Obtained from the fracture load of a laminate of known construction, in a tensile test

*Nota:* Adoptado de, *Design and construction of vessels and tanks in reinforced plastics*, norma BS 4994:1987.

### Tensión límite permisible

Se determina la tensión límite permisible,  $U_s$  de la ecuación:

$$U_s = X_z \times \epsilon \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right] \quad (49)$$

$$U_{s-MAT} = 28 \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$

$$U_{s-ROV} = 32 \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$



Siendo,

$$U_{S-MAT} = \text{Tensión límite permisible para MAT en } \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$

$$U_{S-ROV} = \text{Tensión límite permisible para ROVING en } \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$

$\epsilon = \text{Deformación admisible} = 0.2\%$

$$X_{z-MAT} = \text{Equivalente al módulo de elasticidad del MAT} = 14000 \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$

$$X_{z-ROV} = \text{Equivalente al módulo de elasticidad del ROVING} = 16000 \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$

### Determinación de la construcción del laminado del cono superior

La carga admisible del laminado se calcula mediante la ecuación:

$$Q = u_1 \times m_1 \times n_1 + u_2 \times m_2 \times n_2 + \dots + u_z \times m_z \times n_z \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right] \quad (50)$$

$$Q_{cono\_sup} = 108 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$Q_{cil\_sup} = 140 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$Q_{cil\_inf} = 162 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$Q_{cono\_inf} = 226 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$Q_{aro \text{ de soporte}} = 410 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

Siendo,

$$Q = \text{Carga admisible del laminado en } \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

$$u = \text{Carga unitaria de diseño en } \left[ \frac{N}{mm} \text{ por } kg/m^2 \right]$$

$$m = \text{Masa de refuerzo por unidad de área en } [kg/m^2]$$

$n = \text{número de capas de refuerzo}$

### Estimación del espesor del laminado

El espesor del laminado se puede estimar mediante la multiplicación del peso de vidrio del componente por constantes de espesor para resina y fibra.

$$t_{vidrio} = w_{vidrio} \times C_{vidrio} [mm] \quad (51)$$

$$t_{resina} = w_{resina} \times C_{resina} [mm] \quad (52)$$

Donde,

$t$  = Espesor del compuesto en  $[mm]$

$w$  = Peso del compuesto en  $\left[\frac{kg}{m^2}\right]$

$C$  = Constante del compuesto en  $\left[mm \text{ por } \frac{kg}{m^2}\right]$

Resultando,

$$t_{cono\_sup} = 8 [mm]$$

$$t_{cil\_sup} = 10 [mm]$$

$$t_{cil\_inf} = 12 [mm]$$

$$t_{cono\_inf} = 17 [mm]$$

$$t_{aro \text{ de soporte}} = 30 [mm]$$

**Tabla 10.**

*Constantes de espesor. Fuente:*

	densidad g/cm. <sup>3</sup>	constante de espesor (-)
fibra de vidrio tipo E	2,56	0,391
resina poliéster	1,1	0,909
" "	1,2	0,833
" "	1,3	0,769
" "	1,4	0,714
" epoxi	1,1	0,909
" "	1,3	0,769
carga - carbonato de calcio	2,3	0,435
" " " " "	2,5	0,400
" " " " "	2,7	0,345

(-) espesor en mm. atribuible a 1 kg/m<sup>2</sup> de material

La constante de espesor que figura en la tabla se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{constante (mm)} = \frac{i}{\text{densidad (g/cm}^3\text{)}}$$

El espesor del laminado se calcula multiplicando la constante de espesor por la cantidad de material expresado en kg/m<sup>2</sup>.

*Nota:* Adoptado de *Manual de diseño de PRFV*, Fibras de Vidrio VASA.

#### Determinación de la carga circunferencial

Para el cálculo de la carga circunferencial (radial) a la cual estará expuesto el silo se utiliza la presión horizontal, calculada según la ecuación (15) aplicando el coeficiente de sobrepresión de Ravenet, y la presión de viento, calculada según la Ec. (44). No se tiene en cuenta la presión hidrostática vertical.

Tenemos que,

$$Q_{\phi} = \frac{p \times D_i}{2} \left[ \frac{N}{mm} \right] \quad (53)$$

$$Q_{\phi} = 80,93 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

En donde,

$Q_{\phi}$  = Carga circunferencial máxima en el punto considerado, en  $\left[ \frac{N}{mm} \right]$

$p$  = Presión efectiva total, en  $\left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

$D_i$  = Diámetro interno del silo, en  $[mm]$

#### Determinación de la carga longitudinal

La carga unitaria longitudinal máxima,  $Q_x$ , es resultado de una combinación de efectos y se calcula teniendo en cuenta la posición del soporte principal y seleccionando la mayor de las siguientes:

Para puntos arriba del plano de apoyo o soporte:

$$Q_{xA} = \frac{p \times D_i}{2} \pm \frac{4 \times M}{\pi \times D_i^2} - \frac{W_A}{\pi \times D_i} \left[ \frac{N}{mm} \right] \quad (54)$$

$$Q_{xA} = 46,15 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

Para puntos debajo del plano de apoyo o soporte:

$$Q_{xB} = \frac{p \times D_i}{2} \pm \frac{4 \times M}{\pi \times D_i^2} + \frac{W_B}{\pi \times D_i} \left[ \frac{N}{mm} \right] \quad (55)$$

$$Q_{xB} = 126,12 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

Donde,

$M$

= Momento flector debido al peso del silo y su contenido en el punto bajo consideración y el efecto del viento u otra carga aplicada, en  $[Nmm]$

$W_A, W_B$  = El peso de aquellas partes del silo y su contenido que quedan por arriba y por abajo del punto considerado, en  $[N]$

Finalmente, seleccionando la mayor de las 2 opciones tenemos que,

$$Q_x = 126,12 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

#### Verificación de la resistencia del laminado

Se debe verificar que la sección del silo, en este caso el cilindro inferior, soporte la carga aplicada en el punto calculado anteriormente.

Se toma como carga  $Q$  para el cálculo la mayor entre  $Q_x$  y  $Q_{\phi}$ .

Luego,

$$Q_{cil\_inf} = 162 \left[ \frac{N}{mm} \right] > Q_x = 126,12 \left[ \frac{N}{mm} \right] \rightarrow VERIFICA$$

#### Determinación del laminado del cono inferior

Al ser el componente con mayor sollicitación, el cono inferior posee un cálculo particular para determinar su resistencia.

La carga unitaria circunferencial máxima se obtiene de:

$$Q_{\phi-cono} = \frac{0,5 \times p \times D_k}{\cos \varphi} \left[ \frac{N}{mm} \right] \quad (56)$$

$$Q_{\phi-cono} = 107,23 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

En donde,

$Q_{\phi-cono}$  = Carga circunferencial máxima en el punto considerado del cono inferior, en  $\left[ \frac{N}{mm} \right]$

$p$  = Presión efectiva total, incluyendo la presión hidroestática, en  $\left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

$D_k$  = Diámetro interno del cono, en la base mayor, en  $[mm]$

$\varphi$  = Ángulo de descarga del cono, en  $[^\circ]$

La carga unitaria longitudinal máxima se obtiene de:

$$Q_{x-cono} = 0,5 \times p \times D_i \times k_{c1} \left[ \frac{N}{mm} \right] \quad (57)$$

$$Q_{x-cono} = 225 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

Siendo,

$Q_{x-cono}$  = Carga longitudinal máxima en el punto considerado del cono inferior, en  $\left[ \frac{N}{mm} \right]$

$k_{c1}$  = Factor de forma para finales cónicos

Al igual que para el laminado del cilindro inferior, se debe verificar la resistencia del cono inferior, seleccionando la mayor carga entre la circunferencial y la longitudinal.

De este modo,

$$Q_{cono\_inf} = 226 \left[ \frac{N}{mm} \right] > Q_{x-cono} = 225 \left[ \frac{N}{mm} \right] \rightarrow VERIFICA$$

Para concluir con los cálculos de resistencia del material compuesto de PRFV se procede con:

1. La verificación de la carga de compresión admisible y el espesor mínimo para prevenir abollamiento.
2. La verificación de pandeo de la sección cilíndrica

### 3. Determinación de los refuerzos circunferenciales requeridos para el silo

El detalle de estos cálculos, junto con los anteriores expuestos y la determinación de los bulones necesarios para el anclaje del silo, se puede observar en la memoria de cálculo presentada en el **Anexo VII**.

#### 6.1.2.3 Estructura metálica – Verificación a pandeo de las columnas.

Para la verificación a pandeo de las columnas seleccionadas se utilizó el método Omega, considerando la tensión compuesta debido al momento generado por efecto del viento.

$$\sigma' = N \times \frac{\omega}{A} + \frac{M'}{W_c} \leq \sigma_u \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (58)$$

Siendo,

$\sigma'$  = Tensión compuesta, en  $\left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

$N$  = Esfuerzo normal de compresión, en  $[N]$

$\omega$  = Coeficiente de pandeo, en función de la esbeltez mecánica  $\lambda$

$A$  = Área de la sección bruta, en  $[mm^2]$

$M'$  = Momento flector con respecto al plano de pandeo, en  $[Nmm]$

$W_c$  = Momento resistente de la sección, en  $[mm^3]$

$\sigma_u$  = Tensión admisible del material, en  $\left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

#### Silo de 150 m<sup>3</sup>

Luego de varias iteraciones se llega a la selección del perfil W (W150 x 22,5H), para el cual comprobamos su resistencia al pandeo teniendo:

Relación de esbeltez,

$$\lambda = \frac{L \times K}{r} \quad (59)$$

En donde,

$L$  = Longitud libre en cada plano de pandeo, en  $[mm]$

$K$  = Constante de condición de extremos

$r$  = Radio de giro de la sección en cada plano de pandeo, en  $[mm]$

Considerando como longitudes libres,

$L_y = 185 [mm]$  – (Plano de pandeo con arriostramientos)

$L_x = 400 [mm]$  – (Plano de pandeo sin arriostramientos)

Obtenemos,

$$\lambda_y = 50,68 \quad ; \quad \lambda_x = 61,44$$

Luego, con los valores de relación de esbeltez se obtiene el valor del coeficiente de pandeo mediante tablas para acero St33 y St37 según DIN 4114.

$$\lambda_y = 50,68 \rightarrow \omega_y = 1,21 \quad ; \quad \lambda_x = 61,44 \rightarrow \omega_x = 1,32$$

Reemplazando los valores en la Ec. (58) tenemos,

$$\sigma_y' = 163 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad ; \quad \sigma_x' = 81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

La tensión de fluencia del material utilizado en los perfiles (ASTM A 572 Gr. 50),

$$\sigma_{adm} = 345 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

En donde verificamos que,

$$\sigma_{adm} = 345 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] > \sigma_y' = 163 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \therefore \text{VERIFICA}$$

Y en el plano más desfavorable de pandeo tenemos un FOS (Factor Operacional de Seguridad) de:

$$\text{FOS} = \frac{345 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{163 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} = 2,11 \quad (60)$$

Siendo los recomendados por el método Omega de:

$$FS = 1,71 \text{ para } \lambda = 0 \rightarrow \text{Falla por fluencia}$$

$$FS = 2,5 \text{ para } \lambda \geq 0 \rightarrow \text{Falla por pandeo según Euler}$$

### Silo de 100 m<sup>3</sup>

De la misma manera se procede con el cálculo para la columna del silo de 100 m<sup>3</sup> obteniendo para un perfil W de 150x18 un FOS de 3,06.

Cabe destacar que los perfiles fueron seleccionados teniendo en cuenta 4 puntos:

1. Factor Operacional de Seguridad (FOS)
2. Disponibilidad en el mercado
3. Requerimientos de manufactura para preparar el perfil (corte, plegado, soldadura)
4. Costo

El detalle de los cálculos y la selección de perfiles se encuentra en el **Anexo VIII**.

**Figura 82.**

*Listado de perfiles para columnas*

Perfil	Medida (mm)	Peso (kg/m)	Denominación de perfil	e (mm)	ly (cm <sup>2</sup> )	lx (cm <sup>2</sup> )	A (cm <sup>2</sup> )	Excentricidad (cm)	Wx (cm <sup>3</sup> )	Wy (cm <sup>3</sup> )	ry (cm)	rx (cm)	FOS F150	FOS F100	ordel perfil (Mpa)	Costo (USD/m)
Perfil Silo	101x50x25	7,58	Perfil Silo - 101x50x25	3,2	263,21	96,63	9,38	4,5	21,47	27,71	5,30	3,21	0,37	0,75	240	20,69
Perfil circular	273x9,27	60,29	Perfil circular - 273x9,27	9,27	6685,82	6685,82	76,8	13,65	491,22	491,22	4,95	4,95	7,65	14,63	240	164,59
Perfil circular	219,1x8,18	42,55	Perfil circular - 219,1x8,18	8,18	3018,69	3018,69	54,2	10,95	276,15	276,15	4,15	4,15	4,49	8,53	240	116,16
Perfil circular	219,1x4,78	25,26	Perfil circular - 219,1x4,78	4,78	1848,81	1848,81	32,18	10,95	169,42	169,42	3,20	3,20	2,15	3,74	240	68,96
Perfil circular	219,1x3,5	18,6	Perfil circular - 219,1x3,5	3,5	1377,81	1377,81	23,71	10,95	125,76	125,76	2,74	2,74	1,29	2,07	240	50,78
Perfil circular	219,1x3,2	17,03	Perfil circular - 219,1x3,2	3,2	1264,92	1264,92	21,7	10,95	115,46	115,46	2,62	2,62	1,09	1,77	240	46,49
Perfil circular	114,3x6,02	16,08	Perfil circular - 114,3x6,02	6,02	301,05	301,05	20,48	5,71	52,89	52,89	2,55	2,55	0,79	1,41	240	43,90
Perfil C Cajón	200x100x30x3,2	22,14	Perfil C Cajón - 200x100x30x3,2	3,2	1600,33	1814,6	28,09	10	181,46	160,03	7,55	8,04	3,24	6,60	240	60,44
Perfil C Cajón	200x100x30x2,5	17,48	Perfil C Cajón - 200x100x30x2,5	2,5	1268,17	1446,69	22,18	10	144,67	126,82	7,56	8,08	2,57	5,23	240	47,72
Perfil C Cajón	180x100x30x2,5	16,69	Perfil C Cajón - 180x100x30x2,5	2,5	1170,65	1136,34	21,18	9	126,26	117,07	7,43	7,33	2,31	4,73	240	45,56
Perfil C Cajón	180x80x30x4,75	27,61	Perfil C Cajón - 180x80x30x4,75	4,75	1264,04	1721,82	35,03	9	191,31	158	6,01	7,01	3,05	7,54	240	75,38
Perfil C doble T	200x100x30x2,5	17,48	Perfil C doble T - 200x100x30x2,5	2,5	585,67	1446,69	22,18	10	144,67	58,57	5,14	8,08	1,55	3,94	240	47,72
Perfil C doble T	200x100x30x3,2	22,14	Perfil C doble T - 200x100x30x3,2	3,2	733	1814,6	28,09	10	181,46	73,3	5,11	8,04	1,95	4,96	240	60,44
Perfil C doble T	180x100x30x4,75	30,61	Perfil C doble T - 180x100x30x4,75	4,75	1034,12	2013,66	38,83	9	223,74	103,41	5,16	7,20	2,74	6,93	240	83,57
Perfil C doble T	180x100x30x3,2	21,13	Perfil C doble T - 180x100x30x3,2	3,2	732,96	1423,73	26,81	9	158,19	73,3	5,23	7,29	1,93	4,85	240	57,68
Perfil W	W150x13	13	Perfil W - W150x13	4,3	82	635	16,6	7,4	85,8	16,4	2,22	6,18	0,72	2,05	345	35,49
Perfil W	W150x18	18	Perfil W - W150x18	5,8	126	939	23,4	7,65	122,8	24,7	2,32	6,34	1,08	3,06	345	49,14
Perfil W	W150x22,5H	22,5	Perfil W - W150x22,5H	5,8	387	1229	29	7,61	161,7	50,9	3,65	6,51	2,11	5,68	345	61,43
Perfil cuadrado	150x4,75	21,76	Perfil cuadrado - 150x4,75	4,75	954,81	921,3	26,59	7,5	129,5	129,5	6,04	6,04	2,50	5,36	240	59,40

#### 6.1.2.4 Diseño de modelos para matrices

A continuación, se presentan esquemáticamente los modelos diseñados para obtener las matrices de cada una de las secciones del cono.

La estructura base estará compuesta por cuadernas encastradas longitudinal y transversalmente, que luego son soldadas.

En el caso de las molduras, serán construidas con impresión 3D o utilizando piezas moldeadas en PRFV a partir de piezas impresas.

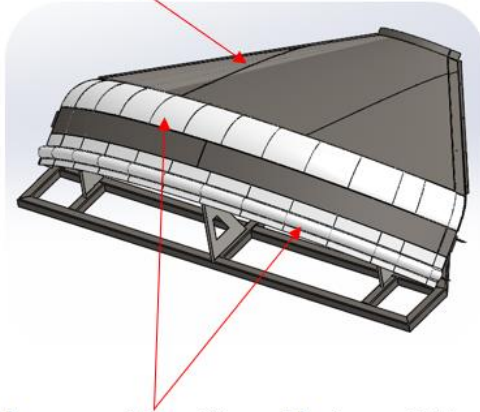
Se completa el modelo con la colocación de chapas cilindradas para formar el cono o el cilindro y luego son soldadas a la estructura base.

El proceso finaliza con la colocación de masilla y pulido del molde, con el fin de obtener la menor rugosidad posible en la superficie, permitiéndonos así un correcto desmoldeo.

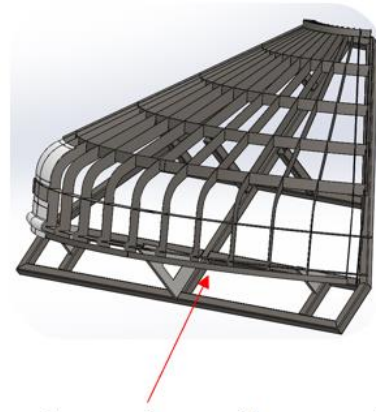
**Figura 83.**

*Molde para matriz de cono superior*

Chapa cilindrada y soldada



Molduras impresas en 3D con PLA o moldeadas con PRFV

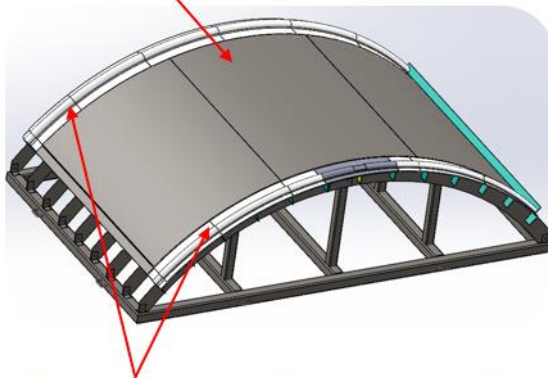


Estructura base metálica encastrada y soldada

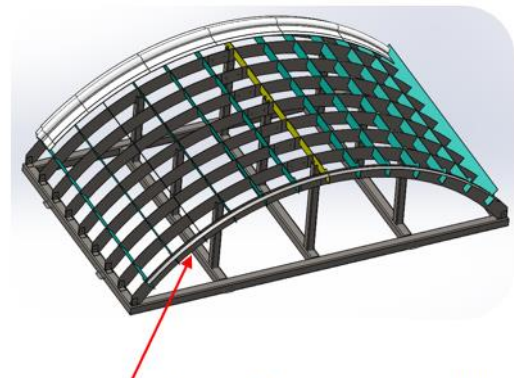
**Figura 84.**

*Molde para matriz de cilindro*

Chapa cilindrada y soldada



Molduras impresas en 3D con PLA o moldeadas con PRFV



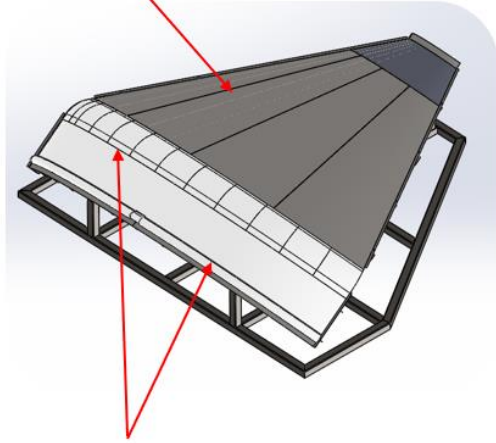
Estructura base metálica encastrada y soldada



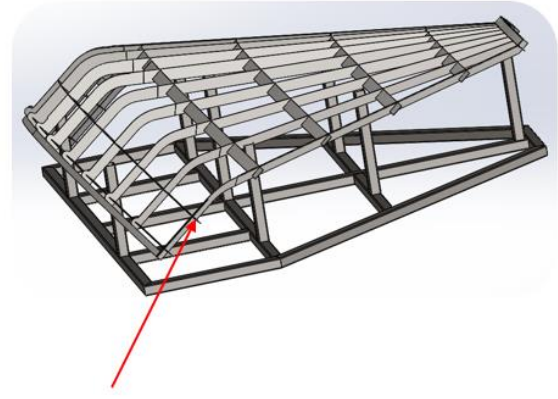
**Figura 85.**

*Molde para matriz de cono inferior*

Chapa cilindrada y soldada



Molduras impresas en 3D con PLA o moldeadas con PRFV



Estructura base metálica encastrada y soldada

## 7 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

### 7.1 ESTUDIO DE MERCADO Y PROYECCIÓN DE VENTAS

Dado que no existe una cámara que consolide los registros de ventas de silos para almacenamiento de fertilizantes en Argentina, se tuvo que partir de los registros de consumos de fertilizantes y realizar una estimación de venta de silos en base al incremento interanual de consumo.

De acuerdo a lo informado por Fertilizar A.C y CIAFA (Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos) estos fueron los consumos de urea en los últimos 5 años:

**Tabla 11.**

*Incremento de consumo de urea período 2017-2021*

<b>Incremento de consumo de UREA</b>			
<b>Año</b>	<b>Consumo tn</b>	<b>Incremento con respecto al año anterior</b>	<b>Promedio</b>
2021	2.226.560	7,35%	14,34%
2020	2.074.028	13,54%	
2019	1.826.695	12,03%	
2018	1.630.596	24,44%	
2017	1.310.399		

Según las proyecciones tendríamos un incremento interanual de aproximadamente 300 Tn. Basándonos en dicho incremento, se estima la distribución por tipo de almacenamiento que tendrían.

**Tabla 12.**

*Distribución por tipo de almacenamiento*

<b>Tipo de almacenamiento</b>	<b>Distribución</b>	<b>tn</b>	<b>Cantidad de silos de 150m<sup>3</sup></b>
Silos de chapa	25%	74348	688
Silos de PRFV	4%	11896	110
Bolsas	1%	2974	
Granel	70%	208175	

Al mismo tiempo, se calcula la cantidad de silos de 150 m<sup>3</sup> que serían necesarios para almacenar las toneladas que se distribuyen entre silos de chapa y PRFV.

En base a la distribución del tipo de almacenamiento se estima el porcentaje de mercado que tomaría la empresa y los volúmenes de producción anuales asociados. Luego se calcula el mix de producción entre silos de 100 m<sup>3</sup> y 150 m<sup>3</sup> considerando una capacidad de producción de 5 silos de 150 m<sup>3</sup> o 7 silos de 100 m<sup>3</sup> al mes.

**Tabla 13.***Proyección de volúmenes de venta*

Tipo de almacenamiento	% a tomar por Fibratec Año 1	Volumen de venta anual - Año 1	% a tomar por Fibratec Año 2	Volumen de venta anual - Año 2	% a tomar por Fibratec Año 3	Volumen de venta anual - Año 3
Silos de chapa	1,5%	10	2,0%	14	2,5%	17
Silos de PRFV	45,0%	50	46,0%	51	47,0%	52
Bolsas						
Granel						
<b>Total</b>		<b>60</b>		<b>64</b>		<b>69</b>

**Tabla 14.***Mix de producción de silos*

Modelo	% del mix de fabricación	Cantidad Año 1	Cantidad Año 2	Cantidad Año 3
Silos 150m3	90%	54	58	62
Silos 100m3	10%	6	6	7

**7.1.1 Resumen de costos**

En el siguiente apartado de exponen a modo de resumen las tablas correspondientes a los costos fijos y variables considerados en el proyecto. En el **Anexo IX** se podrá encontrar el detalle con la apertura de costos de cada ítem.

**Tabla 15.***Resumen de costos fijos*

Costos Fijos	Costo mensual [\$]	Costo mensual [USD]	Total año 1 [USD]	Total año 2 [USD]	Total año 3 [USD]
Sueldos y salarios		USD 20.959,16	USD 251.509,90	USD 264.085,40	USD 277.289,67
Uniformes y EPPs		USD 124,14	USD 1.489,74	USD 1.564,22	USD 1.642,44
Agua	\$ 4.000,00	USD 31,31	USD 375,73	USD 394,52	USD 414,25
Energía eléctrica	\$ 90.000,00	USD 704,50	USD 8.454,01	USD 8.876,71	USD 9.320,55
Gas	\$ 6.000,00	USD 46,97	USD 563,60	USD 591,78	USD 621,37
Alquiler del local	\$ 100.000,00	USD 782,78	USD 9.393,35	USD 9.863,01	USD 10.356,16
Seguros	\$ 7.000,00	USD 54,79	USD 657,53	USD 690,41	USD 724,93
Publicidad	\$ 20.000,00	USD 156,56	USD 1.878,67	USD 1.972,60	USD 2.071,23
Material de limpieza	\$ 7.000,00	USD 54,79	USD 657,53	USD 690,41	USD 724,93
Honorarios contador	\$ 20.000,00	USD 156,56	USD 1.878,67	USD 1.972,60	USD 2.071,23
<b>Total de Costos Fijos</b>		<b>USD 23.071,56</b>	<b>USD 276.858,74</b>	<b>USD 290.701,68</b>	<b>USD 305.236,76</b>

**Tabla 16.***Resumen de costos variables*

Costos variables	% sobre ventas	Valor año 1 [USD]	Valor año 2 [USD]	Valor año 3 [USD]
Material prima		USD 1.031.802,00	USD 1.101.708,73	USD 1.186.292,31
Servicio de instalación de silos		USD 222.652,13	USD 237.750,53	USD 255.986,22
Servicio de corte, perforado y soldadura		USD 227.443,63	USD 242.633,47	USD 261.553,44
Comisiones	3,0%	USD 64.733,31	USD 72.575,37	USD 85.336,48
Gastos de viáticos	0,5%	USD 10.788,89	USD 12.095,89	USD 14.222,75
El Impuesto Sobre los Ingresos Brutos (ISIB)	5,0%	USD 107.888,85	USD 120.958,95	USD 142.227,47
Mantenimiento general de equipos	1,0%	USD 21.577,77	USD 24.191,79	USD 28.445,49
Retenciones		USD -	USD -	USD -
Percepciones		USD -	USD -	USD -
<b>Total de Costos Variables</b>		<b>USD 1.686.886,58</b>	<b>USD 1.811.914,73</b>	<b>USD 1.974.064,16</b>

**7.1.2 Valor de venta**

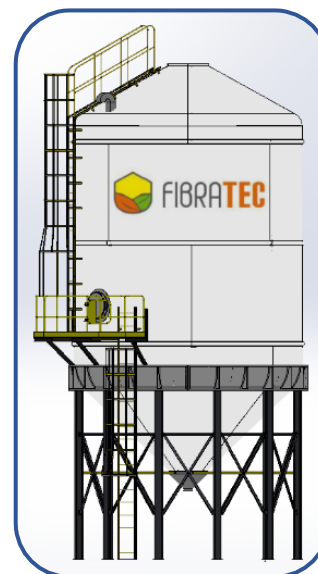
Luego de revisar los costos fijos y variables, sumando el costo de instalación y proponiendo un margen de ganancia, llegamos al valor de venta de los silos F100 y F150.

**Tabla 17.***Precio de venta silo F150*

<b>Precio de venta silo 150m<sup>3</sup></b>	<b>USD 36.550,72</b>
Costo de fabricación e instalación	USD 25.048,74
Mano de obra	USD 4.191,83
Margen de ganancia	USD 7.310,14

**Tabla 18.***Precio de venta silo F100*

<b>Precio de venta silo 100m<sup>3</sup></b>	<b>USD 30.673,05</b>
Costo de fabricación e instalación	USD 21.544,28
Mano de obra	USD 2.994,17
Margen de ganancia	USD 6.134,61

**7.2 VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO**

A continuación, se presenta el detalle de los flujos de fondos, y el análisis de la viabilidad de proyecto con los métodos VAN, TIR y PRC. Se puede observar que el proyecto recupera la inversión en 1 año y 8 meses, a la tasa fijada, y aporta un excedente de ~ USD 450.000.

**Tabla 19.***Flujo de fondos*

Flujo de fondos netos	Año actual	Año 1	Año 2	Año 3
<b>Ingresos</b>				
Venta de silos 100 y 150m3		USD 2.157.777,08	USD 2.419.178,95	USD 2.844.549,35
<b>Total ingresos</b>		<b>USD 2.157.777,08</b>	<b>USD 2.419.178,95</b>	<b>USD 2.844.549,35</b>
<b>Inversión inicial</b>				
Capital de trabajo	USD 174.766,84			
Investigación y Desarrollo	USD 2.100,00			
Moldes y Matrices	USD 28.288,27			
Ingeniería	USD 2.160,47			
Publicidad	USD 1.878,67			
<b>Total inversión inicial</b>	<b>USD 209.194,25</b>			
<b>Egresos</b>				
Compra de materia prima		USD 1.031.802,00	USD 1.101.708,73	USD 1.186.292,31
Servicio de instalación de silos		USD 222.652,13	USD 237.750,53	USD 255.986,22
Servicio de corte, perforado y soldadura		USD 227.443,63	USD 242.633,47	USD 261.553,44
Comisiones sobre ventas		USD 64.733,31	USD 72.575,37	USD 85.336,48
Gastos de viáticos		USD 10.788,89	USD 12.095,89	USD 14.222,75
Publicidad		USD 1.878,67	USD 1.972,60	USD 2.071,23
Mantenimiento general de equipos		USD 21.577,77	USD 24.191,79	USD 28.445,49
Material de limpieza		USD 657,53	USD 690,41	USD 724,93
Honorarios profesionales		USD 1.878,67	USD 1.972,60	USD 2.071,23
I.S.I.B.		USD 107.888,85	USD 120.958,95	USD 142.227,47
Alquiler		USD 9.393,35	USD 9.863,01	USD 10.356,16
Sueldos y contribuciones		USD 251.509,90	USD 264.085,40	USD 277.289,67
Uniformes y EPPs		USD 1.489,74	USD 1.564,22	USD 1.642,44
Servicios e impuestos		USD 9.393,35	USD 9.863,01	USD 10.356,16
Seguros		USD 657,53	USD 690,41	USD 724,93
Financiación		USD 52.863,70	USD 34.476,32	USD 16.088,95
Impuesto a las ganancias		USD 52.388,57	USD 85.471,89	USD 152.617,07
<b>Total egresos</b>	<b>USD 209.194,25</b>	<b>USD 2.068.997,59</b>	<b>USD 2.222.564,62</b>	<b>USD 2.448.006,95</b>
<b>Flujo de fondos netos</b>	<b>-USD 209.194,25</b>	<b>USD 88.779,49</b>	<b>USD 196.614,33</b>	<b>USD 396.542,40</b>

**Tabla 20.***Análisis VAN y TIR*

Item	Banco Galicia	Banco Nación
Tasa de interes anual plazo fijo en USD	1,9%	0,5%
<b>VAN</b>	<b>USD 442.052,48</b>	<b>USD 464.459,64</b>
<b>TIR</b>	<b>67%</b>	<b>67%</b>

**Tabla 21.***Análisis PRC*

Año	0	1	2	3
Tasa	1,90%	1,90%	1,90%	1,90%
Saldo actualizado	-USD 209.194,25	USD 87.124,13	USD 189.350,65	USD 374.771,95
Flujos acumulados	-USD 209.194,25	-USD 122.070,12	USD 67.280,53	USD 442.052,48
<b>PRC - Período de recupero</b>	<b>1,64</b>	<b>1 Año y 8 Meses</b>		

### 7.3 ESTADO DE RESULTADOS

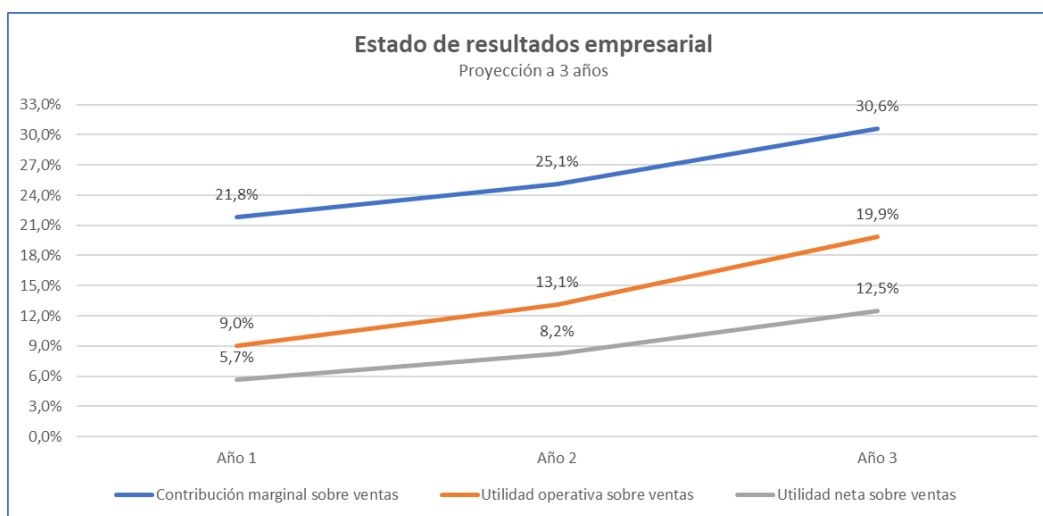
**Tabla 22.**

*Estado de resultados empresarial*

Item	Valor Año 1 [\$]	Valor Año 2 [\$]	Valor Año 3 [\$]
Ventas	\$ 275.656.022,17	\$ 309.050.110,95	\$ 363.391.179,32
Costos variables	\$ 215.499.760,88	\$ 231.472.106,78	\$ 252.186.697,08
Contribución Marginal	\$ 60.156.261,28	\$ 77.578.004,17	\$ 111.204.482,24
Costos fijos	\$ 35.368.704,10	\$ 37.137.139,31	\$ 38.993.996,27
Utilidad Operativa	\$ 24.787.557,18	\$ 40.440.864,87	\$ 72.210.485,97
Gastos Financieros	\$ 2.478.755,72	\$ 4.044.086,49	\$ 7.221.048,60
Base imponible de impuestos a las Ganancias	\$ 22.308.801,46	\$ 36.396.778,38	\$ 64.989.437,37
Impuesto a las Ganancias	\$ 6.692.640,44	\$ 10.919.033,51	\$ 19.496.831,21
<b>Utilidad Neta [\$]</b>	<b>\$ 15.616.161,02</b>	<b>\$ 25.477.744,87</b>	<b>\$ 45.492.606,16</b>
<b>Utilidad Neta [USD]</b>	USD 122.240,01	USD 199.434,40	USD 356.106,51

**Figura 86.**

*Estado de resultados empresarial*



## 8 CONCLUSIONES

Luego del arduo trabajo realizado durante el proyecto se llega al diseño final de los dos modelos de silos, F100 y F150, utilizando como guía para el cálculo estructural del PRFV la norma británica BS 4994-1987 y las recomendaciones de los autores Jenssen y Ravenet, expertos en materia de silos.

El diseño propuesto contempla todas las condiciones de contorno establecidas al comienzo del proyecto, cumpliendo, además, con los objetivos planteados.

Fueron cruciales para la ejecución del proyecto los experimentos y ensayos realizados, los cuales permitieron caracterizar los materiales y cuantificar, con su incertidumbre asociada, los esfuerzos que se generan dentro del silo durante los ciclos de carga y descarga. Esta información es clave al momento de realizar los cálculos del silo y de su estructura portante.

El análisis económico revela que el costo de los silos es competitivo con respecto a lo que se encuentra en el mercado, teniendo sólidos argumentos de venta. Se destaca que el análisis según los métodos VAN y TIR es positivo, recuperando la inversión inicial en 1 año y 8 meses, generando un excedente de aproximadamente USD 440.000 en 3 años.

Es de especial interés remarcar que se deben seguir realizando ensayos o experimentos que permitan determinar la relación que existe entre el tiempo de almacenamiento de la urea, el porcentaje de humedad relativa ambiente y su condición física, es decir, el aglomeramiento o formación de piedras. Esta información será de gran utilidad para poder establecer programas de mantenimiento, en caso de períodos de almacenamiento largos, o incluso generar alertas cuando los niveles de humedad dentro del silo estén cerca del límite permisible, cuidando así la calidad del producto y el funcionamiento del silo.

**Figura 87.**

*Representación gráfica de los silos F150, F100 y la proyección de una planta de silos.*





---

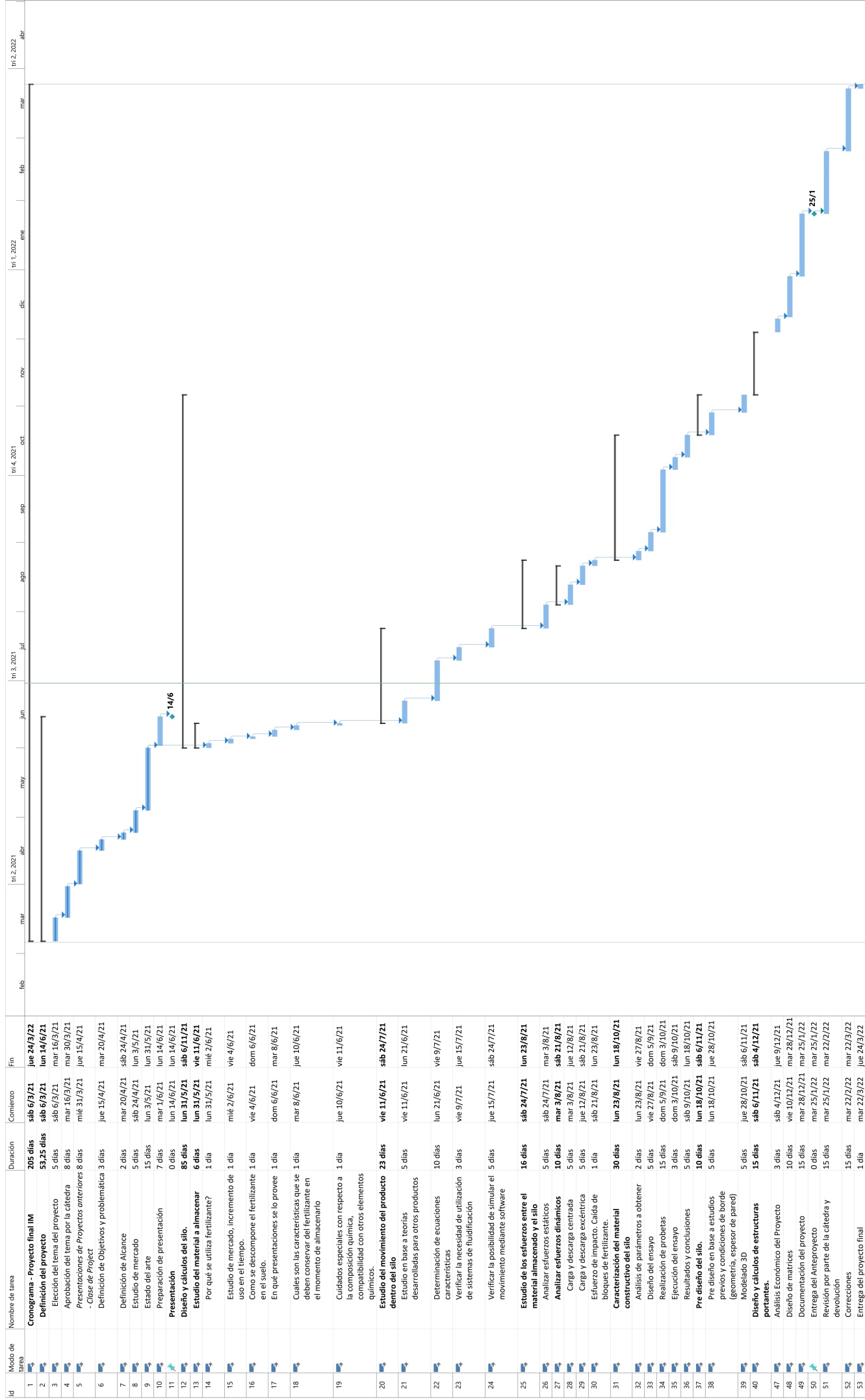
## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bellorin, Dhamarys, Mora, Daniel y Serrano, Martín (2016). *Proceso de Fabricación de la Urea Granulada*, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial, Venezuela.
- Ravenet, J. (1978). *Silos – Teoría, investigación, construcción*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, s.a.
- Ravenet, J. (1983). *Silos – Flujos de vaciado de sólidos. Formación de bóvedas. Efectos*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, s.a.
- ASTM D6128-2006. *Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell*.
- ASTM D3039-2000. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*
- ASTM D7264-2021. *Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials*.
- Rodríguez M. y Torres Duggan M. (2011). *Caracterización de los fertilizantes y su calidad agronómica*.
- Jinfeng Wang, Detang Zou, Jinwu Wang, and Wei Zhou (2014). *Testing and Analysis of the Shear Modulus of Urea Granules*. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China.
- Amorós, J.L. Mallol, G. Sánchez, E. García, J. *Diseño de silos y tolvas para el almacenamiento de materiales pulverulentos. problemas asociados a la operación de descarga*. Universitat Jaume I. Castellón. España.
- Thomson, F. M., *Storage and Flow of Particulate Solids*, Handbook of Powder Science & Technology, editado por Fayed, M. E., Otten, L., Chapman & Hall, N.Y., 1997.
- Holdich, R.G., *Fundamentals of Particle Technology*, Midland Information Technology and Publishing, United Kingdom, 2002.
- Borja Martínez Pedrero (2017). *Diseño y desarrollo de una instalación experimental mediante el uso de herramientas de impresión 3D para el estudio y simulación de flujos granulares*. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Luis M. Palacios Pineda, Agustín Escamilla Martínez, Luis M. Espinosa Nieto, Fernando Cruz Hernández (2009). *Dispositivo de corte directo para la caracterización de materiales granulares*. Departamento de Metalmecánica, Instituto Tecnológico de Pachuca, México.
- Ortega Peralvo D. Torres Andrade F. *Diseño de un silo de fondo cónico para almacenar maíz con capacidad de 25 toneladas con carga y descarga*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito

- Reglamento CIRSOC 102, *Acción del Viento Sobre las Construcciones*, 2005.
- Reglamento CIRSOC 301, *Estructuras de Acero para Edificios*, 2005.
- Ficha técnica de Urea granular – Fertinova
- Manual técnico – *Propiedades generales de los fertilizantes* – Ricardo Guerrero Riascos
- Manual, *De la fábrica al campo; Propiedades y manejo de los Fertilizantes*. Yara
- *Manual de diseño de PRFV*, Departamento de fibras de vidrio de Vidriería Argentina S.A.
- *Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación*. Hector Villacis, Universidad San Francisco de Quito (USFQ).
- Yara - <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/almacenaje-y-manejo-de-fertilizantes/>

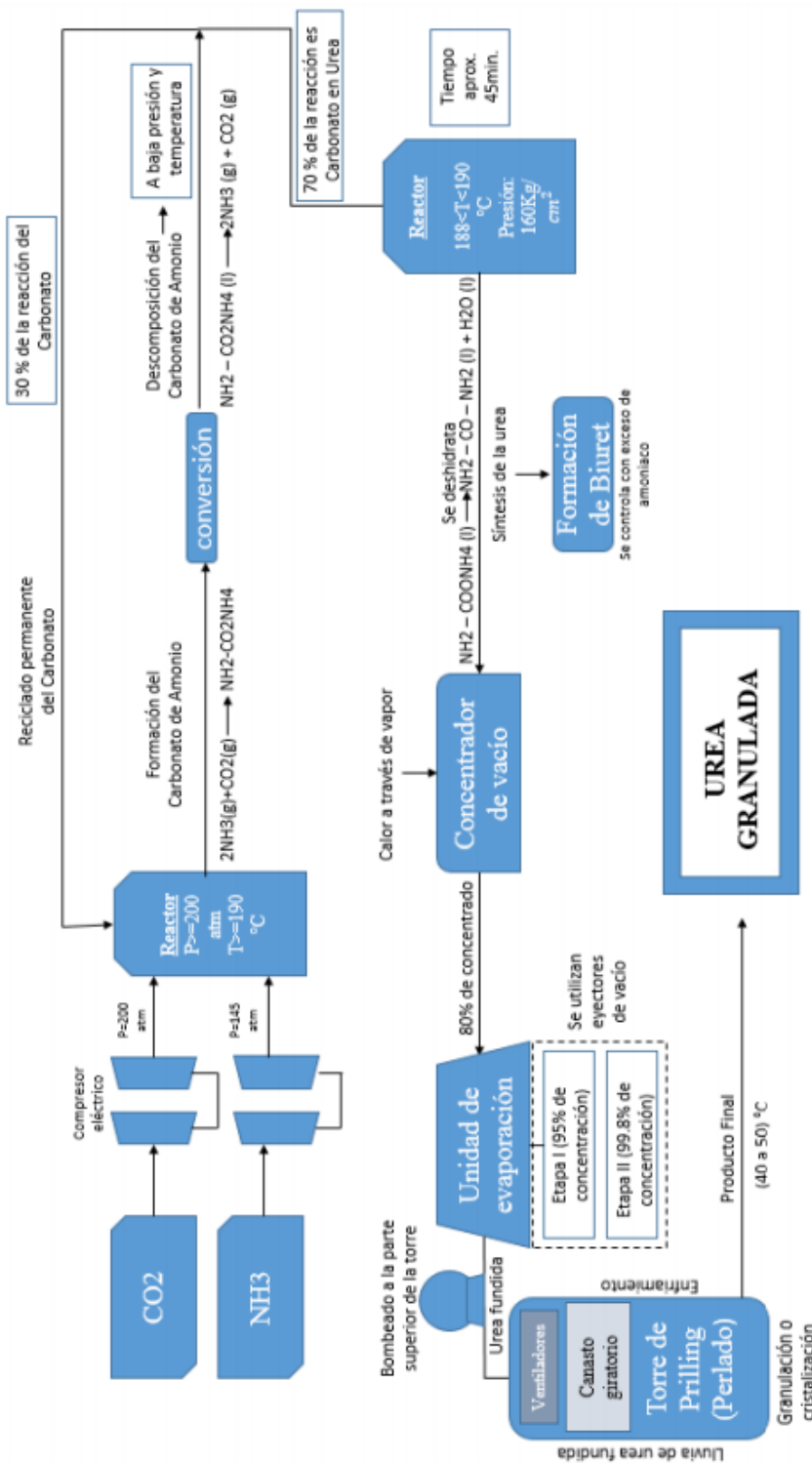
## **10 ANEXOS**

### **10.1 ANEXO I – CRONOGRAMA DEL PROYECTO**



👤 Tarea  
📅 División  
📌 Hito  
📊 Resumen  
📄 Resumen del proyecto  
📄 Tarea inactiva  
📄 Hito inactivo  
📄 Resumen inactivo  
📄 Tarea manual  
📄 solo duración  
📄 Informe de resumen manual  
📄 Resumen manual  
📄 solo el comienzo  
📄 sub fin  
📄 Tareas externas  
📄 Hito externo  
📄 Fecha límite  
📄 Progreso  
📄 Progreso manual

10.2 ANEXO II - PROCESO DE OBTENCIÓN DE UREA



### **10.3 ANEXO III - RESULTADOS DE EXPERIMENTOS**



## ÁNGULO DE FRICCIÓN GRANO-PARED

### Experimento N° 1

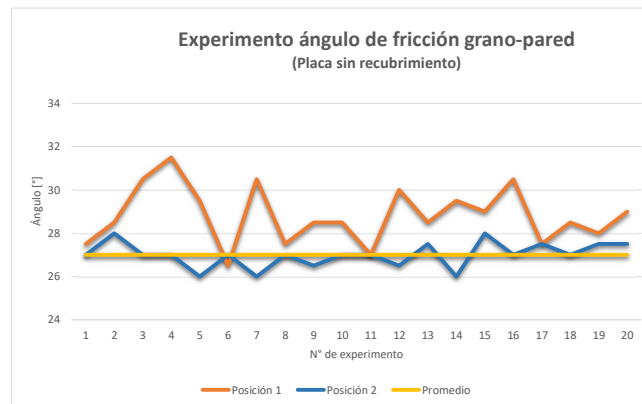
(Placa sin recubrimiento)

Experimento	Posición 1	Posición 2	Promedio
	Ángulo [°]	Ángulo [°]	
1	27,5	27	27,00
2	28,5	28	27,00
3	30,5	27	27,00
4	31,5	27	27,00
5	29,5	26	27,00
6	26,5	27	27,00
7	30,5	26	27,00
8	27,5	27	27,00
9	28,5	26,5	27,00
10	28,5	27	27,00
11	27	27	27,00
12	30	26,5	27,00
13	28,5	27,5	27,00
14	29,5	26	27,00
15	29	28	27,00
16	30,5	27	27,00
17	27,5	27,5	27,00
18	28,5	27	27,00
19	28	27,5	27,00
20	29	27,5	27,00
<b>Promedio</b>	28,83	27,00	
<b>Desviación Estándar M</b>	1,32	0,58	
<b>Desviación %</b>	5%	2%	
<b>disp</b>	5,00	2,00	
<b>disp rel</b>	17%	7%	
<b>Varianza Muestral</b>	1,74	0,34	

<b>Error de escala [°]</b>	1	Nivel angular
<b>Error aleatorio [°]</b>	0,58	Desvio Estándar

<b>Resultado</b>	27	[°]
<b>Error +/-</b>	1	[°]
<b>Error relativo</b>	3,7%	

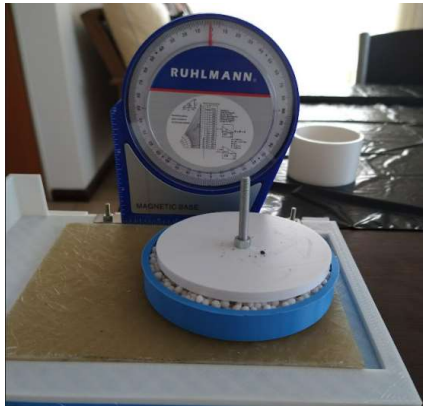
<b><math>\mu</math></b>	0,51
<b>Error</b>	0,02
<b>Error relativo</b>	3,8%





**ÁNGULO DE FRICCIÓN GRANO-PARED**  
**Experimento N° 1**  
(Placa sin recubrimiento)

IMÁGENES DEL EXPERIMENTO N° 1







## ÁNGULO DE FRICCIÓN GRANO-PARED

### Experimento N° 2

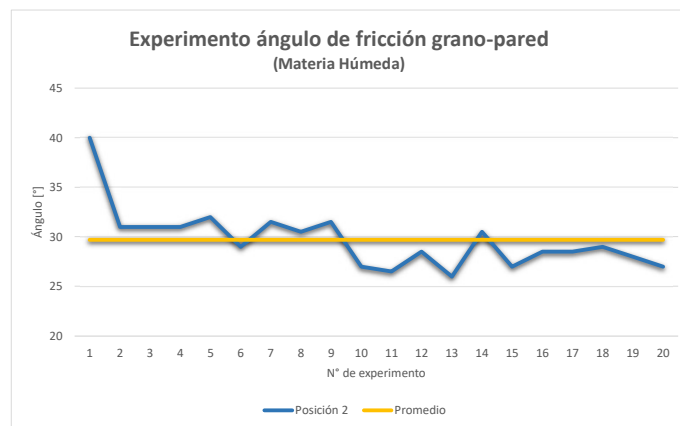
(Materia Húmeda)

Experimento	Posición 2	Promedio
	Ángulo [°]	
1	40	29,70
2	31	29,70
3	31	29,70
4	31	29,70
5	32	29,70
6	29	29,70
7	31,5	29,70
8	30,5	29,70
9	31,5	29,70
10	27	29,70
11	26,5	29,70
12	28,5	29,70
13	26	29,70
14	30,5	29,70
15	27	29,70
16	28,5	29,70
17	28,5	29,70
18	29	29,70
19	28	29,70
20	27	29,70
<b>Promedio</b>	29,70	
<b>Desviación Estándar M</b>	1,92	
<b>Desviación %</b>	6%	
<b>disp</b>	6,00	
<b>disp rel</b>	20%	
<b>Varianza Muestral</b>	3,70	

<b>Error de escala [°]</b>	1	Nivel angular
<b>Error aleatorio [°]</b>	1,92	Desvío Estándar

<b>Resultado</b>	30	[°]
<b>Error +/-</b>	2	[°]
<b>Error relativo</b>	6,5%	

<b><math>\mu</math></b>	0,57
<b>Error</b>	0,04
<b>Error relativo</b>	6,8%





## ÁNGULO DE FRICCIÓN GRANO-PARED Experimento N° 2 (Materia Húmeda)

IMÁGENES DEL EXPERIMENTO N° 2





## ÁNGULO DE FRICCIÓN GRANO-PARED

### Experimento N° 3

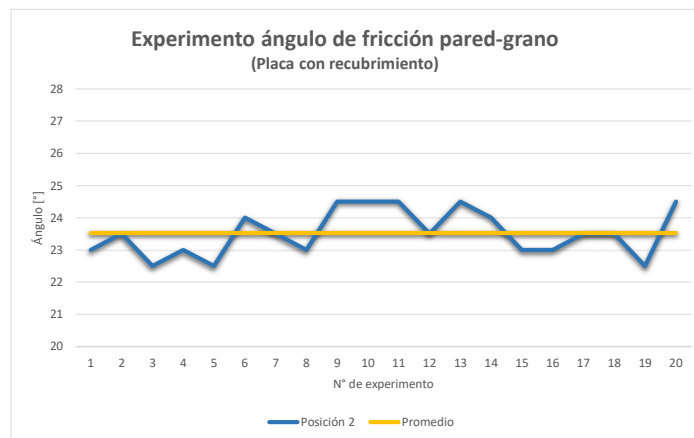
(Placa con recubrimiento)

Experimento	Posición 2	Promedio
	Ángulo [°]	
1	23	23,53
2	23,5	23,53
3	22,5	23,53
4	23	23,53
5	22,5	23,53
6	24	23,53
7	23,5	23,53
8	23	23,53
9	24,5	23,53
10	24,5	23,53
11	24,5	23,53
12	23,5	23,53
13	24,5	23,53
14	24	23,53
15	23	23,53
16	23	23,53
17	23,5	23,53
18	23,5	23,53
19	22,5	23,53
20	24,5	23,53
<b>Promedio</b>	23,53	
<b>Desviación Estándar M</b>	0,72	
<b>Desviación %</b>	3%	
<b>disp</b>	2,00	
<b>disp rel</b>	9%	
<b>Varianza Muestral</b>	0,52	

<b>Error de escala [°]</b>	1	Nivel angular
<b>Error aleatorio [°]</b>	0,72	Desvio Estándar

<b>Resultado</b>	<b>24</b>
<b>Error +/-</b>	<b>1</b>
<b>Error relativo</b>	<b>4,3%</b>

<b><math>\mu</math></b>	<b>0,44</b>
<b>Error</b>	<b>0,02</b>
<b>Error relativo</b>	<b>4,4%</b>





### ÁNGULO DE FRICCIÓN GRANO-PARED Experimento N° 3 (Placa con recubrimiento)

IMÁGENES DEL EXPERIMENTO N° 3



**10.4 ANEXO IV - DETALLE DIMENSIONAL DE LAS PROBETAS UTILIZADAS EN  
LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN**



**PROBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN**  
DETALLE DIMENSIONAL

COMPONENTE - D								
N° de Probeta	N° de Medición	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Largo [mm]	Peso total [Kg]	Peso de vidrio [Kg]	Relación Resina-Fibra [% de Fibra de Vidrio]	Código de falla [ASTM D3039]
	Medición 1	9,2	24,5	247,5				
	Medición 2	9,5	24,5					
	Medición 3	9,8	24,3					
	<b>Promedio</b>	<b>9,5</b>	<b>24,4</b>	<b>247,5</b>	<b>0,087</b>	<b>0,038</b>	<b>44%</b>	<b>LIB</b>
Probeta 1	Medición 1	9,4	25	246,5				
	Medición 2	10	25					
	Medición 3	10	25					
	<b>Promedio</b>	<b>9,8</b>	<b>25,0</b>	<b>246,5</b>	<b>0,091</b>	<b>0,039</b>	<b>43%</b>	<b>SGM</b>
Probeta 2	Medición 1	9,6	25,7	246,5				
	Medición 2	10,6	24,9					
	Medición 3	10	25,2					
	<b>Promedio</b>	<b>10,1</b>	<b>25,3</b>	<b>246,5</b>	<b>0,092</b>	<b>0,040</b>	<b>43%</b>	<b>LWB</b>
Probeta 3	Medición 1	9,8	25	246,5				
	Medición 2	10,8	25					
	Medición 3	10,4	25,2					
	<b>Promedio</b>	<b>10,3</b>	<b>25,1</b>	<b>246,5</b>	<b>0,096</b>	<b>0,039</b>	<b>41%</b>	<b>AIB</b>
Probeta 4	Medición 1	9,9	25,2	246				
	Medición 2	10,7	24,8					
	Medición 3	10,5	25,3					
	<b>Promedio</b>	<b>10,4</b>	<b>25,1</b>	<b>246,0</b>	<b>0,096</b>	<b>0,039</b>	<b>41%</b>	<b>AGV</b>
Probeta 5	Medición 1	9,8	25,1	246				
	Medición 2	10	25,1					
	Medición 3	10,4	25,6					
	<b>Promedio</b>	<b>10,1</b>	<b>25,3</b>	<b>246,0</b>	<b>0,093</b>	<b>0,039</b>	<b>43%</b>	<b>LWT</b>

IMÁGENES DE LAS PROBETAS DESPUÉS DEL ENSAYO

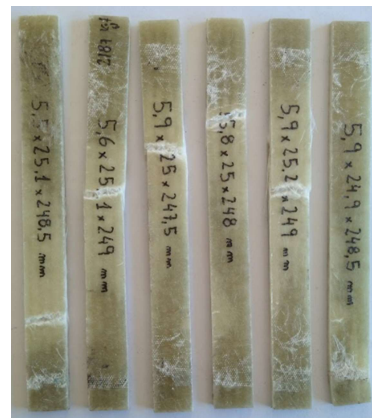
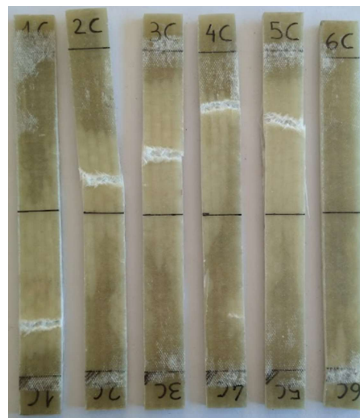




**PROBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN**  
DETALLE DIMENSIONAL

COMPONENTE - C								
N° de Probeta	N° de Medición	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Largo [mm]	Peso total [Kg]	Peso de vidrio [Kg]	Relación Resina-Fibra [% de Fibra de Vidrio]	Código de falla [ASTM D3039]
	Medición 1	5,6	25,1					
	Medición 2	5,6	25,2					
	Medición 3	5,4	25,1					
	<b>Promedio</b>	<b>5,5</b>	<b>25,1</b>	<b>248,5</b>	<b>0,053</b>	<b>0,024</b>	<b>46%</b>	<b>LIB</b>
Probeta 1	Medición 1	5,6	25,3					
	Medición 2	5,7	24,7					
	Medición 3	5,6	25,4					
	<b>Promedio</b>	<b>5,6</b>	<b>25,1</b>	<b>249</b>	<b>0,054</b>	<b>0,024</b>	<b>45%</b>	<b>LGM</b>
Probeta 2	Medición 1	6,1	25,1					
	Medición 2	5,7	25					
	Medición 3	6	24,9					
	<b>Promedio</b>	<b>5,9</b>	<b>25,0</b>	<b>247,5</b>	<b>0,055</b>	<b>0,024</b>	<b>43%</b>	<b>LGM</b>
Probeta 3	Medición 1	6,2	24,7					
	Medición 2	5,5	24,9					
	Medición 3	5,6	25,3					
	<b>Promedio</b>	<b>5,8</b>	<b>25,0</b>	<b>248</b>	<b>0,054</b>	<b>0,024</b>	<b>44%</b>	<b>AIT</b>
Probeta 4	Medición 1	6,4	25,3					
	Medición 2	5,5	25					
	Medición 3	5,7	25,2					
	<b>Promedio</b>	<b>5,9</b>	<b>25,2</b>	<b>249</b>	<b>0,054</b>	<b>0,024</b>	<b>44%</b>	<b>SGV</b>
Probeta 5	Medición 1	6,1	24,9					
	Medición 2	5,8	24,9					
	Medición 3	5,7	25					
	<b>Promedio</b>	<b>5,9</b>	<b>24,9</b>	<b>248,5</b>	<b>0,054</b>	<b>0,024</b>	<b>44%</b>	<b>AIB</b>

IMÁGENES DE LAS PROBETAS DESPUÉS DEL ENSAYO

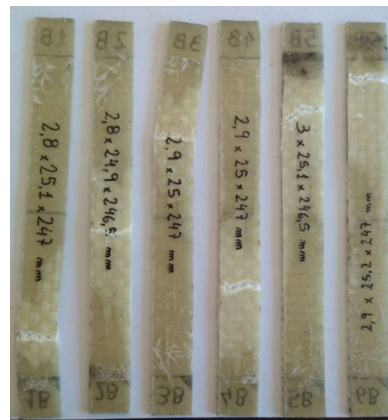




**PROBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN  
DETALLE DIMENSIONAL**

COMPONENTE - B								
N° de Probeta	N° de Medición	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Largo [mm]	Peso total [Kg]	Peso de vidrio [Kg]	Relación Resina-Fibra [% de Fibra de Vidrio]	Código de falla [ASTM D3039]
Probeta 1	Medición 1	2,9	25,2					
	Medición 2	2,9	25					
	Medición 3	2,7	25,1					
	<b>Promedio</b>	<b>2,8</b>	<b>25,1</b>	<b>247</b>	<b>0,025</b>	<b>0,011</b>	<b>42%</b>	<b>LIB</b>
Probeta 2	Medición 1	2,9	24,9					
	Medición 2	2,7	24,9					
	Medición 3	2,7	24,8					
	<b>Promedio</b>	<b>2,8</b>	<b>24,9</b>	<b>246,5</b>	<b>0,024</b>	<b>0,010</b>	<b>43%</b>	<b>AGM</b>
Probeta 3	Medición 1	3,1	25,2					
	Medición 2	2,9	24,8					
	Medición 3	2,7	25					
	<b>Promedio</b>	<b>2,9</b>	<b>25,0</b>	<b>247</b>	<b>0,026</b>	<b>0,010</b>	<b>41%</b>	<b>LWT</b>
Probeta 4	Medición 1	3	25,2					
	Medición 2	2,9	25					
	Medición 3	2,9	24,9					
	<b>Promedio</b>	<b>2,9</b>	<b>25,0</b>	<b>247</b>	<b>0,026</b>	<b>0,011</b>	<b>40%</b>	<b>SVB</b>
Probeta 5	Medición 1	3,1	25,1					
	Medición 2	2,9	25,1					
	Medición 3	3	25,2					
	<b>Promedio</b>	<b>3,0</b>	<b>25,1</b>	<b>246,5</b>	<b>0,026</b>	<b>0,011</b>	<b>40%</b>	<b>LIT</b>
Probeta 6	Medición 1	2,9	25,2					
	Medición 2	2,8	25,1					
	Medición 3	2,9	25,3					
	<b>Promedio</b>	<b>2,9</b>	<b>25,2</b>	<b>247</b>	<b>0,026</b>	<b>0,011</b>	<b>41%</b>	<b>LIT</b>

IMÁGENES DE LAS PROBETAS DESPUÉS DEL ENSAYO



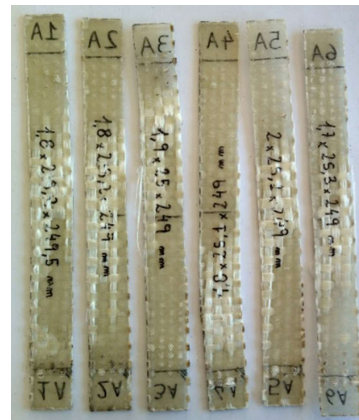
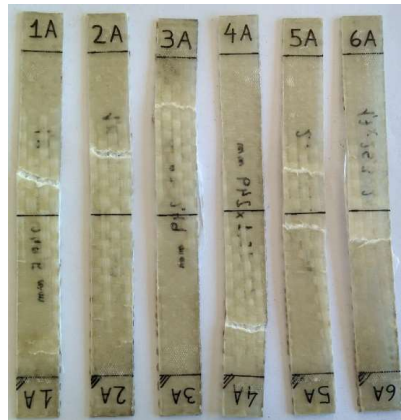




**PROBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN  
DETALLE DIMENSIONAL**

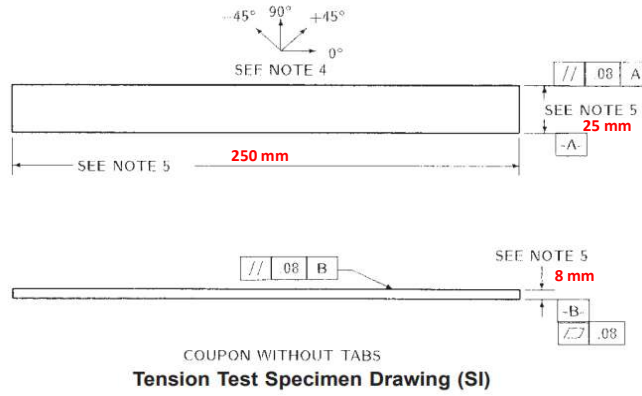
COMPONENTE - A								
N° de Probeta	N° de Medición	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Largo [mm]	Peso total [Kg]	Peso de vidrio [Kg]	Relación Resina-Fibra [% de Fibra de Vidrio]	Código de falla [ASTM D3039]
	Medición 1	1,8	25,2					
	Medición 2	1,8	25,2					
	Medición 3	1,7	25,4					
<b>Probeta 1</b>	<b>Promedio</b>	<b>1,8</b>	<b>25,3</b>	<b>249,5</b>	<b>0,016</b>	<b>0,008</b>	<b>49%</b>	<b>AGM</b>
	Medición 1	1,8	25,3					
	Medición 2	1,8	25,1					
	Medición 3	1,7	25,3					
<b>Probeta 2</b>	<b>Promedio</b>	<b>1,8</b>	<b>25,2</b>	<b>249</b>	<b>0,016</b>	<b>0,008</b>	<b>48%</b>	<b>LGM</b>
	Medición 1	1,7	24,8					
	Medición 2	2	24,9					
	Medición 3	1,9	25,2					
<b>Probeta 3</b>	<b>Promedio</b>	<b>1,9</b>	<b>25,0</b>	<b>249</b>	<b>0,017</b>	<b>0,008</b>	<b>45%</b>	<b>LIT</b>
	Medición 1	1,7	24,9					
	Medición 2	2	25,4					
	Medición 3	1,8	25					
<b>Probeta 4</b>	<b>Promedio</b>	<b>1,8</b>	<b>25,1</b>	<b>249</b>	<b>0,017</b>	<b>0,008</b>	<b>46%</b>	<b>LIB</b>
	Medición 1	1,8	25					
	Medición 2	2,1	24,8					
	Medición 3	2	25,4					
<b>Probeta 5</b>	<b>Promedio</b>	<b>2,0</b>	<b>25,1</b>	<b>249</b>	<b>0,017</b>	<b>0,008</b>	<b>45%</b>	<b>LGM</b>
	Medición 1	1,7	25,4					
	Medición 2	1,7	25,2					
	Medición 3	1,8	25,3					
<b>Probeta 6</b>	<b>Promedio</b>	<b>1,7</b>	<b>25,3</b>	<b>249</b>	<b>0,016</b>	<b>0,008</b>	<b>49%</b>	<b>LGM</b>

IMÁGENES DE LAS PROBETAS DESPUÉS DEL ENSAYO





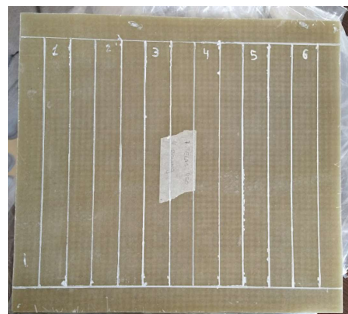
**PROBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN  
DETALLE DIMENSIONAL Y COMPUESTOS**



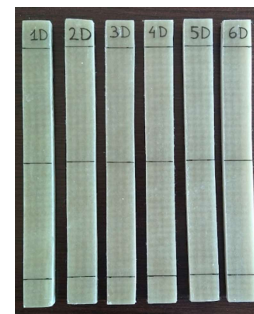
	Valor
Relación resina-Fibra	1,70
Resina	63%
Fibra	37%

	Densidad (g/cm3)	Constante de espesor
Fibra de vidrio tipo E	2,56	0,39
Resina Poliester	1,1	0,91

	Compuesto A		Compuesto B		Compuesto C		Compuesto D	
	Mat	Roving	Mat	Roving	Mat	Roving	Mat	Roving
Cantidad de capas	1	1	2	1	5	2	7	4
Peso individual (kg/m2)	0,45	0,8	0,45	0,8	0,45	0,8	0,45	0,8
Peso de vidrio (kg/m2)	1,25		1,7		3,85		6,35	
Peso de resina (kg/m2)	2,13		2,89		6,56		10,81	
Espesor de vidrio (mm)	0,49		0,66		1,51		2,48	
Espesor de resina (mm)	1,93		2,63		5,96		9,83	
Espesor total del laminado (mm)	2,42		3,30		7,46		12,31	



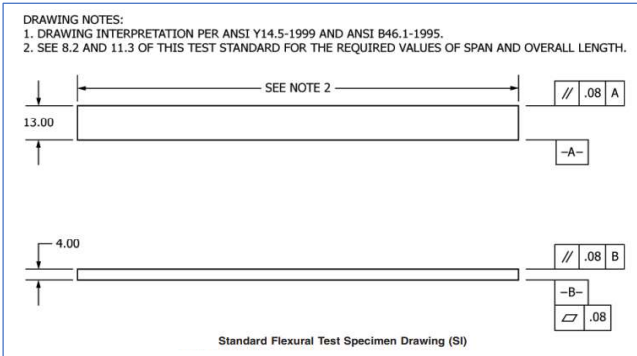
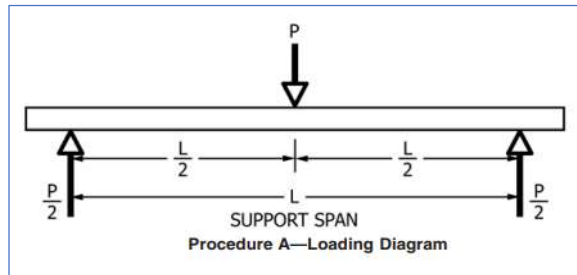
Placa base para extracción de probetas



Probetas finales



**PROBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN**  
**DETALLE DIMENSIONAL**



	Thickness [mm]	Support Span [mm]	Total Length [mm]
<b>Componente A</b>	2,0	64,0	76,8
<b>Componente B</b>	3,0	96,0	115,2
<b>Componente C</b>	5,7	182,4	218,9
<b>Componente D</b>	10,0	320,0	384,0



**PROBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN**  
DETALLE DIMENSIONAL

COMPONENTE - D												
Relación	25	1										
N° de Probeta	N° de Medición	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Span [mm]	Largo [mm]	Peso [Kg]	Fuerza aplicada [kgf]	Fuerza aplicada [N]	Deflexión [mm]	Tensión de flexión Máxima [Mpa]	Deformación Máxima [mm/mm]	Codigo de falla [ASTM D7264]
	Medición 1	10	13,2		326							
	Medición 2	10,2	14									
	Medición 3	10,2	14,3									
<b>Probeta 1</b>	<b>Promedio</b>	<b>10,13</b>	<b>13,8</b>	<b>255</b>	<b>326</b>	<b>66,7</b>	<b>81,6</b>	<b>800,5</b>	<b>31,05</b>	<b>216</b>	<b>0,03</b>	<b>TAM</b>
	Medición 1	9,5	14,4		326							
	Medición 2	9,2	14,2									
	Medición 3	8,9	14,4									
<b>Probeta 2</b>	<b>Promedio</b>	<b>9,2</b>	<b>14,3</b>	<b>230</b>	<b>326</b>	<b>63,5</b>	<b>76,4</b>	<b>749,5</b>	<b>21,22</b>	<b>213</b>	<b>0,02</b>	<b>TAM</b>

IMÁGENES DE LAS PROBETAS DESPUÉS DEL ENSAYO





**PRUBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN**  
DETALLE DIMENSIONAL

COMPONENTE - C												
Relación	32	1										
N° de Prubeta	N° de Medición	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Span [mm]	Largo [mm]	Peso [Kg]	Fuerza aplicada [Kgf]	Fuerza aplicada [N]	Deflexión [mm]	Tensión de flexión Máxima [Mpa]	Deformación Máxima [mm/mm]	Código de falla [ASTM D7264]
	Medición 1	6,2	13,3									
	Medición 2	5,7	12,8									
	Medición 3	5,6	13,5									
<b>Prubeta 1</b>	<b>Promedio</b>	<b>5,8</b>	<b>13,2</b>	<b>182,4</b>	<b>218,9</b>	<b>24,9</b>	<b>36,7</b>	<b>360,0</b>	<b>23</b>	<b>219</b>	<b>0,02</b>	<b>TAM</b>
	Medición 1	5,9	13,3									
	Medición 2	5,8	13									
	Medición 3	5,7	13,2									
<b>Prubeta 2</b>	<b>Promedio</b>	<b>5,8</b>	<b>13,2</b>	<b>185,6</b>	<b>222,72</b>	<b>24,8</b>	<b>55</b>	<b>539,6</b>	<b>23</b>	<b>339</b>	<b>0,02</b>	<b>TAM</b>
	Medición 1	6,1	13,2									
	Medición 2	5,7	13,2									
	Medición 3	6,1	13,2									
<b>Prubeta 3</b>	<b>Promedio</b>	<b>6,0</b>	<b>13,2</b>	<b>182,4</b>	<b>218,88</b>	<b>25,4</b>	<b>34</b>	<b>333,5</b>	<b>30</b>	<b>194</b>	<b>0,03</b>	<b>TAM</b>
	Medición 1	5,6	13,3									
	Medición 2	5,6	13									
	Medición 3	5,7	12,7									
<b>Prubeta 4</b>	<b>Promedio</b>	<b>5,6</b>	<b>13,0</b>	<b>179,2</b>	<b>215,04</b>	<b>24,2</b>	<b>33</b>	<b>323,7</b>	<b>26,86</b>	<b>211</b>	<b>0,03</b>	<b>TAM</b>
	Medición 1	5,6	13,7									
	Medición 2	5,2	13,2									
	Medición 3	6,3	13									
<b>Prubeta 5</b>	<b>Promedio</b>	<b>5,7</b>	<b>13,3</b>	<b>166,4</b>	<b>199,68</b>	<b>24,9</b>	<b>30</b>	<b>294,3</b>	<b>25,26</b>	<b>170</b>	<b>0,03</b>	<b>TAM</b>
	Medición 1	5,5	13,2									
	Medición 2	5,7	12,6									
	Medición 3	5,2	13,2									
<b>Prubeta 6</b>	<b>Promedio</b>	<b>5,5</b>	<b>13,0</b>	<b>182,4</b>	<b>218,88</b>	<b>24,4</b>	<b>28</b>	<b>274,7</b>	<b>38,8</b>	<b>193</b>	<b>0,04</b>	<b>TAM</b>

IMÁGENES DE LAS PRUBETAS DESPUÉS DEL ENSAYO

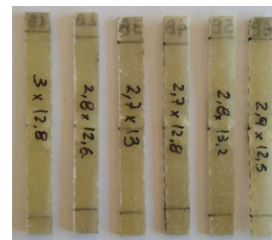
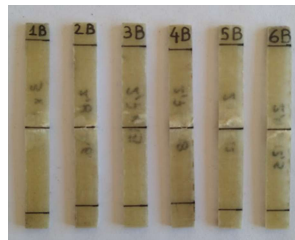




**PROBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN**  
DETALLE DIMENSIONAL

COMPONENTE - B												
Relación	32	1										
N° de Probeta	N° de Medición	Espesor [mm]	Ancho [mm]	Span [mm]	Largo [mm]	Peso [Kg]	Fuerza aplicada [Kg]	Fuerza aplicada [N]	Deflexión [mm]	Tensión de flexión Máxima [Mpa]	Deformación Máxima [mm/mm]	Codigo de falla [ASTM D7264]
Probeta 1	Medición 1	2,9	12,7									
	Medición 2	3	12,9									
	Medición 3	3	12,9									
	<b>Promedio</b>	<b>3,0</b>	<b>12,8</b>	<b>96</b>	<b>115,2</b>	<b>6,4</b>	<b>12</b>	<b>117,7</b>	<b>17,8</b>	<b>150</b>	<b>0,03</b>	<b>TAM</b>
Probeta 2	Medición 1	2,8	12,8									
	Medición 2	2,8	12,4									
	Medición 3	2,8	12,7									
	<b>Promedio</b>	<b>2,8</b>	<b>12,6</b>	<b>89,6</b>	<b>107,52</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>137,3</b>	<b>15,21</b>	<b>186</b>	<b>0,03</b>	<b>TAM</b>
Probeta 3	Medición 1	2,5	13,3									
	Medición 2	2,8	12,5									
	Medición 3	2,9	13,3									
	<b>Promedio</b>	<b>2,7</b>	<b>13,0</b>	<b>89,6</b>	<b>107,52</b>	<b>6,2</b>	<b>11</b>	<b>107,9</b>	<b>15,26</b>	<b>149</b>	<b>0,03</b>	<b>SAM</b>
Probeta 4	Medición 1	2,7	12,5									
	Medición 2	2,7	12,8									
	Medición 3	2,7	13,2									
	<b>Promedio</b>	<b>2,7</b>	<b>12,8</b>	<b>86,4</b>	<b>103,68</b>	<b>5,9</b>	<b>18</b>	<b>176,6</b>	<b>16,68</b>	<b>245</b>	<b>0,04</b>	<b>TAM</b>
Probeta 5	Medición 1	2,7	13,1									
	Medición 2	2,9	13,3									
	Medición 3	2,9	13,2									
	<b>Promedio</b>	<b>2,8</b>	<b>13,2</b>	<b>92,8</b>	<b>111,36</b>	<b>6,3</b>	<b>20</b>	<b>196,2</b>	<b>19,55</b>	<b>258</b>	<b>0,04</b>	<b>SAM</b>
Probeta 6	Medición 1	2,9	12,5									
	Medición 2	2,9	12,6									
	Medición 3	3	12,4									
	<b>Promedio</b>	<b>2,9</b>	<b>12,5</b>	<b>92,8</b>	<b>111,36</b>	<b>6,1</b>	<b>22</b>	<b>215,8</b>	<b>16,72</b>	<b>279</b>	<b>0,03</b>	<b>TAM</b>

IMÁGENES DE LAS PROBETAS DESPUÉS DEL ENSAYO



**10.5 ANEXO V - REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN**



**PROVINCIA DE SANTA FE**  
Ministerio de Producción,  
Ciencia y Tecnología



**Dirección General de  
Asistencia Técnica**

F 8.6.0 - 01  
Revisión: 16

**INFORME 01 DE 01 DE LA O.T. N° 478 / 2021**

**Cliente:** JOSE LUIS CHAULA

Domicilio: Alem 2001

Hoja 1 de 7

Localidad: Rosario

C.P. 2000

Fecha recepción muestras: 06-12-21

Teléfono: 3464586326

Fecha realización ensayo: 06-12-21

Fax:-----

Areas intervinientes: EM

Email: chaulajoseluis@gmail.com

Rosario, 07 de Diciembre de 2021

*EL SIGUIENTE INFORME SE EMITE DE ACUERDO A LAS COMPETENCIAS ASIGNADAS POR LA LEGISLACIÓN VIGENTE EN LA PROVINCIA DE SANTA FE.*

**ENSAYO SOLICITADO:**

Ensayo de tracción y Flexión

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** Suministrada e identificada por el comitente como:

MUESTRAS PARA ENSAYO DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN DE PRFV:

TRACCIÓN: 1 A,B,C y D

2 A,B,C y D

3 A,B,C y D

4 A,B,C y D

5 A,B,C y D

6 A,B,C y D

FLEXIÓN: B 1,2,3,4,5 y 6

C 1,2,3,4,5 y 6

D 1 y 2

**MÉTODO:** Se utilizaron como referencia las normas de

TRACCIÓN: ASTM D3039/D3039M-17

FLEXIÓN: ASTM 7274/D7274M-21

**EQUIPAMIENTO:**

Maquina Universal de Ensayos Mecánicos

Marca: Wolpert Amsler 30 THZ 724

Condiciones generales: El resultado de los ensayos corresponde en forma exclusiva a la muestra recibida en esta Dirección, salvo que se indique expresamente lo contrario. La DAT se exime de toda responsabilidad por el uso indebido de este informe. El presente informe puede ser reproducido solamente en su totalidad y sin introducir cambios.

Esmeralda y Ocampo - 2000 - Rosario – Prov. Santa Fe - República Argentina

Tel.Fax: ++54 (0)341- 4851286 – 4851319 - 4728130 - 4728134 - e mail [dat@dat.gov.ar](mailto:dat@dat.gov.ar) ; [www.dat.gov.ar](http://www.dat.gov.ar)



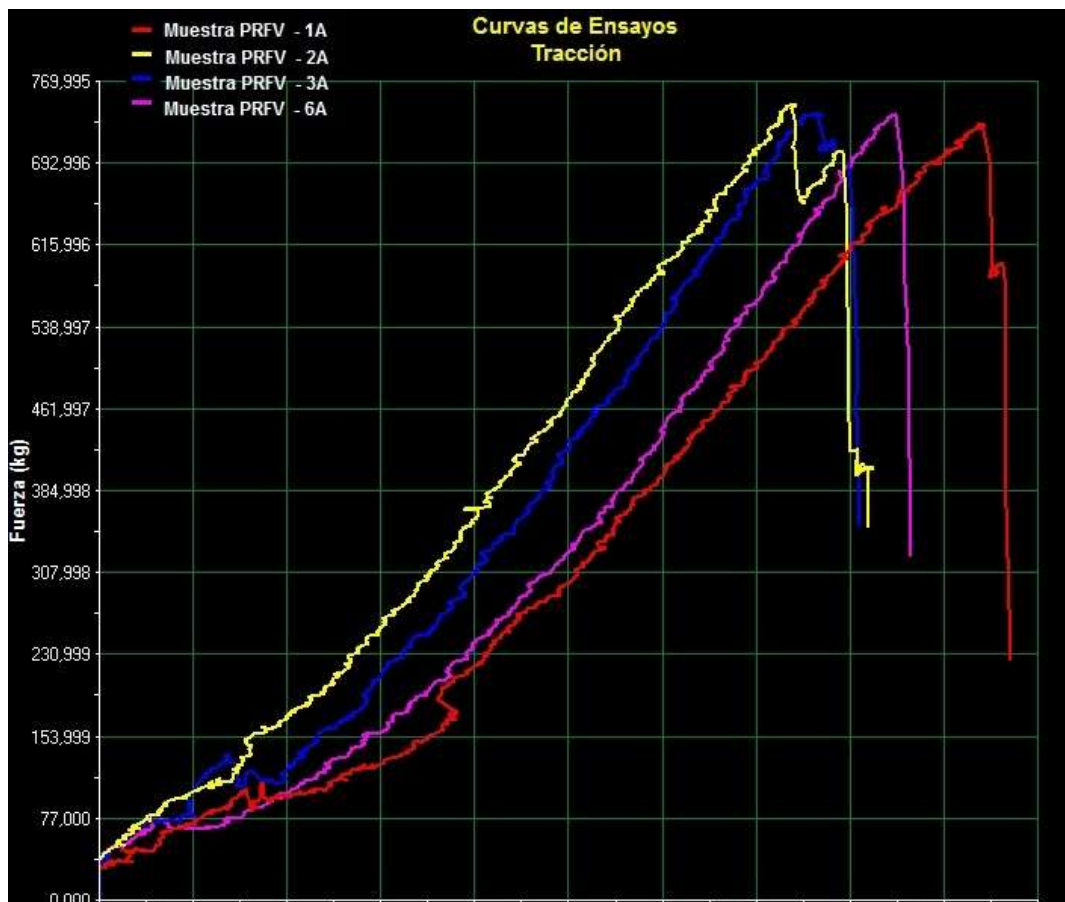
**LUGAR DEL ENSAYO:**

Laboratorio de Ensayos Mecánicos

**RESULTADOS:**

**ENSAYOS DE TRACCIÓN**

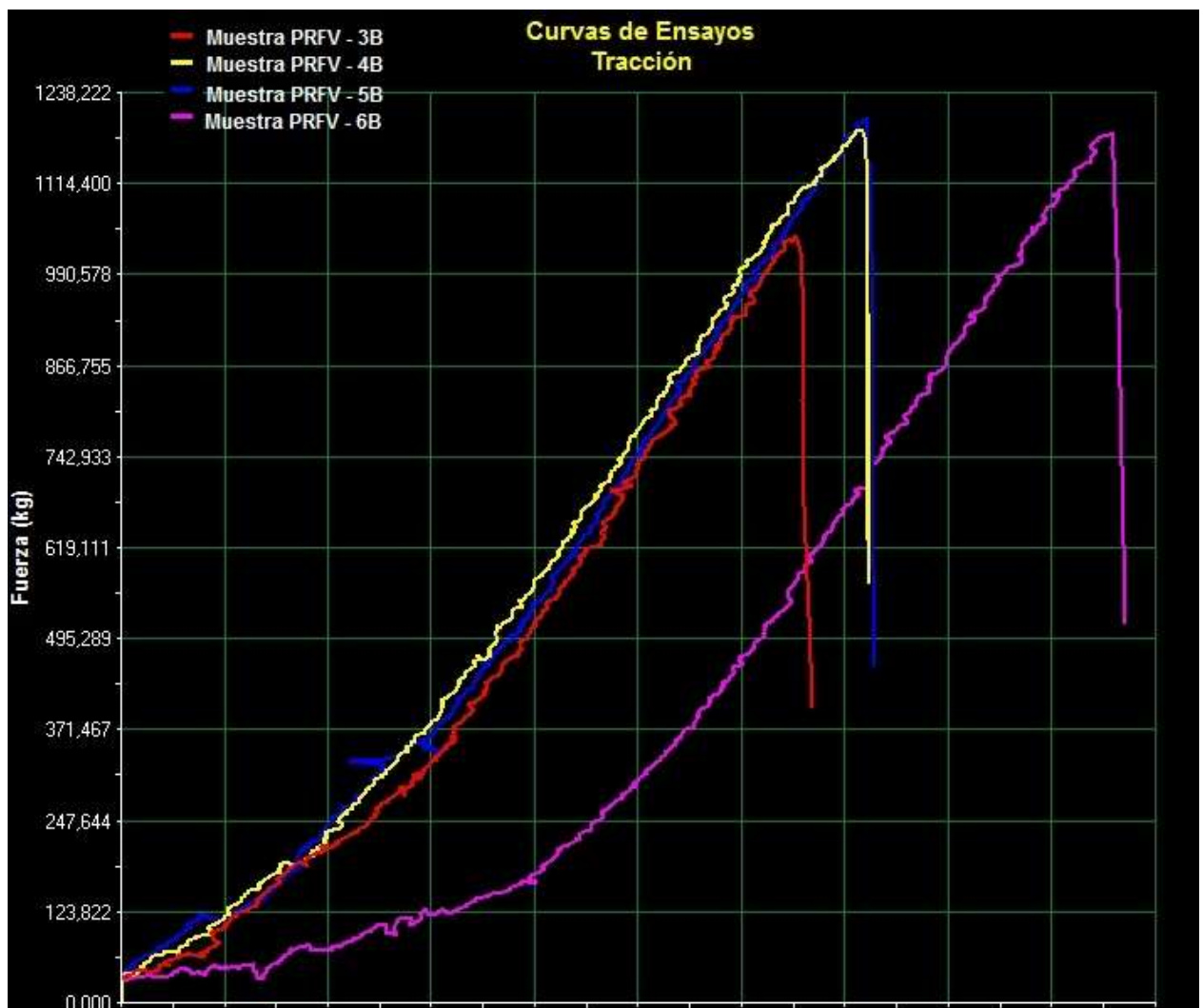
IDENTIFICACIÓN EVALUACIÓN	MUESTRAS "A"					
	1A	2A	3A	4A	5A	6A
PROMEDIO MEDIDAS DE LAS PROBETAS (mm)	25mm x 1,8mm					
CARGA DE ROTURA [kg]	729	747	739,5	615	816	739
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN [Mpa]	157	161	152	133	160	168
PROMEDIO DE DURACIÓN DE TIEMPO DEL ENSAYO	1" 56'					



**GRAFICAS COMPARATIVAS DE MUESTRAS "A"**

Condiciones generales: El resultado de los ensayos corresponde en forma exclusiva a la muestra recibida en esta Dirección, salvo que se indique expresamente lo contrario. La DAT se exime de toda responsabilidad por el uso indebido de este informe. El presente informe puede ser reproducido solamente en su totalidad y sin introducir cambios.

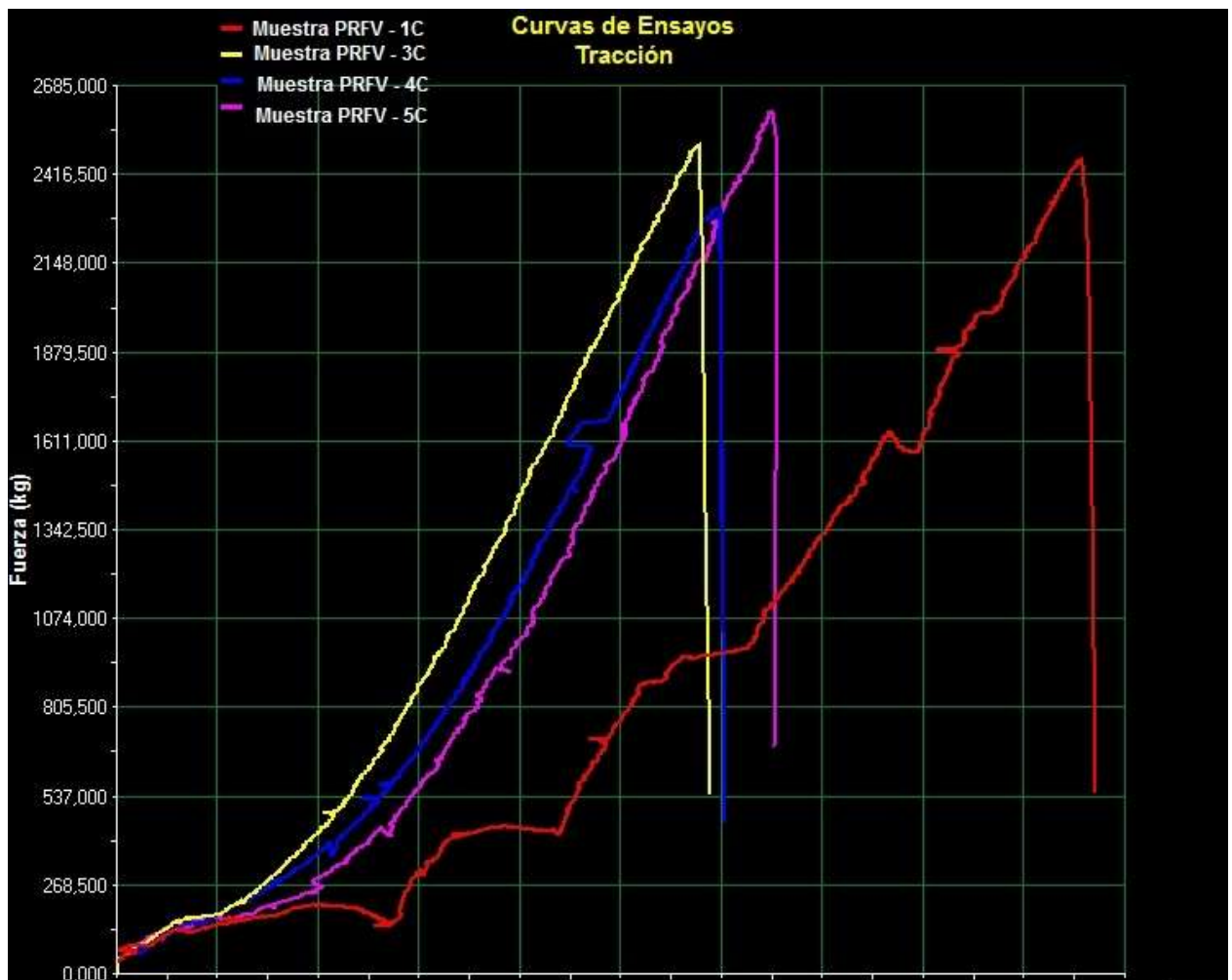
IDENTIFICACIÓN / EVALUACIÓN	MUESTRAS "B"					
	1B	2B	3B	4B	5B	6B
PROMEDIO MEDIDAS DE LAS PROBETAS (mm)	25mm x 2,9mm					
CARGA DE ROTURA [kg]	873	1030	1044	1187	1202	1181
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN [Mpa]	121	146	141	160	156	158
PROMEDIO DE DURACIÓN DE TIEMPO DEL ENSAYO	1" 33"					



GRAFICAS COMPARATIVAS DE MUESTRAS "B "

Condiciones generales: El resultado de los ensayos corresponde en forma exclusiva a la muestra recibida en esta Dirección, salvo que se indique expresamente lo contrario. La DAT se exime de toda responsabilidad por el uso indebido de este informe. El presente informe puede ser reproducido solamente en su totalidad y sin introducir cambios.

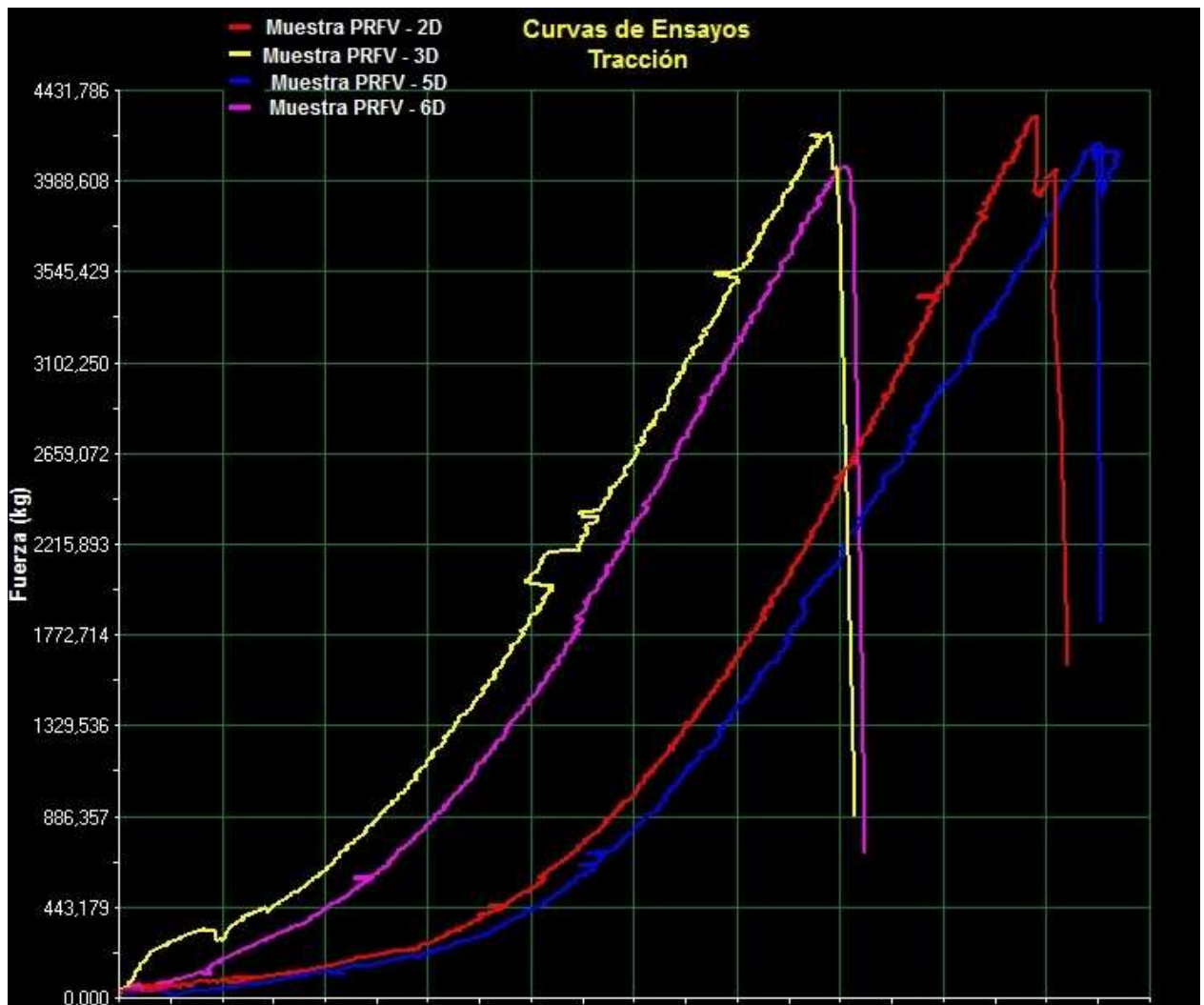
IDENTIFICACIÓN EVALUACIÓN	MUESTRAS "C"					
	1C	2C	3C	4C	5C	6C
PROMEDIO MEDIDAS DE LAS PROBETAS (mm)	25mm x 5,8mm					
CARGA DE ROTURA [kg]	2463	2187	2506	2313	2607	2128
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN [Mpa]	175	152	166	156	171	142
PROMEDIO DE DURACIÓN DE TIEMPO DEL ENSAYO	2" 36'					



GRAFICAS COMPARATIVAS DE MUESTRAS "C "

Condiciones generales: El resultado de los ensayos corresponde en forma exclusiva a la muestra recibida en esta Dirección, salvo que se indique expresamente lo contrario. La DAT se exime de toda responsabilidad por el uso indebido de este informe. El presente informe puede ser reproducido solamente en su totalidad y sin introducir cambios.

IDENTIFICACIÓN EVALUACIÓN	MUESTRAS "D"					
	1D	2D	3D	4D	5D	6D
PROMEDIO MEDIDAS DE LAS PROBETAS (mm)	25mm x 10mm					
CARGA DE ROTURA [kg]	3814	4302	4224	3973	4179	4058
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN [Mpa]	161	172	162	152	160	155
PROMEDIO DE DURACIÓN DE TIEMPO DEL ENSAYO	2" 27'					



GRAFICAS COMPARATIVAS DE MUESTRAS "D "

Condiciones generales: El resultado de los ensayos corresponde en forma exclusiva a la muestra recibida en esta Dirección, salvo que se indique expresamente lo contrario. La DAT se exime de toda responsabilidad por el uso indebido de este informe. El presente informe puede ser reproducido solamente en su totalidad y sin introducir cambios.

**ENSAYO DE FLEXIÓN**

Los ensayos se realizaron con un punzón de 10 mm de diámetro.

IDENTIFICACIÓN EVALUACIÓN	MUESTRAS "B"					
	1B	2B	3B	4B	5B	6B
PROMEDIO MEDIDAS DE LAS PROBETAS (mm)	13mm x 2,8mm					
CARGA DE ROTURA [kg]	12	14	11	20	18	22
FLEXIÓN [mm]	17,8	15,27	15,26	19,55	16,68	16,72
PROMEDIO DE DURACIÓN DE TIEMPO DEL ENSAYO	3" 10'					

IDENTIFICACIÓN EVALUACIÓN	MUESTRAS "C"					
	1C	2C	3C	4C	5C	6C
PROMEDIO MEDIDAS DE LAS PROBETAS (mm)	13mm x 5,8mm					
CARGA DE ROTURA [kg]	36	55	34	33	30	28
FLEXIÓN [mm]	23	23	30	26,86	25,26	28,8
PROMEDIO DE DURACIÓN DE TIEMPO DEL ENSAYO	3" 40'					

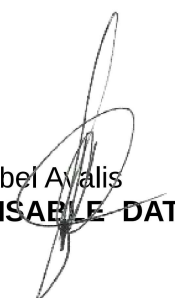
Condiciones generales: El resultado de los ensayos corresponde en forma exclusiva a la muestra recibida en esta Dirección, salvo que se indique expresamente lo contrario. La DAT se exime de toda responsabilidad por el uso indebido de este informe. El presente informe puede ser reproducido solamente en su totalidad y sin introducir cambios.

IDENTIFICACIÓN EVALUACIÓN	MUESTRAS "D"	
	1D	2D
PROMEDIO MEDIDAS DE LAS PROBETAS (mm)	13mm x 10mm	
CARGA DE ROTURA [kg]	81,6	76,4
FLEXIÓN [mm]	31,5	21,22
PROMEDIO DE DURACIÓN DE TIEMPO DEL ENSAYO	3" 00'	

**OBSERVACIONES:** El cliente mecanizó todas las muestras de acuerdo a especificaciones de la norma de referencia.



Ing. Mauro J. Zocco  
ENCARGADO LABORATORIO



Lic. Abel Ayalis  
RESPONSABLE DAT

Condiciones generales: El resultado de los ensayos corresponde en forma exclusiva a la muestra recibida en esta Dirección, salvo que se indique expresamente lo contrario. La DAT se exime de toda responsabilidad por el uso indebido de este informe. El presente informe puede ser reproducido solamente en su totalidad y sin introducir cambios.

Esmeralda y Ocampo - 2000 - Rosario – Prov. Santa Fe - República Argentina  
Tel.Fax: ++54 (0)341- 4851286 – 4851319 - 4728130 - 4728134 - e mail [dat@dat.gov.ar](mailto:dat@dat.gov.ar) ; [www.dat.gov.ar](http://www.dat.gov.ar)

---

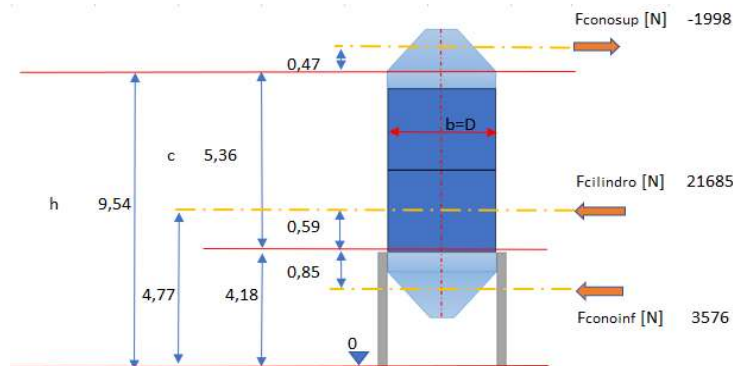
**10.6 ANEXO VI - MEMORIA DE CÁLCULO DE CARGAS DE VIENTO**



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Cargas de viento - F150

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Velocidad básica de viento	$V$	50	[m/s]	[CIRSOC 102 - Figura 1A o Figura 1B]
Factor de direccionalidad	$Kd$	0,95		[CIRSOC 102 - Tabla 6]
Factor de importancia	$I$	0,87		[CIRSOC 102 - Tabla 1]
Categoría de exposición	$C$			[CIRSOC 102 - 5.6]
Altura hasta la cubierta del silo	$h$	9,5	[m]	[CIRSOC 102 - Figura IV.1]
Coefficiente de exposición para presión dinámica	$Kh$	0,975		[CIRSOC 102 - Tabla 5]
Factor topográfico	$Kzt$	1		[CIRSOC 102 - 5.7]
Factor de efecto de ráfaga	$G$	0,85		[CIRSOC 102 - 5.8.1]
Coefficiente de presión interna	$GC_{pi}$	0,18		[CIRSOC 102 - Tabla 7]
Coefficiente de presión externa	$C_p$	0,85		[CIRSOC 102 - IV.2]
Coefficiente de presión externa sobre paredes	$C_{p1}(\varphi)$	0,85		[CIRSOC 102 - Figura IV.2]
Coefficiente de fuerza	$C_f$	0,52		[CIRSOC 102 - Tabla 10]
<b>Presión dinámica calculada a la altura <math>h</math></b>	<b><math>q_h</math></b>	<b>1234,95</b>	<b>[N/m<sup>2</sup>]</b>	[CIRSOC 102 - 5.10]
Altura de la sección cilíndrica	$c$	5,36	[m]	[CIRSOC 102 - Figura IV.1]
Diámetro de la sección cilíndrica	$b$	5,20	[m]	[CIRSOC 102 - Figura IV.1]
Relación altura se sección cilíndrica-diámetro	$c/b$	1,03		
Ángulo de defase con respecto a la dirección del viento.	$\phi$ [°]	0		[CIRSOC 102 - Figura IV.2]
Coseno del ángulo	$\text{Cos}\phi$	1		
Factor de corrección	$K_c$	1		[CIRSOC 102 - IV.2]
<b>Presiones externas para depósitos, silos y tanques circulares.</b>	<b><math>p</math></b>	<b>892,25</b>	<b>[N/m<sup>2</sup>]</b>	[CIRSOC 102 - IV.1]
<b>Fuerza total de empuje</b>	<b><math>Fe</math></b>	<b>21685</b>	<b>[N]</b>	[CIRSOC 102 - IV.3]
Separación relativa	$1-c/h$	0,44		[CIRSOC 102 - Tabla IV.1]
Coefficiente de presión externa (máximo) para el fondo del silo	$C_{p\text{max-fondo}}$	0,80		[CIRSOC 102 - Tabla IV.1]
Coefficiente de presión externa (mínimo) para el fondo del silo	$C_{p\text{min-fondo}}$	-0,60		[CIRSOC 102 - Tabla IV.1]
<b>Presiones sobre el fondo del silo</b>	<b><math>p_{\text{máxfondo}}</math></b>	<b>839,76</b>	<b>[N/m<sup>2</sup>]</b>	[CIRSOC 102 - IV.1 - IV.4]
Presiones sobre el fondo del silo	$p_{\text{mínfondo}}$	-629,82	[N/m <sup>2</sup> ]	[CIRSOC 102 - IV.1 - IV.4]
Coefficiente de presión externa para la cubierta - Zona A	$C_{p\text{-zona A}}$	-0,80		[CIRSOC 102 - Figura IV.3]
Coefficiente de presión externa para la cubierta - Zona B	$C_{p\text{-zona B}}$	-0,50		[CIRSOC 102 - Figura IV.3]
<b>Presiones sobre la cubierta del silo - Zona A (Barlovento)</b>	<b><math>p\text{-zona A}</math></b>	<b>-839,76</b>	<b>[N/m<sup>2</sup>]</b>	[CIRSOC 102 - IV.1 - IV.5]
Presiones sobre la cubierta del silo - Zona B (Sotavento)	$p\text{-zona B}$	-524,85	[N/m <sup>2</sup> ]	[CIRSOC 102 - IV.1 - IV.5]
Factor de ampliación local	$F_{\text{ampliación}}$	1,5		[CIRSOC 102 - IV.5]
Presiones locales sobre la cubierta del silo - Bordes a Barlovento y Vertice	$p\text{-local}$	-1259,64	[N/m <sup>2</sup> ]	[CIRSOC 102 - IV.1 - IV.5]
Área proyectada de la cubierta (cono superior)	$A_{\text{cubierta}}$	3,78	[m <sup>2</sup> ]	
Área proyectada del fondo (cono inferior)	$A_{\text{fondo}}$	6,76	[m <sup>2</sup> ]	
<b>Fuerza total de empuje en la cubierta para la zona A</b>	<b><math>Fe\text{-cubierta}_A</math></b>	<b>-1997,75</b>	<b>[N]</b>	[CIRSOC 102 - IV.3]
Fuerza total de empuje en la cubierta para la zona A	$Fe\text{-cubierta}_B$	-1248,59	[N]	[CIRSOC 102 - IV.3]
<b>Fuerza total de empuje en el fondo</b>	<b><math>Fe\text{-fondo}</math></b>	<b>3575,55</b>	<b>[N]</b>	[CIRSOC 102 - IV.3]
Fuerza total de empuje en la cubierta en zonas de bordes a barlovento	$Fe\text{-cubierta\_local\_borde}$	-421,33	[N]	[CIRSOC 102 - IV.3]
Fuerza total de empuje en la cubierta en zona de vertices	$Fe\text{-cubierta\_local\_vertice}$	-2145,83	[N]	[CIRSOC 102 - IV.3]



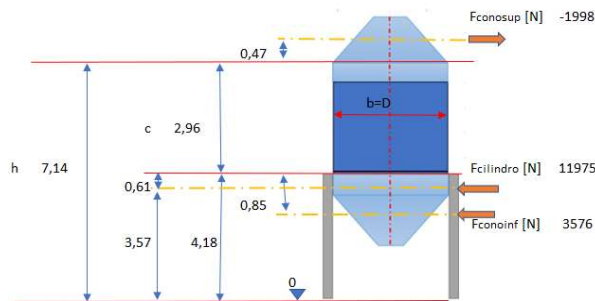




## MEMORIA DE CÁLCULO

### Cargas de viento - F100

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Velocidad básica de viento	$V$	50	[m/s]	[CIRSOC 102 - Figura 1A o Figura 1B]
Factor de direccionalidad	$Kd$	0,95		[CIRSOC 102 - Tabla 6]
Factor de importancia	$I$	0,87		[CIRSOC 102 - Tabla 1]
Categoría de exposición		C		[CIRSOC 102 - 5.6]
Altura hasta la cubierta del silo	$h$	7,1	[m]	[CIRSOC 102 - Figura IV.1]
Coefficiente de exposición para presión dinámica	$Kh$	0,975		[CIRSOC 102 - Tabla 5]
Factor topográfico	$Kzt$	1		[CIRSOC 102 - 5.7]
Factor de efecto de ráfaga	$G$	0,85		[CIRSOC 102 - 5.8.1]
Coefficiente de presión interna	$G_{Cpi}$	0,18		[CIRSOC 102 - Tabla 7]
Coefficiente de presión externa	$C_p$	0,85		[CIRSOC 102 - IV.2]
Coefficiente de presión externa sobre paredes	$C_{p1}(\varphi)$	0,85		[CIRSOC 102 - Figura IV.2]
Coefficiente de fuerza	$C_f$	0,52		[CIRSOC 102 - Tabla 10]
<b>Presión dinámica calculada a la altura h</b>	<b><math>qh</math></b>	<b>1234,95</b>	<b>[N/m<sup>2</sup>]</b>	[CIRSOC 102 - 5.10]
Altura de la sección cilíndrica	$c$	3,0	[m]	[CIRSOC 102 - Figura IV.1]
Diámetro de la sección cilíndrica	$b$	5,2	[m]	[CIRSOC 102 - Figura IV.1]
Relación altura se sección cilíndrica-diámetro	$c/b$	0,57		
Ángulo de defase con respecto a la dirección del viento.	$\phi$ [°]	0		[CIRSOC 102 - Figura IV.2]
Coseno del ángulo	$\cos\phi$	1		
Factor de corrección	$Kc$	1		[CIRSOC 102 - IV.2]
<b>Presiones externas para depósitos, silos y tanques circulares.</b>	<b><math>p</math></b>	<b>892,25</b>	<b>[N/m<sup>2</sup>]</b>	[CIRSOC 102 - IV.1]
Fuerza total de empuje	$Fe$	11975	[N]	[CIRSOC 102 - IV.3]
Separación relativa	$1-c/h$	0,59		[CIRSOC 102 - Tabla IV.1]
Coefficiente de presión externa (máximo) para el fondo del silo	$C_{pmax-fondo}$	0,80		[CIRSOC 102 - Tabla IV.1]
Coefficiente de presión externa (mínimo) para el fondo del silo	$C_{pmin-fondo}$	-0,60		[CIRSOC 102 - Tabla IV.1]
<b>Presiones sobre el fondo del silo</b>	<b><math>pmáxfondo</math></b>	<b>839,76</b>	<b>[N/m<sup>2</sup>]</b>	[CIRSOC 102 - IV.1 - IV.4]
Presiones sobre el fondo del silo	$p_{minfondo}$	-629,82	[N/m <sup>2</sup> ]	[CIRSOC 102 - IV.1 - IV.4]
Coefficiente de presión externa para la cubierta - Zona A	$C_{p-zona A}$	-0,80		[CIRSOC 102 - Figura IV.3]
Coefficiente de presión externa para la cubierta - Zona B	$C_{p-zona B}$	-0,50		[CIRSOC 102 - Figura IV.3]
<b>Presiones sobre la cubierta del silo - Zona A (Barlovento)</b>	<b><math>p-zona A</math></b>	<b>-839,76</b>	<b>[N/m<sup>2</sup>]</b>	[CIRSOC 102 - IV.1 - IV.5]
Presiones sobre la cubierta del silo - Zona B (Sotavento)	$p-zona B$	-524,85	[N/m <sup>2</sup> ]	[CIRSOC 102 - IV.1 - IV.5]
Factor de ampliación local	$F_{ampliación}$	1,5		[CIRSOC 102 - IV.5]
Presiones locales sobre la cubierta del silo - Bordes a Barlovento y Vertice	$p-local$	-1259,64	[N/m <sup>2</sup> ]	[CIRSOC 102 - IV.1 - IV.5]
Área proyectada de la cubierta (cono superior)	$A_{cubierta}$	3,78	[m <sup>2</sup> ]	
Área proyectada del fondo (cono inferior)	$A_{fondo}$	6,76	[m <sup>2</sup> ]	
Fuerza total de empuje en la cubierta para la zona A	$Fe-cubierta_A$	-1997,75	[N]	[CIRSOC 102 - IV.3]
Fuerza total de empuje en la cubierta para la zona B	$Fe-cubierta_B$	-1248,59	[N]	[CIRSOC 102 - IV.3]
Fuerza total de empuje en el fondo	$Fe-fondo$	3575,55	[N]	[CIRSOC 102 - IV.3]
Fuerza total de empuje en la cubierta en zonas de bordes a barlovento	$Fe-cubierta\_local\_borde$	-421,33	[N]	[CIRSOC 102 - IV.3]
Fuerza total de empuje en la cubierta en zona de vertices	$Fe-cubierta\_local\_vertice$	-2145,83	[N]	[CIRSOC 102 - IV.3]



---

**10.7 ANEXO VII - MEMORIA DE CÁLCULO DE RESISTENCIA MEC. DE PRFV**



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Resistencia estructural de los silos

#### Datos generales de diseño

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Densidad a granel del material a almacenar	$\delta$	720	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	[Hoja técnica de producto]
Angulo de fricción grano-pared	$\alpha$	27	$[\circ]$	[Dato experimental]
Coefficiente de rozamiento grano-pared	$\mu$	0,51		[Dato experimental]
Angulo de fricción interna del material	$\vartheta$	28,9	$[\circ]$	[Dato experimental]
Coefficiente K de Janssen	$\kappa$	0,35		[Ravenet - Tomo I - 1.3.1.]
Diámetro interno del silo (parte cilíndrica considerada como lámina cuando $e < 10\%$ del diámetro interno)	$D_i$	5200	$[\text{mm}]$	
Área de la sección recta del silo	$A$	21,2	$[\text{m}^2]$	
Perímetro de la sección recta del silo	$U_p$	16,3	$[\text{m}]$	
Radio hidráulico de la sección	$R$	1,3	$[\text{m}]$	
Altura (desde la parte superior del silo) a la cual se evalúa la presión	$Z$	6	$[\text{m}]$	
Factor de sobrepresión por colapso de bóvedas	$F_{sp}$	3		[Ravenet - Tomo III - Pág. 326]
Factor de conversión de $\text{kgf}/\text{m}^2$ a $\text{N}/\text{mm}^2$	$F_x$	9,81E-06		

#### Factor de Diseño, K

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Coef. Por metodo de fabricación	$k_1$	1,5		[BS 4994 - Tabla 6]
Coef. Por comportamiento en el tiempo	$k_2$	1,2		[BS 4994 - Apéndice E]
Coef. Por temperatura de operación	$k_3$	1		[BS 4994 - Figura 1]
Coef. Por fatiga - Ciclos de carga y descarga	$k_4$	1,2		[BS 4994 - Figura 2]
Coef. Por procedimiento de curado	$k_5$	1,3		[BS 4994 - 9.2.2 - Pág. 12]
	$k$	8,42		[BS 4994 - 9.2.2 - Ec. 1]

#### Carga límite permisible, $U_i$

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Resistencia de CSM=MAT	$UTUS_{CSM}$	200	$[\text{N}/\text{mm por kg}/\text{m}^2]$	[BS 4994 - Tabla 5]
Resistencia de WR=Roving	$UTUS_{WR}$	250	$[\text{N}/\text{mm por kg}/\text{m}^2]$	[BS 4994 - Tabla 5]
Resistencia Admisible de CSM=MAT	$U_{L-CSM}$	23,74	$[\text{N}/\text{mm por kg}/\text{m}^2]$	[BS 4994 - 9.2.3 - Ec. 2]
Resistencia Admisible de WR=Roving	$U_{L-WR}$	29,68	$[\text{N}/\text{mm por kg}/\text{m}^2]$	[BS 4994 - 9.2.3 - Ec. 2]

#### Deformación permisible, $\epsilon$

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Elongación de la resina hasta rotura	$e$	2%	$[\%]$	[Hoja técnica de producto]
Deformación admisible de la resina	$\epsilon_1$	0,2%	$[\%]$	[BS 4994 - 9.2.4]
Límite de deformación	$\epsilon_2$	0,2%	$[\%]$	[BS 4994 - 9.2.4]
Deformación admisible mínima	$\epsilon$	0,2%	$[\%]$	[BS 4994 - 9.2.4]

#### Tensión límite permisible, $U_s$

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Equivalente al módulo de elasticidad para Mat	$X_{z-CSM}$	14000	$[\text{N}/\text{mm por kg}/\text{m}^2]$	[BS 4994 - Tabla 5]
Equivalente al módulo de elasticidad para Roving	$X_{z-WR}$	16000	$[\text{N}/\text{mm por kg}/\text{m}^2]$	[BS 4994 - Tabla 5]
Tensión límite permisible para Mat	$U_{s-CSM}$	28	$[\text{N}/\text{mm por kg}/\text{m}^2]$	[BS 4994 - 9.2.5 - Ec. 3]
Tensión límite permisible para Roving	$U_{s-WR}$	32	$[\text{N}/\text{mm por kg}/\text{m}^2]$	[BS 4994 - 9.2.5 - Ec. 3]



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Resistencia estructural de los silos

#### Carga unitaria de diseño, $U_z$

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Se debe determinar si $U_L$ es menor a $U_s$ , entonces el diseño estará limitado por la carga o la deformación				
UL/US	$U_{CSM}$	0,85		
UL/US	$U_{WR}$	0,93		
Verificación del límite para el diseño (carga o deformación)	$U$	Diseño limitado por carga UL		
Deformación admisible para Mat	$\epsilon_L - CSM$	0,17%	[%]	[BS 4994 - 9.2.6 - Ec. 4]
Deformación admisible para Roving	$\epsilon_L - WR$	0,19%	[%]	[BS 4994 - 9.2.6 - Ec. 4]
Deformación de diseño. Para evitar sobrecargar las capas de uno u otro refuerzo, se considera el menor de los 2.				
	$\epsilon_d$	0,17%	[%]	[BS 4994 - 9.2.6]
Carga unitaria de diseño para Mat	$U_{z-CSM}$	23,74	[N/mm por kg/m <sup>2</sup> ]	[BS 4994 - 9.2.6]
Carga unitaria de diseño para Roving	$U_{z-WR}$	27,13	[N/mm por kg/m <sup>2</sup> ]	[BS 4994 - 9.2.6 - Ec. 5]

#### Determinación de la construcción del laminado del Cono Superior

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,3	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,45	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,6	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Masa de refuerzo Roving por unidad de área	$m_{z-WR}$	0,8	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Número de capas de Mat 0,3Kg/m <sup>2</sup>	$n_{z-CSM}$	0		
Número de capas de Mat 0,45Kg/m <sup>2</sup>	$n_{z-CSM}$	4		
Número de capas de Mat 0,6Kg/m <sup>2</sup>	$n_{z-CSM}$	0		
Número de capas de Roving 0,8Kg/m <sup>2</sup>	$n_{z-WR}$	3		
Carga admisible del laminado	$Q_{laminado}$	107,86	[N/mm]	[BS 4994 - 13.2 - Ec. 6]
Equivalente al módulo de elasticidad del laminado completo	$XLAM$	63600	[N/mm]	[BS 4994 - 14.3.3 - Ec. 12]

#### Estimación del espesor del laminado del Cono Superior

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Relación resina-Fibra	$R_{resina\_fibra}$	1,70		[Dato del fabricante]
Porcentaje de Resina	$R_r$	63%	[%]	
Porcentaje de Fibra de vidrio	$R_f$	37%	[%]	
Fibra de vidrio tipo E (2,56 g/cm <sup>3</sup> )	$Cte\ Fibra\ de\ vidrio$	0,39	[mm por kg/m <sup>2</sup> ]	[Manual de diseño de PRFV - Tabla 3]
Resina Poliester (1,1 g/cm <sup>3</sup> )	$Cte\ Resina$	0,91	[mm por kg/m <sup>2</sup> ]	[Manual de diseño de PRFV - Tabla 3]
Peso vidrio	$W_v$	4,2	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Peso resina	$W_{res}$	7,14	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Peso Laminado	$W_{lam}$	11,34	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Espesor de vidrio	$t_{vidrio}$	1,64	[mm]	
Espesor de resina	$t_{resina}$	6,49	[mm]	
Espesor estimado del laminado	$t$	8,13	[mm]	



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Resistencia estructural de los silos

#### Determinación de la construcción del laminado del Cilindro Superior

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,3	$[kg/m^2]$	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,45	$[kg/m^2]$	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,6	$[kg/m^2]$	
Masa de refuerzo Roving por unidad de área	$m_{z-WR}$	0,8	$[kg/m^2]$	
Número de capas de Mat 0,3Kg/m2	$n_{z-CSM}$	0		
Número de capas de Mat 0,45Kg/m2	$n_{z-CSM}$	5		
Número de capas de Mat 0,6Kg/m2	$n_{z-CSM}$	0		
Número de capas de Roving 0,8Kg/m2	$n_{z-WR}$	4		
Carga admisible del laminado	$Q_{laminado}$	140,25	$[N/mm]$	[BS 4994 - 13.2 - Ec. 6]
Equivalente al módulo de elasticidad del laminado completo	$XLAM$	82700	$[N/mm]$	[BS 4994 - 14.3.3 - Ec. 12]

#### Estimación del espesor del laminado del Cilindro Superior

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Relación resina-Fibra	$R_{resina\_fibra}$	1,70		[Dato del fabricante]
Porcentaje de Resina	$Rr$	63%	$[%]$	
Porcentaje de Fibra de vidrio	$Rf$	37%	$[%]$	
Fibra de vidrio tipo E (2,56 g/cm3)	$Cte\ Fibra\ de\ vidrio$	0,39	$[mm\ por\ kg/m^2]$	[Manual de diseño de PRFV - Tabla 3]
Resina Poliester (1,1 g/cm3)	$Cte\ Resina$	0,91	$[mm\ por\ kg/m^2]$	[Manual de diseño de PRFV - Tabla 3]
Peso vidrio	$Wv$	5,45	$[kg/m^2]$	
Peso resina	$Wres$	9,27	$[kg/m^2]$	
Peso Laminado	$Wlam$	14,72	$[kg/m^2]$	
Espesor de vidrio	$t_{vidrio}$	2,13	$[mm]$	
Espesor de resina	$t_{resina}$	8,42	$[mm]$	
Espesor estimado del laminado	$t$	10,55	$[mm]$	

#### Determinación de la construcción del laminado del Cilindro Inferior

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,3	$[kg/m^2]$	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,45	$[kg/m^2]$	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,6	$[kg/m^2]$	
Masa de refuerzo Roving por unidad de área	$m_{z-WR}$	0,8	$[kg/m^2]$	
Número de capas de Mat 0,3Kg/m2	$n_{z-CSM}$	0		
Número de capas de Mat 0,45Kg/m2	$n_{z-CSM}$	7		
Número de capas de Mat 0,6Kg/m2	$n_{z-CSM}$	0		
Número de capas de Roving 0,8Kg/m2	$n_{z-WR}$	4		
Carga admisible del laminado	$Q_{laminado}$	161,61	$[N/mm]$	[BS 4994 - 13.2 - Ec. 6]

#### Estimación del espesor del laminado del Cilindro Inferior

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Relación resina-Fibra	$R_{resina\_fibra}$	1,70		[Dato del fabricante]
Porcentaje de Resina	$Rr$	63%	$[%]$	
Porcentaje de Fibra de vidrio	$Rf$	37%	$[%]$	
Fibra de vidrio tipo E (2,56 g/cm3)	$Cte\ Fibra\ de\ vidrio$	0,39	$[mm\ por\ kg/m^2]$	[Manual de diseño de PRFV - Tabla 3]
Resina Poliester (1,1 g/cm3)	$Cte\ Resina$	0,91	$[mm\ por\ kg/m^2]$	[Manual de diseño de PRFV - Tabla 3]
Peso vidrio	$Wv$	6,35	$[kg/m^2]$	
Peso resina	$Wres$	10,80	$[kg/m^2]$	
Peso Laminado	$Wlam$	17,15	$[kg/m^2]$	
Espesor de vidrio	$t_{vidrio}$	2,48	$[mm]$	
Espesor de resina	$t_{resina}$	9,81	$[mm]$	
Espesor estimado del laminado	$t$	12,30	$[mm]$	



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Resistencia estructural de los silos

#### Determinación de la carga

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Presión horizontal	$ph-material$	0,030	$[N/mm^2]$	[Ravenet - Tomo I - 1.3.2 - Ec. 3]
Presión vertical	$pv-material$	0,087	$[N/mm^2]$	[Ravenet - Tomo I - 1.3.2 - Ec. 2]
Presión hidroestática	$pvh-material$	0,042	$[N/mm^2]$	
Presión de viento	$pviento$	0,0009	$[N/mm^2]$	[Cirsoc 102 - IV.1]
Presión de vacío	$pvacio$	0	$[N/mm^2]$	
Presión efectiva total	$ph-total$	0,031	$[N/mm^2]$	
Carga circunferencial máxima en el punto considerado	$Q_{\phi}$	80,93	$[N/mm]$	[BS 4994 - 14.2 - Ec. 7]

#### Láminas cónicas sujetas a carga combinada, tanques verticales

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Volumen de cilindro	$V_{cilindro}$	101,94	$[m^3]$	
Volumen de cono superior	$V_{cs}$	22,46	$[m^3]$	
Volumen de cono inferior	$V_{ci}$	28,39	$[m^3]$	
Volumen total	$V_t$	152,79	$[m^3]$	
Peso del silo	$W_{Laminado\_Silo}$	24385	$[N]$	
Momento flector	$M$	12788647	$[Nmm]$	
Peso arriba del punto considerado	$WA$	1099117	$[N]$	
Peso debajo del punto considerado	$WB$	207293	$[N]$	
Carga máxima longitudinal, ARRIBA del plano de soporte.	$Q_{xA} [+]$	46,15	$[N/mm]$	[BS 4994 - 14.3.1 - Ec. 9]
Carga máxima longitudinal, ARRIBA del plano de soporte.	$Q_{xA} [-]$	44,94	$[N/mm]$	[BS 4994 - 14.3.1 - Ec. 9]
Carga máxima longitudinal, DEBAJO del plano de soporte.	$Q_{xB} [+]$	126,12	$[N/mm]$	[BS 4994 - 14.3.1 - Ec. 10]
Carga máxima longitudinal, DEBAJO del plano de soporte.	$Q_{xB} [-]$	124,91	$[N/mm]$	[BS 4994 - 14.3.1 - Ec. 10]
Carga máxima longitudinal considerada	$Q_x$	126,12	$[N/mm]$	
Máxima carga aplicada. Fuerza por unidad de ancho a ser soportada por el laminado. Se utiliza la máxima entre $Q_x$ y $Q_{\phi}$	$Q$	126,12	$[N/mm]$	
Verificación		Verifica		$Q_{laminado\_cilindro} > Q_x$ o $Q_{\phi}$

#### Carga de compresión admisible - Espesor mínimo para prevenir abollamiento en caso de presiones externas, vacío o presión negativa interna.

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Equivalente al módulo de elasticidad del laminado completo	$XLAM$	95300	$[N/mm]$	[BS 4994 - 14.3.3 - Ec. 12]
Factor de seguridad contra colapso por pandeo	$F$	4		[BS 4994 - 14.3.3 - Ec. 13]
Diámetro externo del silo (parte cilíndrica considerada como lámina cuando $e < 10\%$ del diámetro interno)	$D_o$	5225	$[mm]$	
Carga de compresión máxima admisible	$Q_p$	33,64	$[N/mm]$	[BS 4994 - 14.3.3 - Ec. 13]
Modulo de Young del laminado en consideración	$ELAM$	7751	$[N/mm^2]$	[BS 4994 - 14.4.1 - Ec. 14]
Relación altura-diámetro	$L$	2400	$[mm]$	
	$L/Do$	0,46		
	$1,35 * (Elam/pF)^{0,17}$	7,41		[BS 4994 - 14.4.1 - Ec. 15]
Espesor a utilizar para calculo		<b>tm2</b>		
Espesor	$tm1$	108,80	$[mm]$	[BS 4994 - 14.4.1 - Ec. 15]
Espesor	$tm2$	7,74	$[mm]$	[BS 4994 - 14.4.1 - Ec. 16]
Verificación	$t > tm$	Verifica		$t_{cilindro} > tm2$



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Resistencia estructural de los silos

#### Determinación de la contrucción del laminado del Cono Inferior

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Diámetro interno en la base más grande del cono (diámetro mayor del cono)	$D_k$	5016	[mm]	[BS 4994 - 18.4.3]
Ángulo de descarga del cono	$\varphi$	45	[°]	
	$\text{Cos}\varphi$	0,707		
Carga circunferencial máxima en el punto considerado	$Q_{\theta-\text{Cono}}$	107,23	[N/mm]	[BS 4994 - 18.4.3 - Ec. 47]
Radio de transición cilindro-cono	$r_i$	780	[mm]	
Valor $r_i/D_i$ a usar en tabla 12	$r_i/D_i$	0,15		
Factor por relación de radio de transición	$Kc1$	1		[BS 4994 - Tabla 12]
Carga longitudinal para la intersección cilindro-cono	$Q_{x1}$	225,65	[N/mm]	[BS 4994 - 18.4.3 - Ec. 48]
Carga máxima en el cono	$Q_{\text{cono}}$	225,65	[N/mm]	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-\text{CSM}}$	0,30	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-\text{CSM}}$	0,45	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-\text{CSM}}$	0,60	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Masa de refuerzo Roving por unidad de área	$m_{z-\text{WR}}$	0,80	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Número de capas de Mat 0,3Kg/m2	$n_{z-\text{CSM}}$	0,00		
Número de capas de Mat 0,45Kg/m2	$n_{z-\text{CSM}}$	7,00		
Número de capas de Mat 0,6Kg/m2	$n_{z-\text{CSM}}$	0,00		
Número de capas de Roving 0,8Kg/m2	$n_{z-\text{WR}}$	7,00		
Carga admisible del laminado del cono inferior	$Q_{\text{laminado\_Cono}}$	226,73	[N/mm]	[BS 4994 - 13.2 - Ec. 6]
Verificación Cono Inferior		Verifica		$Q_{\text{laminado\_Cono}} > Q_{\text{cono}}$

#### Estimación del espesor del laminado del Cilindro Inferior

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Peso vidrio	$W_v$	8,75	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Peso resina	$W_{res}$	14,88	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Peso Laminado	$W_{lam}$	23,63	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Espesor de vidrio	$t_{vidrio}$	3,42	[mm]	
Espesor de resina	$t_{resina}$	13,52	[mm]	
Espesor del laminado del cono inferior	$t_c$	16,94	[mm]	
Distancia de incremento de espesor mínima	$L_c$	353	[mm]	[BS 4994 - 18.4.3 - Ec. 50]
Equivalente al módulo de elasticidad del laminado completo	$XLAM$	133700	[N/mm]	[BS 4994 - 14.3.3 - Ec. 12]

#### Verificación de pandeo de la sección cilíndrica

Nota: Se supone el cilindro actuando como una columna hueca que soporta toda la carga vertical, debida a la fuerza de rozamiento entre el grano y la pared.

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Longitud de columna	$L$	4800	[mm]	
Tipo de vínculo	$K$	2,1		[Mott 4ta ed. Pág 234 - Figura 6-3]
Longitud equivalente	$L_e$	10080	[mm]	[Mott 4ta ed. Pág 233 - Ec. 6-2]
Área	$A_s$	201338	[mm <sup>2</sup> ]	
Momento de inercia	$I$	6,83748E+11	[mm <sup>4</sup> ]	
Radio de giro	$i$	1843	[mm]	[Mott 4ta ed. Pág 232 - Ec. 6-1]
Esbeltez	$R_{\text{esbeltez}}$	5,47		[Mott 4ta ed. Pág 234 - Ec. 6-3]
Modulo equivalente de elasticidad para PRFV	$E$	7751	[N/mm <sup>2</sup> ]	[BS 4994 - 14.4.1 - Ec. 14]
Tension de rotura de laminado PRFV (7 CSM + 4 WR)	$\sigma_r$	150	[N/mm <sup>2</sup> ]	[Ensayo de tracción - O.T. N° 478 / 2021 - DAT]
Seguridad	$S$	4		
Resistencia a la fluencia del material	$S_y$	37,5	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Constante de columna	$C_c$	36		[Mott 4ta ed. Pág 234 - Ec. 6-4]
Verificación de tipo de columna		Columna corta		
Carga crítica - Formula de J.B.Johnson	$P_{cr}$	7522482	[N]	[Mott 4ta ed. Pág 239]
Factor de diseño	$N$	4		[Mott 4ta ed. Pág 238]
Carga admisible	$P_a$	1880621	[N]	[Mott 4ta ed. Pág 238]
Fuerza de rozamiento longitudinal en el silo	$F_r$	17474	[N]	
Verificación a pandeo		Verifica		$F_r < P_a$



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Resistencia estructural de los silos

#### Refuerzos requeridos para el silo

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Diámetro exterior del silo (mínimo)	$D_o$	5216	[mm]	
Presión dinámica del viento	$p_d$	892	[N/m <sup>2</sup> ]	[CIRSOC 102 - IV.1]
Presión de vacío	$p_0$	0	[N/m <sup>2</sup> ]	
Presión de diseño externa	$P$	892	[N/m <sup>2</sup> ]	
Altura equivalente	$H_e$	2741	[mm]	[BS 4994 - 5.2 - Ec. 22]
Altura máxima admisible entre refuerzos	$H_p$	2742	[mm]	[BS 4994 - 5.2 - Ec. 22]
Cantidad de refuerzos necesarios	$N_r$	1		
Ubicación del primer refuerzo	$H$	1371	[mm]	
Distancia desde la primer sección	$h_{1e}$	811	[mm]	[BS 4994 - 5.2 - Ec. 21]
Distancia efectiva desde el primer refuerzo	$h_1$	1558	[mm]	[BS 4994 - 5.2 - Ec. 21]
Altura desde los refuerzos a la parte superior del silo	$H_A$	2118	[mm]	[BS 4994 - 5.2 - Ec. 23]
Longitud efectiva entre refuerzos	$L$	685	[mm]	
Modulo de Young del laminado en consideración	$E_{LAM}$	7821	[N/mm <sup>2</sup> ]	[BS 4994 - 14.4.1 - Ec. 14]

#### Cálculo de aros de refuerzo

Diámetro del eje neutral del aro de refuerzo	$D_s$	5216	[mm]	[BS 4994 - Figura 8]
Radio exterior del anillo de refuerzo	$r_2$	46	[mm]	
Radio interior del anillo de refuerzo	$r_1$	27	[mm]	
Segundo momento de área de la sección	$I_s$	3079390	[mm <sup>4</sup> ]	
Segundo momento de área requerido	$I_{s2}$	1997633	[mm <sup>4</sup> ]	[BS 4994 - 14.4.2 - Ec. 17]
Longitud de lámina que contribuye al segundo momento de área del aro de refuerzo.	$L_s$	190,09	[mm]	[BS 4994 - 14.4.2 - Ec. 18]
Verificación de momento de inercia		Verifica		$L_2 < L_s$
Relación altura-diámetro	$L/D_o$	0,13		
	$1,35 \cdot (E_{lam}/pF)^{0,17}$	16,15		[BS 4994 - 14.4.1 - Ec. 15]
Espesor a utilizar para calculo		tm2		
Espesor mínimo para prevenir abollamiento	$tm_1$	33,54	[mm]	[BS 4994 - 14.4.1 - Ec. 15]
Espesor mínimo para prevenir abollamiento	$tm_2$	4,67	[mm]	[BS 4994 - 14.4.1 - Ec. 16]
Verificación	$t > tm$	Verifica		$t > tm_2$
Carga de compresión admisible	$Q_p$	25	[N/mm]	[BS 4994 - 14.3.3 - Ec. 13]

#### Cálculo para el anclaje del silo

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Momento de vuelco	$M$	103442207	[Nmm]	[Ravenet - Tomo I - Pág. 233 - Ec. 1]
Métrica del bulón	$Metrica$	16		
Diámetro de paso de los bulones sobre el silo	$D_{pc}$	5200	[mm]	
Mínimo peso de la lámina del silo	$W_{min}$	24385	[N]	
Número de bulones de anclaje	$N_b$	32		
Presión	$p$	0	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Carga por bulón de anclaje	$F$	1725	[N]	[BS 4994 - Apendice F - Ec. 77]
Área del bulón	$A_s$	146,552	[mm <sup>2</sup> ]	
Grado	$Gr$	12.9		
Tensión de rotura del bulón	$\sigma_{rot}$	120	[kgf/mm <sup>2</sup> ]	
Seguridad	$S$	4		
Tensión de fluencia del bulón	$\sigma_f$	1059	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Carga admisible del bulón	$F_{adm}$	38817	[N]	
Verificación		Verifica		$F < F_{adm}$





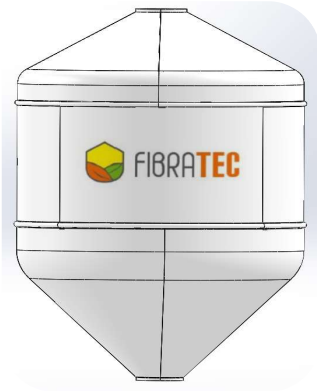
## MEMORIA DE CÁLCULO

### Resistencia estructural de los silos

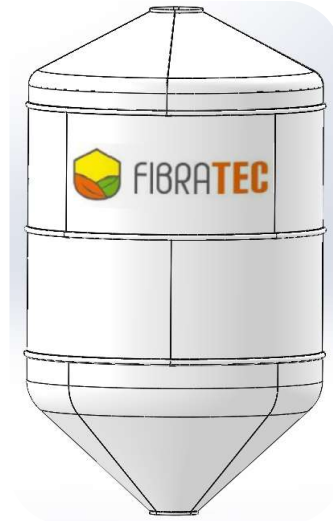
#### Determinación de la construcción del laminado del soporte del cono inferior

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,3	$[kg/m^2]$	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,45	$[kg/m^2]$	
Masa de refuerzo Mat por unidad de área	$m_{z-CSM}$	0,6	$[kg/m^2]$	
Masa de refuerzo Roving por unidad de área	$m_{z-WR}$	0,8	$[kg/m^2]$	
Número de capas de Mat 0,3Kg/m2	$n_{z-CSM}$	0		
Número de capas de Mat 0,45Kg/m2	$n_{z-CSM}$	10		
Número de capas de Mat 0,6Kg/m2	$n_{z-CSM}$	0		
Número de capas de Roving 0,8Kg/m2	$n_{z-WR}$	14		
Carga admisible del laminado del soporte	$Q_{laminado\_Cono}$	410,73	$[N/mm]$	[BS 4994 - 13.2 - Ec. 6]
Peso vidrio	$W_v$	15,7	$[kg/m^2]$	
Peso resina	$W_{res}$	26,69	$[kg/m^2]$	
Peso Laminado	$W_{lam}$	42,39	$[kg/m^2]$	
Espesor de vidrio	$t_{vidrio}$	6,14	$[mm]$	
Espesor de resina	$t_{resina}$	24,26	$[mm]$	
Espesor del laminado del soporte	$t_c$	30,40	$[mm]$	

SILO F100



SILO F150



**10.8 ANEXO VIII - MEMORIA DE CÁLCULO DE COLUMNAS**



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Verificación a pandeo de columnas - F150

<b>Verificación a pandeo por método OMEGA</b>				
<i>Descripción</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Referencia</i>
Capacidad silo	$C$	150	$[m^3]$	
Densidad a granel del producto	$\delta$	0,72	$[tn/m^3]$	
Carga max	$P_m$	1059	$[kN]$	
Peso del silo	$P_s$	24	$[kN]$	
Cantidad de columnas	$N_p$	12		
Carga normal total por columna	$F_{NT}$	90	$[kN]$	
Carga de viento total	$P_v$	22	$[kN]$	
Carga de viento considerando aplicación en 2 columnas	$P_v$	11	$[kN]$	
Distancia al punto de aplicación de la carga de viento	$d_v$	0,59	$[m]$	
Momento debido al efecto del viento	$M_v$	6394	$[kNmm]$	
Perfil seleccionado <span style="float: right;">Perfil W - W150x22,5H</span>				
Área de la sección del perfil	$A_p$	29	$[cm^2]$	
Momento de inercia y	$I_y$	387	$[cm^4]$	
Momento de inercia x	$I_x$	1229	$[cm^4]$	
Radio de giro en y	$r_y$	3,65	$[cm]$	
Radio de giro en x	$r_x$	6,51	$[cm]$	
Excentricidad	$e$	7,61	$[cm]$	
Largo columna eje y	$L_y$	185	$[cm]$	
Largo columna eje x	$L_x$	400	$[cm]$	
Constante de condición de los extremos	$K$	1		
Relación de esbeltez Y	$\lambda_y$	50,68	-	
Coefficiente de pandeo omega Y	$\omega_y$	1,21	-	Según tabla para acero St33/St37
Relación de esbeltez X	$\lambda_x$	61,44	-	Según tabla para acero St33/St37
Coefficiente de pandeo omega X	$\omega_x$	1,32	-	
Tensión normal en cara y	$\sigma_y$	0,038	$[kN/mm^2]$	
Tensión normal en cara x	$\sigma_x$	0,041	$[kN/mm^2]$	
Tipo de Carga - Centrada o Excentrica <span style="float: right;">Centrada</span>				
Momento debido a carga excentrica (afecta con respecto a x)	$M_e$	0	$[kNmm]$	
Momento con respecto al plano Y-Y	$M_y$	6394	$[kNmm]$	
Momento con respecto al plano X-X	$M_x$	6394	$[kNmm]$	
Momento resistente con respecto a Y-Y	$W_y$	50,9	$[cm^3]$	
Momento resistente con respecto a X-X	$W_x$	161,7	$[cm^3]$	
Tensión debida a la flexión en la cara y	$\sigma_fy$	0,126	$[kN/mm^2]$	
Tensión debida a la flexión en la cara x	$\sigma_fx$	0,040	$[kN/mm^2]$	
Tensión compuesta (calculada con respecto a y)	$\sigma_y$	163	$[N/mm^2]$	
Tensión compuesta (calculada con respecto a x)	$\sigma_x$	81	$[N/mm^2]$	
Tensión de fluencia del acero utilizado	$\sigma_{adm}$	345	$[N/mm^2]$	
Factor Operacional de Seguridad	<b>FOS</b>	<b>2,11</b>		



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Verificación a pandeo de columnas - F150

<b>Verificación de arriostramientos</b>				
<i>Descripción</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Referencia</i>
Carga normal compuesta	$P_u$	473,60	kN	
Resistencia requerida de la riostra	$P_{br}$	1,89	kN	[CIRSOC 301 - Ec. C.3.3]
Factor de resistencia	$\varphi$	0,75		
Rigidez requerida de la riostra	$\beta_{br}$	6,83	kN/cm	[CIRSOC 301 - Ec. C.3.4]
Longitud de la riostra	$L_r$	207	cm	
Ángulo de trabajo de la riostra	$\theta$	27	°	
Fuerza sobre la riostra	$R$	2,12	kN	
Perfil seleccionado		Angulo 2"x1/8"		
Sección del perfil	$\Omega$	321	mm <sup>2</sup>	
Momento de inercia	$I_x=I_y$	7,76	cm <sup>4</sup>	
Tensión admisible del perfil	$\sigma_{adm}$	24,47	Kgf/mm <sup>2</sup>	
Resistencia admisible del perfil	$F_{adm}$	77,06	kN	
Módulo de Young	$E$	210	kN/mm <sup>2</sup>	
Rigidez axial	$R_{axial}$	326	kN/cm	
Verificación de Rigidez		<b>Verifica</b>		
Verificación de Resistencia		<b>Verifica</b>		
Factor Operacional de Seguridad	<b>FOS</b>	<b>36,37</b>		



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Verificación a pandeo de columnas - F100

<b>Verificación a pandeo por método OMEGA</b>				
Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Capacidad silo	$C$	100	$[m^3]$	
Densidad a granel del producto	$\delta$	0,72	$[tn/m^3]$	
Carga max	$P_m$	706	$[kN]$	
Peso del silo	$P_s$	19	$[kN]$	
Cantidad de columnas	$N_p$	12		
Carga normal total por columna	$F_{NT}$	60	$[kN]$	
Carga de viento total	$P_v$	12	$[kN]$	
Carga de viento considerando aplicación en 2 columnas	$P_v$	6	$[kN]$	
Distancia al punto de aplicación de la carga de viento	$d_v$	0,30	$[m]$	
Momento debido al efecto del viento	$M_v$	1796	$[kNmm]$	
Perfil seleccionado		Perfil W - W150x18		
Área de la sección del perfil	$A_p$	23,4	$[cm^2]$	
Momento de inercia y	$I_y$	126	$[cm^4]$	
Momento de inercia x	$I_x$	939	$[cm^4]$	
Radio de giro en y	$r_y$	2,32	$[cm]$	
Radio de giro en x	$r_x$	6,34	$[cm]$	
Excentricidad	$e$	7,65	$[cm]$	
Largo columna eje y	$L_y$	185	$[cm]$	
Largo columna eje x	$L_x$	400	$[cm]$	
Constante de condición de los extremos	$K$	1		
Relación de esbeltez Y	$\lambda_y$	79,74	-	
Coefficiente de pandeo omega Y	$\omega_y$	1,55	-	Según tabla para acero St33/St37
Relación de esbeltez X	$\lambda_x$	63,09	-	Según tabla para acero St33/St37
Coefficiente de pandeo omega X	$\omega_x$	1,33	-	
Tensión normal en cara y	$\sigma_{ny}$	0,040	$[kN/mm^2]$	
Tensión normal en cara x	$\sigma_{nx}$	0,034	$[kN/mm^2]$	
Tipo de Carga - Centrada o Excentrica		0		
Momento debido a carga excentrica (afecta con respecto a x)	$M_e$	4622	$[kNmm]$	
Momento con respecto al plano Y-Y	$M_y$	1796	$[kNmm]$	
Momento con respecto al plano X-X	$M_x$	6418	$[kNmm]$	
Momento resistente con respecto a Y-Y	$W_y$	24,7	$[cm^3]$	
Momento resistente con respecto a X-X	$W_x$	122,8	$[cm^3]$	
Tensión debida a la flexión en la cara y	$\sigma_{fy}$	0,073	$[kN/mm^2]$	
Tensión debida a la flexión en la cara x	$\sigma_{fx}$	0,052	$[kN/mm^2]$	
Tensión compuesta (calculada con respecto a y)	$\sigma_y$	113	$[N/mm^2]$	
Tensión compuesta (calculada con respecto a x)	$\sigma_x$	87	$[N/mm^2]$	
Tensión de fluencia del acero utilizado	$\sigma_{adm}$	345	$[N/mm^2]$	
Factor Operacional de Seguridad	<b>FOS</b>	<b>3,06</b>		



## MEMORIA DE CÁLCULO

### Verificación a pandeo de columnas - F100

<b>Verificación de arriostramientos</b>				
<i>Descripción</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Referencia</i>
Carga normal compuesta	$P_u$	263,83	kN	
Resistencia requerida de la riostra	$P_{br}$	1,06	kN	[CIRSOC 301 - Ec. C.3.3]
Factor de resistencia	$\phi$	0,75		
Rigidez requerida de la riostra	$\beta_{br}$	3,80	kN/cm	[CIRSOC 301 - Ec. C.3.4]
Longitud de la riostra	$L_r$	207	cm	
Ángulo de trabajo de la riostra	$\theta$	27	°	
Fuerza sobre la riostra	$R$	1,18	kN	
Perfil seleccionado		Angulo 2"x1/8"		
Sección del perfil	$\Omega$	321	mm <sup>2</sup>	
Momento de inercia	$I_x=I_y$	7,76	cm <sup>4</sup>	
Tensión admisible del perfil	$\sigma_{adm}$	24,47	Kgf/mm <sup>2</sup>	
Resistencia admisible del perfil	$F_{adm}$	77,06	kN	
Módulo de Young	$E$	210	kN/mm <sup>2</sup>	
Rigidez axial	$R_{axial}$	326	kN/cm	
Verificación de Rigidez		<b>Verifica</b>		
Verificación de Resistencia		<b>Verifica</b>		
Factor Operacional de Seguridad	$FOS$	<b>65,28</b>		



## MEMORIA DE CÁLCULO Selección de Perfiles para Columnas

Perfil	Medida [mm]	Peso [kg/m]	Denominación de perfil	e [mm]	ly [cm <sup>2</sup> ]	lx [cm <sup>2</sup> ]	A [cm <sup>2</sup> ]	Excentricidad [cm]	Wx [cm <sup>3</sup> ]	Wy [cm <sup>3</sup> ]	ty [cm]	tx [cm]	FOS F150	FOS F100	σ del perfil [Mpa]	Costo [USD/m]
Perfil S10	101x50x25	7,58	Perfil S10 - 101x50x25	3,2	263,21	96,63	9,38	4,5	21,47	27,71	5,30	3,21	0,37	0,75	240	20,69
Perfil circular	273x9,27	60,29	Perfil circular - 273x9,27	9,27	6885,82	6885,82	76,8	13,65	491,22	491,22	4,95	4,95	7,65	14,63	240	164,59
Perfil circular	219,1x8,18	42,55	Perfil circular - 219,1x8,18	8,18	3018,69	3018,69	54,2	10,95	276,15	276,15	4,15	4,15	4,49	8,53	240	116,16
Perfil circular	219,1x4,78	25,26	Perfil circular - 219,1x4,78	4,78	1848,81	1848,81	32,18	10,95	169,42	169,42	3,20	3,20	2,15	3,74	240	68,96
Perfil circular	219,1x3,5	18,6	Perfil circular - 219,1x3,5	3,5	1377,81	1377,81	23,71	10,95	125,76	125,76	2,74	2,74	1,29	2,07	240	50,78
Perfil circular	114,3x6,02	17,03	Perfil circular - 114,3x6,02	6,02	301,05	301,05	20,48	5,71	115,46	115,46	2,62	2,62	1,09	1,77	240	46,49
Perfil C Cajón	200x100x30x3,2	22,14	Perfil C Cajón - 200x100x30x3,2	3,2	1600,33	1814,6	28,09	10	181,46	160,03	7,55	8,04	3,24	6,60	240	43,90
Perfil C Cajón	200x100x30x2,5	17,48	Perfil C Cajón - 200x100x30x2,5	2,5	1268,17	1446,69	22,18	10	144,67	126,82	7,56	8,08	2,57	5,23	240	47,72
Perfil C Cajón	180x80x30x2,5	16,69	Perfil C Cajón - 180x80x30x2,5	2,5	1170,65	1136,34	21,18	9	126,26	117,07	7,43	7,33	2,31	4,73	240	45,56
Perfil C Cajón	180x80x30x4,75	27,61	Perfil C Cajón - 180x80x30x4,75	4,75	1264,04	1721,82	35,03	9	191,31	158	6,01	7,01	3,05	7,54	240	75,38
Perfil C doble T	200x100x30x2,5	17,48	Perfil C doble T - 200x100x30x2,5	2,5	585,67	1446,69	22,18	10	144,67	58,57	5,14	8,08	1,55	3,94	240	47,72
Perfil C doble T	200x100x30x3,2	22,14	Perfil C doble T - 200x100x30x3,2	3,2	733	1814,6	28,09	10	181,46	73,3	5,11	8,04	1,95	4,96	240	60,44
Perfil C doble T	180x100x30x4,75	30,61	Perfil C doble T - 180x100x30x4,75	4,75	1034,12	2013,66	38,83	9	223,74	103,41	5,16	7,20	2,74	6,93	240	83,57
Perfil C doble T	180x100x30x3,2	21,13	Perfil C doble T - 180x100x30x3,2	3,2	732,96	1423,73	26,81	9	158,19	73,3	5,23	7,29	1,93	4,85	240	57,68
Perfil W	W150x13	13	Perfil W - W150x13	4,3	82	635	16,6	7,4	85,8	16,4	2,22	6,18	0,72	2,05	345	35,49
Perfil W	W150x18	18	Perfil W - W150x18	5,8	126	939	23,4	7,65	122,8	24,7	2,32	6,34	1,08	3,06	345	49,14
Perfil W	W150x22,5H	22,5	Perfil W - W150x22,5H	5,8	387	1229	29	7,61	161,7	50,9	3,65	6,51	2,11	5,68	345	61,43
Perfil cuadrado	150x4,75	21,76	Perfil cuadrado - 150x4,75	4,75	954,81	921,3	26,59	7,5	129,5	129,5	6,04	6,04	2,50	5,36	240	59,40

Color Rojo: FOS < 1,4  
 Color Amarillo: 1,4 < FOS < 1,7  
 Color Verde: FOS > 1,7

**10.9 ANEXO IX - APERTURA DE COSTOS**





## ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

### Resumen de costos

FX - USD-\$

127,75

Descripción	F150 - Silo 150m <sup>3</sup>				F100 - Silo 100m <sup>3</sup>			
	Cantidad F150	Costo unitario [\$]	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]	Cantidad F100	Costo unitario [\$]	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
<b>Investigación y Desarrollo</b>				<b>USD 2.100,00</b>				<b>USD -</b>
Ensayo de tracción	1	\$ -	USD 1.200,00	USD 1.200,00		\$ -	USD -	USD -
Experimento de ángulo de fricción interna	1	\$ -	USD 250,00	USD 250,00		\$ -	USD -	USD -
Experimento de ángulo de fricción con la pared	1	\$ -	USD 300,00	USD 300,00		\$ -	USD -	USD -
Ensayo de humedad gravimétrica	1	\$ -	USD 150,00	USD 150,00		\$ -	USD -	USD -
Experimento de flujo de material	1	\$ -	USD 200,00	USD 200,00		\$ -	USD -	USD -
<b>Modelos y Matrices</b>				<b>USD 28.288,27</b>				<b>USD -</b>
Horas de diseño de modelos	120	\$ 1.500,00	USD 11,74	USD 1.409,00				USD -
Material (acero)				USD 9.499,70				USD -
Proceso de corte				USD 3.799,88				USD -
Proceso de soldadura				USD 5.699,82				USD -
Mano de obra				USD 4.749,85				USD -
Matrices	3			USD 2.730,01				USD -
Traslados				USD 400,00				USD -
<b>Estructura Silo PRFV</b>				<b>USD 12.889,82</b>				<b>USD 8.798,73</b>
Horas de diseño del silo	120	\$ 1.500,00	USD 11,74	USD 1.409,00				USD -
Materia prima PRFV				USD 9.010,96				USD 6.920,03
Bulonería				USD 2.469,85				USD 1.878,70
<b>Estructura base</b>				<b>USD 9.214,67</b>				<b>USD 9.026,80</b>
Horas de ingeniería	16	\$ 1.500,00	USD 11,74	USD 187,87				USD -
Columnas (perfiles)				USD 4.842,10				USD 4.842,10
Riendas y Riostras				USD 512,01				USD 512,01
Bulonería				USD 99,64				USD 99,64
Corte				USD 1.936,84				USD 1.936,84
Perforado				USD 1.152,00				USD 1.152,00
Soldadura				USD 484,21				USD 484,21
<b>Estructura de escalera</b>				<b>USD 1.330,13</b>				<b>USD 581,45</b>
Horas de ingeniería	48	\$ 1.500,00	USD 11,74	USD 563,60				USD -
Materia prima - Perfiles de acero				USD 448,82				USD 359,06
Bulonería				USD 93,30				USD 65,31
Corte				USD 89,76				USD 62,83
Perforado				USD 44,88				USD 31,42
Soldadura				USD 89,76				USD 62,83
<b>Instalación</b>				<b>USD 3.774,60</b>				<b>USD 3.137,30</b>
Mano de obra, Horas de grúa, Viáticos, Personal, Seguro				USD 3.500,00				USD 3.000,00
Traslado de materiales - Flete	4	\$ 8.770	\$ 69	USD 274,60	2	\$ 8.770	\$ 69	USD 137,30
<b>Total costo de fabricación</b>				<b>USD 25.048,74</b>				<b>USD 21.544,28</b>
<b>Total materia prima</b>				<b>USD 17.476,68</b>				<b>USD 14.676,84</b>
<b>Total Servicio de corte, perforado y soldadura</b>				<b>USD 3.797,46</b>				<b>USD 3.730,14</b>
<b>Total</b>				<b>USD 57.597,48</b>				<b>USD 21.544,28</b>



## ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

### Costos Fijos y Variables

**Nota:** para los años 2 y 3 se estima un aumento interanual de 5% en USD, por contratación de más personal y aumento en servicios y gastos generales

Costos Fijos	Costo mensual	Costo mensual	Total año 1	Total año 2	Total año 3
	[\$]	[USD]	[USD]	[USD]	[USD]
Sueldos y salarios		USD 20.959,16	USD 251.509,90	USD 264.085,40	USD 277.289,67
Uniformes y EPPs		USD 124,14	USD 1.489,74	USD 1.564,22	USD 1.642,44
Agua	\$ 4.000,00	USD 31,31	USD 375,73	USD 394,52	USD 414,25
Energía eléctrica	\$ 90.000,00	USD 704,50	USD 8.454,01	USD 8.876,71	USD 9.320,55
Gas	\$ 6.000,00	USD 46,97	USD 563,60	USD 591,78	USD 621,37
Alquiler del local	\$ 100.000,00	USD 782,78	USD 9.393,35	USD 9.863,01	USD 10.356,16
Seguros	\$ 7.000,00	USD 54,79	USD 657,53	USD 690,41	USD 724,93
Publicidad	\$ 20.000,00	USD 156,56	USD 1.878,67	USD 1.972,60	USD 2.071,23
Material de limpieza	\$ 7.000,00	USD 54,79	USD 657,53	USD 690,41	USD 724,93
Honorarios contador	\$ 20.000,00	USD 156,56	USD 1.878,67	USD 1.972,60	USD 2.071,23
<b>Total de Costos Fijos</b>		<b>USD 23.071,56</b>	<b>USD 276.858,74</b>	<b>USD 290.701,68</b>	<b>USD 305.236,76</b>

Costos variables	% sobre ventas	Valor Año 1 [\$]	Valor Año 2 [\$]	Valor Año 3 [\$]	Valor año 1 [USD]	Valor año 2 [USD]	Valor año 3 [USD]
Material prima		\$ 131.812.705,19	\$ 140.743.290,87	\$ 151.548.842,97	USD 1.031.802,00	USD 1.101.708,73	USD 1.186.292,31
Servicio de instalación de silos		\$ 28.443.810,00	\$ 30.372.630,00	\$ 32.702.240,00	USD 222.652,13	USD 237.750,53	USD 255.986,22
Servicio de corte, perforado y soldadura		\$ 29.055.923,59	\$ 30.996.425,37	\$ 33.413.452,08	USD 227.443,63	USD 242.633,47	USD 261.553,44
Comisiones	3,0%	\$ 8.269.680,66	\$ 9.271.503,33	\$ 10.901.735,38	USD 64.733,31	USD 72.575,37	USD 85.336,48
Gastos de viáticos	0,5%	\$ 1.378.280,11	\$ 1.545.250,55	\$ 1.816.955,90	USD 10.788,89	USD 12.095,89	USD 14.222,75
El Impuesto Sobre los Ingresos Brutos (ISIB)	5,0%	\$ 13.782.801,11	\$ 15.452.505,55	\$ 18.169.558,97	USD 107.888,85	USD 120.958,95	USD 142.227,47
Mantenimiento general de equipos	1,0%	\$ 2.756.560,22	\$ 3.090.501,11	\$ 3.633.911,79	USD 21.577,77	USD 24.191,79	USD 28.445,49
Retenciones		\$ -	\$ -	\$ -	USD -	USD -	USD -
Percepciones		\$ -	\$ -	\$ -	USD -	USD -	USD -
<b>Total de Costos Variables</b>		<b>\$ 215.499.760,88</b>	<b>\$ 231.472.106,78</b>	<b>\$ 252.186.697,08</b>	<b>USD 1.686.886,58</b>	<b>USD 1.811.914,73</b>	<b>USD 1.974.064,16</b>



## ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

### Flujo de Fondos - VAN - TIR

Flujo de fondos netos	Año actual	Año 1	Año 2	Año 3
<b>Ingresos</b>				
Venta de silos 100 y 150m <sup>3</sup>		USD 2.157.777,08	USD 2.419.178,95	USD 2.844.549,35
<b>Total ingresos</b>		<b>USD 2.157.777,08</b>	<b>USD 2.419.178,95</b>	<b>USD 2.844.549,35</b>
<b>Inversión inicial</b>				
Capital de trabajo	USD 174.766,84			
Investigación y Desarrollo	USD 2.100,00			
Moldes y Matrices	USD 28.288,27			
Ingeniería	USD 2.160,47			
Publicidad	USD 1.878,67			
<b>Total inversión inicial</b>	<b>USD 209.194,25</b>			
<b>Egresos</b>				
Compra de materia prima	USD 1.031.802,00	USD 1.101.708,73	USD 1.186.292,31	
Servicio de instalación de silos	USD 222.652,13	USD 237.750,53	USD 255.986,22	
Servicio de corte, perforado y soldadura	USD 227.443,63	USD 242.633,47	USD 261.553,44	
Comisiones sobre ventas	USD 64.733,31	USD 72.575,37	USD 85.336,48	
Gastos de viáticos	USD 10.788,89	USD 12.095,89	USD 14.222,75	
Publicidad	USD 1.878,67	USD 1.972,60	USD 2.071,23	
Mantenimiento general de equipos	USD 21.577,77	USD 24.191,79	USD 28.445,49	
Material de limpieza	USD 657,53	USD 690,41	USD 724,93	
Honorarios profesionales	USD 1.878,67	USD 1.972,60	USD 2.071,23	
I.S.I.B.	USD 107.888,85	USD 120.958,95	USD 142.227,47	
Alquiler	USD 9.393,35	USD 9.863,01	USD 10.356,16	
Sueldos y contribuciones	USD 251.509,90	USD 264.085,40	USD 277.289,67	
Uniformes y EPPs	USD 1.489,74	USD 1.564,22	USD 1.642,44	
Servicios e impuestos	USD 9.393,35	USD 9.863,01	USD 10.356,16	
Seguros	USD 657,53	USD 690,41	USD 724,93	
Financiación	USD 52.863,70	USD 34.476,32	USD 16.088,95	
Impuesto a las ganancias	USD 52.388,57	USD 85.471,89	USD 152.617,07	
<b>Total egresos</b>	<b>USD 209.194,25</b>	<b>USD 2.068.997,59</b>	<b>USD 2.222.564,62</b>	<b>USD 2.448.006,95</b>
<b>Flujo de fondos netos</b>	<b>-USD 209.194,25</b>	<b>USD 88.779,49</b>	<b>USD 196.614,33</b>	<b>USD 396.542,40</b>

Renta fija - Riesgo Baja		
Item	Banco Galicia	Banco Nación
Tasa de interes anual plazo fijo en USD	1,9%	0,5%
<b>VAN</b>	<b>USD 442.052,48</b>	<b>USD 464.459,64</b>
<b>TIR</b>	<b>67%</b>	<b>67%</b>

Año	0	1	2	3
Tasa	1,90%	1,90%	1,90%	1,90%
Saldo actualizado	-USD 209.194,25	USD 87.124,13	USD 189.350,65	USD 374.771,95
Flujos acumulados	-USD 209.194,25	-USD 122.070,12	USD 67.280,53	USD 442.052,48
<b>PRC - Período de recupero</b>	<b>1,64</b>	<b>1 Año y 8 Meses</b>		

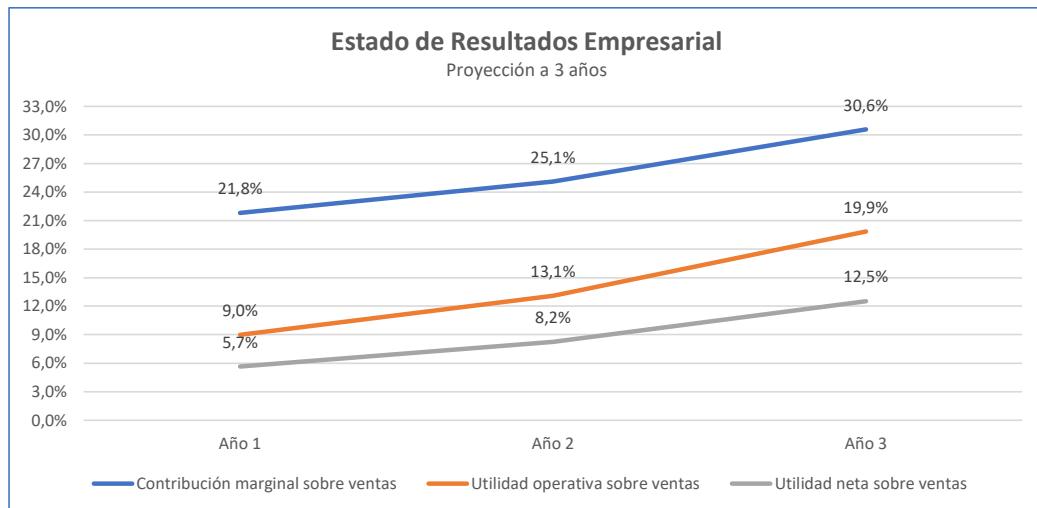


## ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

### Estado de Resultados Empresarial

Item	Valor Año 1 [\$]	Valor Año 2 [\$]	Valor Año 3 [\$]
Ventas	\$ 275.656.022,17	\$ 309.050.110,95	\$ 363.391.179,32
Costos variables	\$ 215.499.760,88	\$ 231.472.106,78	\$ 252.186.697,08
Contribución Marginal	\$ 60.156.261,28	\$ 77.578.004,17	\$ 111.204.482,24
Costos fijos	\$ 35.368.704,10	\$ 37.137.139,31	\$ 38.993.996,27
Utilidad Operativa	\$ 24.787.557,18	\$ 40.440.864,87	\$ 72.210.485,97
Gastos Financieros	\$ 2.478.755,72	\$ 4.044.086,49	\$ 7.221.048,60
Base imponible de impuestos a las Ganancias	\$ 22.308.801,46	\$ 36.396.778,38	\$ 64.989.437,37
Impuesto a las Ganancias	\$ 6.692.640,44	\$ 10.919.033,51	\$ 19.496.831,21
<b>Utilidad Neta [\$]</b>	<b>\$ 15.616.161,02</b>	<b>\$ 25.477.744,87</b>	<b>\$ 45.492.606,16</b>
<b>Utilidad Neta [USD]</b>	USD 122.240,01	USD 199.434,40	USD 356.106,51

Indicadores	Año 1	Año 2	Año 3
Contribución marginal sobre ventas	21,8%	25,1%	30,6%
Utilidad operativa sobre ventas	9,0%	13,1%	19,9%
Utilidad neta sobre ventas	5,7%	8,2%	12,5%





**ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO**  
Detalle de Salarios

Personal	Cant.	Valor hora	Cant. Hs	Días laborales del mes	Sueldo			Beneficios sociales					Aporte patronal			Total mes	
					Haber básico	Antigüedad	Presentismo	Sueldo Bruto	Vacaciones	Ausentismo	Agonizado	Indemnización	Obras social	Jubilación	INSSJP	Seguro de vida	ART
Operario	3	\$ 422,61	8	20	\$ 6,617,60	\$ 676,18	\$ 5,632,55	\$ 73,926,32	\$ 36,693,16	\$ 38,481,98	\$ 5,632,55	\$ 4,435,98	\$ 13,828,21	\$ 221,78	\$ 2,483,92	\$ 161,094,18	USD 12,609,93
Operario calificado	1	\$ 441,52	8	20	\$ 7,064,32	\$ 706,43	\$ 5,830,28	\$ 77,234,21	\$ 38,017,11	\$ 39,384,55	\$ 5,830,28	\$ 4,435,98	\$ 13,577,77	\$ 231,70	\$ 2,395,07	\$ 168,297,01	USD 13,17,25
Operario especialidad	1	\$ 459,98	8	20	\$ 7,359,68	\$ 735,97	\$ 6,000,00	\$ 67,664,00	\$ 33,332,00	\$ 34,717,92	\$ 6,000,00	\$ 4,650,00	\$ 14,167,92	\$ 259,38	\$ 2,715,95	\$ 173,767,07	USD 13,71,57
Choferes	1	\$ 912,47	8	20	\$ 18,249,40	\$ 1,824,94	\$ 1,490,00	\$ 169,760,35	\$ 84,880,17	\$ 87,040,09	\$ 1,490,00	\$ 1,166,00	\$ 35,964,66	\$ 640,88	\$ 6,664,00	\$ 490,592,54	USD 39,24,84
Asistente	1	\$ 88,000,00	8	20	\$ 1,760,000	\$ 176,000	\$ 1,440,000	\$ 16,280,000	\$ 8,140,000	\$ 8,480,000	\$ 1,440,000	\$ 1,120,000	\$ 35,964,24	\$ 640,88	\$ 6,664,00	\$ 490,592,54	USD 39,24,84
Socio 1	1	\$ 300,000,00	8	20	\$ 6,000,000	\$ 600,000	\$ -	\$ 303,000,000	\$ 151,500,000	\$ 24,950,000	\$ 24,950,000	\$ 18,180,000	\$ 48,480,000	\$ 909,000	\$ 10,180,800	\$ 888,289,800	USD 46,05,01
Socio 2	1	\$ 300,000,00	8	20	\$ 6,000,000	\$ 600,000	\$ -	\$ 303,000,000	\$ 151,500,000	\$ 24,950,000	\$ 24,950,000	\$ 18,180,000	\$ 48,480,000	\$ 909,000	\$ 10,180,800	\$ 888,289,800	USD 46,05,01
Socio 3	1	\$ 300,000,00	8	20	\$ 6,000,000	\$ 600,000	\$ -	\$ 303,000,000	\$ 151,500,000	\$ 24,950,000	\$ 24,950,000	\$ 18,180,000	\$ 48,480,000	\$ 909,000	\$ 10,180,800	\$ 888,289,800	USD 46,05,01
																\$ 2,677,532,51	USD 20,959,16



## ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

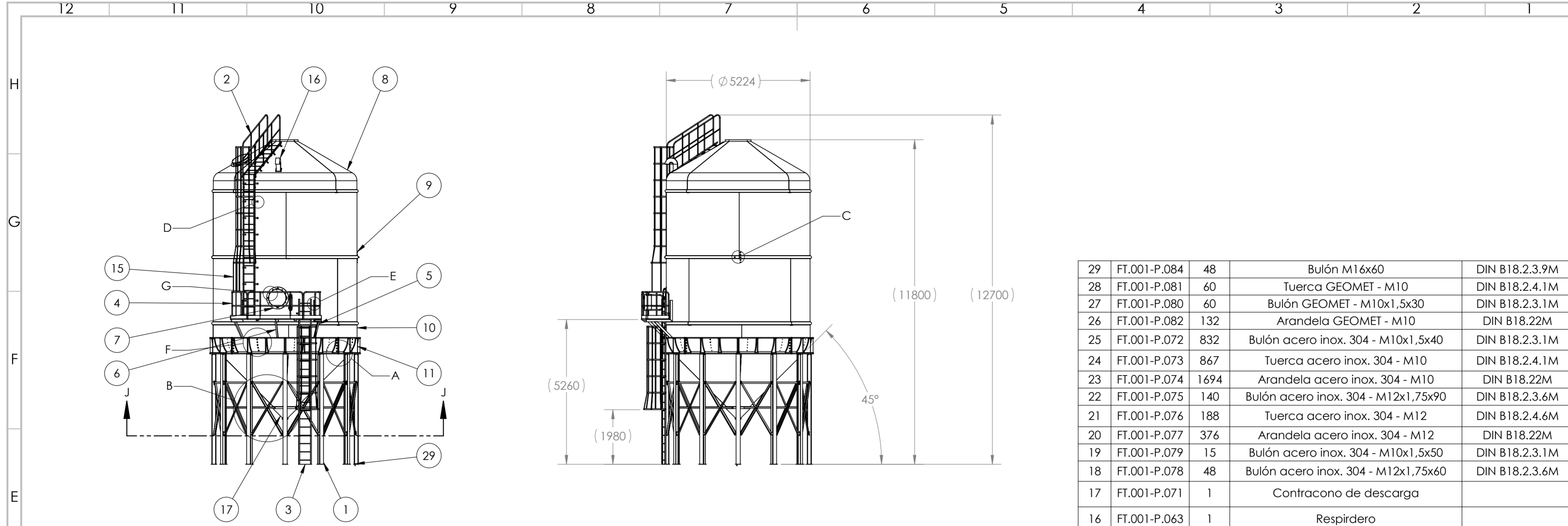
### Detalle de Financiamiento

Descripción	Sub total		Aporte propio		Financiamiento		Financiamiento	
	USD		USD		USD		\$	
Inversión fija	USD	28.288,27	USD	9.900,89	USD	18.387,37	USD	2.348.986,88
Inversión diferida	USD	-	USD	-	USD	-	USD	-
Capital de trabajo	USD	28.288,27	USD	9.900,89	USD	18.387,37	USD	2.348.986,88
Inversión total	USD	28.288,27	USD	9.900,89	USD	18.387,37	USD	2.348.986,88
Porcentaje		100%		35%		65%		

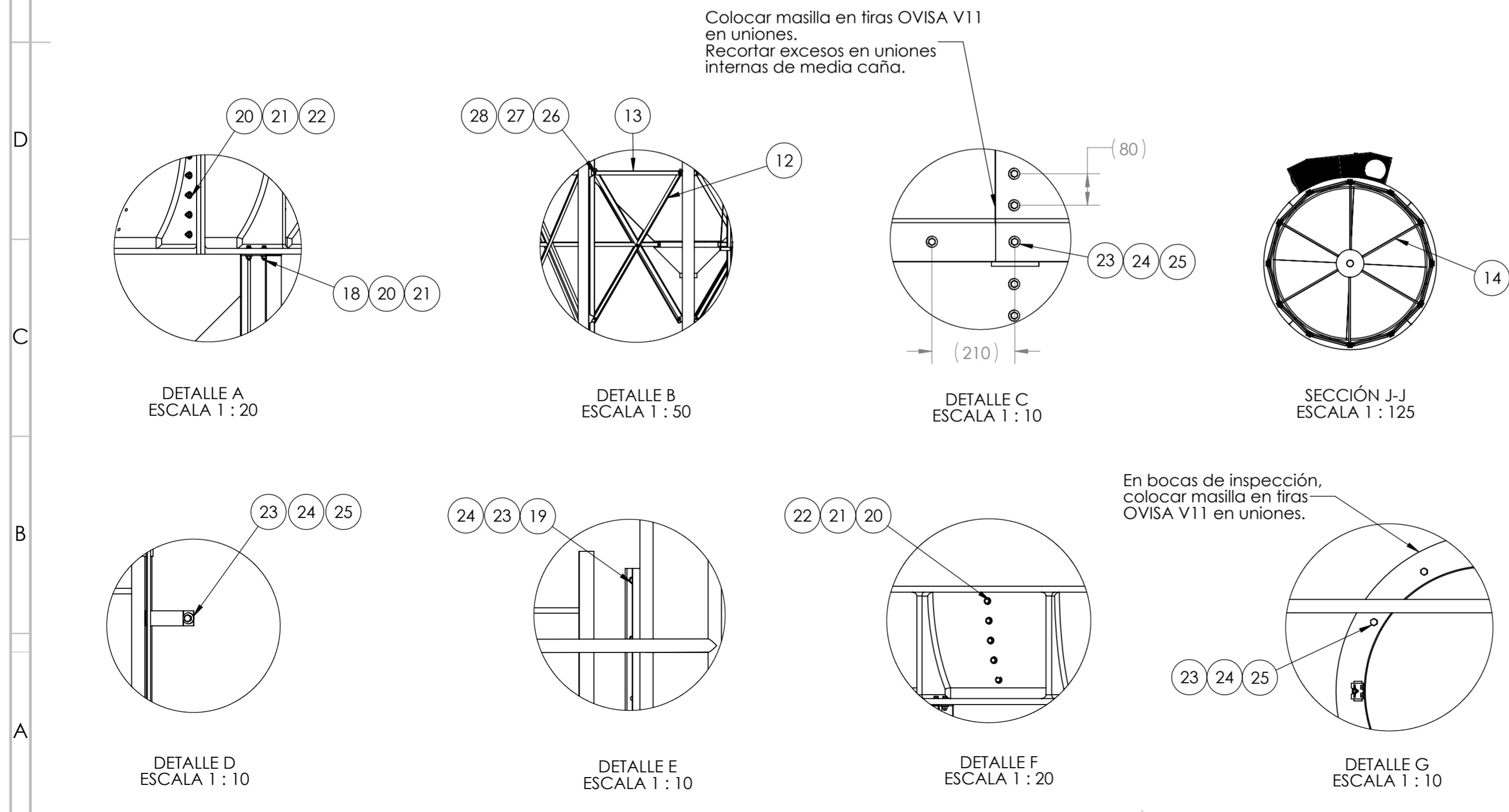
Fuente	Línea	Monto	Tasa de interes	Plazo (Años)	Sistema de Amortización	Garantía
Banco Nacion Argentir	MIPyME	\$ 2.348.986,88	25%	3	Alemán	
Banco Galicia	MIPyME	\$ 2.348.986,88	30%	3	Alemán	Contar con la garantía de una SGR que trabaje con nosotros o poseer calificación activa en Préstamo Financiero en Office Banking
Banco Santander	MIPyME	\$ 2.348.986,88	30%	4		

Simulación de pagos						
N° cuota	Fecha	Saldo capital	Amortización	Interés	Cuota	Total anual
1		\$ 2.348.986,88	\$ 65.249,64	\$ 587.246,72	\$ 652.496,35	
2		\$ 2.283.737,24	\$ 65.249,64	\$ 570.934,31	\$ 636.183,95	
3		\$ 2.218.487,61	\$ 65.249,64	\$ 554.621,90	\$ 619.871,54	
4		\$ 2.153.237,97	\$ 65.249,64	\$ 538.309,49	\$ 603.559,13	
5		\$ 2.087.988,33	\$ 65.249,64	\$ 521.997,08	\$ 587.246,72	
6		\$ 2.022.738,70	\$ 65.249,64	\$ 505.684,67	\$ 570.934,31	
7		\$ 1.957.489,06	\$ 65.249,64	\$ 489.372,27	\$ 554.621,90	
8		\$ 1.892.239,43	\$ 65.249,64	\$ 473.059,86	\$ 538.309,49	
9		\$ 1.826.989,79	\$ 65.249,64	\$ 456.747,45	\$ 521.997,08	
10		\$ 1.761.740,16	\$ 65.249,64	\$ 440.435,04	\$ 505.684,67	
11		\$ 1.696.490,52	\$ 65.249,64	\$ 424.122,63	\$ 489.372,27	
12		\$ 1.631.240,89	\$ 65.249,64	\$ 407.810,22	\$ 473.059,86	\$ 6.753.337,27
13		\$ 1.565.991,25	\$ 65.249,64	\$ 391.497,81	\$ 456.747,45	
14		\$ 1.500.741,62	\$ 65.249,64	\$ 375.185,40	\$ 440.435,04	
15		\$ 1.435.491,98	\$ 65.249,64	\$ 358.872,99	\$ 424.122,63	
16		\$ 1.370.242,34	\$ 65.249,64	\$ 342.560,59	\$ 407.810,22	
17		\$ 1.304.992,71	\$ 65.249,64	\$ 326.248,18	\$ 391.497,81	
18		\$ 1.239.743,07	\$ 65.249,64	\$ 309.935,77	\$ 375.185,40	
19		\$ 1.174.493,44	\$ 65.249,64	\$ 293.623,36	\$ 358.872,99	
20		\$ 1.109.243,80	\$ 65.249,64	\$ 277.310,95	\$ 342.560,59	
21		\$ 1.043.994,17	\$ 65.249,64	\$ 260.998,54	\$ 326.248,18	
22		\$ 978.744,53	\$ 65.249,64	\$ 244.686,13	\$ 309.935,77	
23		\$ 913.494,90	\$ 65.249,64	\$ 228.373,72	\$ 293.623,36	
24		\$ 848.245,26	\$ 65.249,64	\$ 212.061,32	\$ 277.310,95	\$ 4.404.350,39
25		\$ 782.995,63	\$ 65.249,64	\$ 195.748,91	\$ 260.998,54	
26		\$ 717.745,99	\$ 65.249,64	\$ 179.436,50	\$ 244.686,13	
27		\$ 652.496,35	\$ 65.249,64	\$ 163.124,09	\$ 228.373,72	
28		\$ 587.246,72	\$ 65.249,64	\$ 146.811,68	\$ 212.061,32	
29		\$ 521.997,08	\$ 65.249,64	\$ 130.499,27	\$ 195.748,91	
30		\$ 456.747,45	\$ 65.249,64	\$ 114.186,86	\$ 179.436,50	
31		\$ 391.497,81	\$ 65.249,64	\$ 97.874,45	\$ 163.124,09	
32		\$ 326.248,18	\$ 65.249,64	\$ 81.562,04	\$ 146.811,68	
33		\$ 260.998,54	\$ 65.249,64	\$ 65.249,64	\$ 130.499,27	
34		\$ 195.748,91	\$ 65.249,64	\$ 48.937,23	\$ 114.186,86	
35		\$ 130.499,27	\$ 65.249,64	\$ 32.624,82	\$ 97.874,45	
36		\$ 65.249,64	\$ 65.249,64	\$ 16.312,41	\$ 81.562,04	\$ 2.055.363,52

**10.10 ANEXO X - PLANOS**



29	FT.001-P.084	48	Bulón M16x60	DIN B18.2.3.9M
28	FT.001-P.081	60	Tuerca GEOMET - M10	DIN B18.2.4.1M
27	FT.001-P.080	60	Bulón GEOMET - M10x1,5x30	DIN B18.2.3.1M
26	FT.001-P.082	132	Arandela GEOMET - M10	DIN B18.2.2M
25	FT.001-P.072	832	Bulón acero inox. 304 - M10x1,5x40	DIN B18.2.3.1M
24	FT.001-P.073	867	Tuerca acero inox. 304 - M10	DIN B18.2.4.1M
23	FT.001-P.074	1694	Arandela acero inox. 304 - M10	DIN B18.2.2M
22	FT.001-P.075	140	Bulón acero inox. 304 - M12x1,75x90	DIN B18.2.3.6M
21	FT.001-P.076	188	Tuerca acero inox. 304 - M12	DIN B18.2.4.6M
20	FT.001-P.077	376	Arandela acero inox. 304 - M12	DIN B18.2.2M
19	FT.001-P.079	15	Bulón acero inox. 304 - M10x1,5x50	DIN B18.2.3.1M
18	FT.001-P.078	48	Bulón acero inox. 304 - M12x1,75x60	DIN B18.2.3.6M
17	FT.001-P.071	1	Contracono de descarga	
16	FT.001-P.063	1	Respiradero	
15	FT.001-P.062	3	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 1238mm
14	FT.001-P.061	6	Tensores de cono inferior	Ángulo 50,8 x 3,2 x 2265mm
13	FT.001-P.060	12	Riostra horizontal	Ángulo 50,8 x 3,2 x 1200mm
12	FT.001-P.059	24	Riostra	Ángulo 50,8 x 3,2 x 2250mm
11	FT.001-P.005	4	Base cono inferior	
10	FT.001-P.004	4	Cono inferior	
9	FT.001-P.003	8	Cilindro	
8	FT.001-P.001	4	Cono superior	
7	FT.001-S.017	2	Subconjunto boca de inspección	
6	FT.001-S.016	1	Subconjunto ménsula central	
5	FT.001-S.015	2	Subconjunto ménsula lateral	
4	FT.001-S.009	1	Subconjunto plataforma	
3	FT.001-S.007	1	Subconjunto escalera inferior	
2	FT.001-S.002	1	Subconjunto escalera superior	
1	FT.001-S.001	12	Subconjunto columna	
Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación



TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	±0,10	±0,20	±0,30	±0,50	±0,80	±1,20	±2,00	±3,00	±4,00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	250	4,3/12,5	1,6/5,0	0,8/2,5	0,4/1,25	0,2/0,63				

**FIBRATEC**

TITLE: **Conjunto armado silo 150 m3**

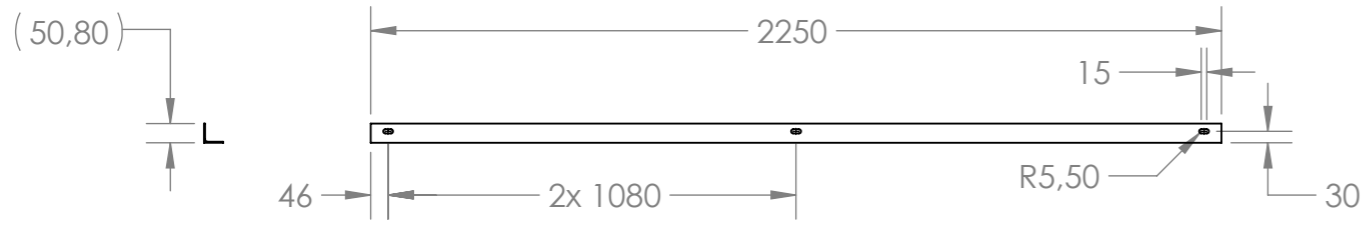
DWG NO. **FT.001-C.001** REVISION **A**

NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS.

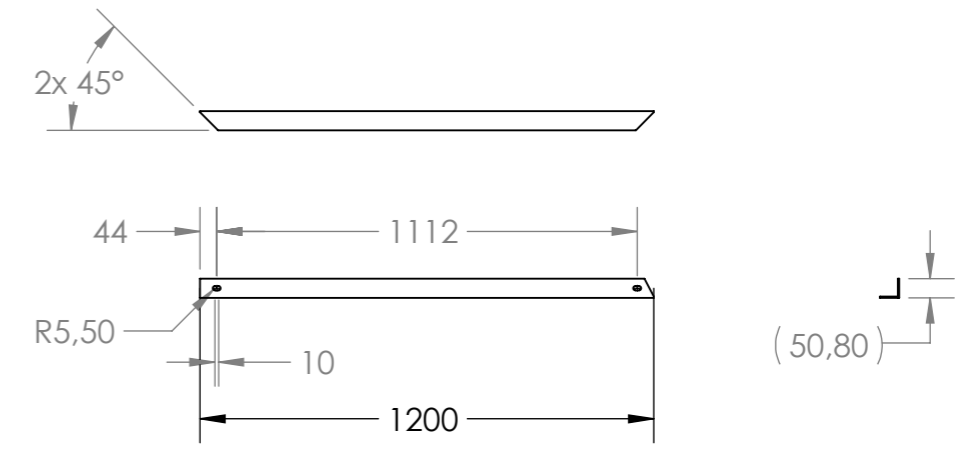
MATERIAL: TRATAMIENTO SUP.:

SCALE: 1:100 WEIGHT: SHEET 1 OF 2 SHEET SIZE A2

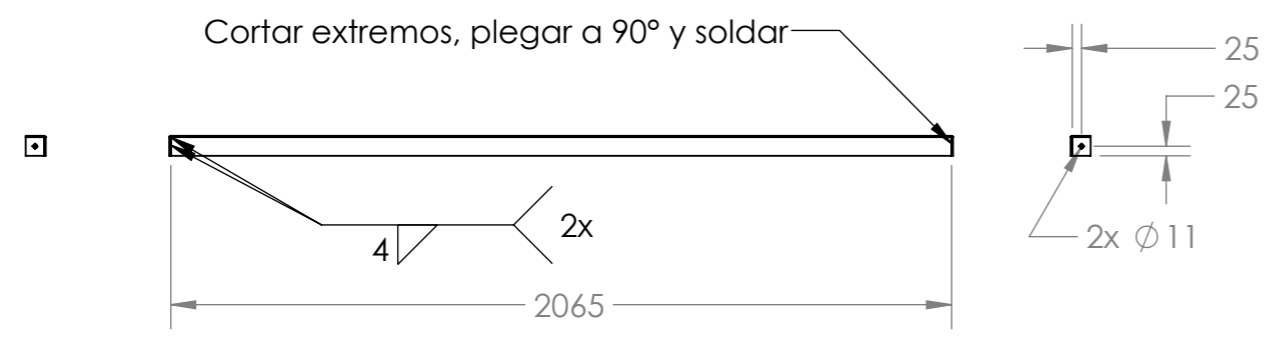




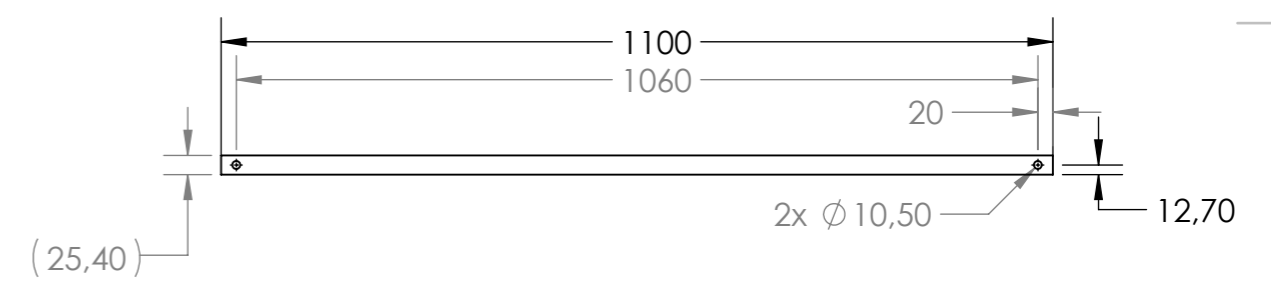
**Posición: 12**  
**N° de parte: FT.001-P.059**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: Ángulo 2" SAE 1010 LC**



**Posición: 13**  
**N° de parte: FT.001-P.060**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: Ángulo 2" SAE 1010 LC**



**Posición: 14**  
**N° de parte: FT.001-P.061**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: Ángulo 2" SAE 1010 LC**



**Posición: 15**  
**N° de parte: FT.001-P.062**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: Planchuela 1" SAE 1010 LC**

**Notas generales:**  
**Posiciones 12, 13, 14 y 15**  
**Pre tratamiento de 3 etapas:**  
**Desengrase + Enjueague + Fosfato de Zinc**  
**Terminación:**  
**Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016**

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0/6	6/30	30/120	120/400	400/1000	1000/2000	2000/4000	4000/8000	8000/>8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25-50	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.2	[Symbol]			
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA	TITLE:			
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022	Conjunto armado silo 150 m3			
NOTAS GENERALES:						DWG NO.	REVISION		
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS						FT.001-C.001	A		
MATERIAL:						SCALE:1:20	WEIGHT:	SHEET 2 OF 2	SHEET SIZE A3
TRAT. SUP.:									

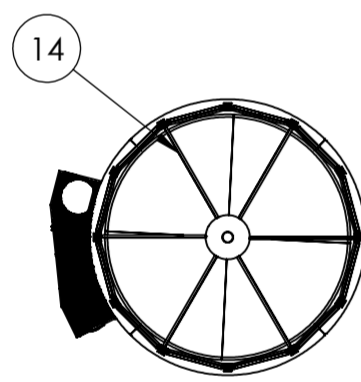
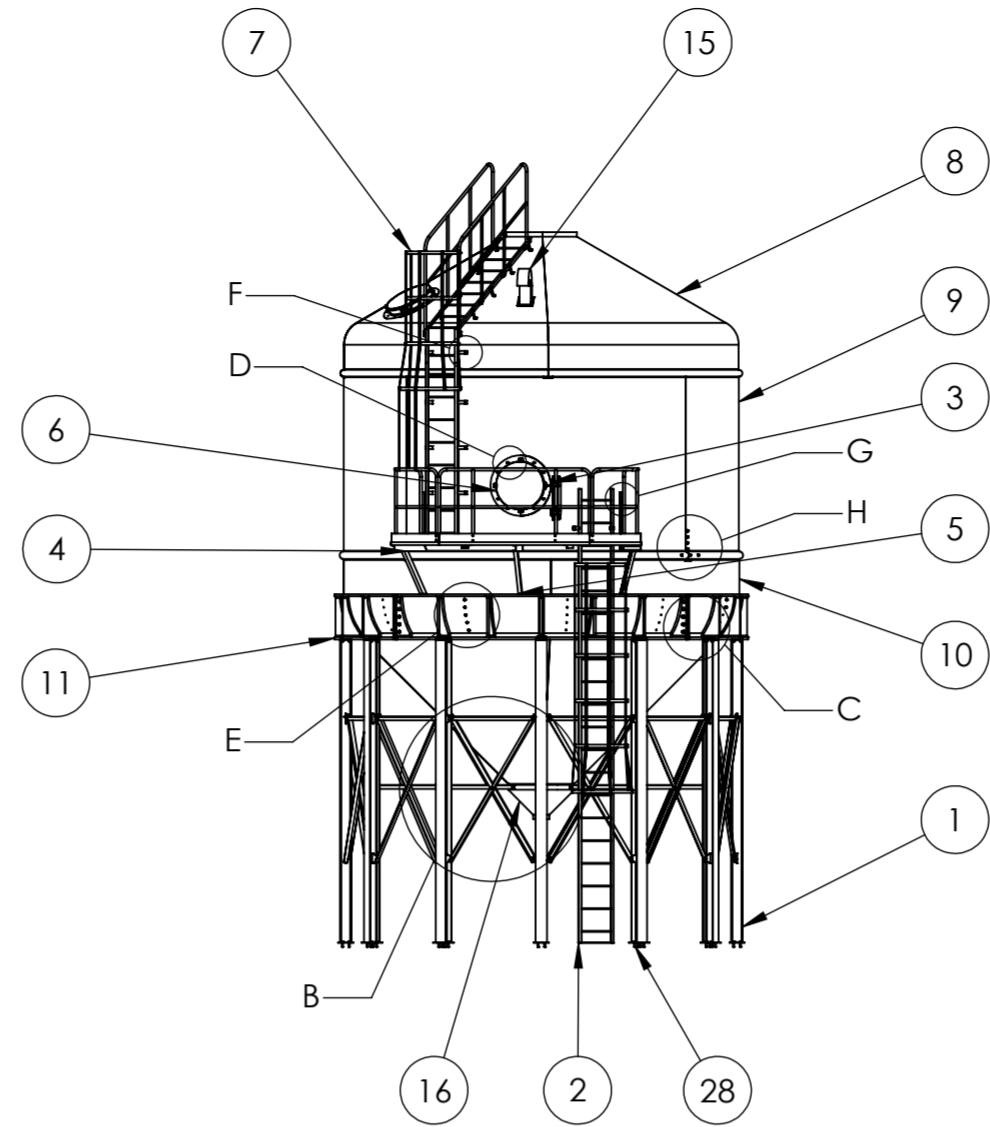
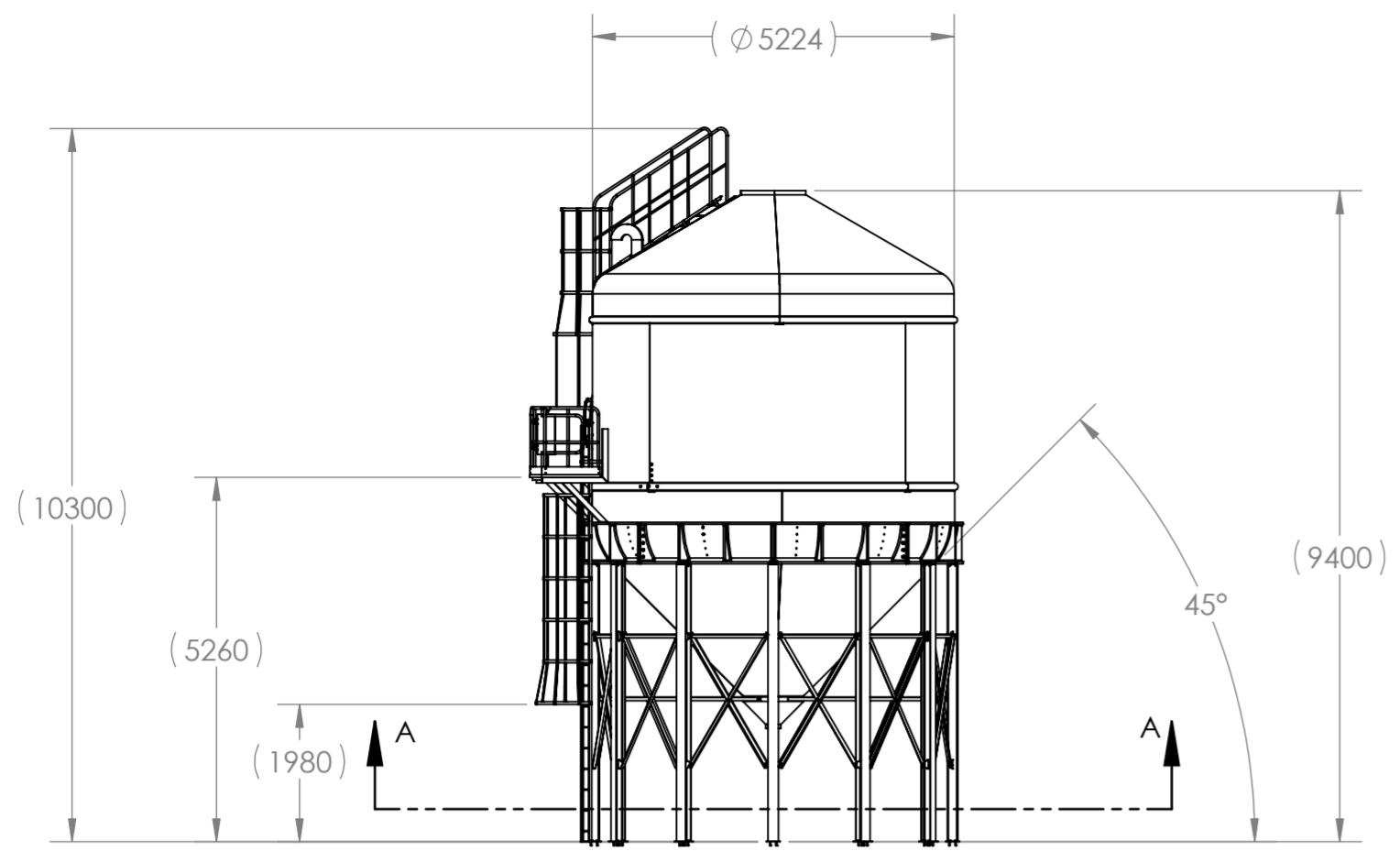


**Conjunto armado silo 150 m3**

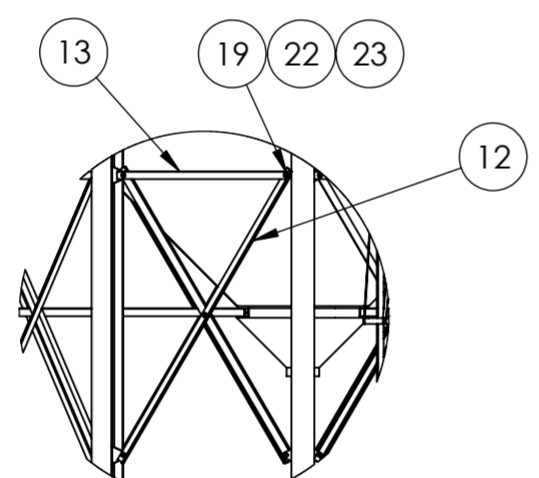
**FT.001-C.001**

**REVISION A**

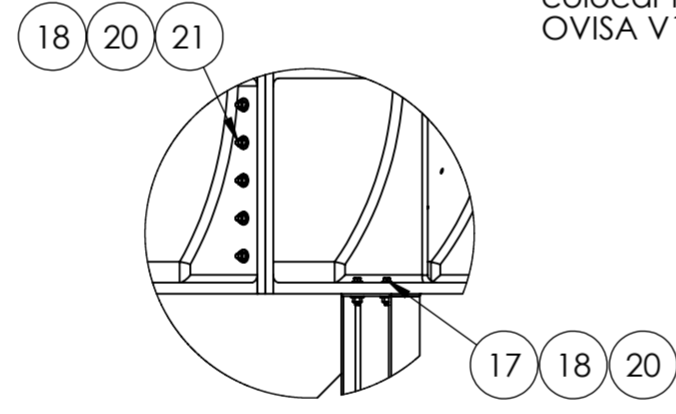
SCALE:1:20 WEIGHT: SHEET 2 OF 2 SHEET SIZE A3



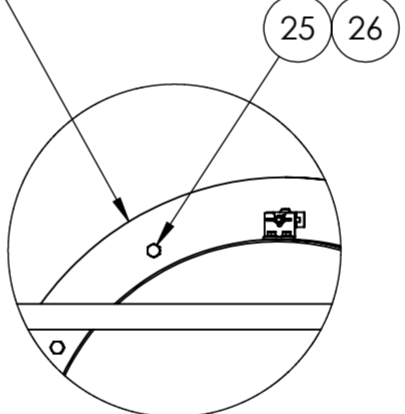
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 150



DETALLE B  
ESCALA 1 : 50

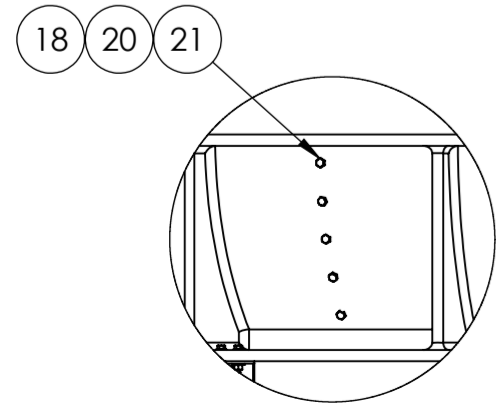


DETALLE C  
ESCALA 1 : 20

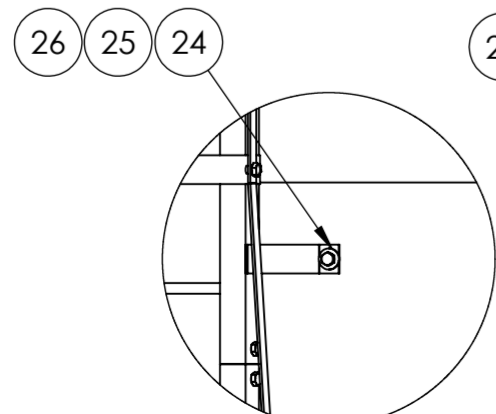


DETALLE D  
ESCALA 1 : 10

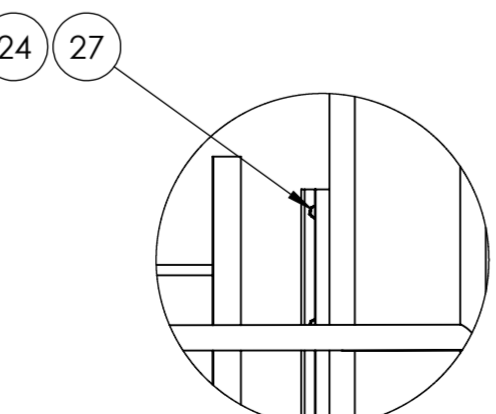
En bocas de inspección,  
colocar masilla en tiras  
OVISA V11 en uniones.



DETALLE E  
ESCALA 1 : 20



DETALLE F  
ESCALA 1 : 20

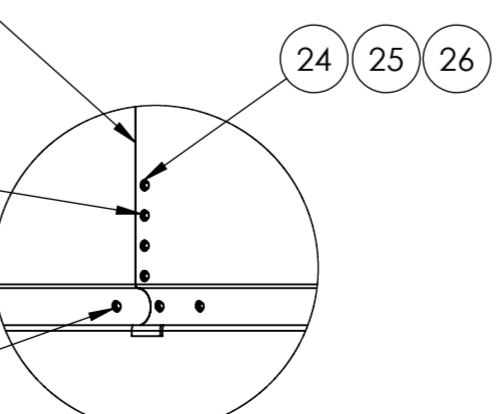


DETALLE G  
ESCALA 1 : 10

Colocar masilla en tiras OVISA V11  
en uniones.  
Recortar excesos en uniones  
internas de media caña.

Distancia entre centros  
vertical 80 mm

Distancia entre centros  
horizontal 200 mm



DETALLE H  
ESCALA 1 : 20

Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación
28	FT.001-P.084	48	Bulón M16x60	DIN B18.2.3.9M
27	FT.001-P.079	15	Bulón acero inox. 304 - M10x1,5x50	DIN B18.2.3.1M
26	FT.001-P.073	722	Tuerca acero inox. 304 - M10	DIN B18.2.4.1M
25	FT.001-P.072	722	Bulón acero inox. 304 - M10x1,5x40	DIN B18.2.3.1M
24	FT.001-P.074	1411	Arandela acero inox. 304 - M10	DIN B18.2.2M
23	FT.001-P.081	60	Tuerca GEOMET - M10	DIN B18.2.4.1M
22	FT.001-P.080	60	Bulón GEOMET - M10x1,5x30	DIN B18.2.3.1M
21	FT.001-P.075	80	Bulón acero inox. 304 - M12x1,75x90	DIN B18.2.3.6M
20	FT.001-P.076	128	Tuerca acero inox. 304 - M12	DIN B18.2.4.6M
19	FT.001-P.082	132	Arandela GEOMET - M10	DIN B18.2.2M
18	FT.001-P.077	256	Arandela acero inox. 304 - M12	DIN B18.2.2M
17	FT.001-P.078	48	Bulón acero inox. 304 - M12x1,75x60	DIN B18.2.3.6M
16	FT.001-P.071	1	Contracono de descarga	
15	FT.001-P.063	1	Respiradero	
14	FT.001-P.061	6	Tensores de cono inferior	Ángulo 50,8 x 3,2 x 2265mm
13	FT.001-P.060	12	Riostra horizontal	Ángulo 50,8 x 3,2 x 1200mm
12	FT.001-P.059	24	Riostra	Ángulo 50,8 x 3,2 x 2250mm
11	FT.001-P.005	4	Base cono inferior	
10	FT.001-P.004	4	Cono inferior	
9	FT.001-P.003	4	Cilindro	
8	FT.001-P.001	4	Cono superior	
7	FT.001-S.018	1	Subconjunto escalera superior	
6	FT.001-S.017	2	Subconjunto boca de inspección	
5	FT.001-S.016	1	Subconjunto ménsula central	
4	FT.001-S.015	2	Subconjunto ménsula lateral	
3	FT.001-S.009	1	Subconjunto plataforma	
2	FT.001-S.007	1	Subconjunto escalera inferior	
1	FT.001-S.001	12	Subconjunto columna	

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000	>8000
	±0,10	±0,20	±0,30	±0,50	±0,80	±1,20	±2,00	±3,00	±4,00	

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	20	40	63	100	160	250	400
	√	√	√	√	√	√	√

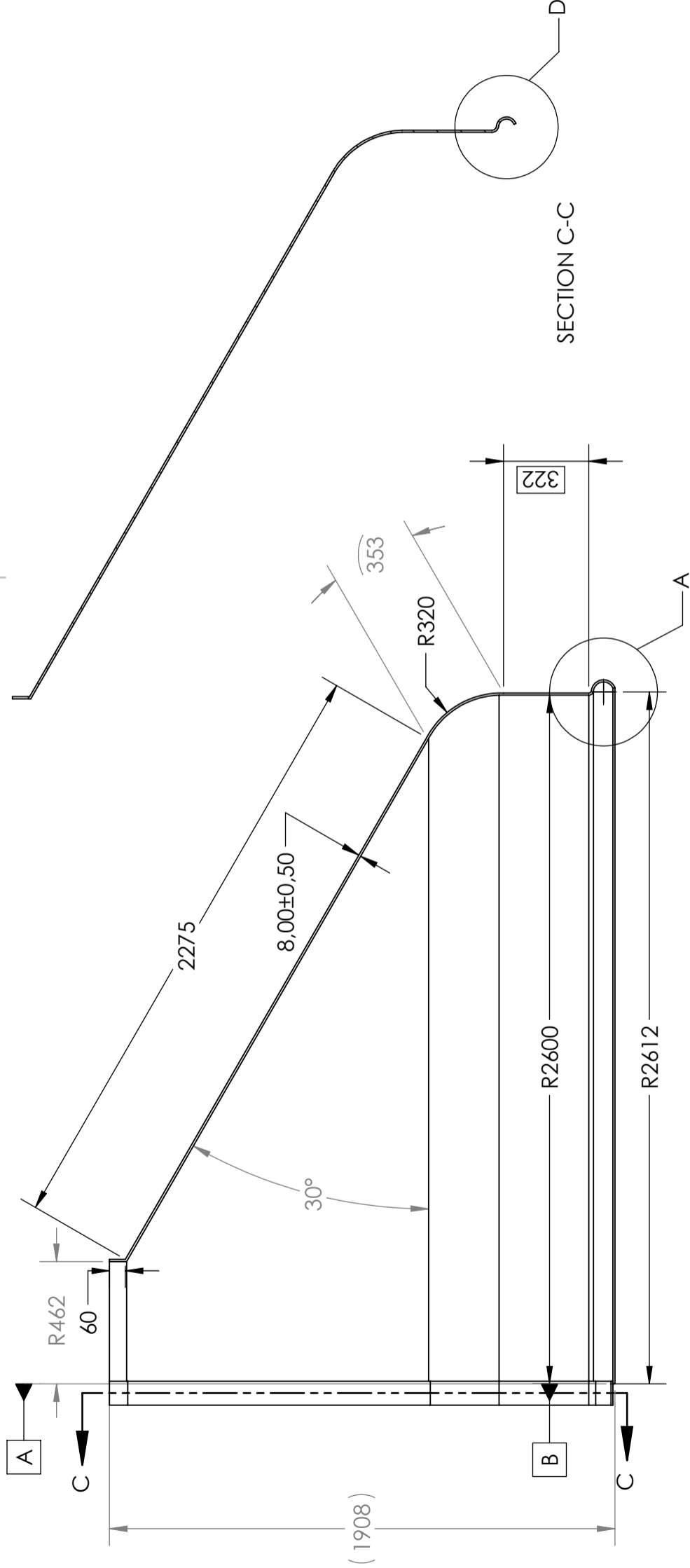
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

**FIBRATEC**

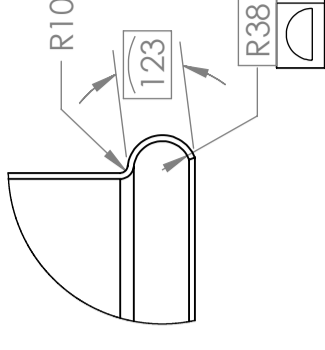
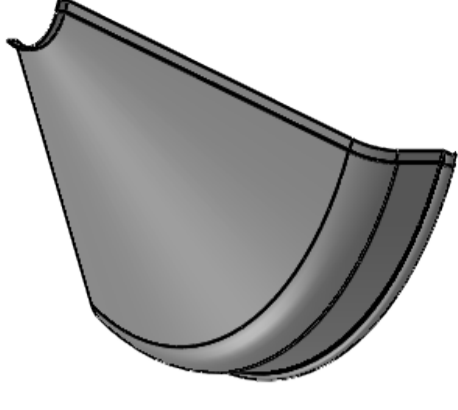
## Conjunto armado silo 100 m<sup>3</sup>

DWG NO. **FT.001-C.002** REVISION **A**

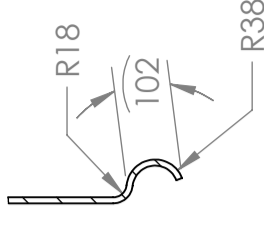
SCALE: 1:100 WEIGHT: SHEET 1 OF 1 SHEET SIZE A2



SECTION C-C



DETAIL A  
SCALE 1 : 10



DETAIL D  
SCALE 1 : 10

Todas las dimensiones no especificadas deben obtenerse del modelo 3D.

Construcción del laminado

- Relación resina-fibra 1,70 (63% de resina Polial WR)
- 4 capas de fibra de vidrio MAT 0,45 kg/m<sup>2</sup>
- 3 capas de refuerzo de tela Roving de 0,8 kg/m<sup>2</sup>
- 1 capa de recubrimiento Gelcoat color blanco

Intercalar capas de MAT y WR.

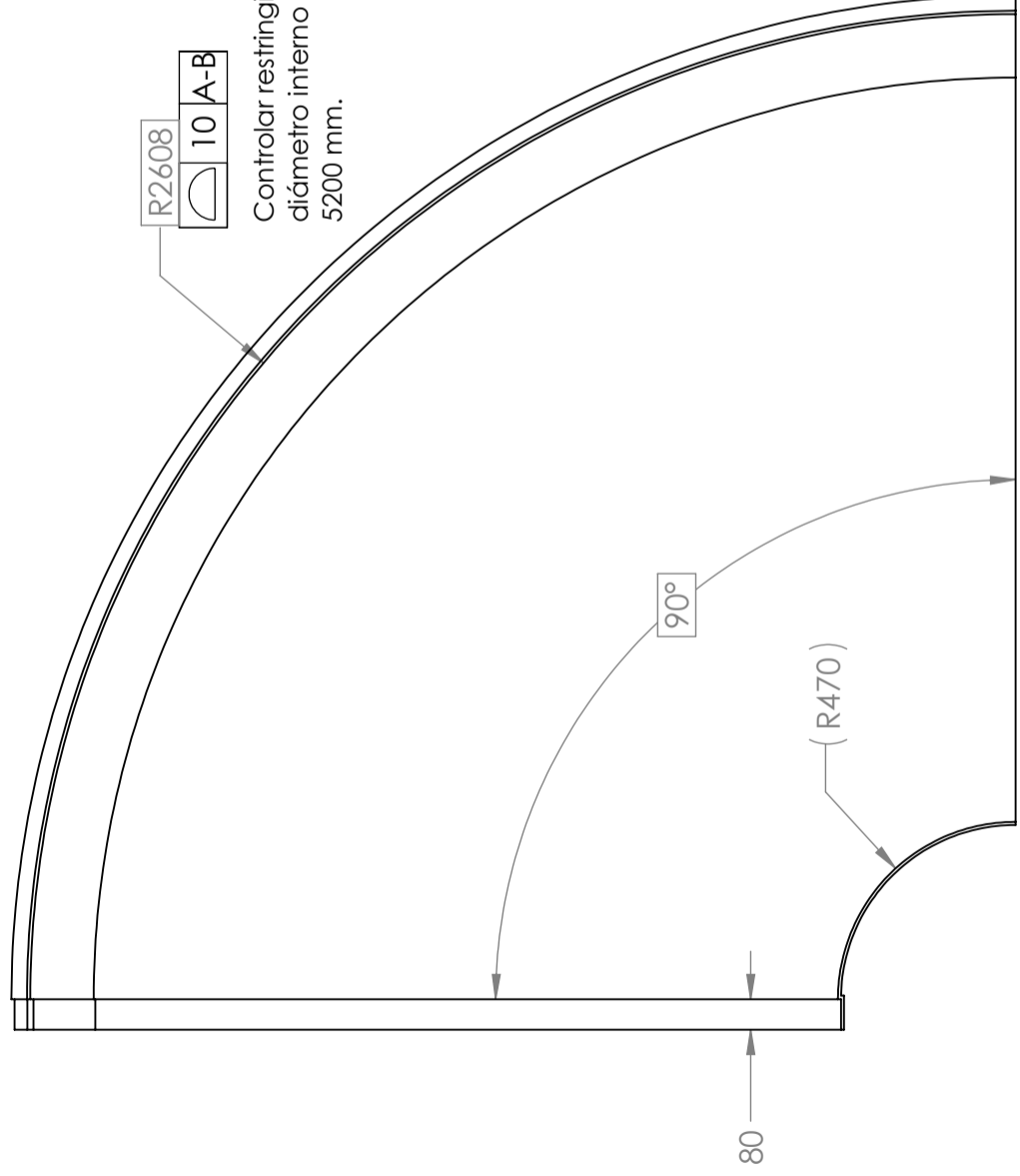
El recubrimiento debe quedar en la parte exterior de la pieza.

Trazabilidad: Datos a estampar o grabar

- Fecha de fabricación
- N° de matriz utilizada
- Número de parte
- Marca comercial: Fibratec



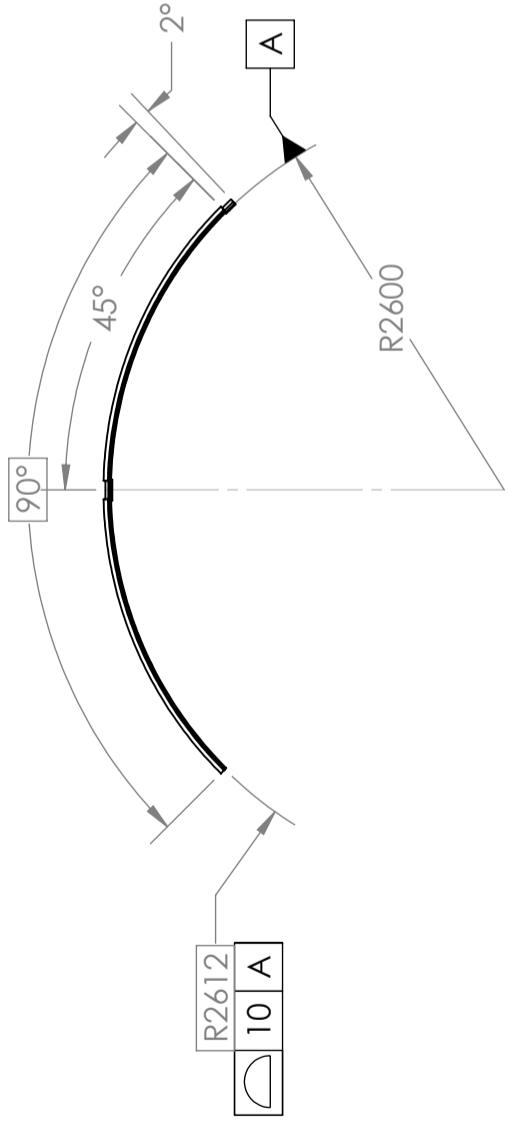
Controlar restringiendo diámetro interno de 5200 mm.



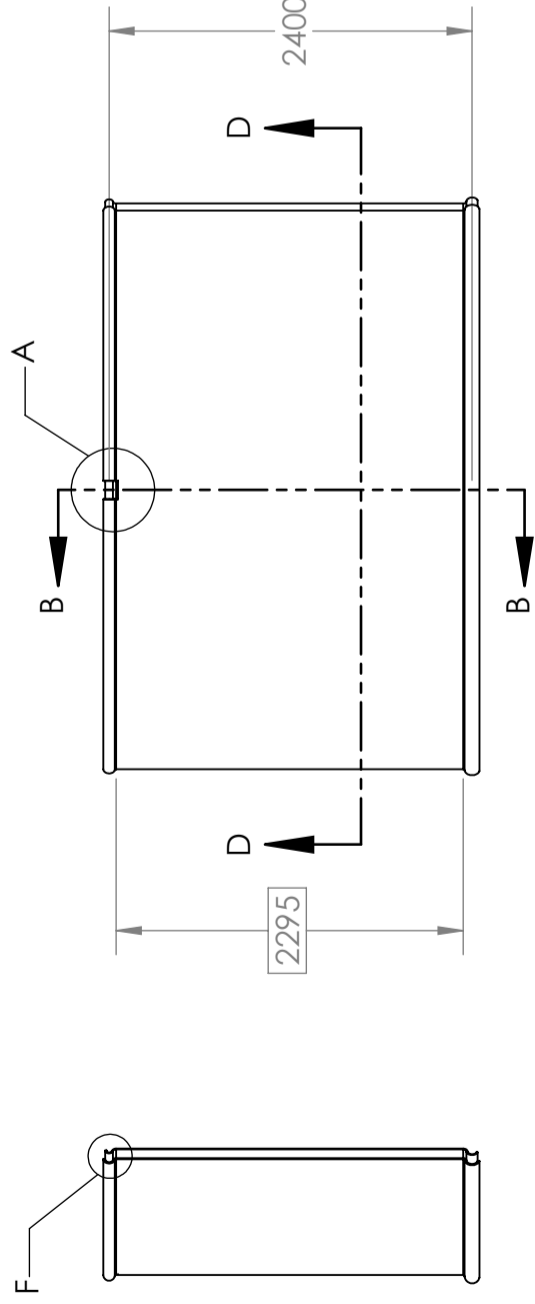
TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0,10	±0,20	±0,30	±0,50	±1,20	±2,00	±3,00	±4,00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	250	125	63	32	16	8	4	2
REV.	A	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA		
		Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022		
NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS							MATERIAL: Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio	
TRAT. SUP.: 1 capa de GELCOAT color Blanco							DWG NO. FT.001-P.001	
							REVISION A	
							SCALE: 1:20	
							WEIGHT:	
							SHEET 1 OF 1	
							SHEET SIZE A3	

Cono superior

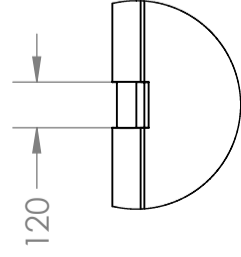




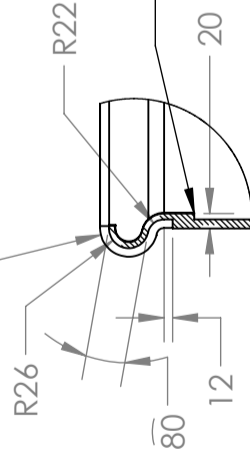
SECTION D-D



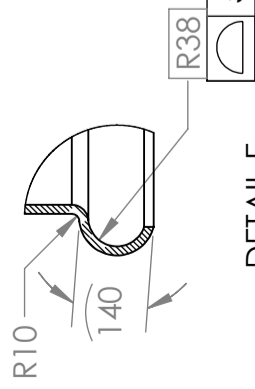
SECTION B-B



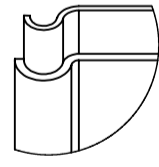
DETAIL A  
SCALE 1 : 20



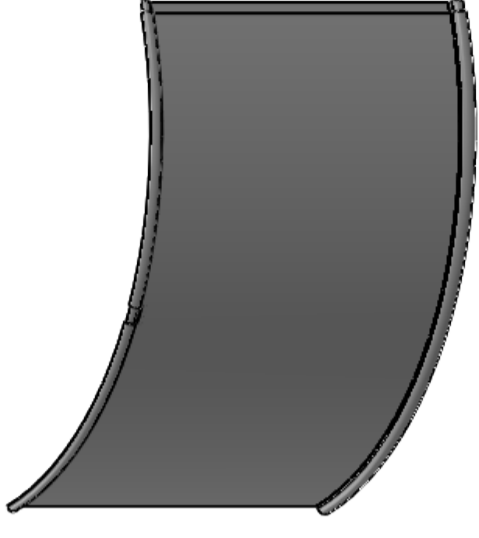
DETAIL C  
SCALE 1 : 10



DETAIL E  
SCALE 1 : 10



DETAIL F  
SCALE 1 : 10



Todas las dimensiones no especificadas deben obtenerse del modelo 3D.

Construcción del laminado

- Relación resina-fibra 1,70 (63% de resina Polial WR)
- 5 capas de fibra de vidrio MAT 0,45 kg/m<sup>2</sup>
- 4 capas de refuerzo de tela Roving de 0,8 kg/m<sup>2</sup>
- 1 capa de recubrimiento Gelcoat color blanco

Intercalar capas de MAT y WR.

Primera y últimas 2 capas de MAT

El recubrimiento debe quedar en la parte exterior de la pieza.

Trazabilidad: Datos a estampar o grabar

- Fecha de fabricación
- N° de matriz utilizada
- Número de parte
- Marca comercial: Fibratec

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.25	0.02-0.10	0.01-0.05	0.005-0.02
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA			
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022			
NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS								
MATERIAL: Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio								
TRAT. SUP.: 1 capa de GELCOAT color blanco								



Cilindro

DWG NO.

FT.001-P.002

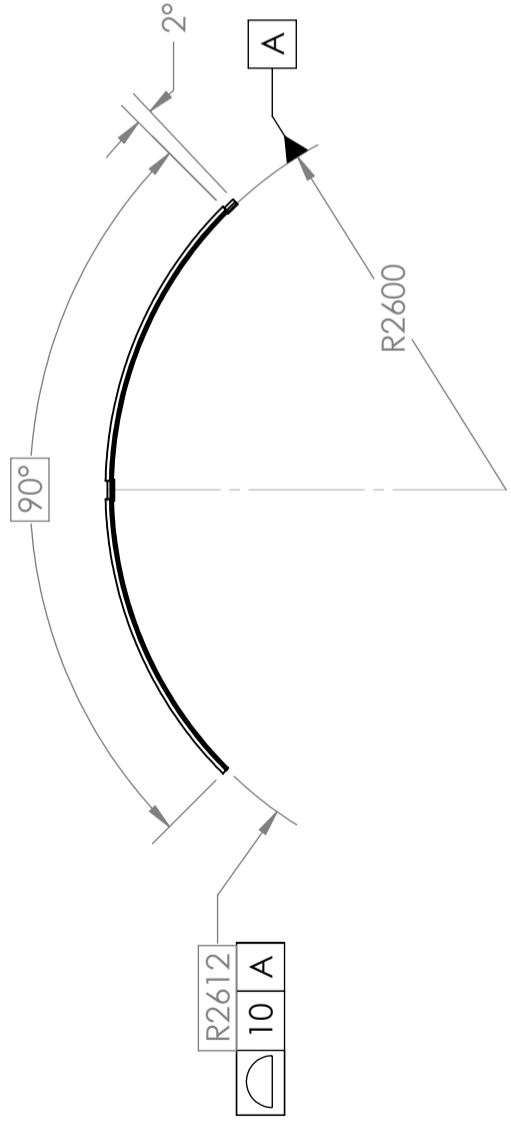
REVISION A

SCALE: 1:50

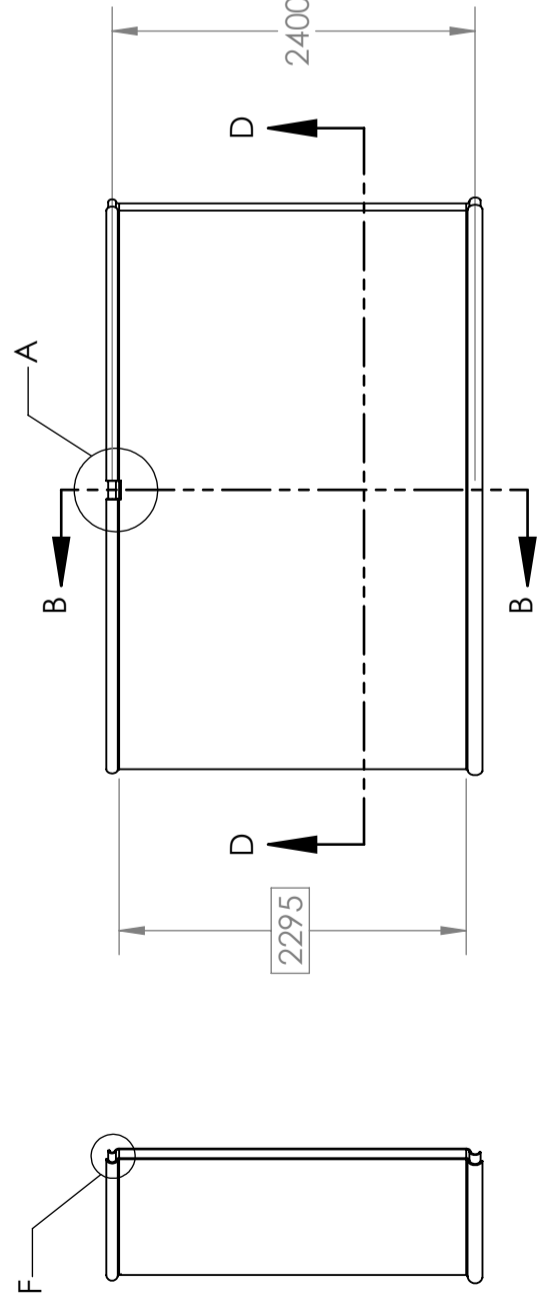
SHEET 1 OF 1

2

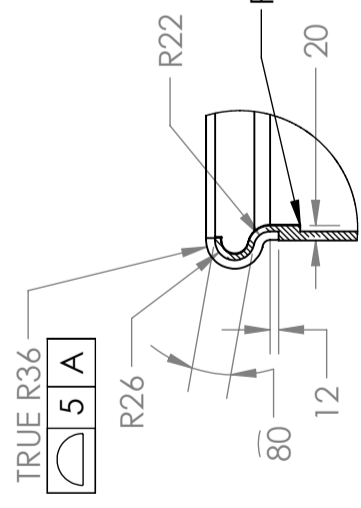
SHEET SIZE A3



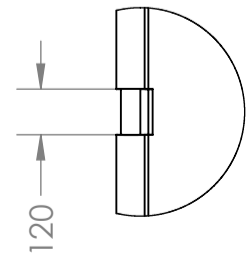
SECTION D-D



SECTION B-B



DETAIL C  
SCALE 1 : 10

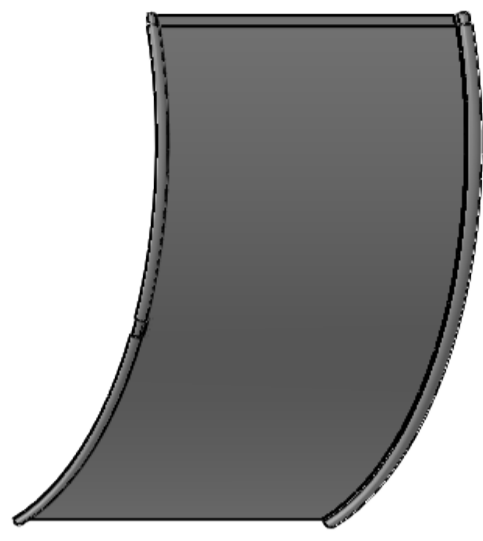
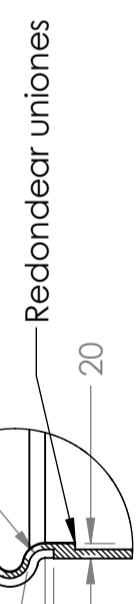


DETAIL A  
SCALE 1 : 20



DETAIL E  
SCALE 1 : 10

DETAIL F  
SCALE 1 : 10



Todas las dimensiones no especificadas deben obtenerse del modelo 3D.

Construcción del laminado

- Relación resina-fibra 1,70 (63% de resina Polial WR)
- 7 capas de fibra de vidrio MAT 0,45 kg/m<sup>2</sup>
- 4 capas de refuerzo de tela Roving de 0,8 kg/m<sup>2</sup>
- 1 capa de recubrimiento Gelcoat color blanco

Intercalar capas de MAT y WR.

Primera y últimas 2 capas de MAT

El recubrimiento debe quedar en la parte exterior de la pieza.

Trazabilidad: Datos a estampar o grabar

- Fecha de fabricación
- N° de matriz utilizada
- Número de parte
- Marca comercial: Fibratec

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.25	0.02-0.10	0.01-0.05	0.005-0.02	0.002-0.01
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA				
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			19/08/2022				
NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS									
MATERIAL: Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio									
TRAT. SUP.: 1 capa de GELCOAT color blanco									

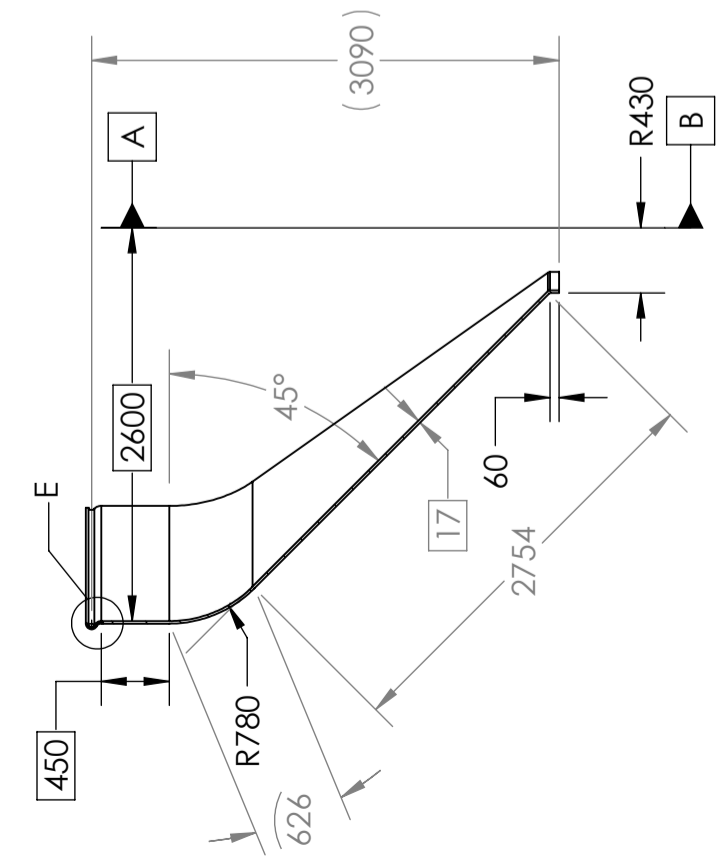


Cilindro

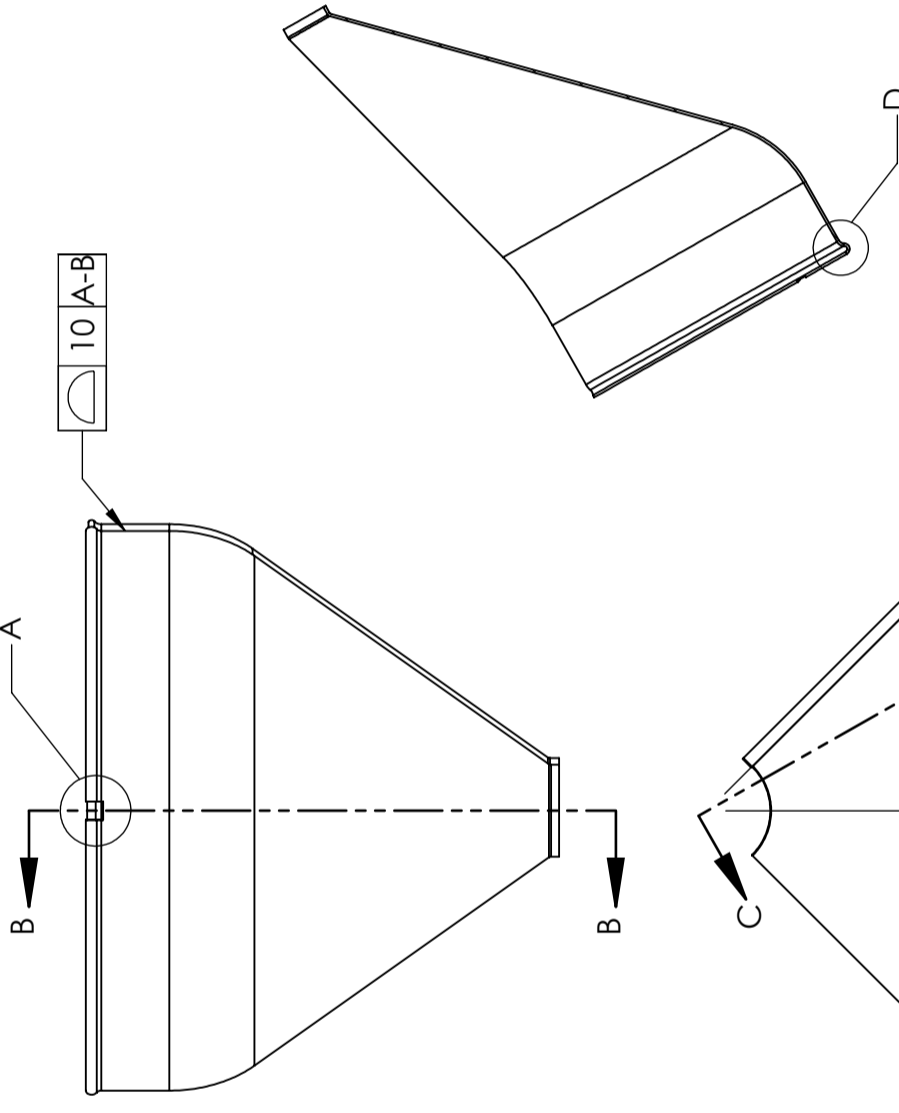
DWG NO.	FT.001-P.003
REVISION	A
SCALE: 1:50	WEIGHT:
SHEET 1 OF 1	SHEET SIZE A3

TITLE:	Cilindro
DATE:	19/08/2022
DESIGNER:	
CHECKER:	
APPROVER:	

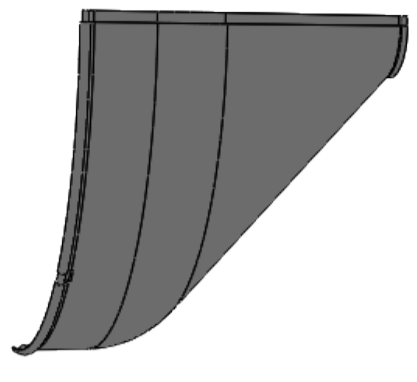
DWG NO.	FT.001-P.003
REVISION	A
SCALE: 1:50	WEIGHT:
SHEET 1 OF 1	SHEET SIZE A3



SECTION B-B



SECTION C-C



Todas las dimensiones no especificadas deben obtenerse del modelo 3D.

Construcción del laminado

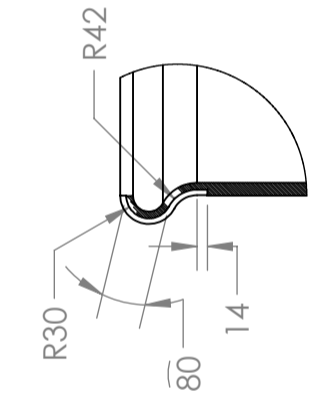
- Relación resina-fibra 1,70 (63% de resina Polial WR)
- 7 capas de fibra de vidrio MAT 0.45 kg/m2
- 7 capas de refuerzo de tela Roving de 0.8 kg/m2
- 1 capa de recubrimiento Gelcoat color blanco

Intercalar capas de MAT y WR.

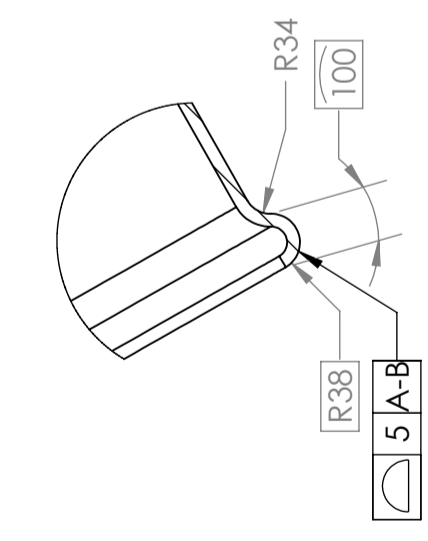
El recubrimiento debe quedar en la parte exterior de la pieza.

Trazabilidad: Datos a estampar o grabar

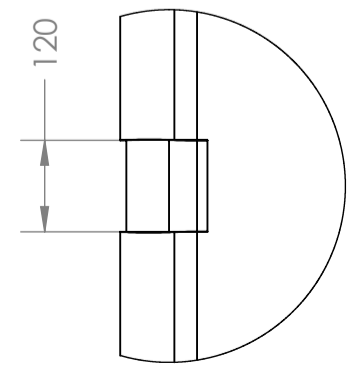
- Fecha de fabricación
- N° de matriz utilizada
- Número de parte
- Marca comercial: Fibrattec



DETAIL E  
SCALE 1:10



DETAIL D  
SCALE 1:10



DETAIL A  
SCALE 1:10

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00	

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8
	▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽

REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

MATERIAL:	MATERIAL:
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.	Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	1 capa de GELCOAT color blanco



Cono inferior

FT.001-P.004

SCALE: 1:50

WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

SHEET SIZE A3

REVISION A

DWG NO. FT.001-P.004

MATERIAL: Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio

TRAT. SUP.: 1 capa de GELCOAT color blanco

SCALE: 1:50

WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

REVISION A

DWG NO. FT.001-P.004

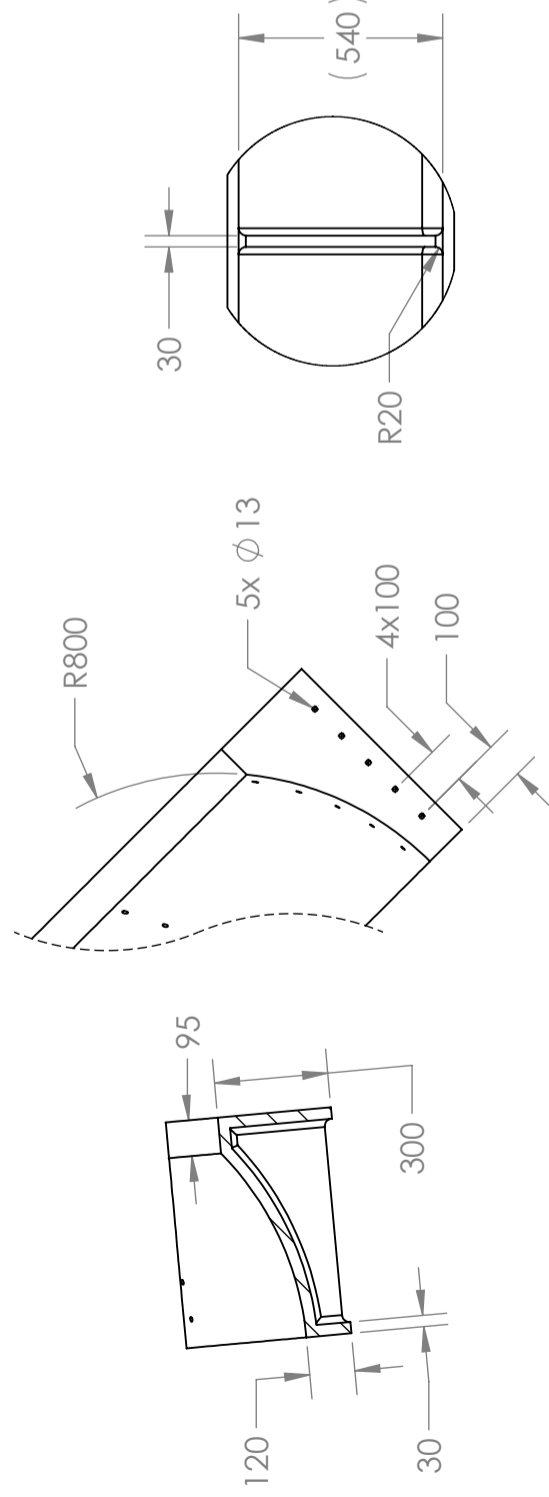
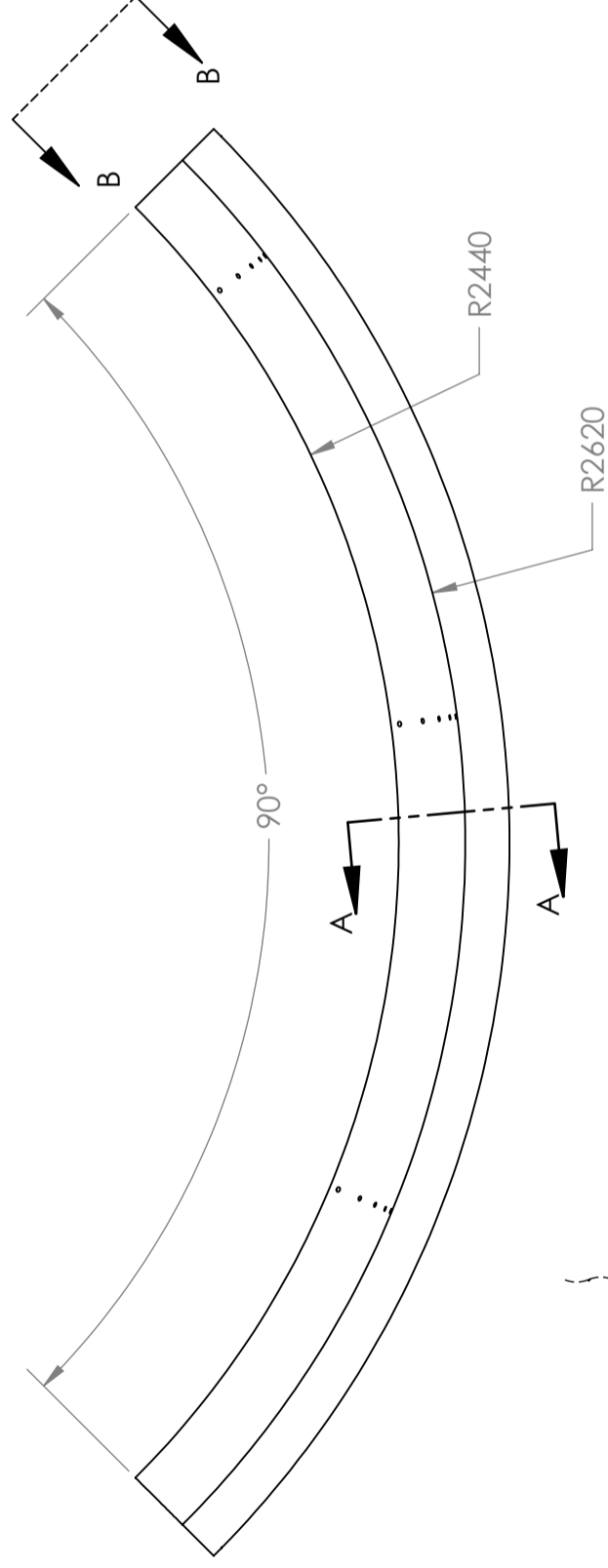
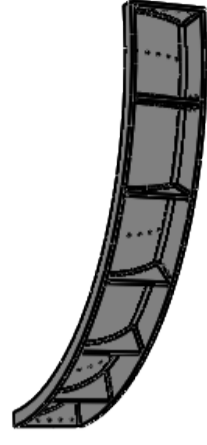
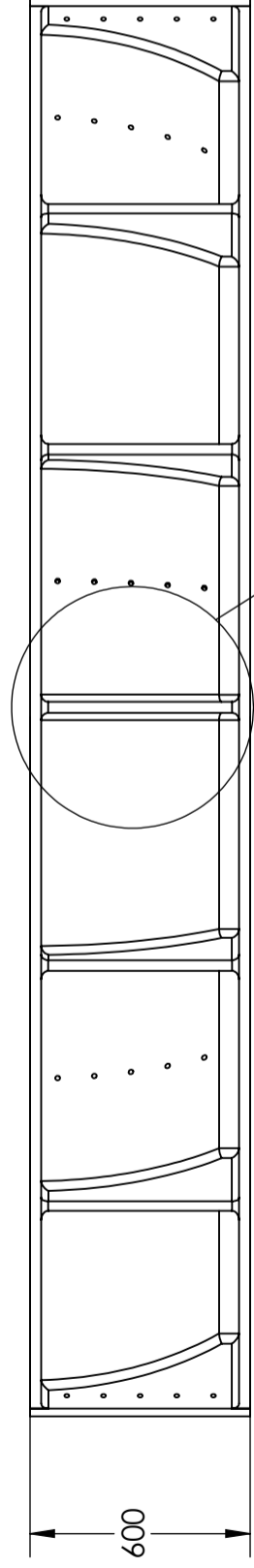
MATERIAL: Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio

TRAT. SUP.: 1 capa de GELCOAT color blanco

SCALE: 1:50

WEIGHT:

SHEET 1 OF 1



Todas las dimensiones no especificadas deben obtenerse del modelo 3D.

Construcción del laminado

- Relación resina-fibra 1,70 (63% de resina Polial WR)
- 10 capas de fibra de vidrio MAT 0,45 kg/m<sup>2</sup>
- 14 capas de refuerzo de tela Roving de 0,8 kg/m<sup>2</sup>
- 1 capa de recubrimiento Gelcoat color blanco

Intercalar capas de MAT y WR.

El recubrimiento debe quedar en la parte exterior de la pieza.

Trazabilidad: Datos a estampar o grabar

- Fecha de fabricación
- N° de matriz utilizada
- Número de parte
- Marca comercial: Fibratec

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)		0	6	30	40	1000	2000	4000	8000
		±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)		250	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.2	0.05-0.2	0.05-0.2	0.05-0.2
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA	TITLE:			
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022	Base cono inferior			
NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		MATERIAL:		Poliester Reforzado con Fibra de Vidrio		DWG NO.		FT.001-P.005	
TRAT. SUP.:		1 capa de GELCOAT color blanco		SCALE: 1:20		SHEET 1 OF 1		WEIGHT: 2	



Base cono inferior

SECTION A-A

VIEW B-B

DETAIL C

REVISION  
A

SHEET 1 OF 1

WEIGHT:

SCALE: 1:20

2

4

6

7

8

2

3

4

5

6

7

8

F

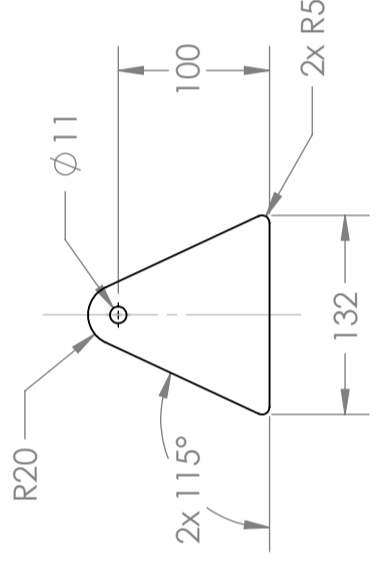
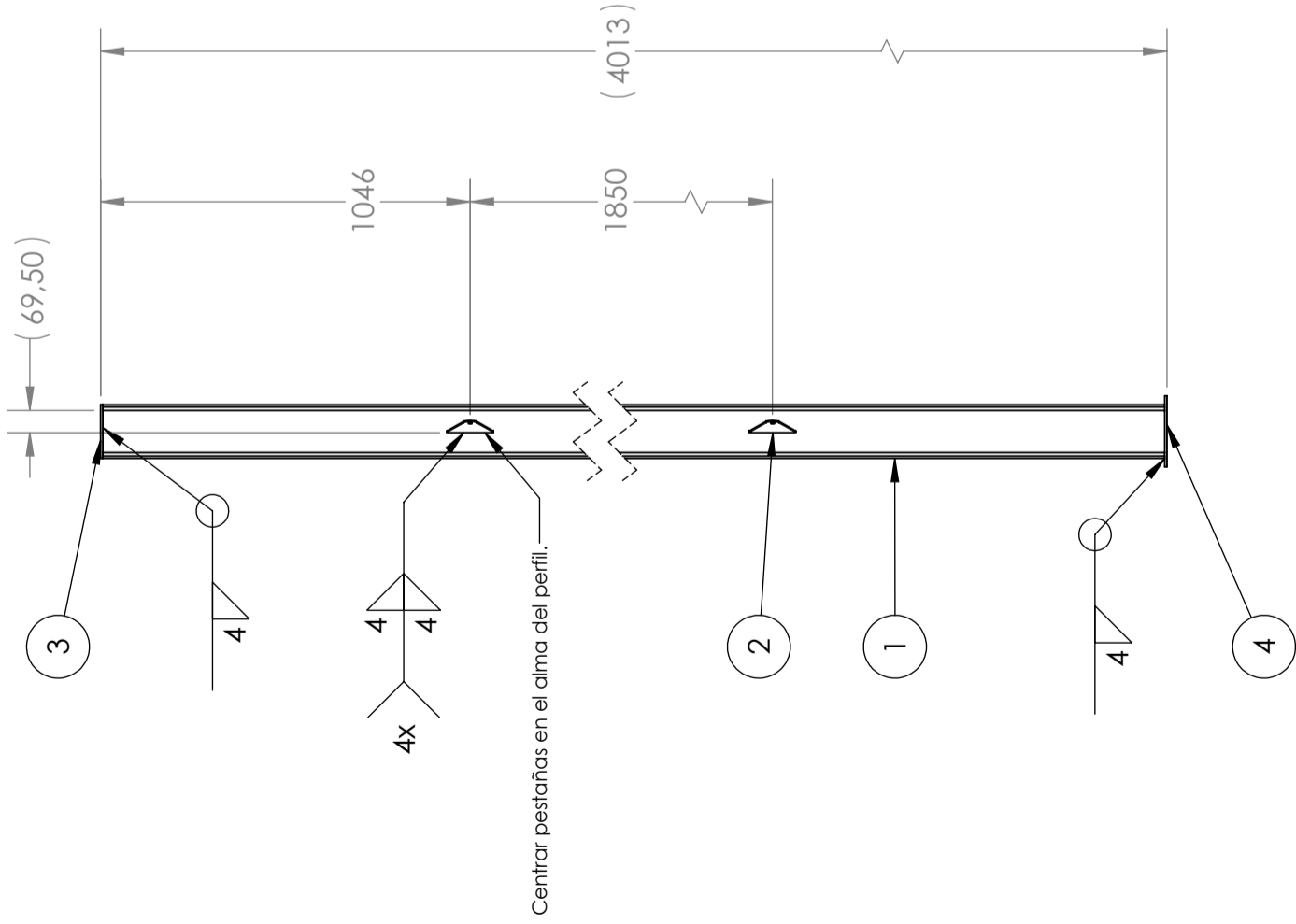
E

D

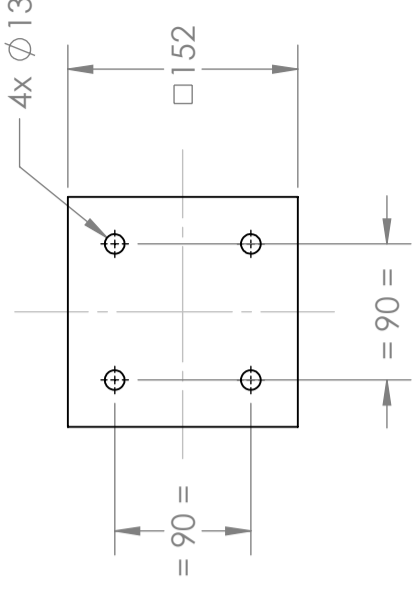
C

B

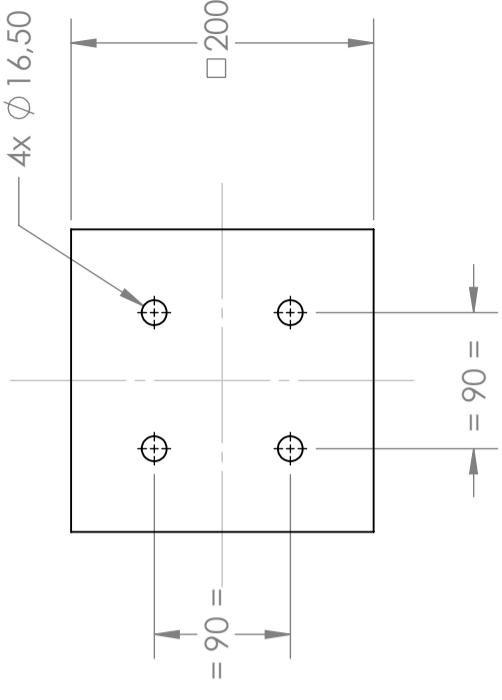
A



**Posición: 2**  
**N° de parte: FT.001-P.007**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: SAE 1010 LC**



**Posición: 3**  
**N° de parte: FT.001-P.008**  
**Espesor: 1/4"**  
**Material: SAE 1010 LC**



**Posición: 4**  
**N° de parte: FT.001-P.083**  
**Espesor: 1/4"**  
**Material: SAE 1010 LC**

Pos.	N° de parte	Cant.	Descripción
4	FT.001-P.083	1	Base inferior
3	FT.001-P.008	1	Base superior
2	FT.001-P.007	4	Pestaña
1	FT.001-P.006	1	Columna
Pos. N° de parte			Descripción
			Observación

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	30	60	120	200	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00	>8000

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.25
	▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	▽▽▽▽▽

REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			19/8/2022



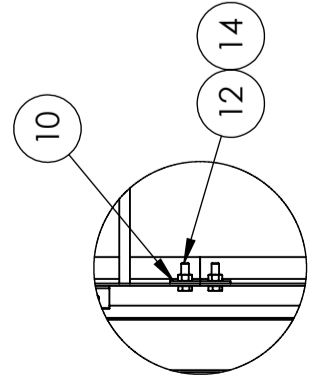
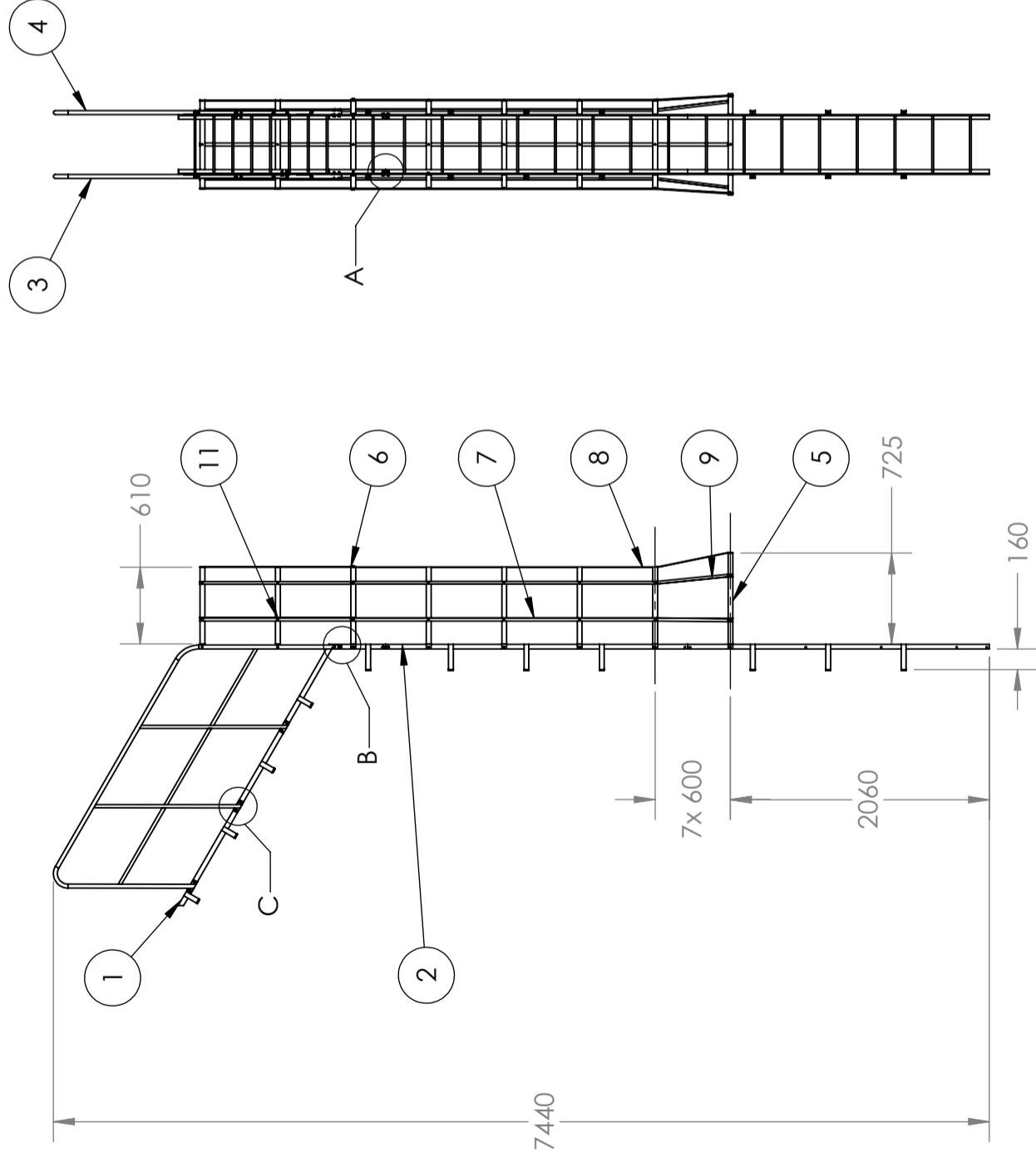
**Subconjunto columna**

DWG NO. **FT.001-S.001**

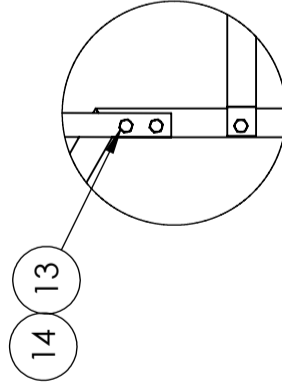
REVISION	A
REVISION	A
SCALE: 1:20	
WEIGHT:	
SHEET 1 OF 1	
SHEET SIZE	A3

**Pre tratamiento de 3 etapas:**  
 Desengrase + Enjuague + Fosfato de Zinc  
**Terminación:**  
 Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 7015

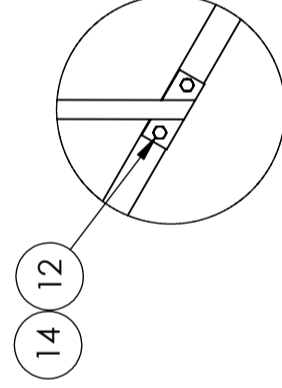




DETAIL A  
SCALE 1:10



DETAIL B  
SCALE 1:10



DETAIL C  
SCALE 1:10

Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación
14	FT.001-P.081	15	Tuerca GEOMET - M10	DIN B18.2.4.1M
13	FT.001-P.085	4	Bulón GEOMET - M10x1.5x50	DIN B18.2.3.1M
12	FT.001-P.080	15	Bulón GEOMET - M10x1.5x30	DIN B18.2.3.1M
11	FT.001-P.065	5	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 1238mm
10	FT.001-P.064	4	Refuerzo unión de escalera	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 80mm
9	FT.001-P.029	2	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 3047mm
8	FT.001-P.028	1	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 3050mm
7	FT.001-P.027	2	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4 x 3,2mm x 3040mm
6	FT.001-P.025	7	Aro para jaula de protección	Planchuela 38,1mm x 3,2mm x 1760mm
5	FT.001-P.026	1	Aro para jaula de protección - Entrada	Planchuela 38,1mm x 3,2mm x 2088mm
4	FT.001-S.006	1	Subconjunto baranda LI	
3	FT.001-S.005	1	Subconjunto baranda LD	
2	FT.001-S.004	2	Subconjunto escalera vertical superior	
1	FT.001-S.003	1	Subconjunto escalera como superior	

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8
	▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽

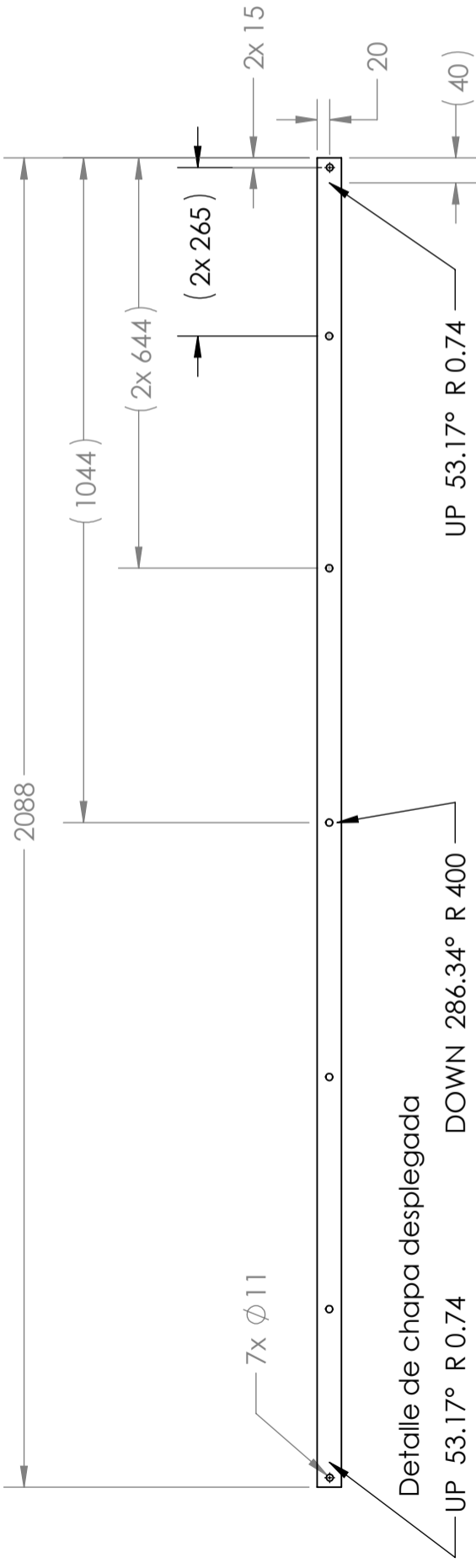
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			19/08/2022

**FIBRATEC**

**Subconjunto escalera superior**

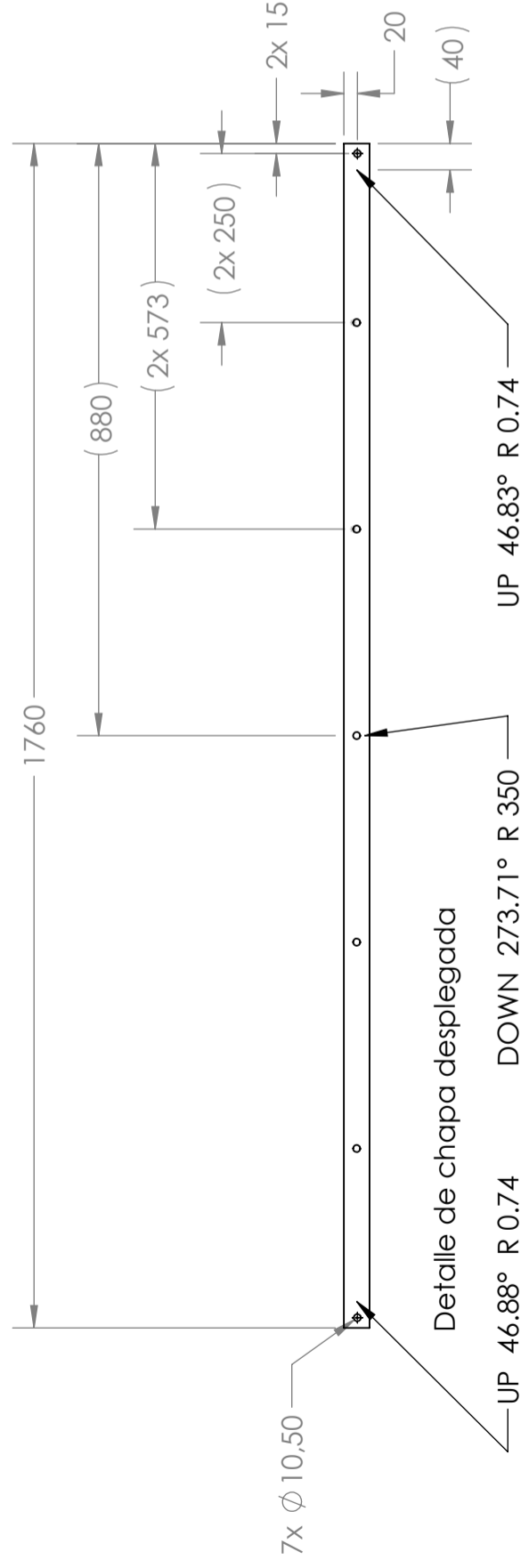
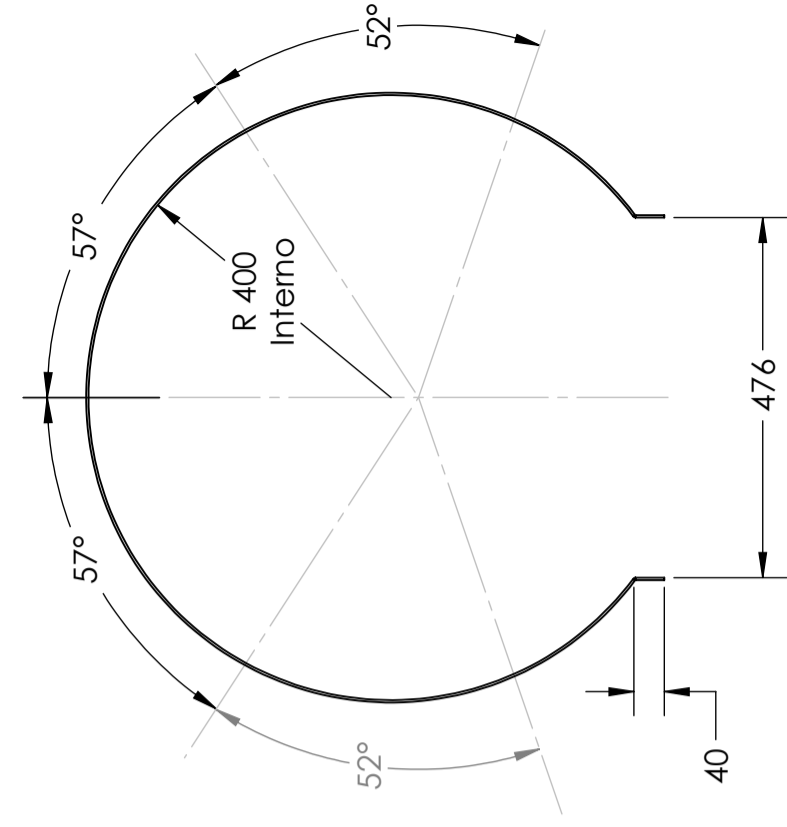
DWG NO. **FT.001-S.002**

REVISION **A**



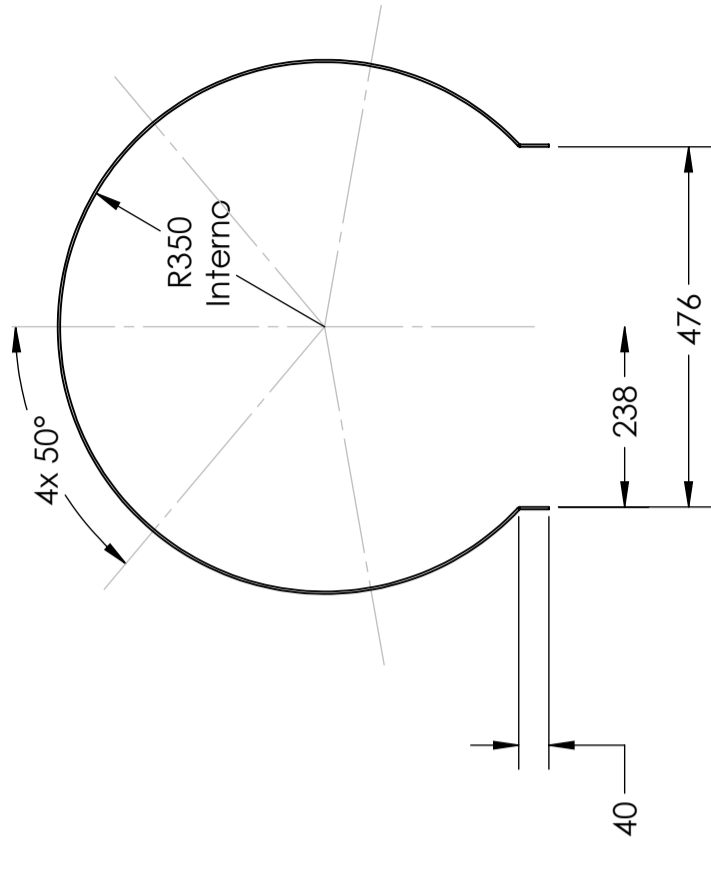
**Posición: 5**  
**N° de parte: FT.001-P.026**  
**Espesor: 3,2mm**  
**Material: Planchuela 1-1/2" SAE 1010 LC**

**Pre tratamiento de 3 etapas:**  
**Desengrase + Enjuague + Fosfato de Zinc**  
**Terminación:**  
**Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016**



**Posición: 6**  
**N° de parte: FT.001-P.025**  
**Espesor: 3,2mm**  
**Material: Planchuela 1-1/2" SAE 1010 LC**

**Pre tratamiento de 3 etapas:**  
**Desengrase + Enjuague + Fosfato de Zinc**  
**Terminación:**  
**Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016**



TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	2.5	6.3	12.5	25	50	100	200	400	800
	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
	1.6-3.2	3.2-6.3	6.3-12.5	12.5-25	25-50	50-100	100-200	200-400	400-800
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA				
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			19/8/2022				
NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACION CONTRARIA. REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		MATERIAL:							
TRAT. SUP.: Base Epoxi + Acabado Poliuretano		SCALE: 1:10		WEIGHT:					
DWG NO. FT.001-S.002		REVISION A		SHEET 2 OF 4					



# Subconjunto escalera superior

FT.001-S.002

REVISION A

SHEET 2 OF 4

WEIGHT:

2

4

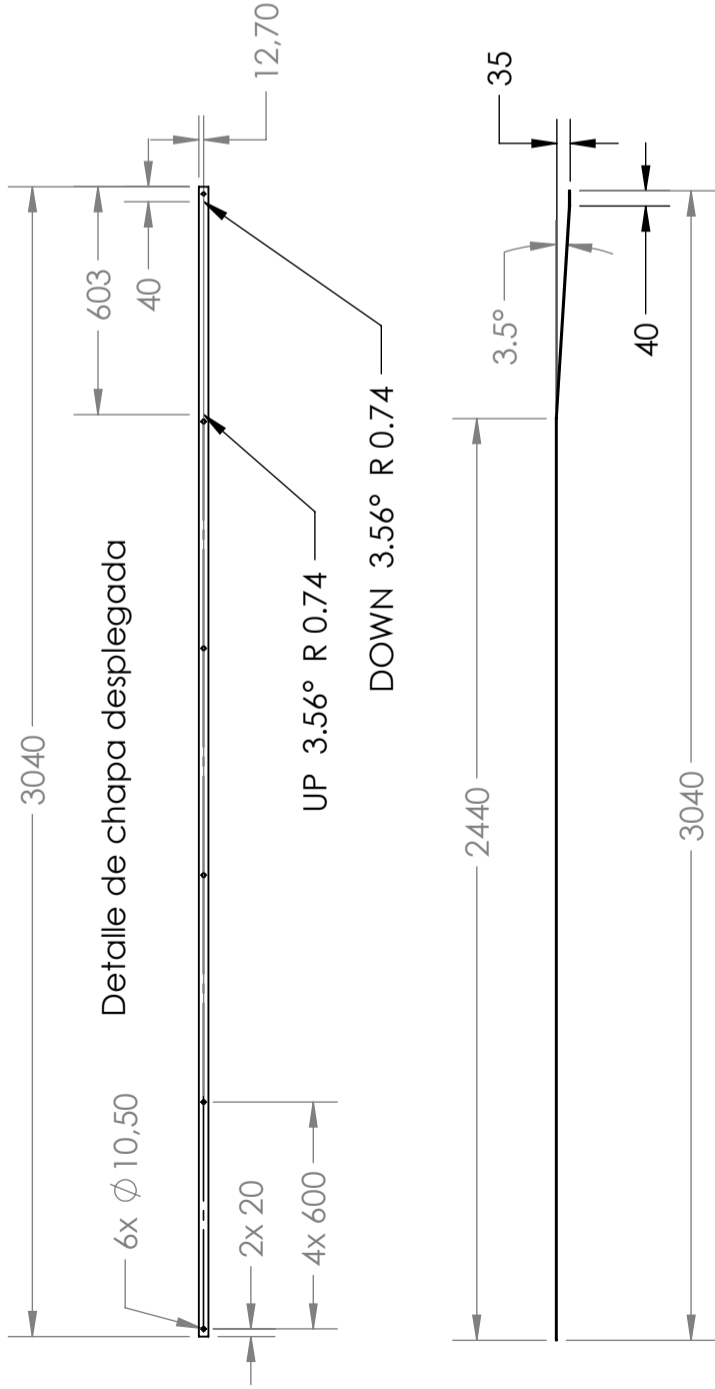
5

6

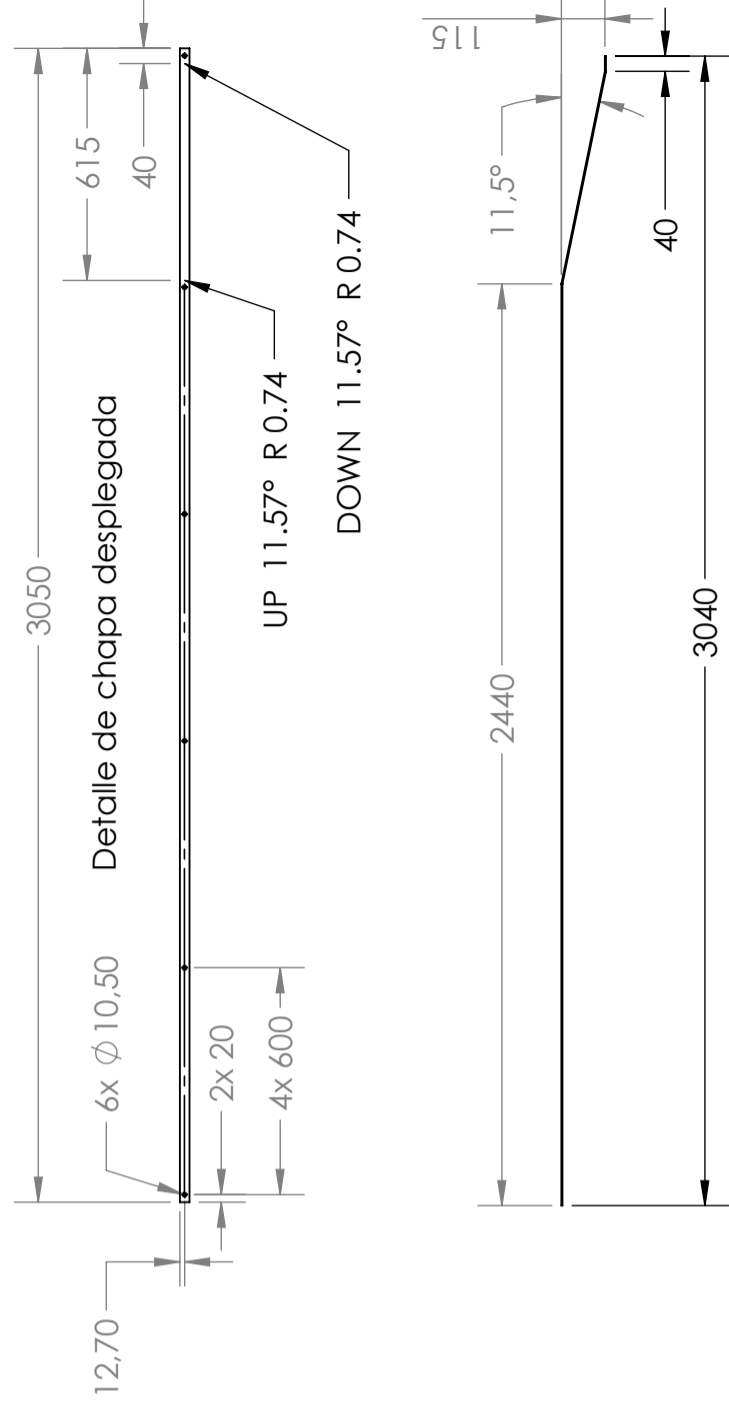
7

8

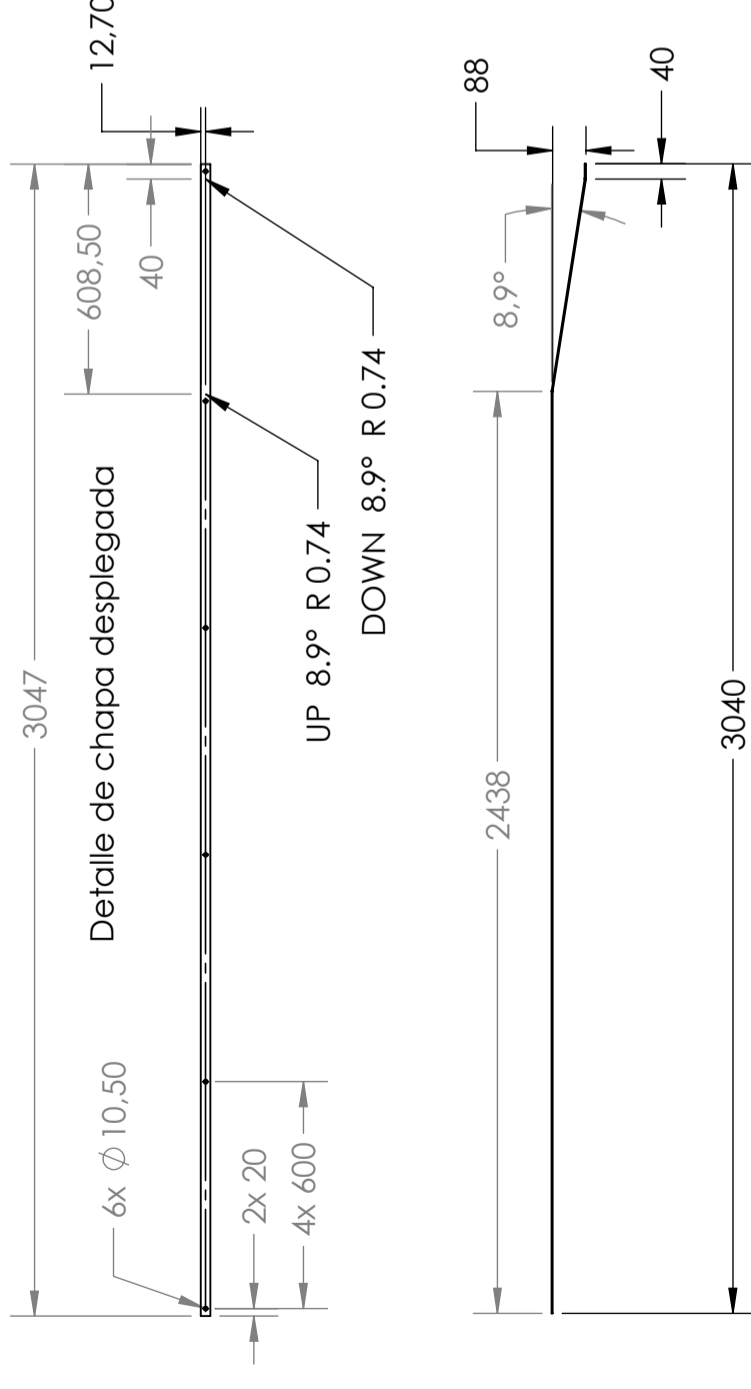
A



Posición: 7  
 N° de parte: FT.001 - P.027  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Planchuela 1" SAE 1010 LC



Posición: 8  
 N° de parte: FT.001 - P.028  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Planchuela 1" SAE 1010 LC



Posición: 9  
 N° de parte: FT.001 - P.029  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Planchuela 1" SAE 1010 LC

Notas generales:  
 Posiciones 7,8 y 9  
Pre tratamiento de 3 etapas:  
 Desengrase + Enjague + Fosfato de Zinc  
Terminación:  
 Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000	
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	>8000 ±4.00	
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	2.5	6.3	12.5	25	50	100	200	400	800	
REV.	DESCRIPCIÓN		DIBUJÓ		REVISÓ		APROBÓ		FECHA	
A	Rev. para construcción		J.L.Chaula						19/8/2022	
NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS			MATERIAL:							
TRAT. SUP.: Base Epoxi + Acabado Poliuretano			SCALE: 1:20			SHEET 3 OF 4			SHEET SIZE A3	

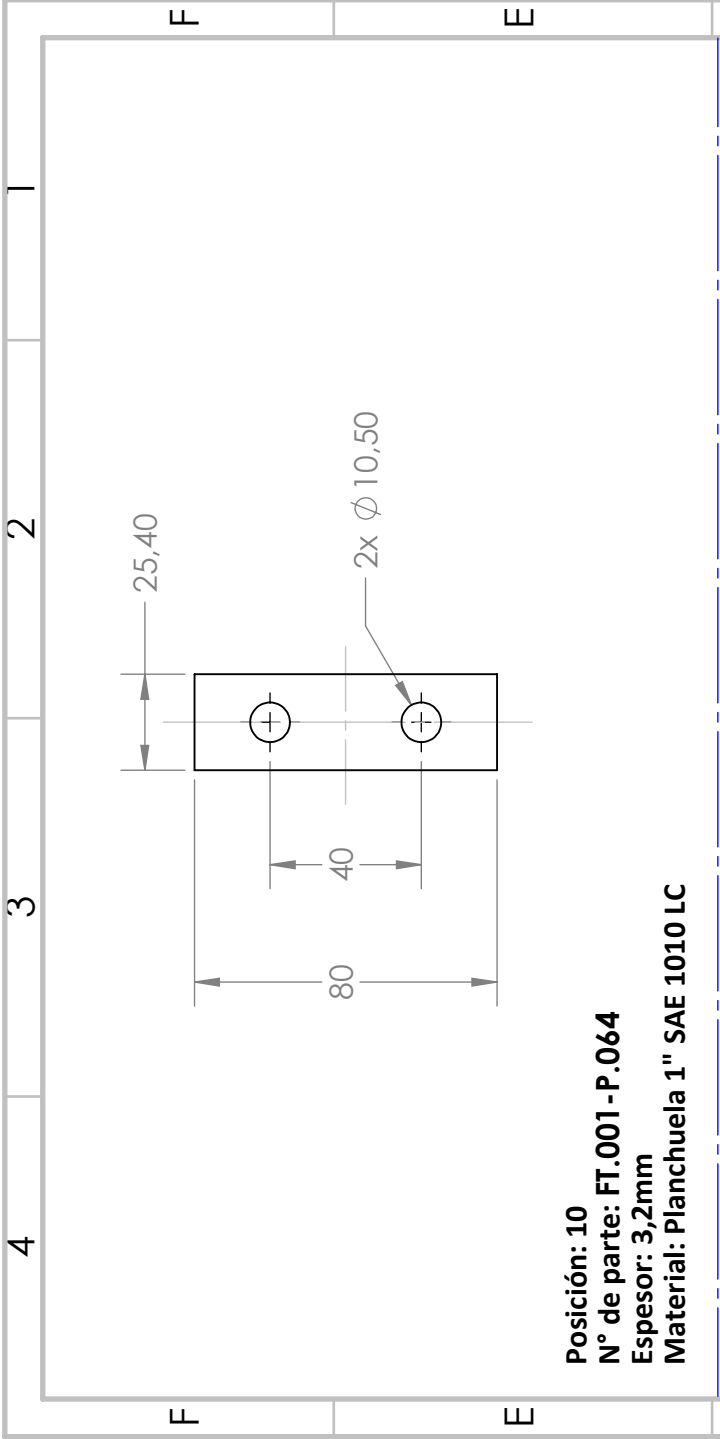


TITLE:

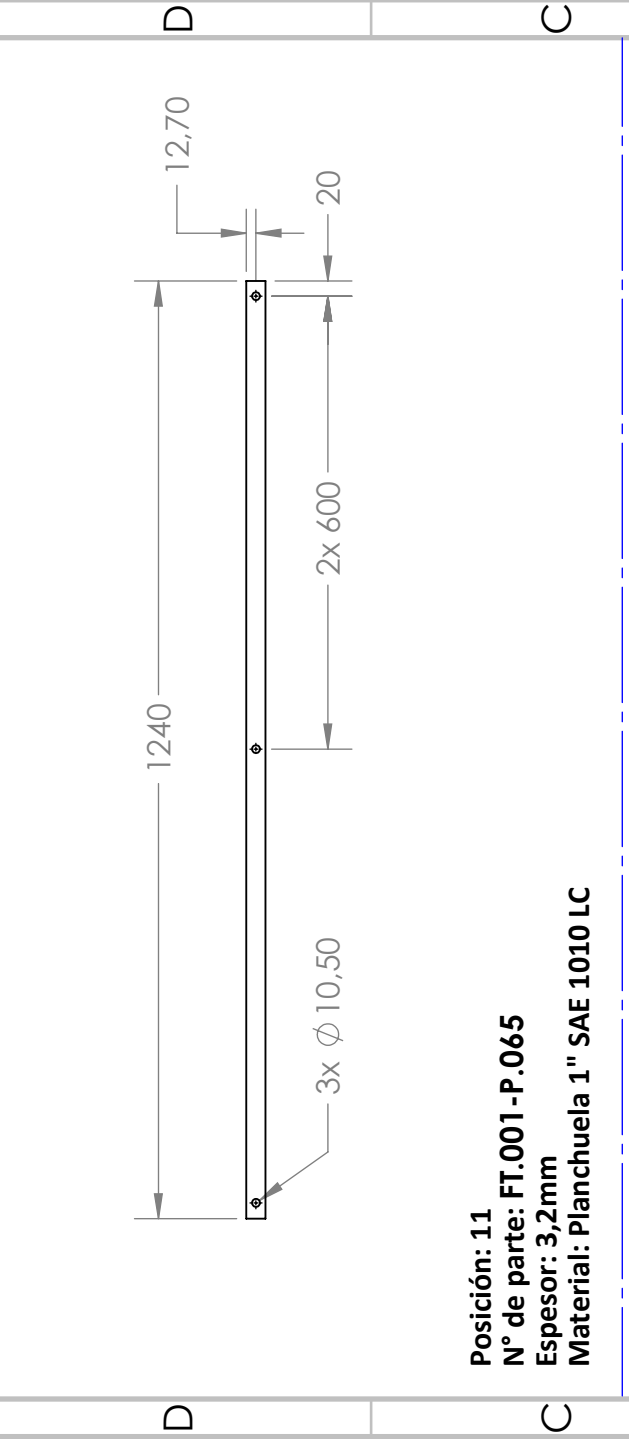
Subconjunto escalera superior

DWG NO. FT.001-S.002

REVISION A



**Posición: 10**  
**N° de parte: FT.001 - P.064**  
**Espesor: 3,2mm**  
**Material: Planchuela 1" SAE 1010 LC**



**Posición: 11**  
**N° de parte: FT.001 - P.065**  
**Espesor: 3,2mm**  
**Material: Planchuela 1" SAE 1010 LC**

Notas generales:  
 Posiciones 10 y 11  
Pre tratamiento de 3 etapas:  
 Desengrase + Enjueague + Fosfato de Zinc  
Terminación:  
 Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0 6	30 120	120 400	400 1000	1000 2000	2000 4000	4000 8000	8000 >8000
TERMINACIÓN SUPERFICIAL ( $\mu m$ )	$\sim$ 25-50	$\nabla$ 1,6-3,2	$\nabla$ 1,6-3,2	$\nabla$ 1,6-3,2	$\nabla$ 1,6-3,2	$\nabla$ 1,6-3,2	$\nabla$ 1,6-3,2	$\nabla$ 1,6-3,2



REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJO	REVISO	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			19/8/2022

TÍTULO: Subconjunto escalera superior

DWG NO.: FT.001-S.002

REVISION: A

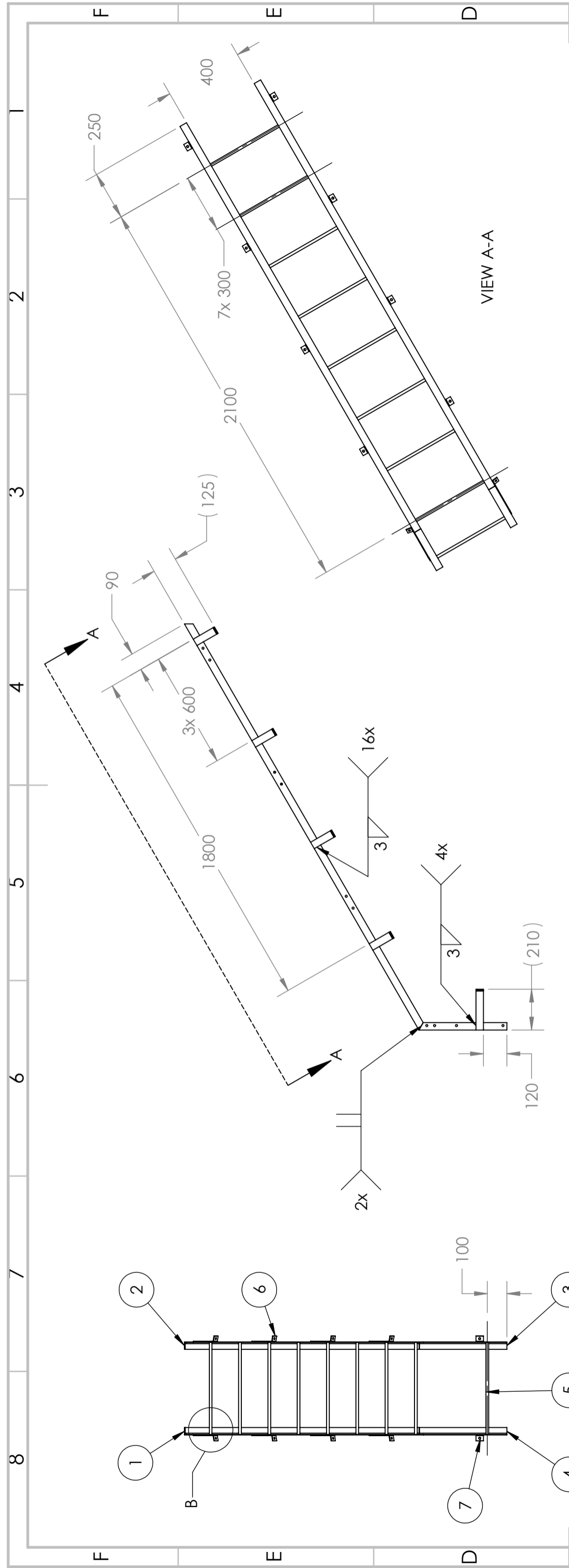
MATERIAL:   
 TRAT. SUP.: Base Epoxi + Acabado Poliuretánico

SCALE: 1:20

WEIGHT:   
 SHEET 4 OF 4

SHEET SIZE: A4

**NOTAS GENERALES:**  
 DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.  
 REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS



Pos.	N° de parte	Cant.	Descripción	Observación
7	FT.001-P.015	2	Apoyo de escalera	Planchuela 38,1mm x 3,2mm x 230mm
6	FT.001-P.014	8	Apoyo de escalera	Planchuela 38,1mm x 146mm x 3,2mm
5	FT.001-P.013	9	Escalón	Barra redonda 14mm x 470mm
4	FT.001-P.012	1	Lateral derecho escalera	Ángulo 38,1mm x 3,2mm x 450mm
3	FT.001-P.011	1	Lateral izquierdo escalera	Ángulo 38,1mm x 3,2mm x 450mm
2	FT.001-P.009	1	Lateral escalera de techo	Ángulo 38,1mm x 3,2mm x 2400mm
1	FT.001-P.010	1	Lateral escalera de techo	Ángulo 38,1mm x 3,2mm x 2400mm

**FIBRATEC**

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)

0	30	120	400	1000	2000	4000	8000
±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)

25-30	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8
▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽
0.00-0.27	0.00-0.57	0.00-0.97	0.00-1.57

REV. A Descripción: Rev. para construcción

DIBUJÓ: J.L.Chaula

REVISÓ:

FECHA: 16/7/2022

TÍTULO: Subconjunto escalera cono superior

DWG NO. FT.001-S.003

REVISION: A

SCALE: 1:20

WEIGHT: SHEET 1 OF 3

TRAT. SUP.: Fondo Epoxi + Acabado Poliuretánico

Fondo Epoxi + Acabado Poliuretánico

MATERIAL:

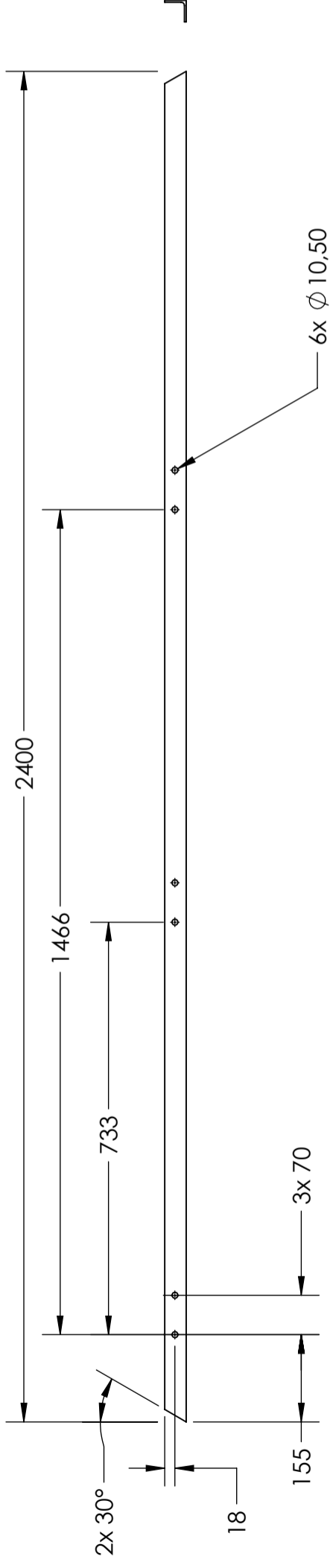
INDICACIONES GENERALES:  
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACION CONTRARIA.  
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

Redondo Ø 14mm x 470mm SAE 1010

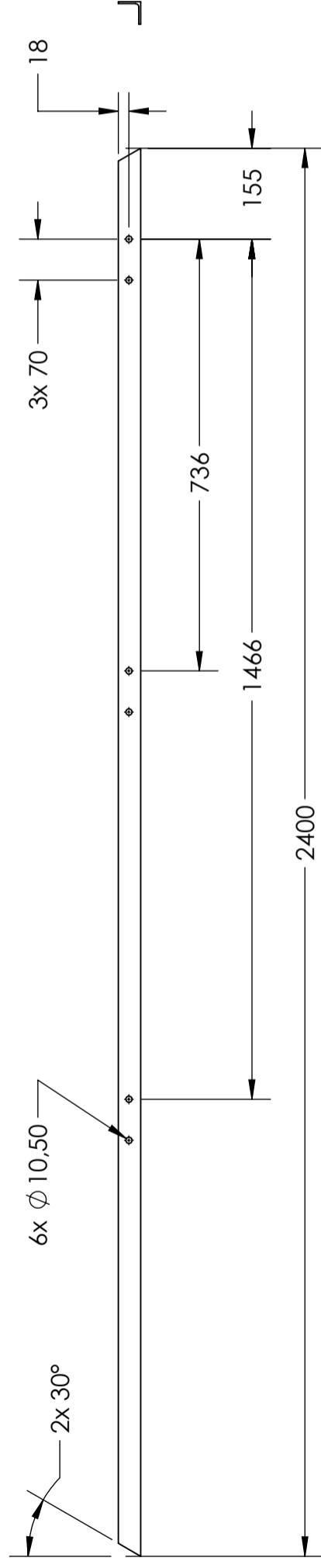
DETAIL B SCALE 1 : 10

Pre tratamiento de 3 etapas:  
Desengrase + Enjuague + Fosfato de Zinc

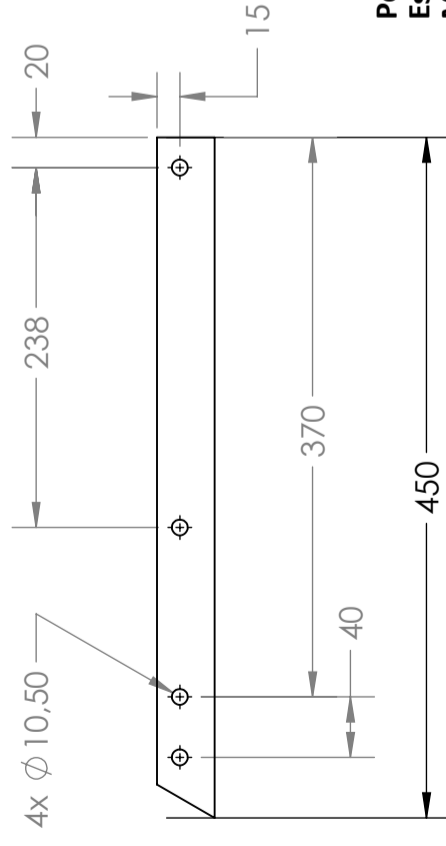
Terminación:  
Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016



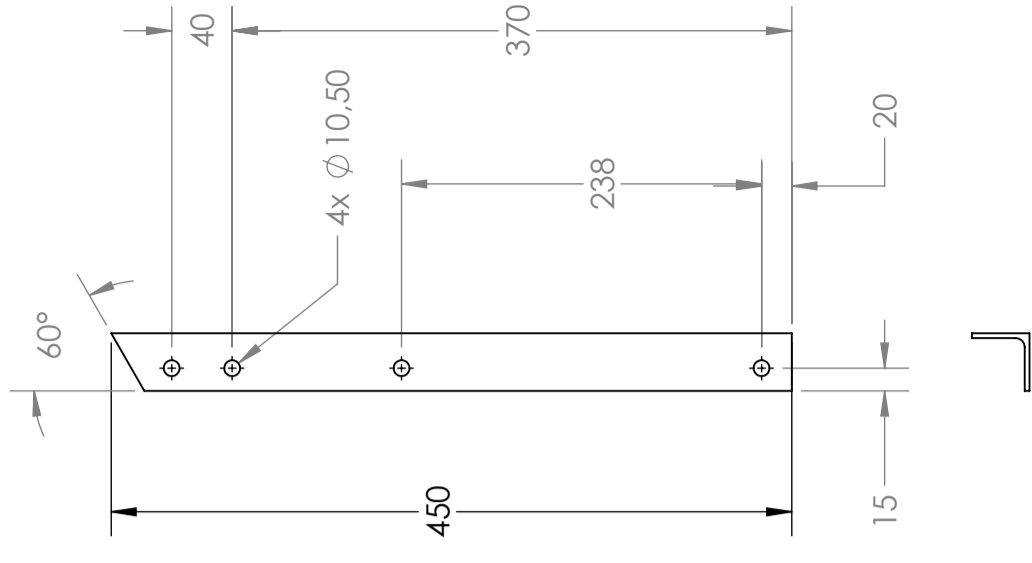
**Posición: 1**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: Ángulo 1-1/2" SAE 1010 LC**



**Posición: 2**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: Ángulo 1-1/2" SAE 1010 LC**



**Posición: 4**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: Ángulo 1-1/2" SAE 1010 LC**



**Posición: 3**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: Ángulo 1-1/2" SAE 1010 LC**

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)		0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000	
		±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00	>8000 ±4.00	
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)		2.5	6.3	12.5	25	50	100	200	400	800	
		▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	
		1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	200	400	
		0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	
REV.		DESCRIPCIÓN		DIBUJÓ		REVISÓ		APROBÓ		FECHA	
A		Rev. para construcción		J.L.Chaula						16/7/2022	
NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		MATERIAL:									
TRAT. SUP.:		Fondo Epoxi + Acabado Poluretánico									

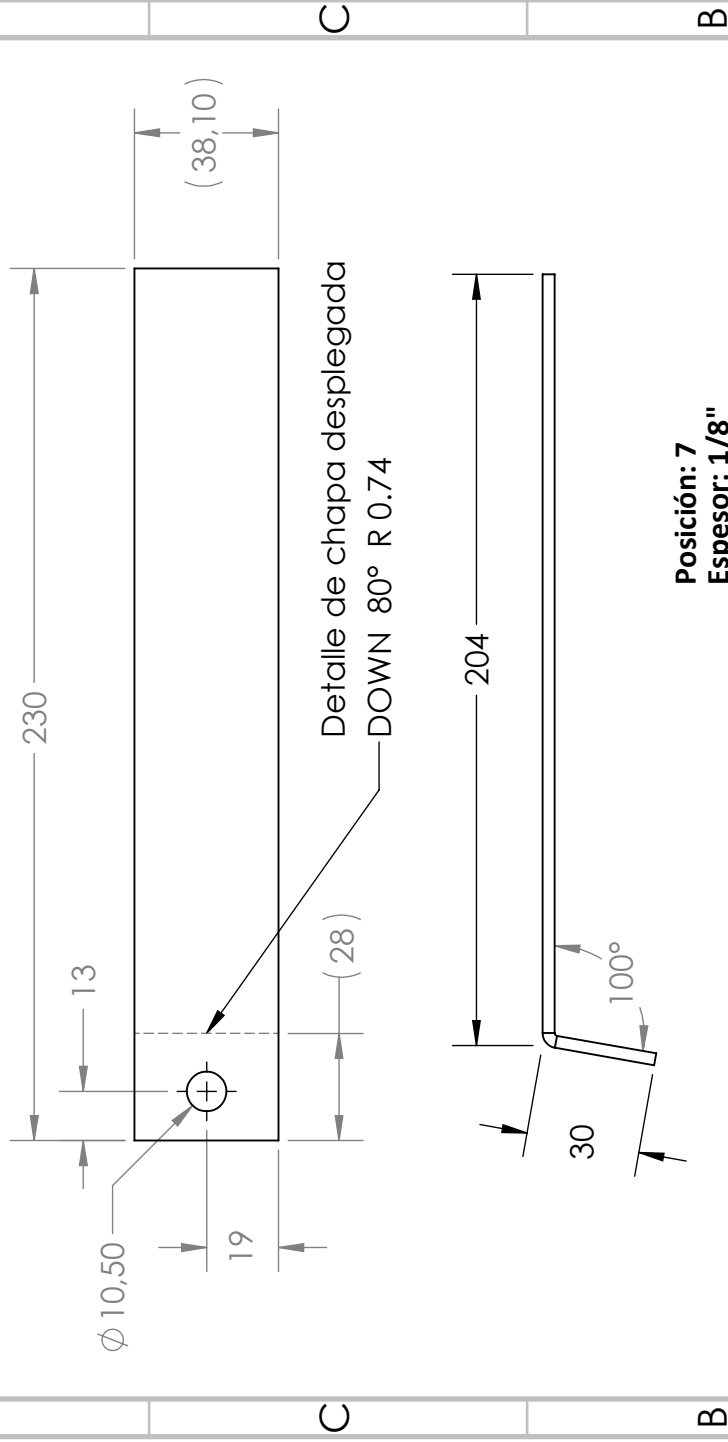
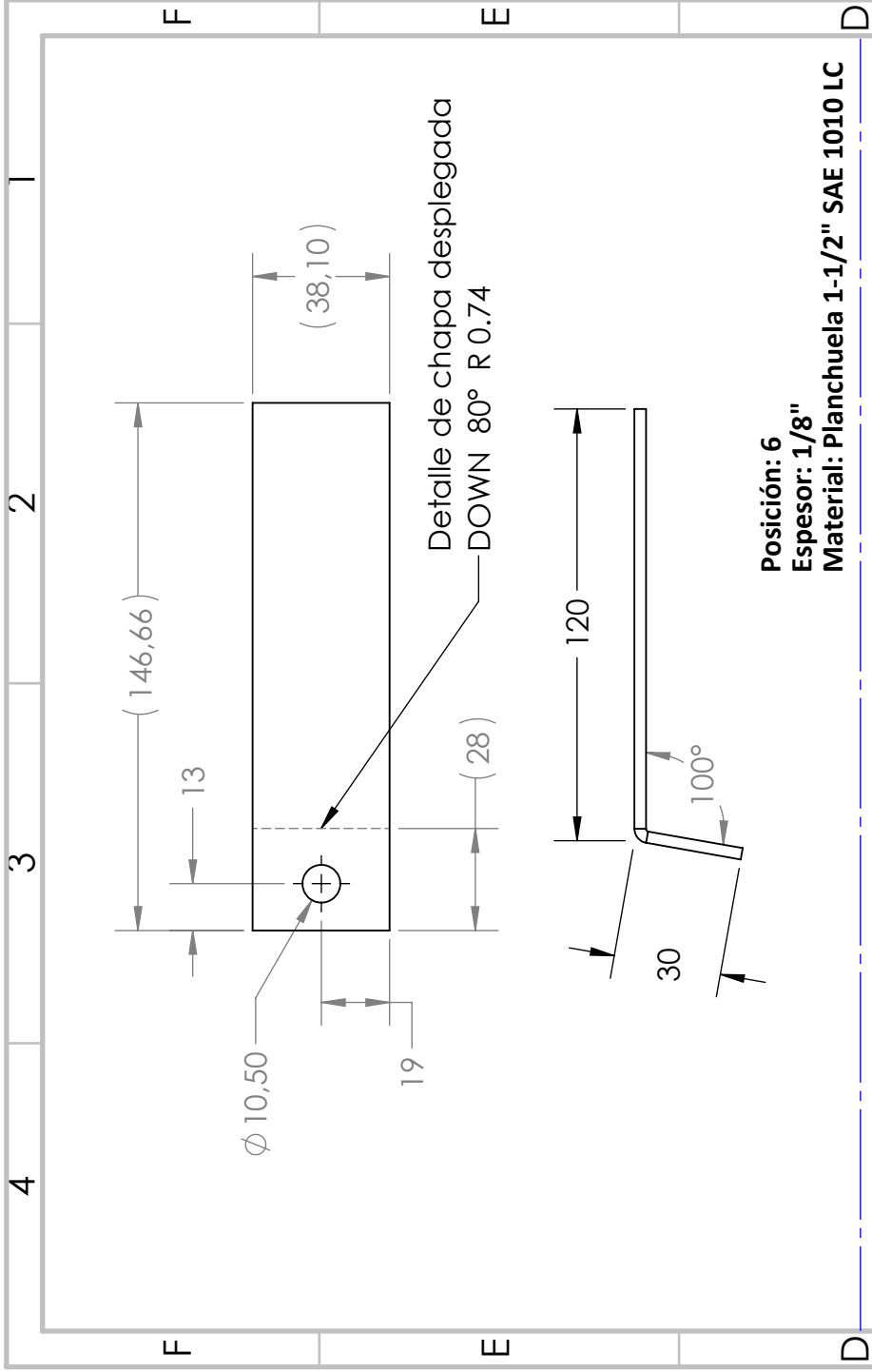


**Subconjunto escalera cono superior**

DWG NO. **FT.001-S.003**

REVISION **A**

SCALE: 1:20 WEIGHT: SHEET 2 OF 3 SHEET SIZE **A3**



TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0 6	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25/50	1.6/3.2	0.4/0.8	0.8/1.6	1.6/3.2	3.2/6.3	6.3/12.5	12.5/25	25/50	50/100

REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJO	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		MATERIAL:
TRAT. SUP.: Fondo Epoxi + Acabado Poliuretánico		

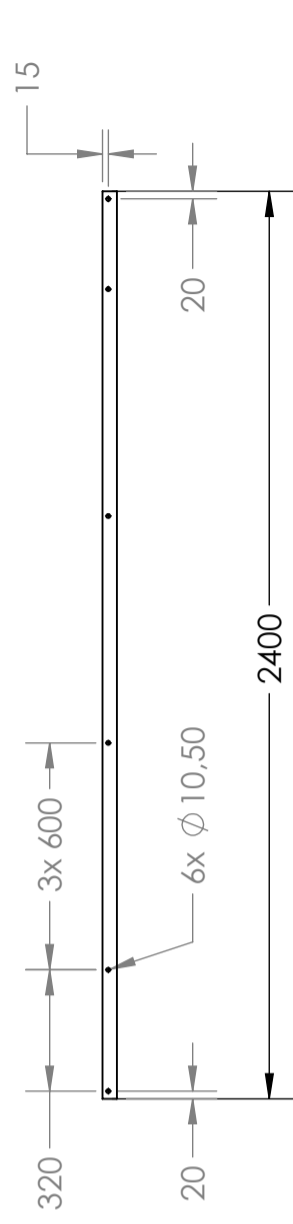


TITLE:  
**Subconjunto escalera  
 cono superior**

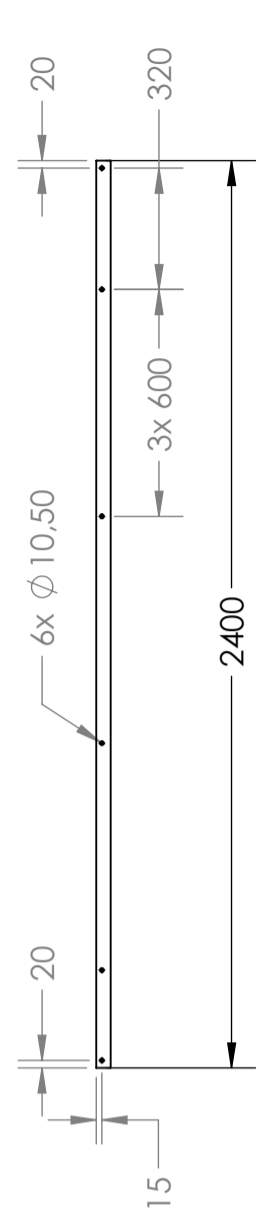
DWG NO.	FT.001-S.003	REVISION	A
SCALE:1:1	WEIGHT:	SHEET 3 OF 3	A4

8 7 6 5 4 3 2 1

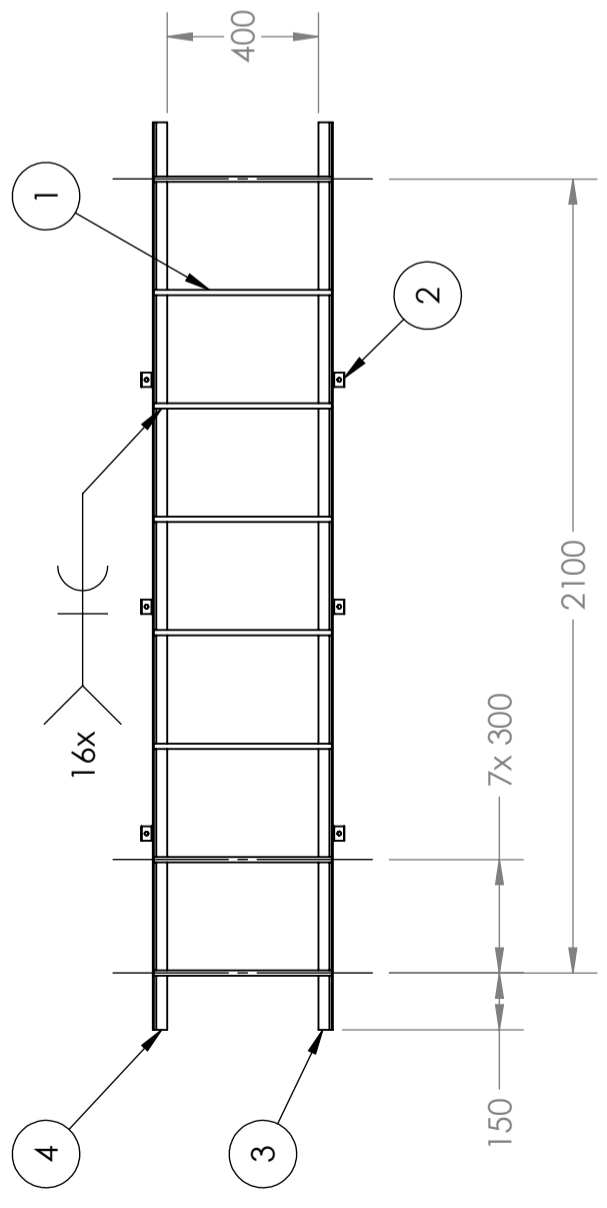
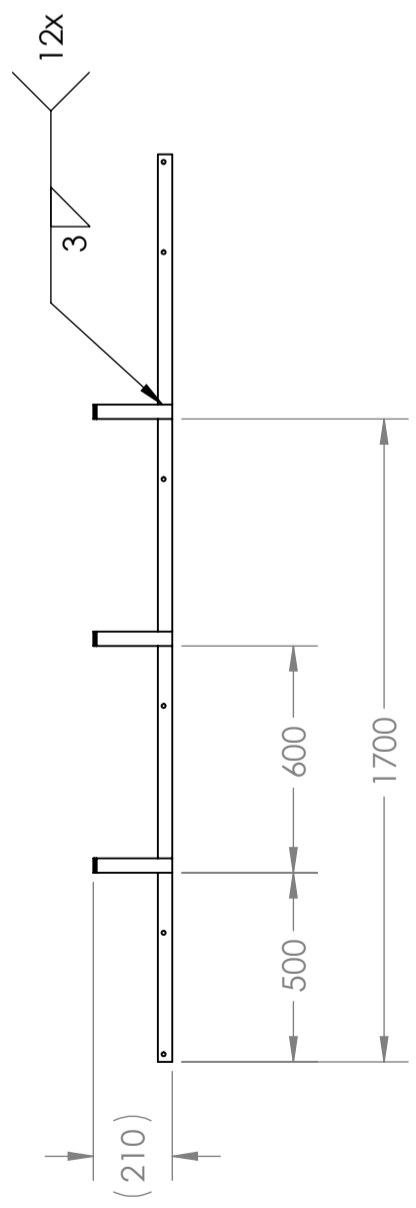
F E D C B A



**Posición: 3**  
**N° de parte: FT.001-P.016**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: Ángulo 1-1/2" SAE 1010 LC**



**Posición: 4**  
**N° de parte: FT.001-P.017**  
**Espesor: 1/8"**  
**Material: Ángulo 1-1/2" SAE 1010 LC**



**Pre tratamiento de 3 etapas:**  
**Desengrase + Enjague + Fosfato de Zinc**  
**Terminación:**  
**Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016**

4	FT.001-P.017	1	Laterales de escalera	Ángulo 38,1mm x 3,2mm x 2400mm
3	FT.001-P.016	1	Laterales de escalera	Ángulo 38,1mm x 3,2mm x 2400mm
2	FT.001-P.015	6	Apoyo de escalera	Planchuela 38,1mm x 3,2mm x 230mm
1	FT.001-P.013	8	Escaión	Barra redonda 14mm x 470mm

Pos. N° de parte Cant. Descripción Observación

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00	
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.25	0.05-0.25	0.05-0.25	0.05-0.25	0.05-0.25



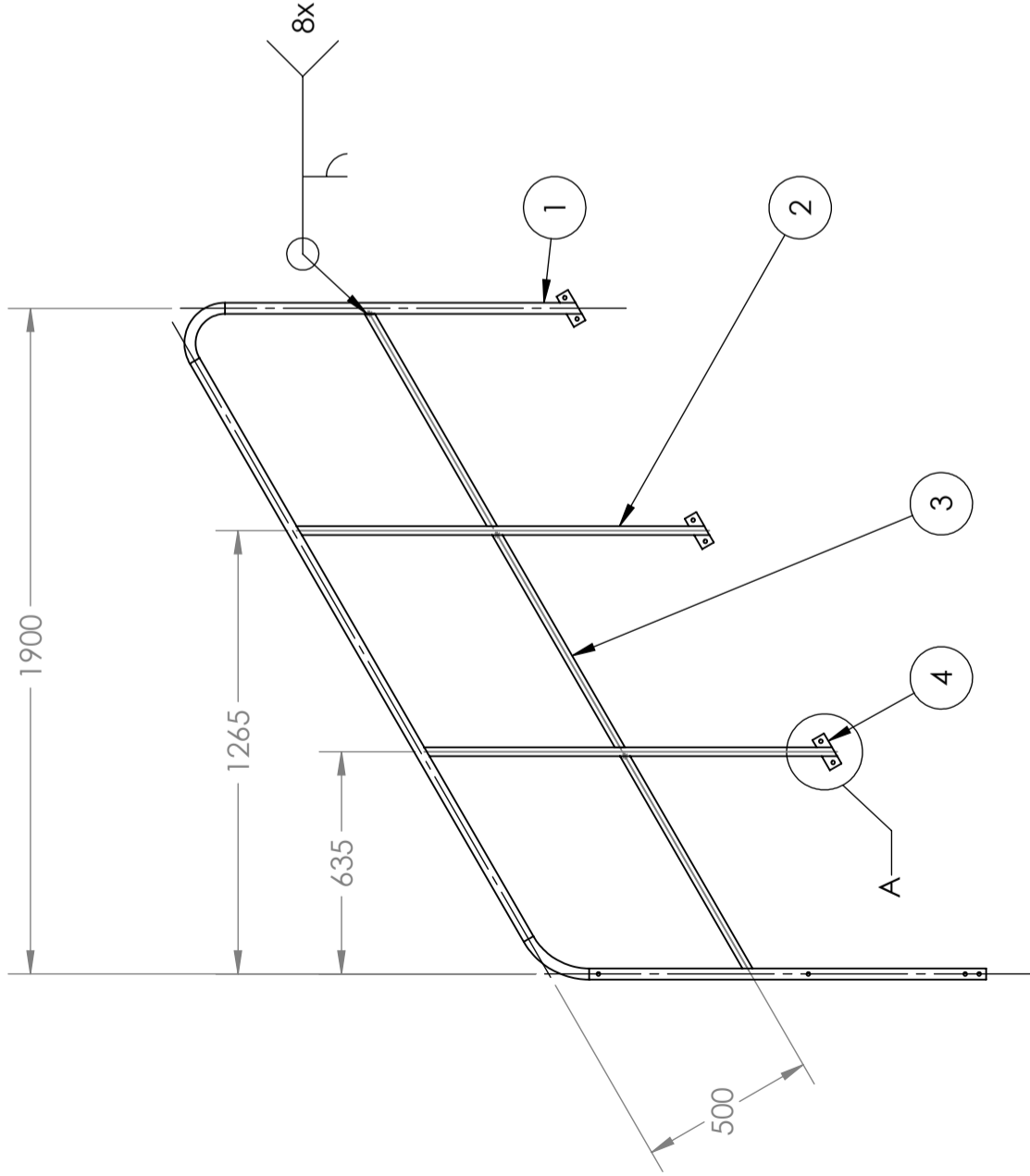
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

**Subconjunto escalera vertical superior**

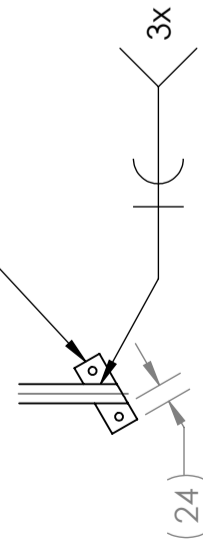
DWG NO.	FT.001-S.004	REVISION	A
SCALE: 1:20	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1	SHEET SIZE A3

8 7 6 5 4 3 2 1



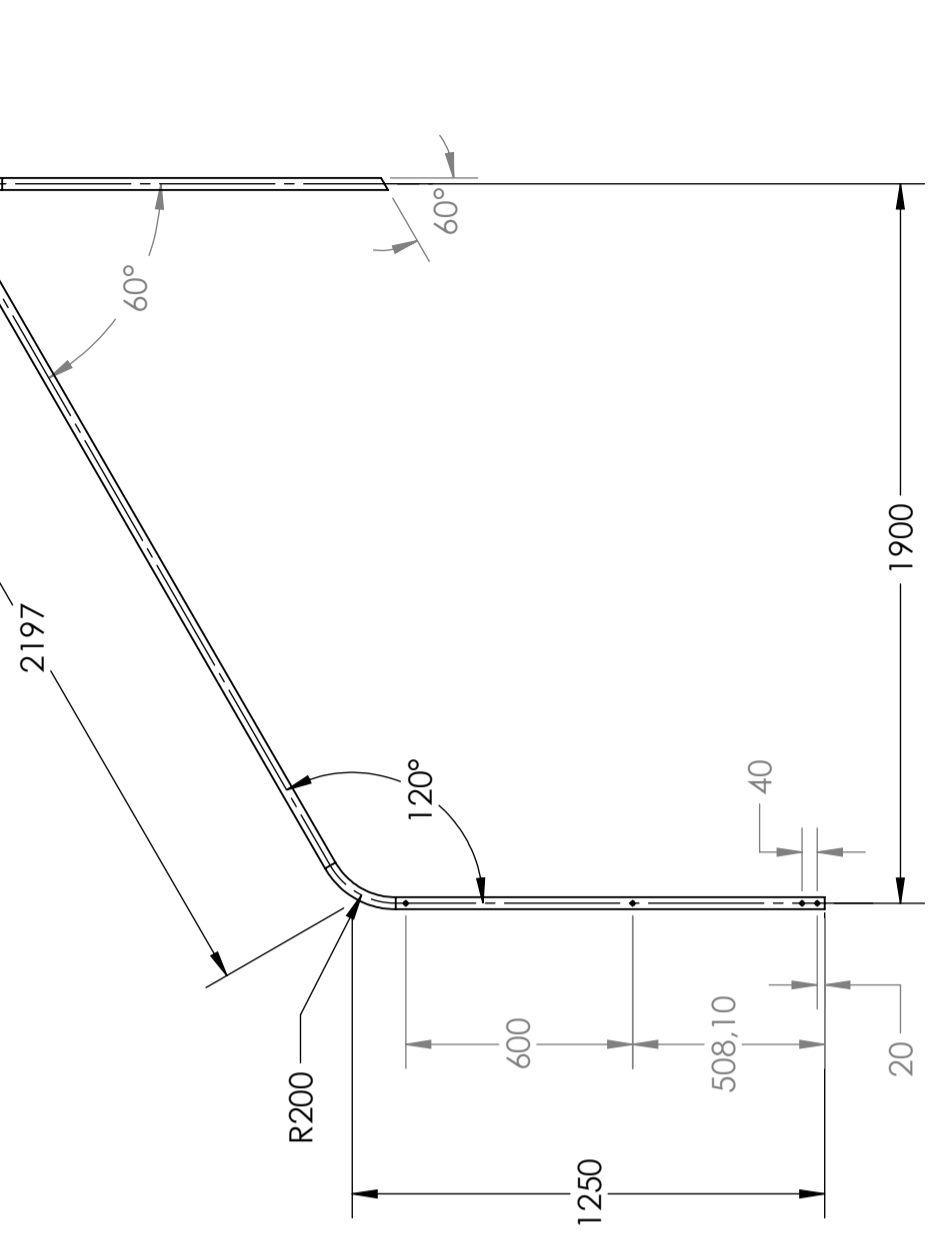


Centrar placa y alinear con el caño



DETAIL A  
SCALE 1 : 10

Pre tratamiento de 3 etapas:  
Desengrase + Enjuague + Fosfato de Zinc  
Terminación:  
Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016



**Posición: 1**  
**N° de parte: FT.001-P.018**  
**Espesor: 1,6mm**  
**Material: Caño estructural redondo 31.75mm SAE 1010**

4	FT.001-P.021	3	Soporte para barandas	Planchuela 38,1 mm x 3,2mm x 100mm
3	FT.001-P.020	3	Baranda horizontal	Caño estructural redondo 25,4mm x 1,6mm
2	FT.001-P.019	2	Baranda vertical	Caño estructural redondo 25,4mm x 1,6mm
1	FT.001-P.018	1	Baranda principal	Caño estructural redondo 31,75mm x 1,6mm

Pos.	N° de parte	Cant.	Descripción	Observación
------	-------------	-------	-------------	-------------

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	30	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±4.00

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.25
------------------------------	-------	----------	---------	---------	-----------

REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

NOTAS GENERALES:  
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.  
REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

TRAT. SUP.: Fondo Epoxi + Acabado Poliuretánico

MATERIAL:



TITLE:  
**Subconjunto baranda LD**

DWG NO.  
**FT.001-S.005**

REVISION  
**A**

SCALE: 1:20  
WEIGHT:  
SHEET 1 OF 2  
**2**

**4**

**5**

**6**

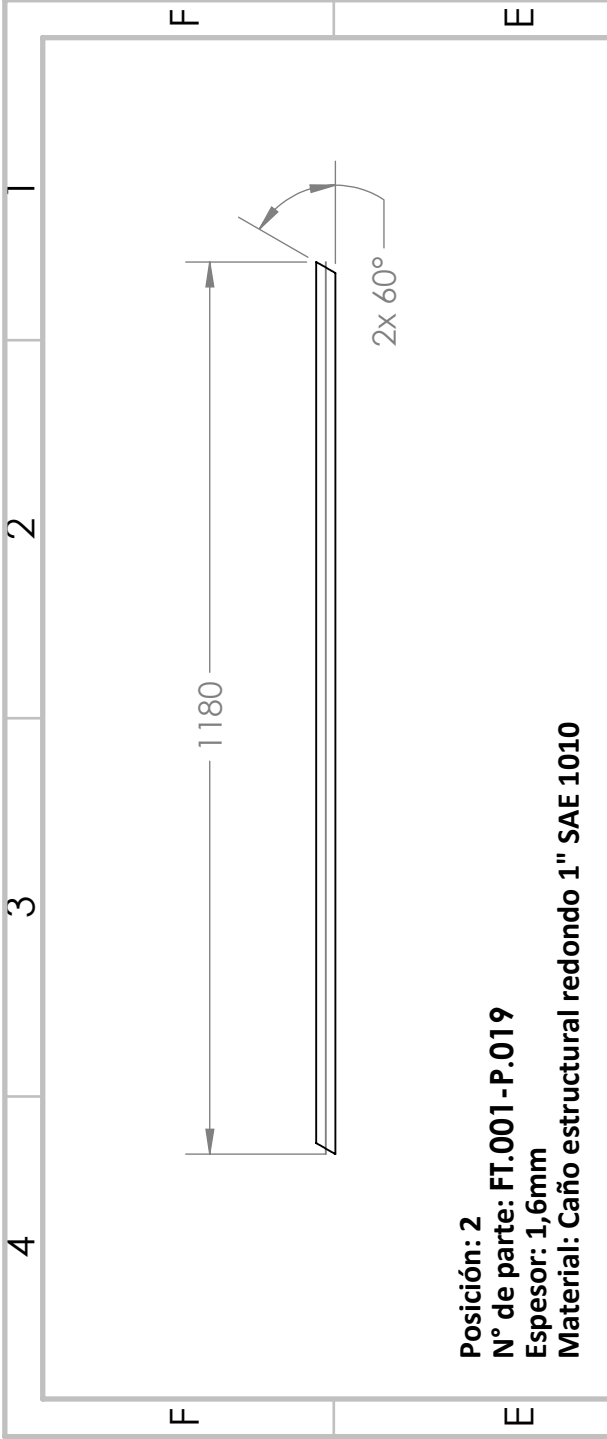
**7**

**8**

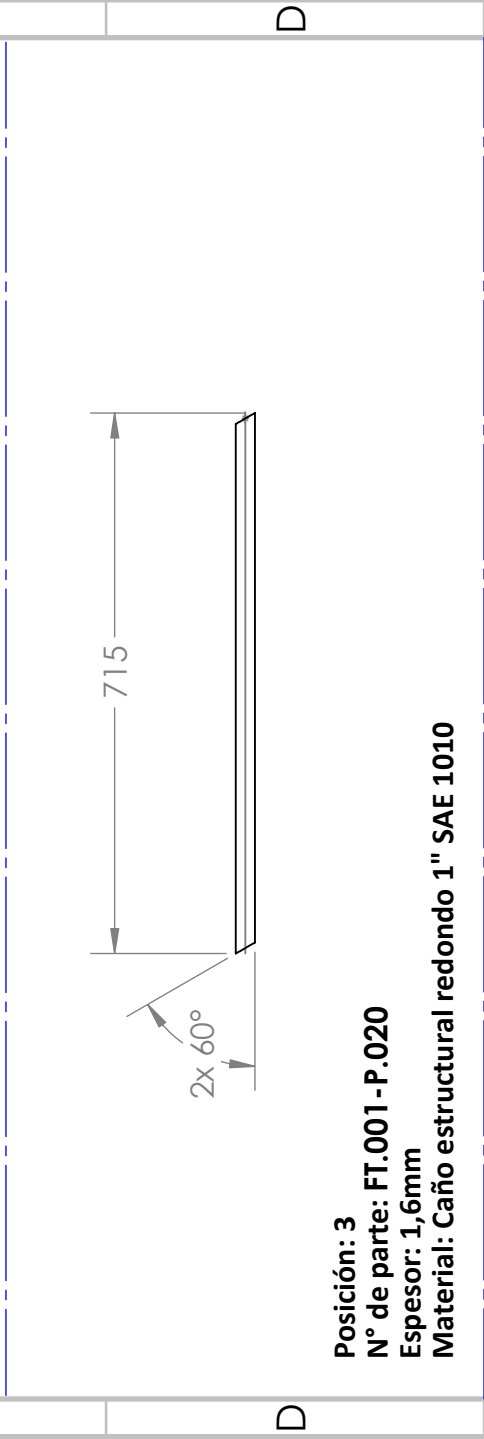
F  
E  
D  
C  
B  
A

4  
3  
2  
1

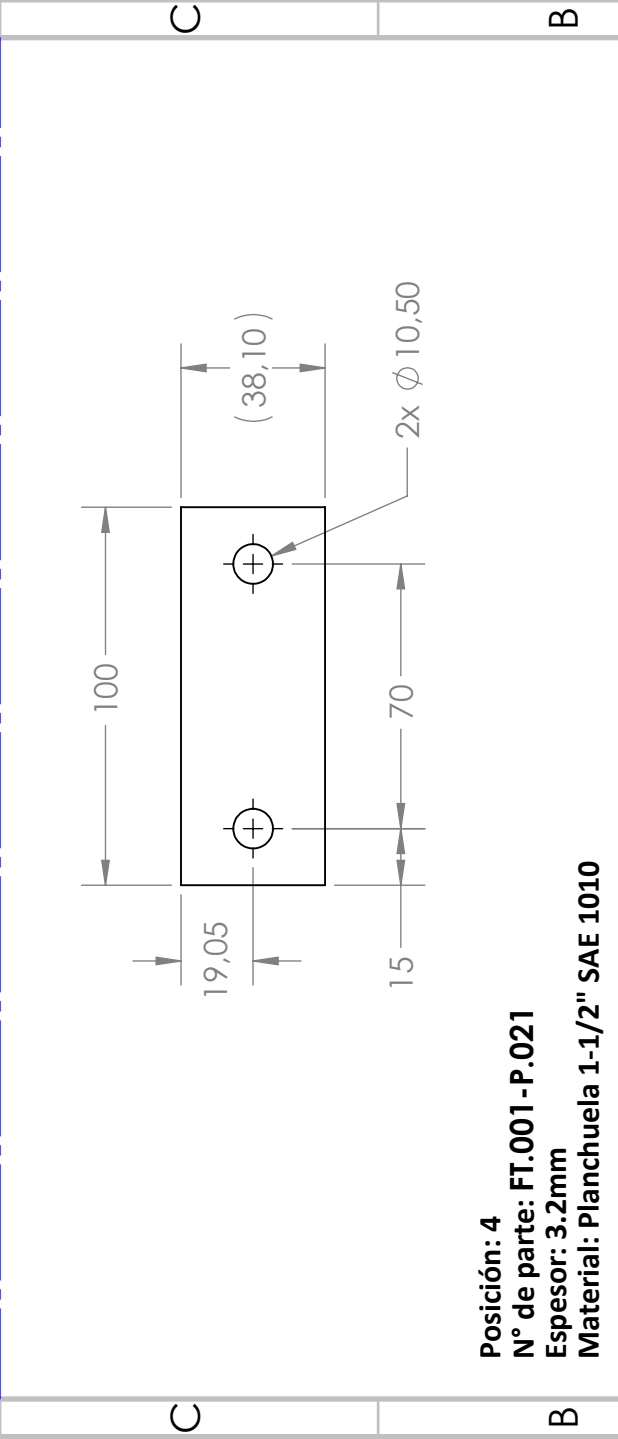
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1



**Posición: 2**  
**N° de parte: FT.001 -P.019**  
**Espesor: 1,6mm**  
**Material: Caño estructural redondo 1" SAE 1010**



**Posición: 3**  
**N° de parte: FT.001 -P.020**  
**Espesor: 1,6mm**  
**Material: Caño estructural redondo 1" SAE 1010**

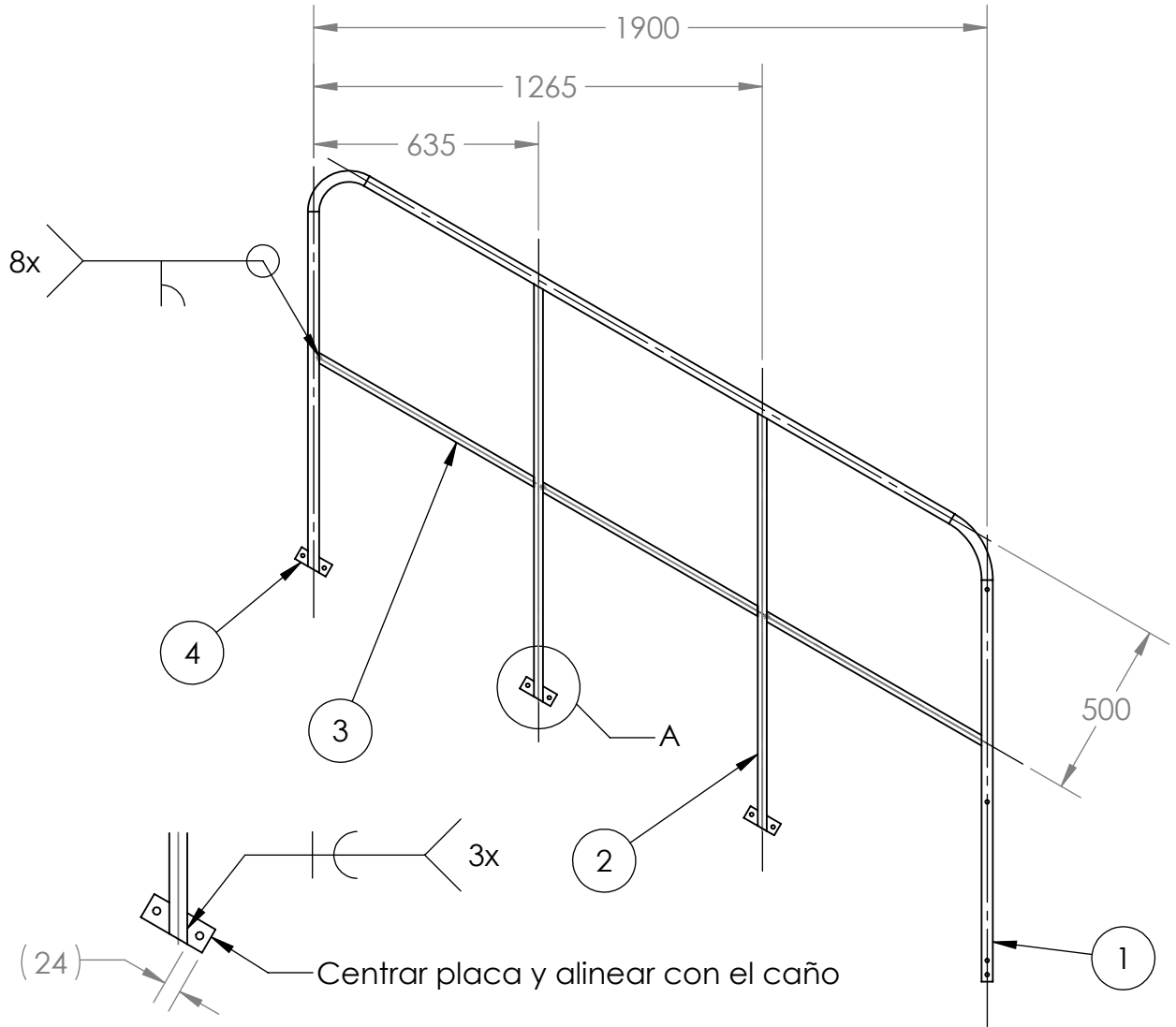


**Posición: 4**  
**N° de parte: FT.001 -P.021**  
**Espesor: 3.2mm**  
**Material: Planchuela 1-1/2" SAE 1010**

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0/±0.10	6/±0.20	30/±0.30	120/±0.50	400/±0.80	1000/±1.20	2000/±2.00	4000/±3.00	8000/±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25/√	6.3/√	1.6/√	0.4/√	0.25/√	0.125/√	0.063/√	0.031/√	0.015/√



REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJO	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022
<p><b>TÍTULO:</b> Subconjunto baranda LD</p> <p><b>DWG NO.:</b> FT.001-S.005</p> <p><b>REVISION:</b> A</p> <p><b>MATERIAL:</b></p> <p><b>TRAT. SUP.:</b> Fondo Epoxi + Acabado Poliuretánico</p>					
<p><b>NOTAS GENERALES:</b>  DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.  REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS</p>					
SCALE: 1:10			WEIGHT:		SHEET 2 OF 2
SCALE: 1:10			WEIGHT:		SHEET 2 OF 2



Pre tratamiento de 3 etapas:

Desengrase + Enjueague + Fosfato de Zinc

Terminación:

Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016

4	FT.001-P.021	3	Soporte para barandas	Planchuela 38,1 mm x 3,2mm x 100mm
3	FT.001-P.020	3	Baranda horizontal	Caño estructural redondo 25,4mm x 1,6mm
2	FT.001-P.019	2	Baranda vertical	Caño estructural redondo 25,4mm x 1,6mm
1	FT.001-P.018	1	Baranda principal	Caño estructural redondo 31,75mm x 1,6mm
Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0/6	6/30	30/120	120/400	400/1000	1000/2000	2000/4000	4000/8000	8000/>8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25-50	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.2				



REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

TITLE: **Subconjunto baranda LI**

DWG NO. **FT.001-S.006**

REVISION **A**

NOTAS GENERALES:  
 DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.  
 REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

MATERIAL:

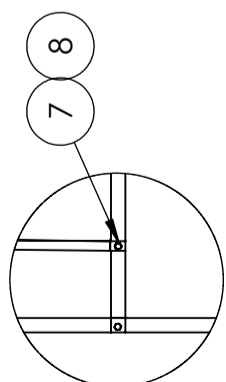
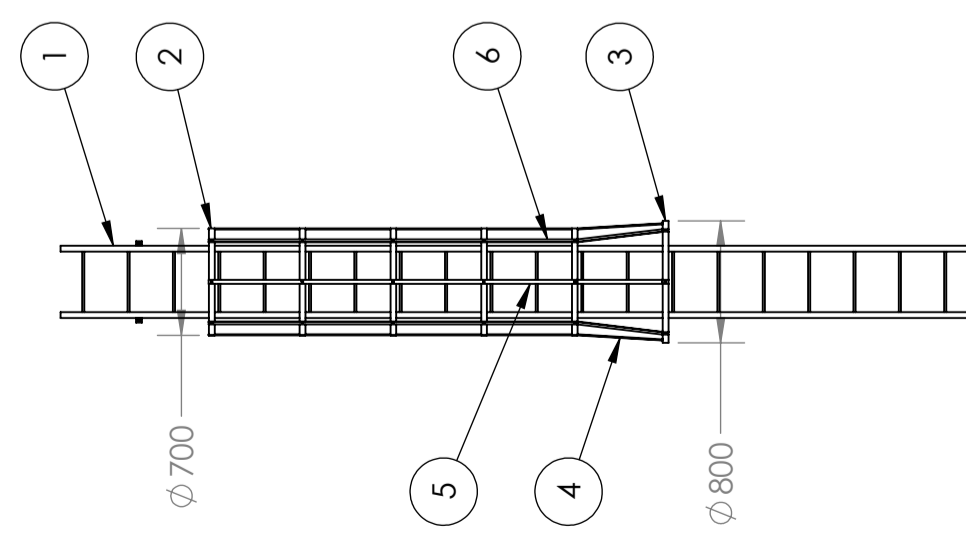
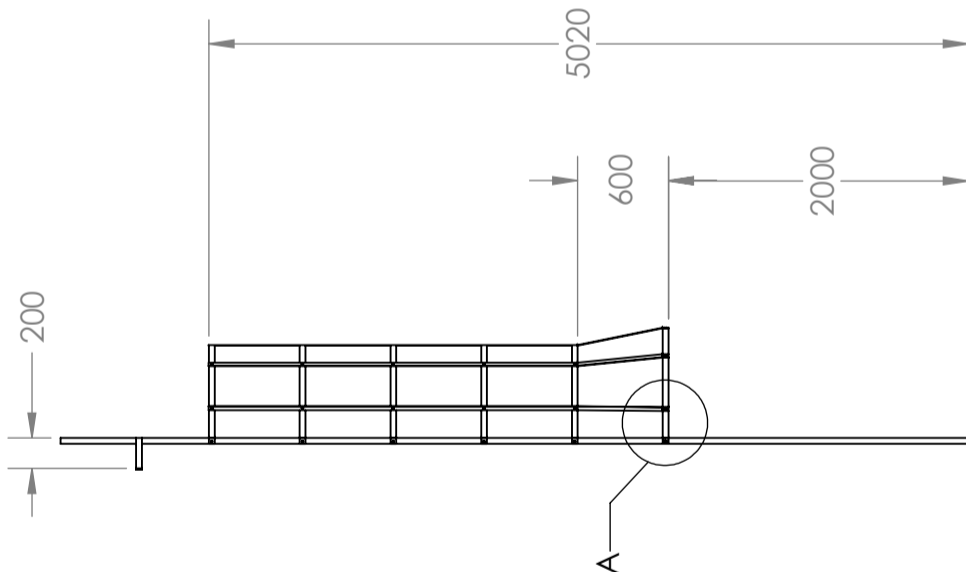
TRAT. SUP.: Fondo Epoxi + Acabado Poliuretánico

SCALE: 1:20

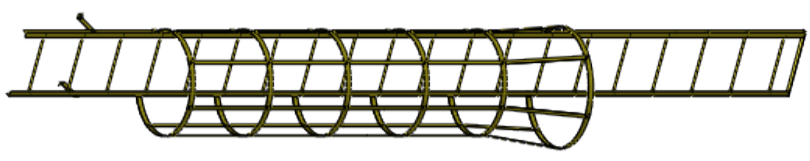
WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

SHEET SIZE **A4**



DETAIL A  
SCALE 1 : 20



Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación
8	FT.001-P.081	42	Tuerca GEOMET - M10	DIN B18.2.4.1M
7	FT.001-P.080	42	Bulón GEOMET - M10x1,5x30	DIN B18.2.3.1M
6	FT.001-P.029	2	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 3047mm
5	FT.001-P.028	1	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 3050mm
4	FT.001-P.027	2	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4 x 3,2mm x 3040mm
3	FT.001-P.026	1	Aro para jaula de protección - Entrada	Planchuela 38,1mm x 3,2mm x 2088mm
2	FT.001-P.025	5	Aro para jaula de protección	Planchuela 38,1mm x 3,2mm x 1760mm
1	FT.001-S.008	1	Subconjunto escalera vertical inferior	



TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	2.5	6.3	12.5	25	50	100	200	400	800
	0.005	0.01	0.02	0.04	0.08	0.15	0.30	0.60	1.25

REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

TITLE: Subconjunto escalera inferior

DWG NO. FT.001-S.007

REVISION A

SCALE: 1:50

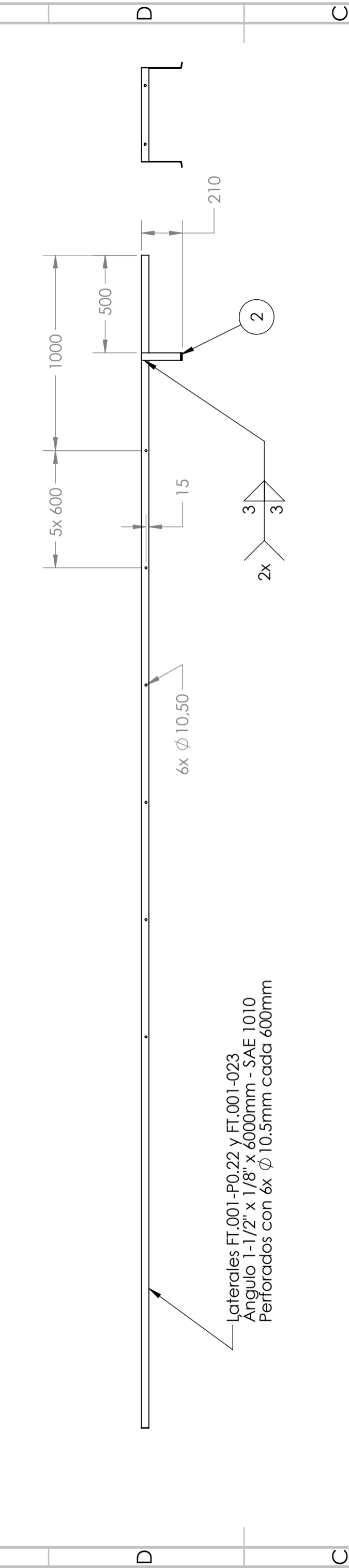
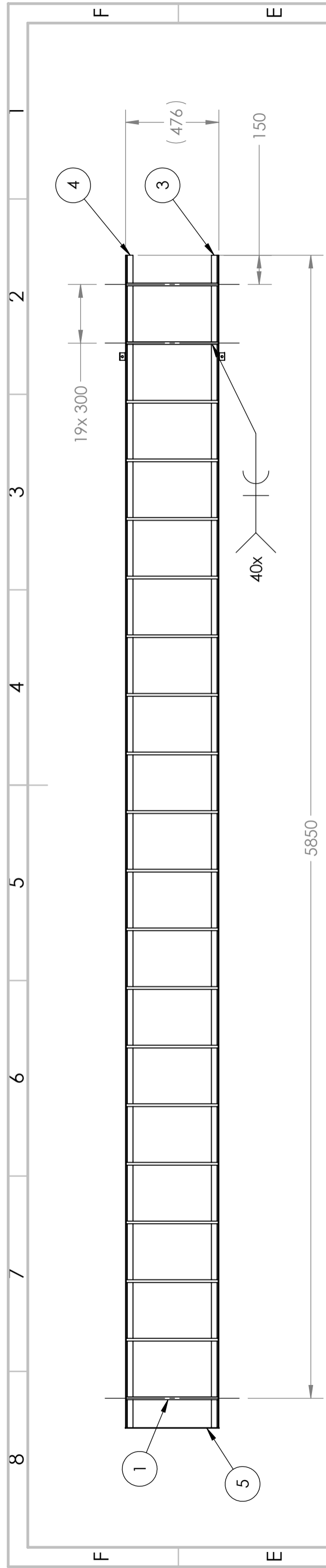
WEIGHT: SHEET 1 OF 1

SHEET SIZE A3

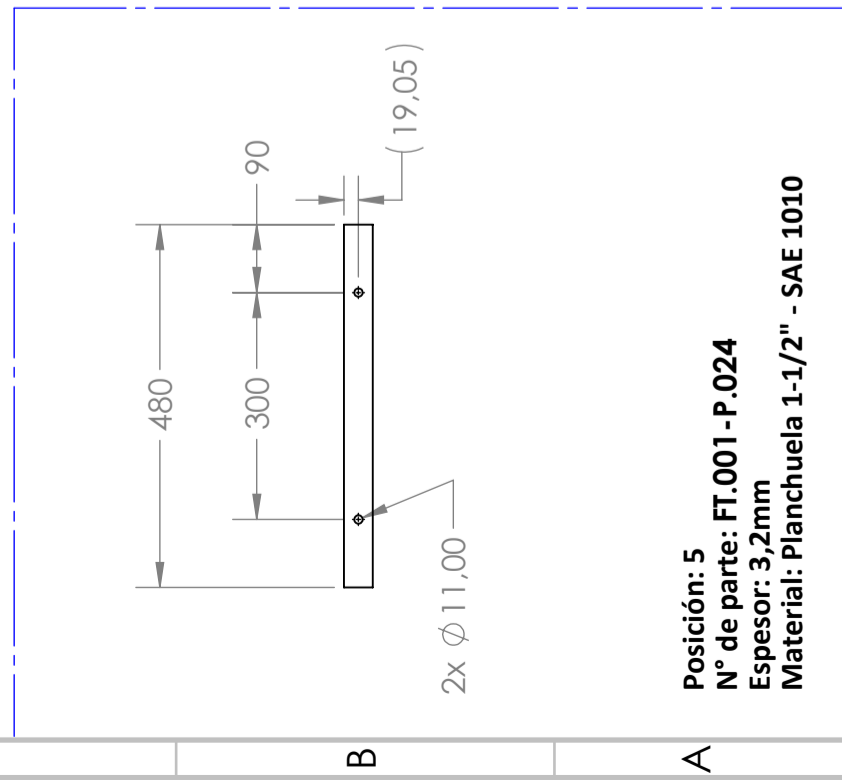
NOTAS GENERALES:  
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.  
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

MATERIAL:

TRAT. SUP.:



Laterales FT.001-P.022 y FT.001-023  
 Ángulo 1-1/2" x 1/8" x 6000mm - SAE 1010  
 Perforados con 6x Ø 10.5mm cada 600mm

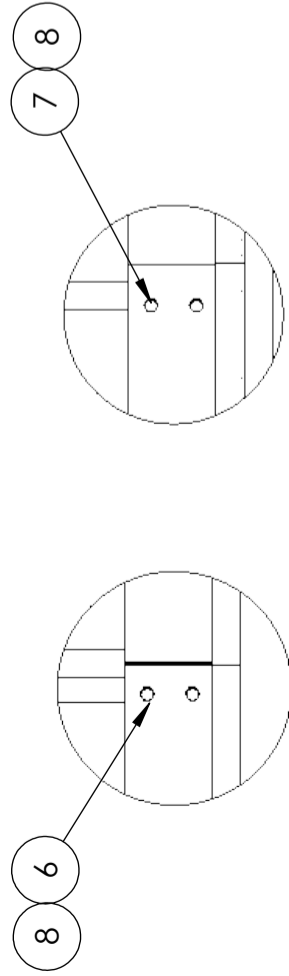
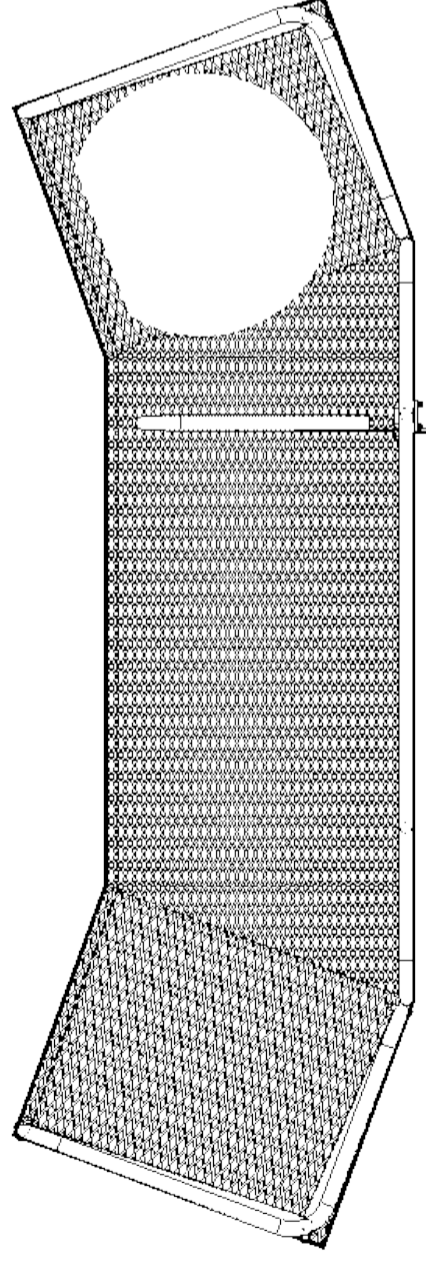
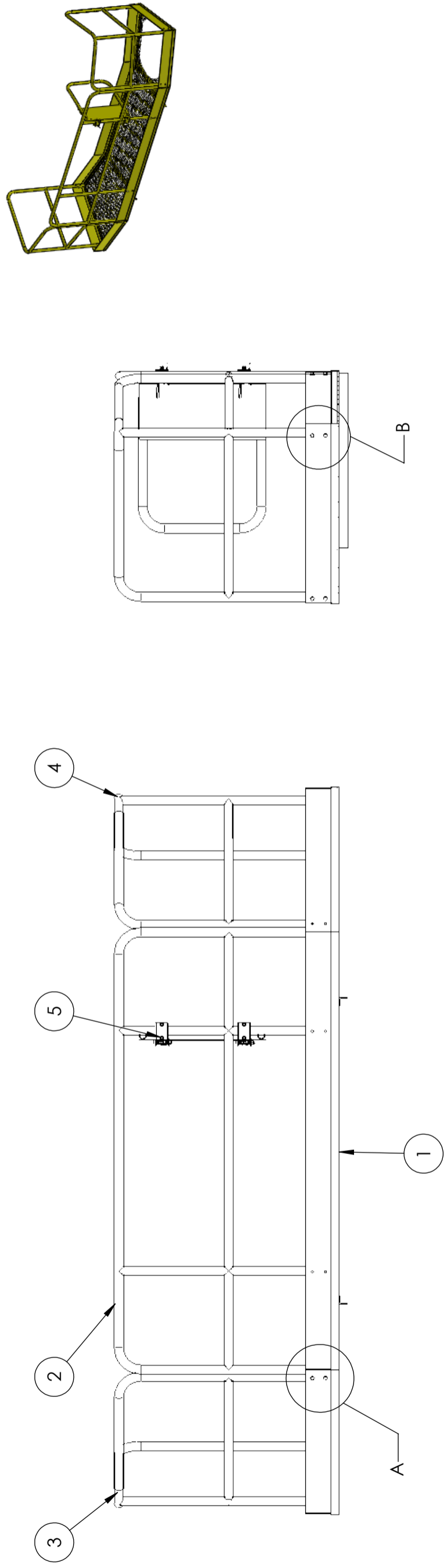


**Posición: 5**  
**N° de parte: FT.001 - P.024**  
**Espesor: 3,2mm**  
**Material: Planchuela 1-1/2" - SAE 1010**

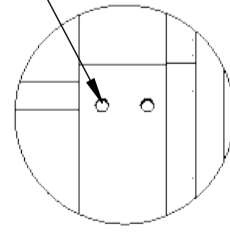
**Pre tratamiento de 3 etapas:**  
 Desengrase + Enjuague + Fosfato de Zinc  
**Terminación:**  
 Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016

Pos.	N° de parte	Cant.	Descripción	Observación
5	FT.001-P.024	1	Base de escalera	Planchuela 38,1mm x 3,2mm x 480mm
4	FT.001-P.023	1	Laterales de escalera	Ángulo 38,1mm x 3,2mm x 6000mm
3	FT.001-P.022	1	Laterales de escalera	Ángulo 38,1mm x 3,2mm x 6000mm
2	FT.001-P.015	2	Apoyo de escalera	Planchuela 38,1mm x 3,2mm x 230mm
1	FT.001-P.013	20	Escalaón	Barra redonda 14mm x 470mm

Pos.	N° de parte	Cant.	Descripción	Observación
TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)			0 / 6 / 30 / 120 / 400 / 1000 / 2000 / 4000 / 8000 / >8000	±0.10 / ±0.20 / ±0.30 / ±0.50 / ±1.20 / ±2.00 / ±3.00 / ±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)			2x-30 / 6.3-12.5 / 1.6-3.2 / 0.4-0.8 / 0.05-0.25	
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula		
FECHA			16/7/2022	
TÍTULO			Subconjunto escalera vertical inferior	
DWG NO.			FT.001-S.008	
REVISION			A	
MATERIAL:			Fondo Epoxi + Acabado Poliuretano	
TRAT. SUP.:			Fondo Epoxi + Acabado Poliuretano	
SCALE:			1:50	
WEIGHT:				
SHEET 1 OF 1			2	
SHEET SIZE			A3	



DETAIL A  
SCALE 1:10



DETAIL B  
SCALE 1:10

Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación
8	FT.001-P.081	18	Tuerca GEOMET - M10	DIN B18.2.4.1M
7	FT.001-P.086	4	Bulón GEOMET - M10x1.5x80	DIN B18.2.3.1M
6	FT.001-P.085	14	Bulón GEOMET - M10x1.5x50	DIN B18.2.3.1M
5	FT.001-S.014	1	Puerta de seguridad - Swing gate	
4	FT.001-S.013	1	Baranda LD	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
3	FT.001-S.012	1	Baranda LI	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
2	FT.001-S.011	1	Baranda central	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
1	FT.001-S.010	1	Base de plataforma	

Pos. N° de parte Cant. Descripción Observación

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00	



TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm) 25.00 6.3-12.5 1.6-3.2 0.4-0.8 0.05-0.2

REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

TÍTULO: 16/7/2022



Subconjunto  
plataforma

DWG NO. FT.001-S.009  
REVISION A

SCALE: 1:20 WEIGHT: SHEET 1 OF 1 SHEET SIZE A3

F

E

D

C

B

A

8

7

6

5

4

3

2

1

A

B

C

D

E

F

8

7

6

5

4

3

2

1

A

B

C

D

E

F

8

7

6

5

4

3

2

1

A

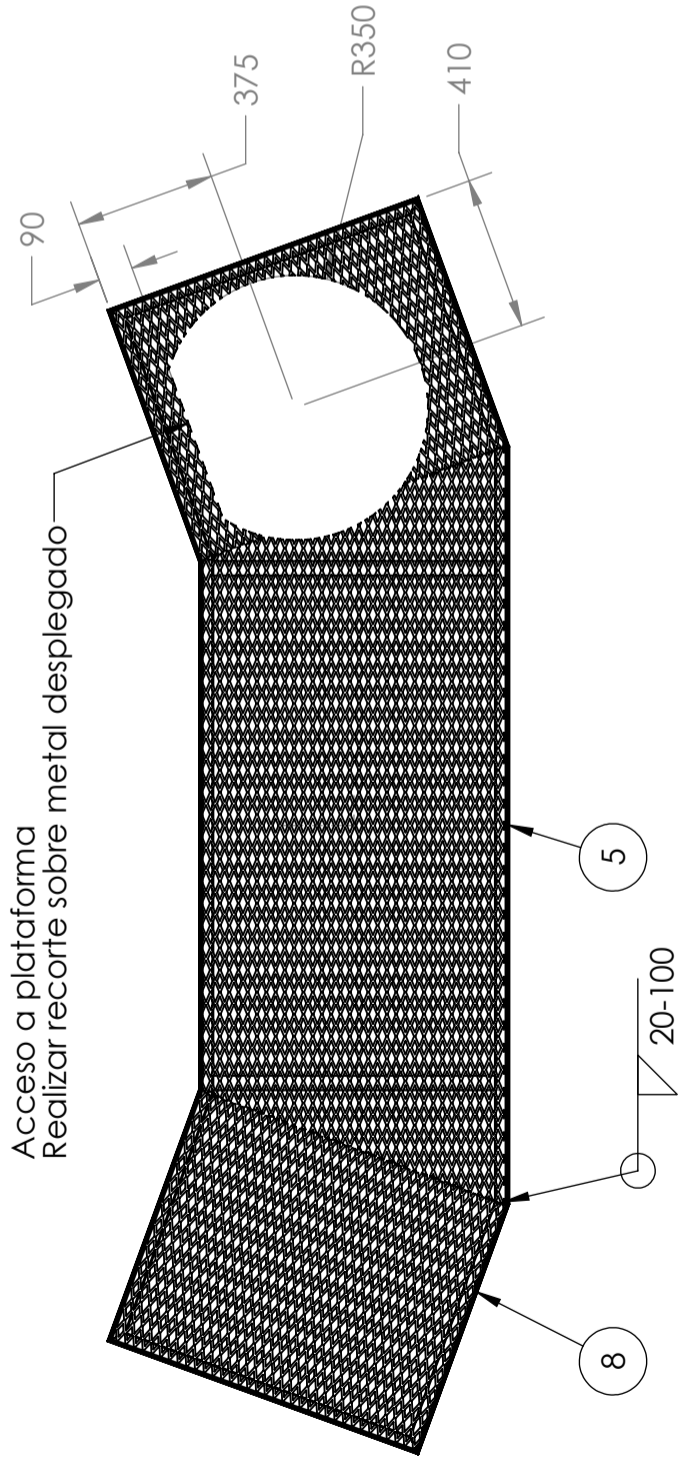
B

C

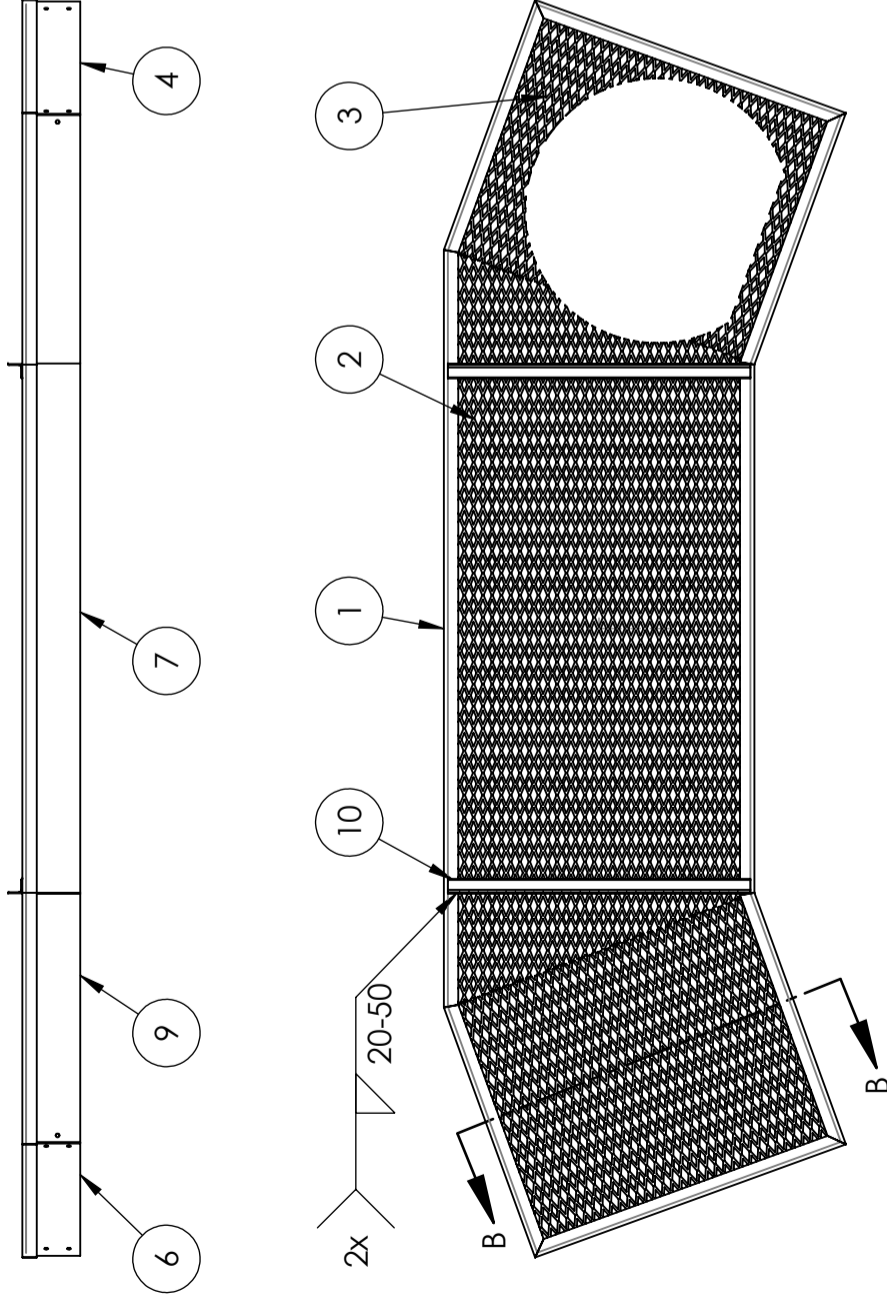
D

E

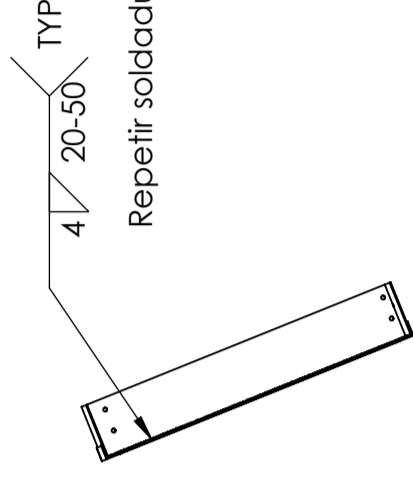
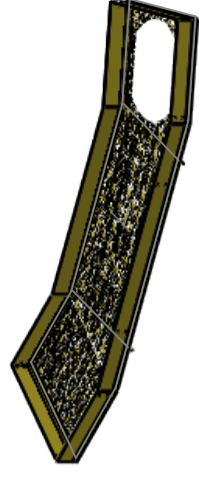
F



Soldar metal desplegado al perfil ángulo  
Soldar uniones de metal desplegado, laterales y centro.



Pre tratamiento de 3 etapas:  
Desengrase + Enjueague + Fosfato de Zinc  
Terminación:  
Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016



Repetir soldadura sobre los 8 guardapiés.

SECTION B-B

Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación
10	FT.001-P.036	2	Refuerzo base de plataforma	Ángulo 38,1mm x 3,2mm x 800mm
9	FT.001-P.039	2	Guardapiés	Chapa 1/8" - 700mm x 150mm
8	FT.001-P.038	2	Guardapiés	Chapa 1/8" - 700mm x 150mm
7	FT.001-P.035	1	Guardapiés	Chapa 1/8" - 1400mm x 150mm
6	FT.001-P.034	1	Guardapiés	Chapa 1/8" - 870mm x 150mm
5	FT.001-P.033	1	Guardapiés	Chapa 1/8" - 2000mm x 150mm
4	FT.001-P.032	1	Guardapiés	Chapa 1/8" - 870mm x 150mm
3	FT.001-P.037	2	Malla de metal desplegado	Metal desplegado 670-30-60
2	FT.001-P.031	1	Malla de metal desplegado	Metal desplegado 670-30-60
1	FT.001-P.030	1	Marco base para plataforma	Ángulo 38,1mm x 3,2mm x 7900mm

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00	



REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA	TÍTULO
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022	Base de plataforma

Base de plataforma

NOTAS GENERALES:	DWG NO.	REVISION
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	FT.001-S.010	A

TRAT. SUP.: Base Epoxi + Acabado Poliuretano

SHEET 1 OF 3

WEIGHT:

2

3

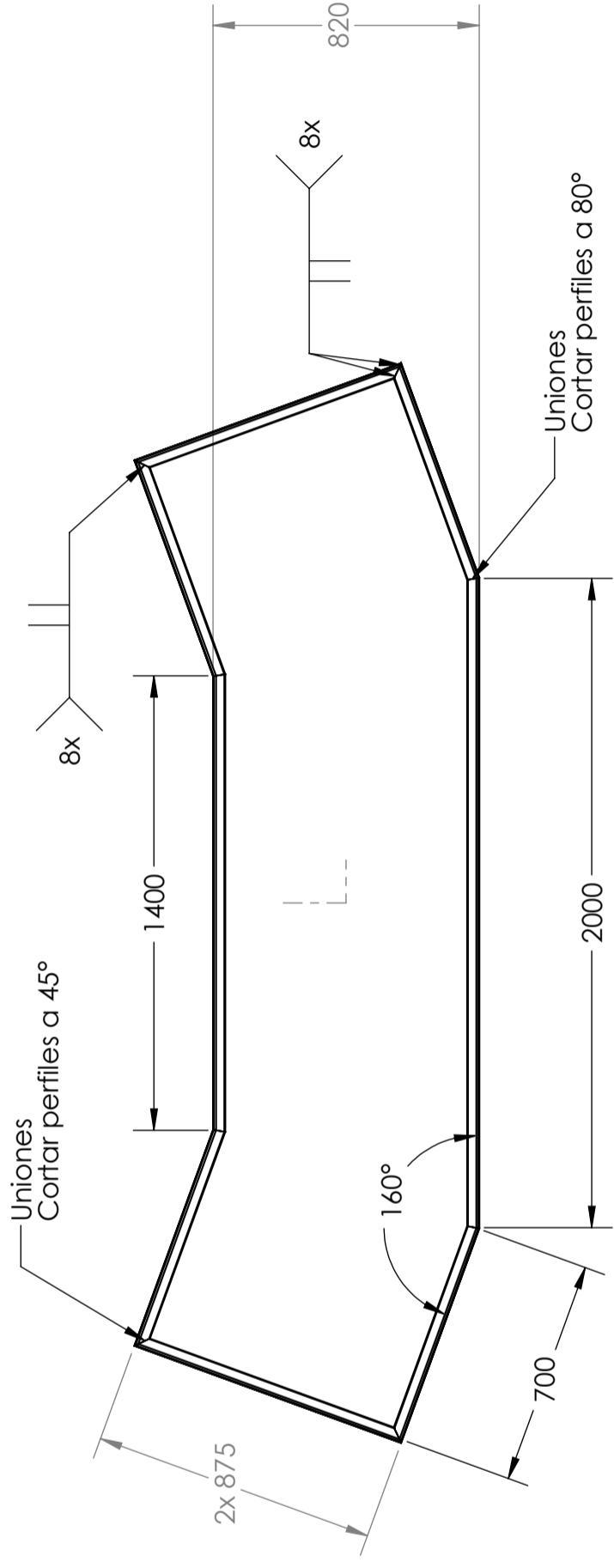
4

5

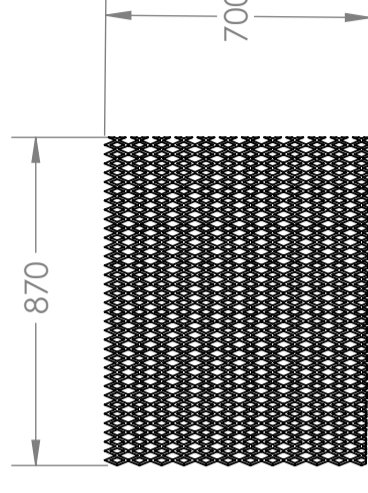
6

7

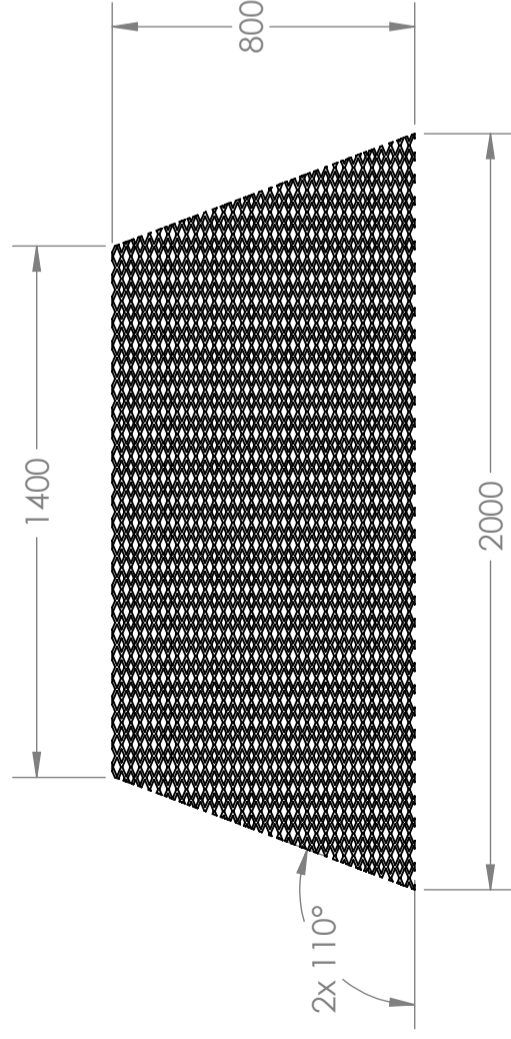
8



Posición: 1  
 N° de parte: FT.001 -P.030  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Angulo 1-1/2" - SAE 1010



Posición: 2  
 N° de parte: FT.001 -P.032  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Metal desplegado 670-30-60 - SAE 1010



Posición: 3  
 N° de parte: FT.001 -P.037  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Metal desplegado 670-30-60 - SAE 1010

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)		0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
		±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)		25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.00-0.25	0.00-0.25	0.00-0.25	0.00-0.25	0.00-0.25
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA					
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022					
NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		MATERIAL:								

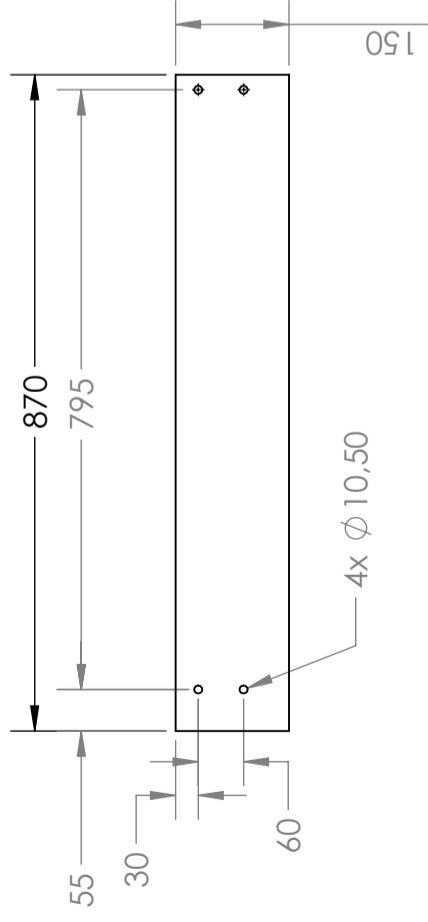


Base de plataforma

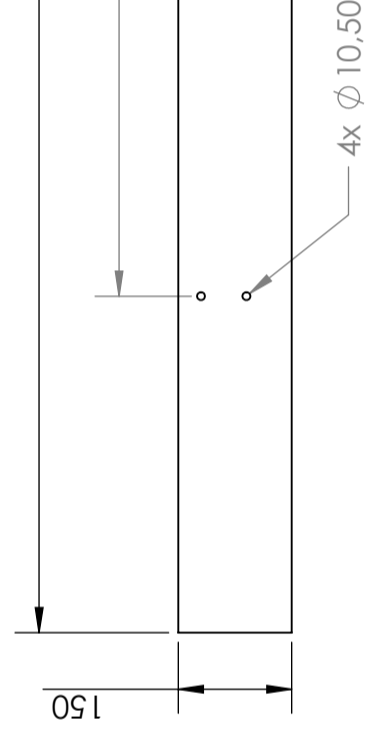
FT.001-S.010

SCALE: 1:20 WEIGHT: SHEET 2 OF 3 SHEET SIZE: A3

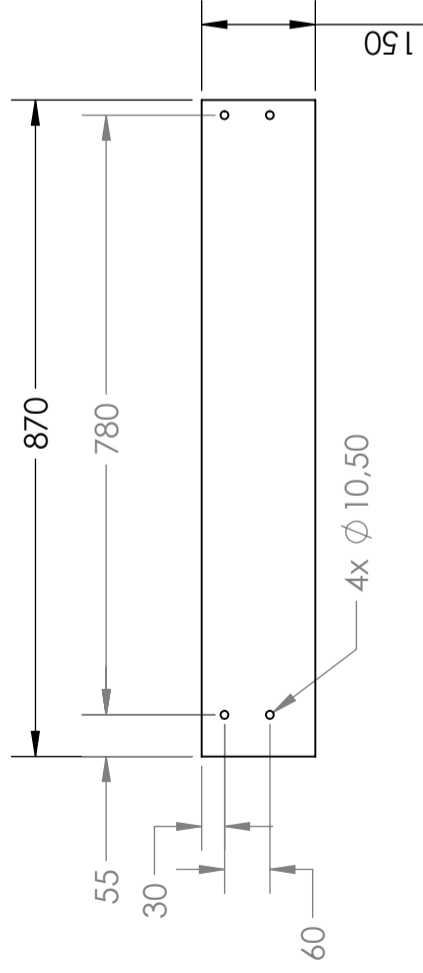




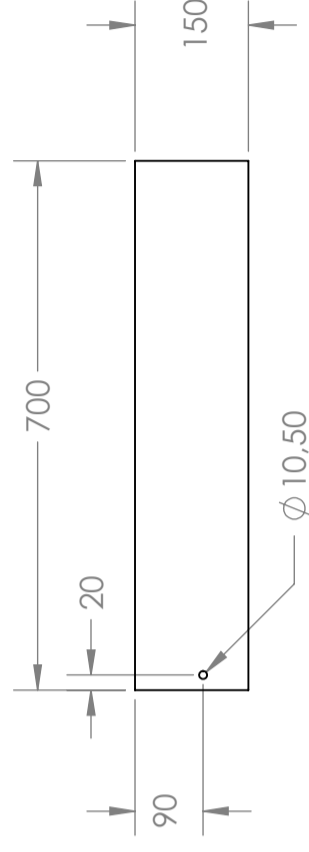
Posición: 4  
 N° de parte: FT.001 - P.032  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Chapa 1/8" - SAE 1010



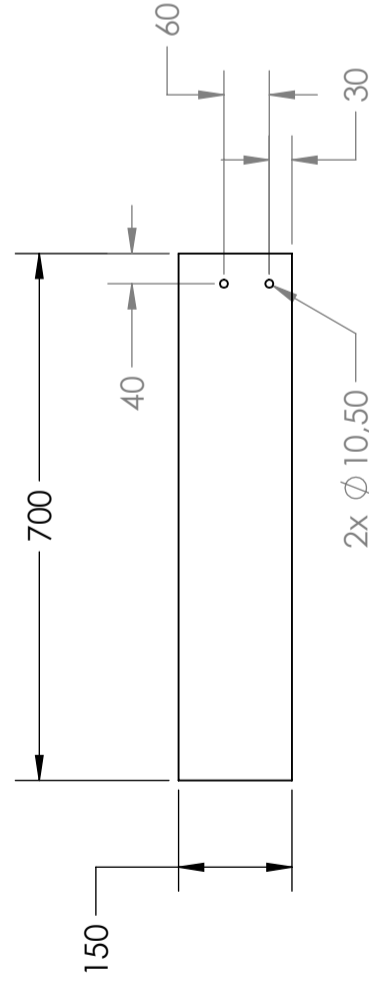
Posición: 5  
 N° de parte: FT.001 - P.033  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Chapa 1/8" - SAE 1010



Posición: 6  
 N° de parte: FT.001 - P.034  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Chapa 1/8" - SAE 1010



Posición: 9  
 N° de parte: FT.001 - P.039  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Chapa 1/8" - SAE 1010



Posición: 8  
 N° de parte: FT.001 - P.038  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Chapa 1/8" - SAE 1010



Base de plataforma

TITLE:

FECHA  
16/7/2022

APROBÓ

DIBUJÓ  
J.L.Chaula

REVISÓ

DESCRIPCIÓN  
Rev. para construcción

REV. A

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)

±0.10  
±0.20  
±0.30  
±0.50  
±1.20  
±2.00  
±3.00  
±4.00

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)

0  
±0.10  
±0.20  
±0.30  
±0.50  
±1.20  
±2.00  
±3.00  
±4.00

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)

2.5-3.2  
6.3-12.5  
1.6-3.2  
0.4-0.8  
0.05-0.2

APROBÓ

FECHA

16/7/2022

DIBUJÓ

J.L.Chaula

REVISÓ

DESCRIPCIÓN

REV. A

MATERIAL:  
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACION CONTRARIA.  
REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

DWG NO.

FT.001-S.010

REVISION

A

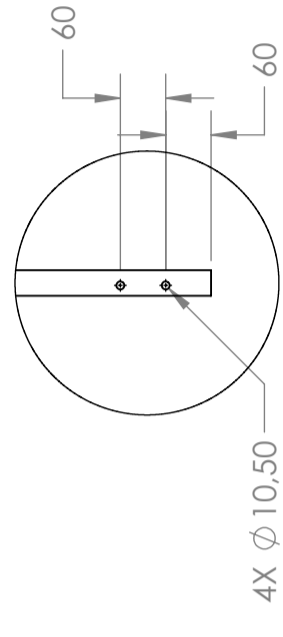
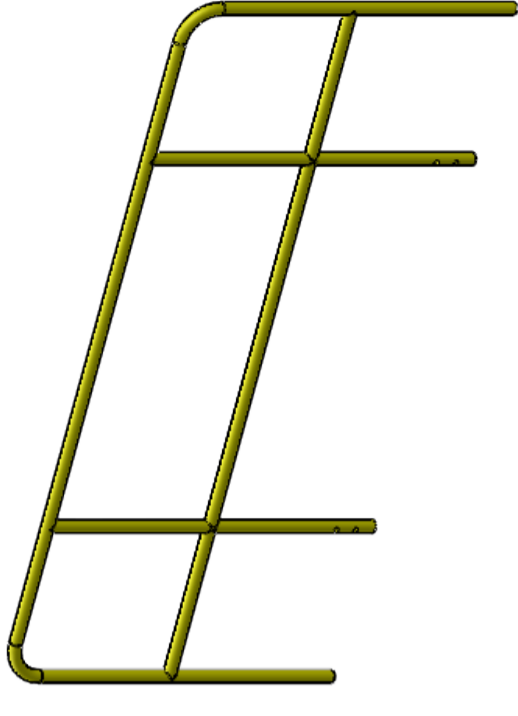
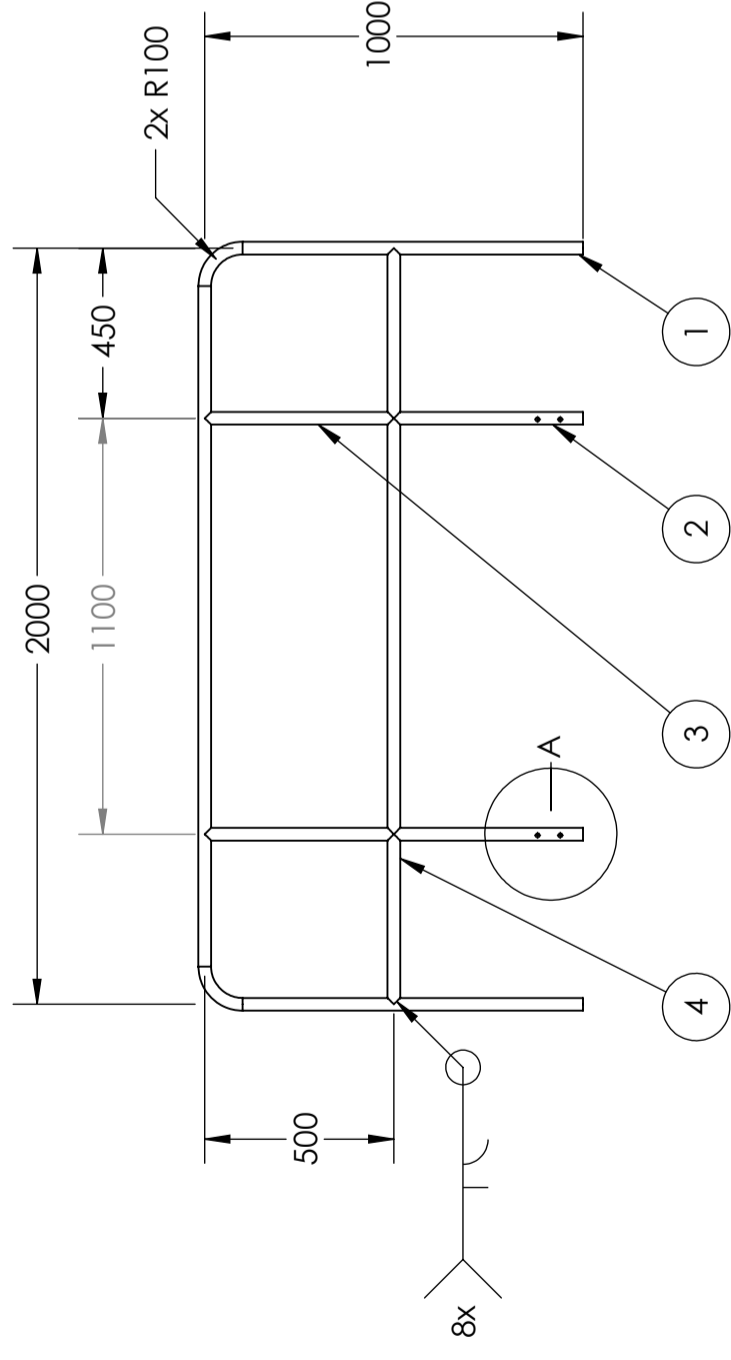
SCALE: 1:10

WEIGHT:

SHEET 3 OF 3

SHEET SIZE

A3



DETAIL A  
SCALE 1 : 10

ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	LENGTH
4	1	FT.001-P.043	2000 mm
3	2	FT.001-P.042	1000 mm
2	2	FT.001-P.040	1000 mm
1	1	FT.001-P.041	3950 mm

TABLA DE CORTES

**Pre tratamiento de 3 etapas:**  
 Desengrase + Enjuague + Fosfato de Zinc  
**Terminación:**  
 Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016

Pos.	N° de parte	Cant.	Descripción	Observación
4	FT.001-P.043	1	Guarda Rodilla	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
3	FT.001-P.042	2	Caño vertical	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
2	FT.001-P.040	2	Caño vertical	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
1	FT.001-P.041	1	Baranda central	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.2
	▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	▽▽▽▽▽

REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

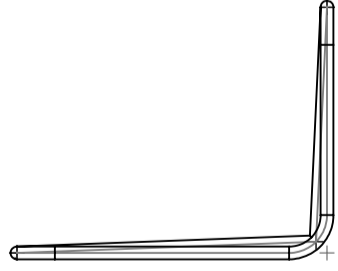
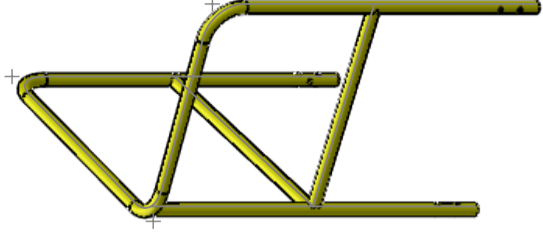
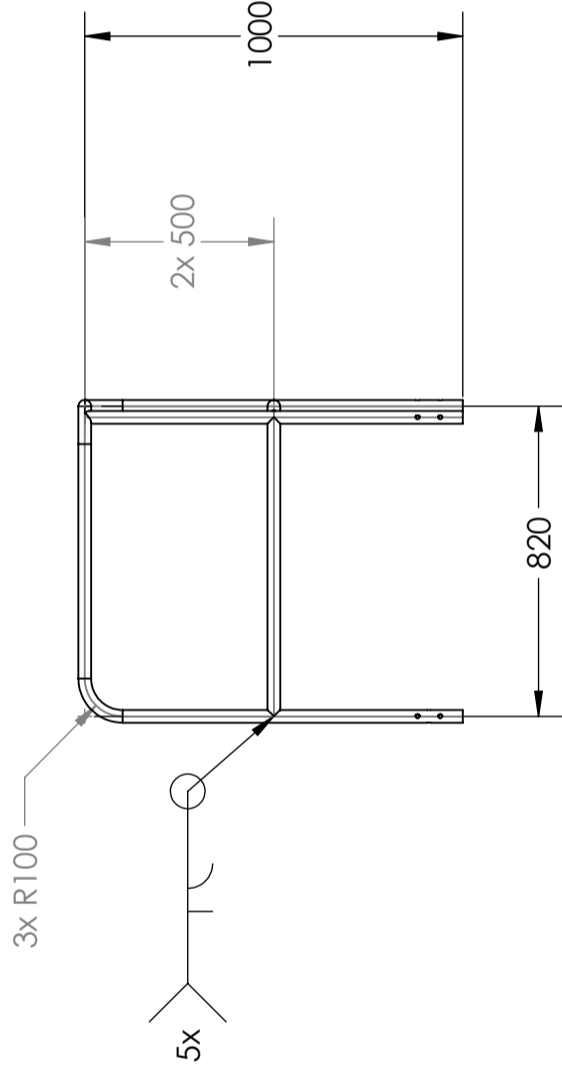
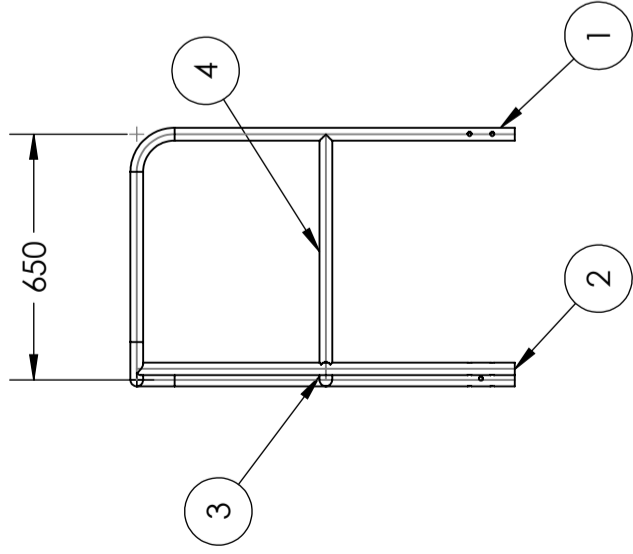
  

TÍTULO	DWG NO.	REVISION
Baranda central		A
		FT.001-S.011

NOTAS GENERALES:	MATERIAL:	TRAT. SUP.:
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACION CONTRARIA.	Tubo de uso mecánico - SAE 1010	Base Epoxi + Acabado Poliuretano





4	1	33.7 x 3.2	610
3	1	33.7 x 3.2	791.25
2	1	33.7 x 3.2	1000
1	1	33.7 x 3.2	3341.24
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	LENGTH

TABLA DE CORTES

**Pre tratamiento de 3 etapas:**  
 Desengrase + Enjuague + Fosfato de Zinc  
**Terminación:**  
 Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016

4	FT.001-P.046	1	Guardarodillas	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
3	FT.001-P.045	1	Guardarodillas	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
2	FT.001-P.047	1	Parante	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
1	FT.001-P.044	1	Baranda LI	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
Pos.	N° de parte	Cant.	Descripción	Observación

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.25	0.05-0.25	0.05-0.25	0.05-0.25

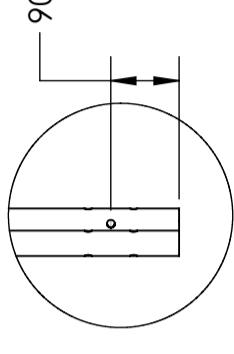
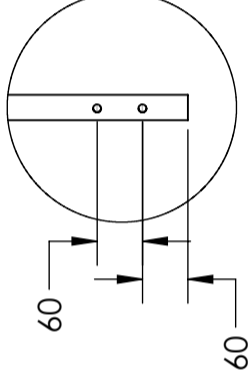
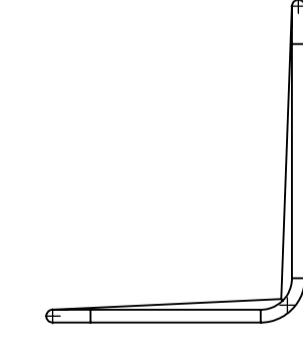
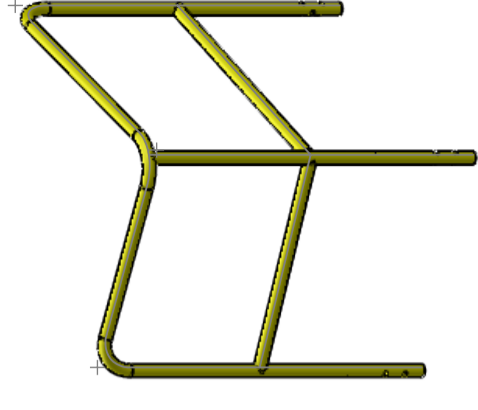
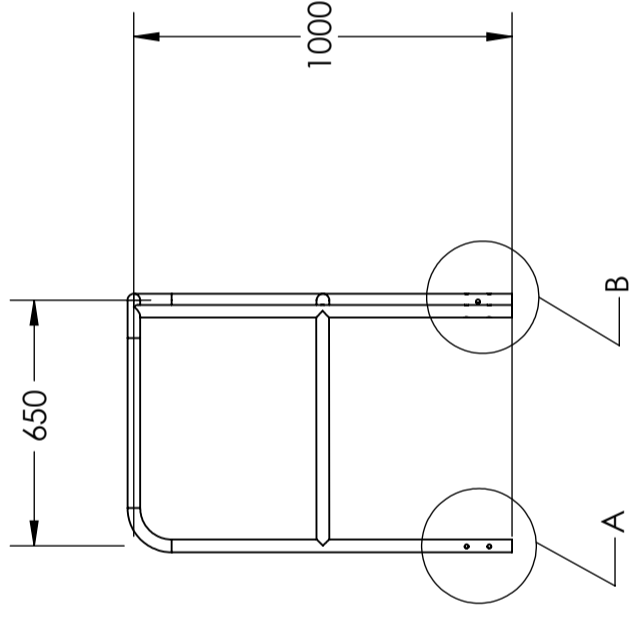
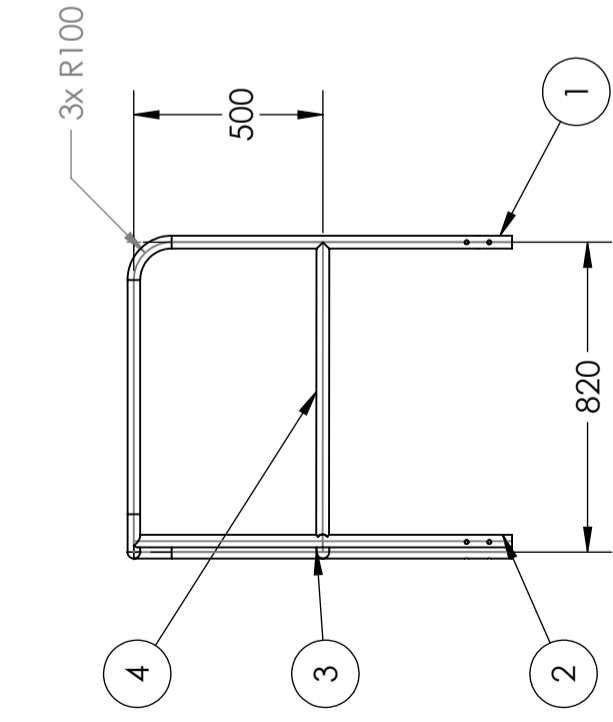


REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

Baranda LI

TÍTULO:	Baranda LI
DWG NO.	FT.001-S.012
MATERIAL:	Tubo de uso mecánico - SAE 1010
TRAT. SUP.:	Base Epoxi + Acabado Poliuretano

REVISION	A
SCALE: 1:20	2
WEIGHT:	3
SHEET 1 OF 1	1
SHEET SIZE	A3



DETAIL A  
SCALE 1 : 10

DETAIL B  
SCALE 1 : 10

4	1	33.7 x 3.2	779.86
3	1	33.7 x 3.2	621.4
2	1	33.7 x 3.2	1000
1	1	33.7 x 3.2	3341.24
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	LENGTH

TABLA DE CORTES

4	FT.001-P.045	1	Guarda Rodillas	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
3	FT.001-P.046	1	Guarda Rodillas	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
2	FT.001-P.047	1	Parante	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
1	FT.001-P.048	1	Baranda LD	Tubo de uso mecánico - diám. 33.7x3.2mm - IRAM 2592
Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación



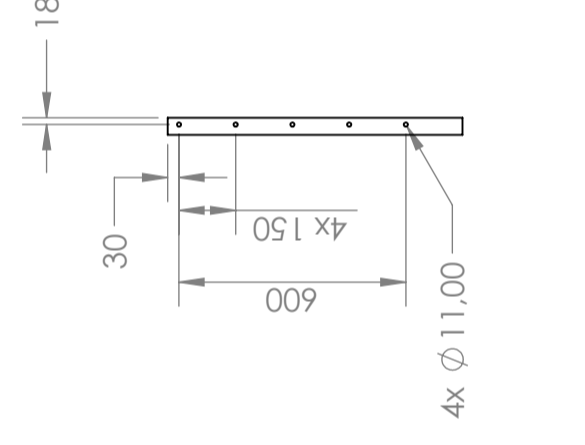
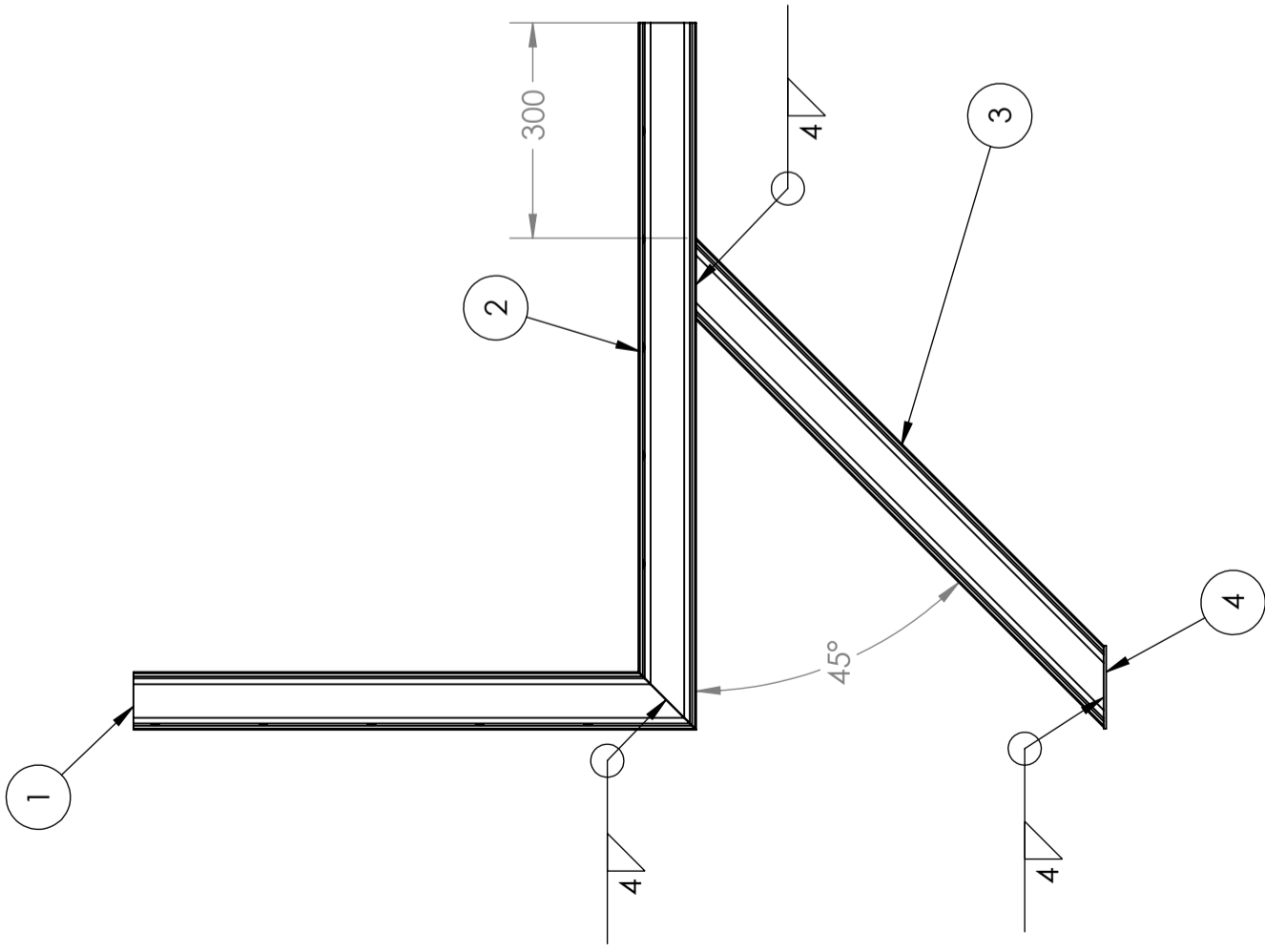
Baranda LD

Pre tratamiento de 3 etapas:  
Desengrase + Enjuague + Fosfato de Zinc  
Terminación:  
Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016

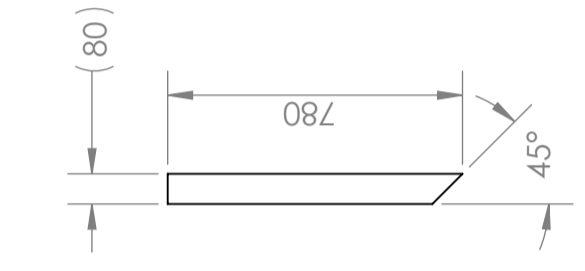
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA	TÍTULO
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022	Baranda LD

NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACION CONTRARIA. REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		MATERIAL: Tubo de uso mecánico - SAE 1010	
TRAT. SUP.: Base Epoxi + Acabado Poliuretano		SCALE: 1:20	WEIGHT:

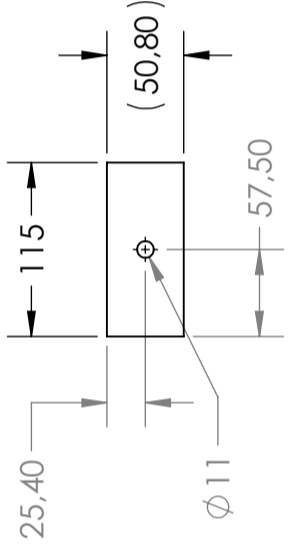
DWG NO.	FT.001-S.013	REVISION	A
SCALE: 1:20	SHEET 1 OF 1	WEIGHT:	SHEET SIZE A3



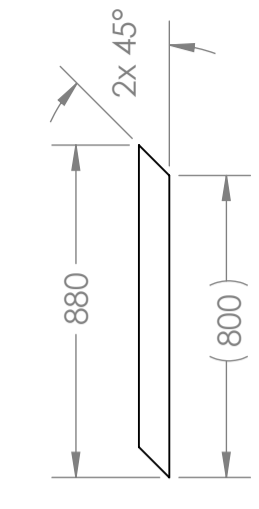
**Posición: 1**  
**N° de parte: FT.001-P.049**  
**Material: Perfil UPN 80 - Comercial**



**Posición: 2**  
**N° de parte: FT.001-P.050**  
**Material: Perfil UPN 80 - Comercial**



**Posición: 3**  
**N° de parte: FT.001-P.051**  
**Material: Perfil UPN 80 - Comercial**



**Posición: 4**  
**N° de parte: FT.001-P.052**  
**Espesor: 3,2 mm**  
**Material: Planchuela 2" x 1/8" - SAE 1010**

Pos.	N° de parte	Cant.	Descripción
4	FT.001-P.052	1	Base de ménsula
3	FT.001-P.051	1	Perfil UPN80
2	FT.001-P.050	1	Perfil UPN80
1	FT.001-P.049	1	Perfil UPN80

Observación

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.2
	▽	▽	▽	▽	▽

REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

NOTAS GENERALES:  
 DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.  
 REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

MATERIAL:  
 TRAT. SUP.: Base Epoxi - Acabado Poliuretánico



**Subconjunto ménsula lateral**

DWG NO. **FT.001-S.015**

REVISION **A**

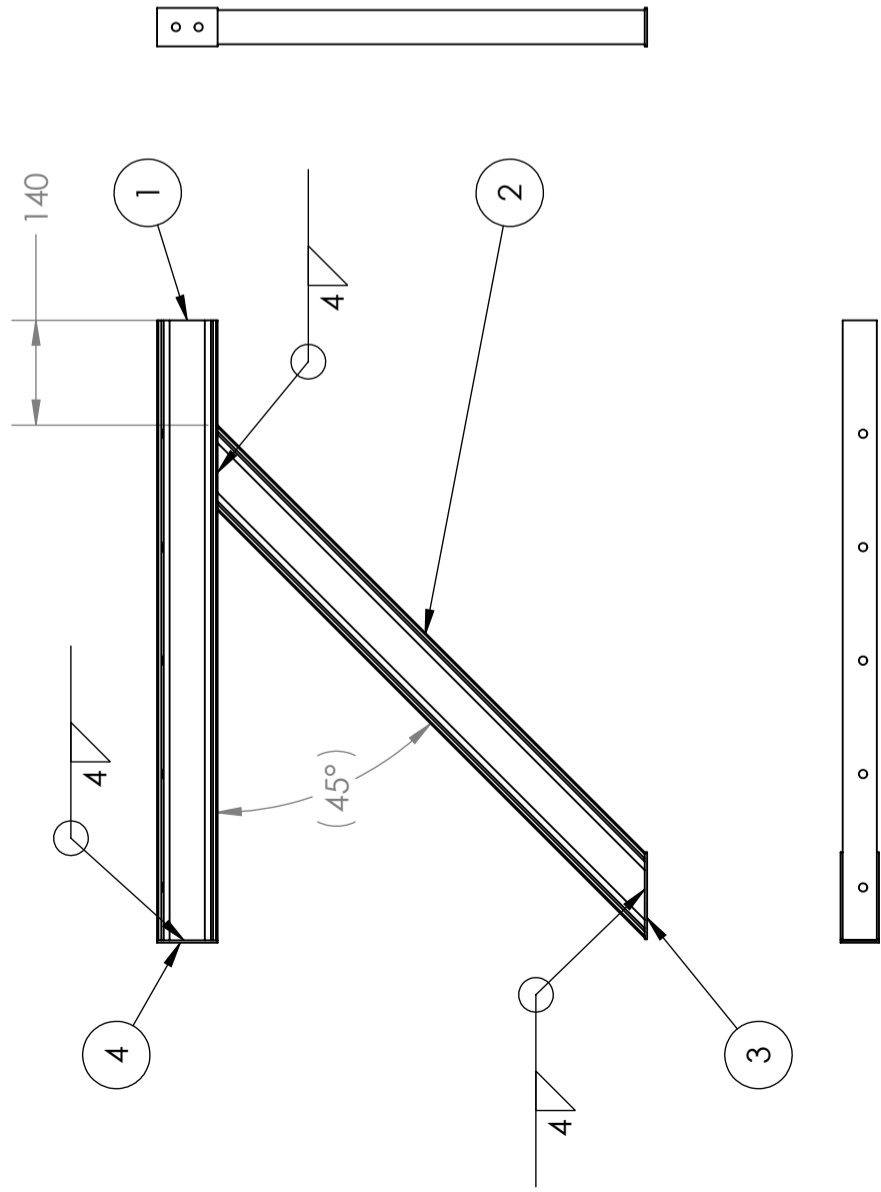
SCALE: 1:10

WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

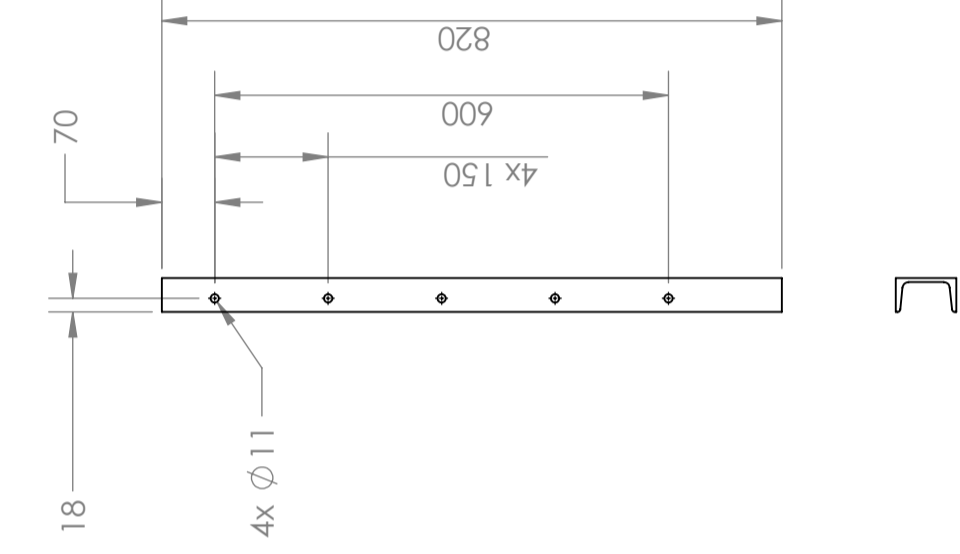
SHEET SIZE **A3**

**Pre tratamiento de 3 etapas:**  
 Desengrase + Enjuague + Fosfato de Zinc  
**Terminación:**  
 Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 7015

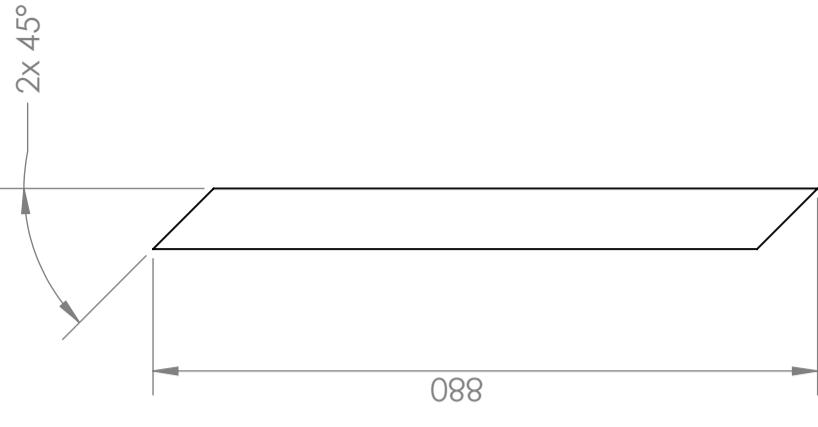


**Pre tratamiento de 3 etapas:**  
 Desengrase + Enjueague + Fosfato de Zinc  
**Terminación:**  
 Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 7015

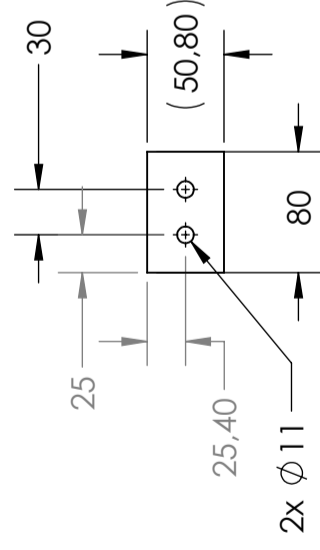
**Posición: 4**  
**N° de parte: FT.001 - P.056**  
**Espesor: 3,2 mm**  
**Material: Planchuela 2" x 1/8" - SAE 1010**



**Posición: 1**  
**N° de parte: FT.001 - P.053**  
**Material: Perfil UPN 80 - Comercial**



**Posición: 2**  
**N° de parte: FT.001 - P.054**  
**Material: Perfil UPN 80 - Comercial**



Pos.	N° de parte	Cant.	Descripción	Observación
4	FT.001-P.056	1	Base de ménsula	Planchuela 2" x 1/8" x 80 mm
3	FT.001-P.052	1	Base de ménsula	Planchuela 2" x 1/8" x 115mm - SAE 1010
2	FT.001-P.054	1	Perfil UPN 80	Perfil UPN 80 x 880 mm
1	FT.001-P.053	1	Perfil UPN 80	Perfil UPN 80 x 820 mm

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.2
	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	▽▽▽▽▽	▽▽▽▽▽▽



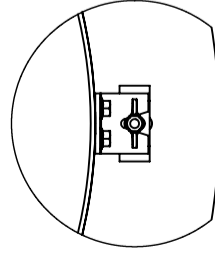
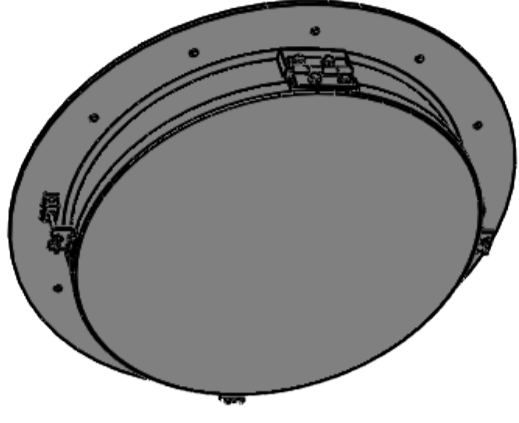
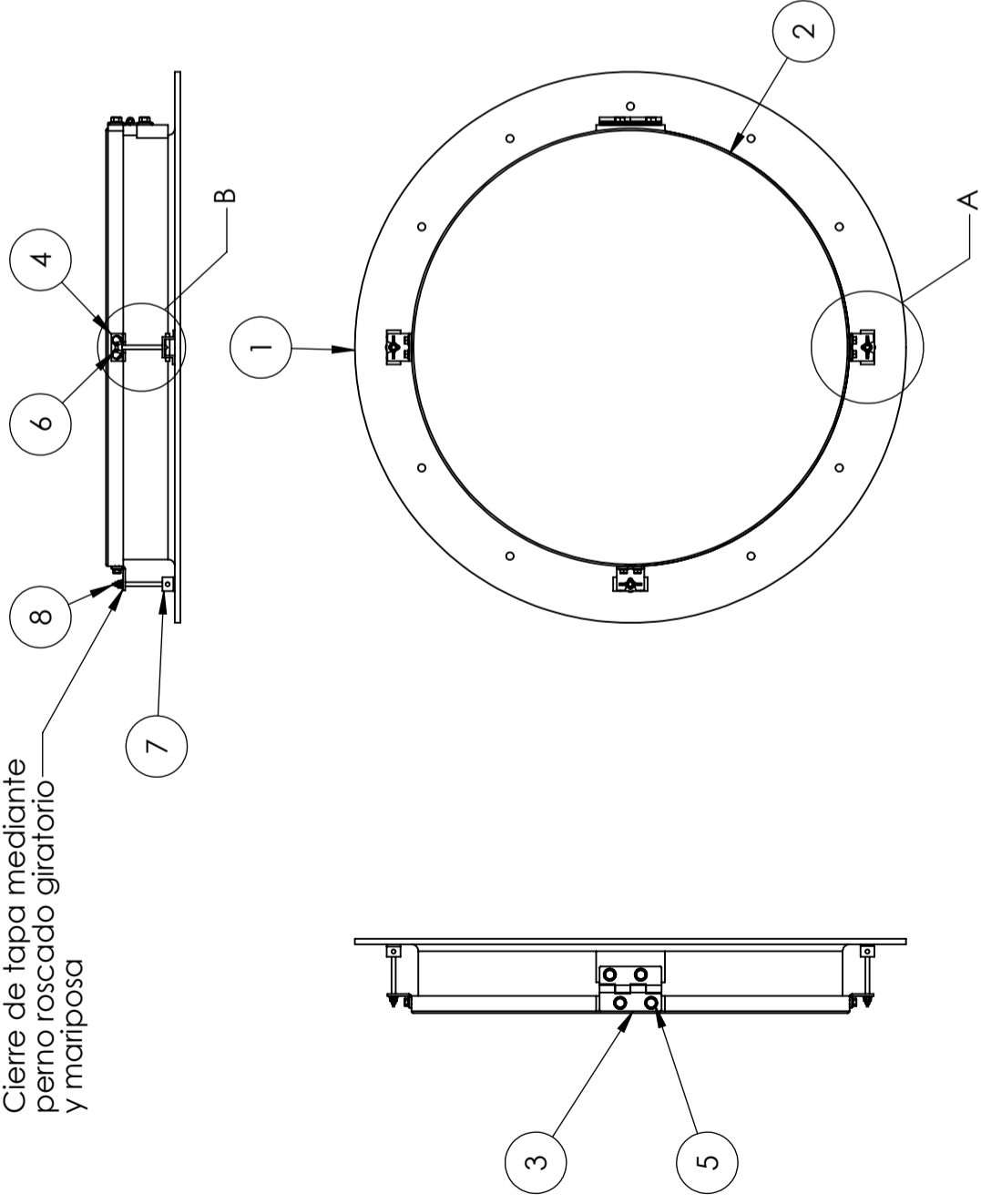
REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA	TÍTULO
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022	Subconjunto ménsula central

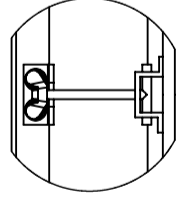
DWG NO.	REVISION
FT.001-S.016	A

**Posición: 4**  
**N° de parte: FT.001 - P.056**  
**Espesor: 3,2 mm**  
**Material: Planchuela 2" x 1/8" - SAE 1010**

Cierre de tapa mediante perno roscado giratorio y mariposa



DETAIL A  
SCALE 1 : 5



DETAIL B  
SCALE 1 : 5

Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación
8	FT.001-P.092	3	Mariposa	Acero Inox. AISI 304
7	FT.001-P.091	3	Perno de cierre	Acero Inox. AISI 304
6	FT.001-P.090	6	Bulón acero Inox. 304 - M6 x1 x30mm	DIN B18.2.3.1M
5	FT.001-P.088	4	Bulón acero inox. 304 - M8 x1.5 x 40mm	DIN B18.2.3.1M
4	FT.001-P.089	3	Placa de cierre	Acero Inox. AISI 304
3	FT.001-P.087	1	Bisagra	Bisagra de barra sueita - 88mm x 55mm AISI 304
2	FT.001-P.058	1	Tapa boca de inspección	PRFV
1	FT.001-P.057	1	Base boca de inspección	PRFV

Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación			
TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)							
0	30	120	400	1000	2000	4000	8000
±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)							
25.00	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.00-0.25			



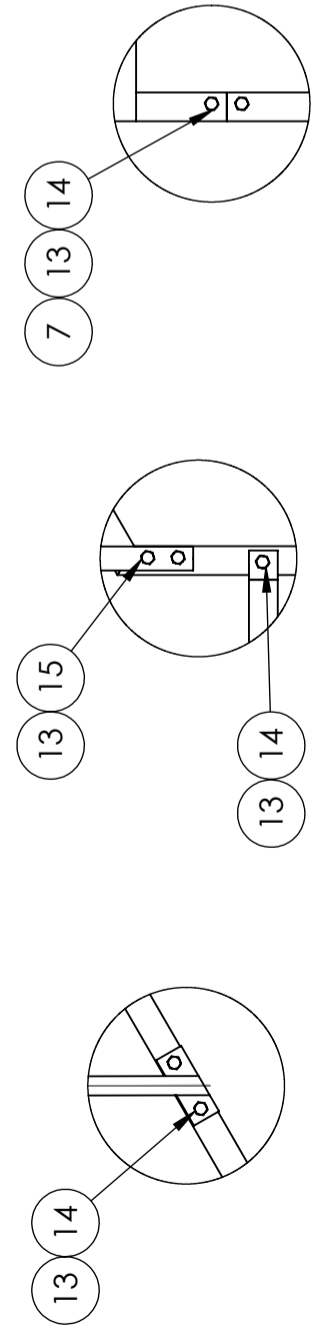
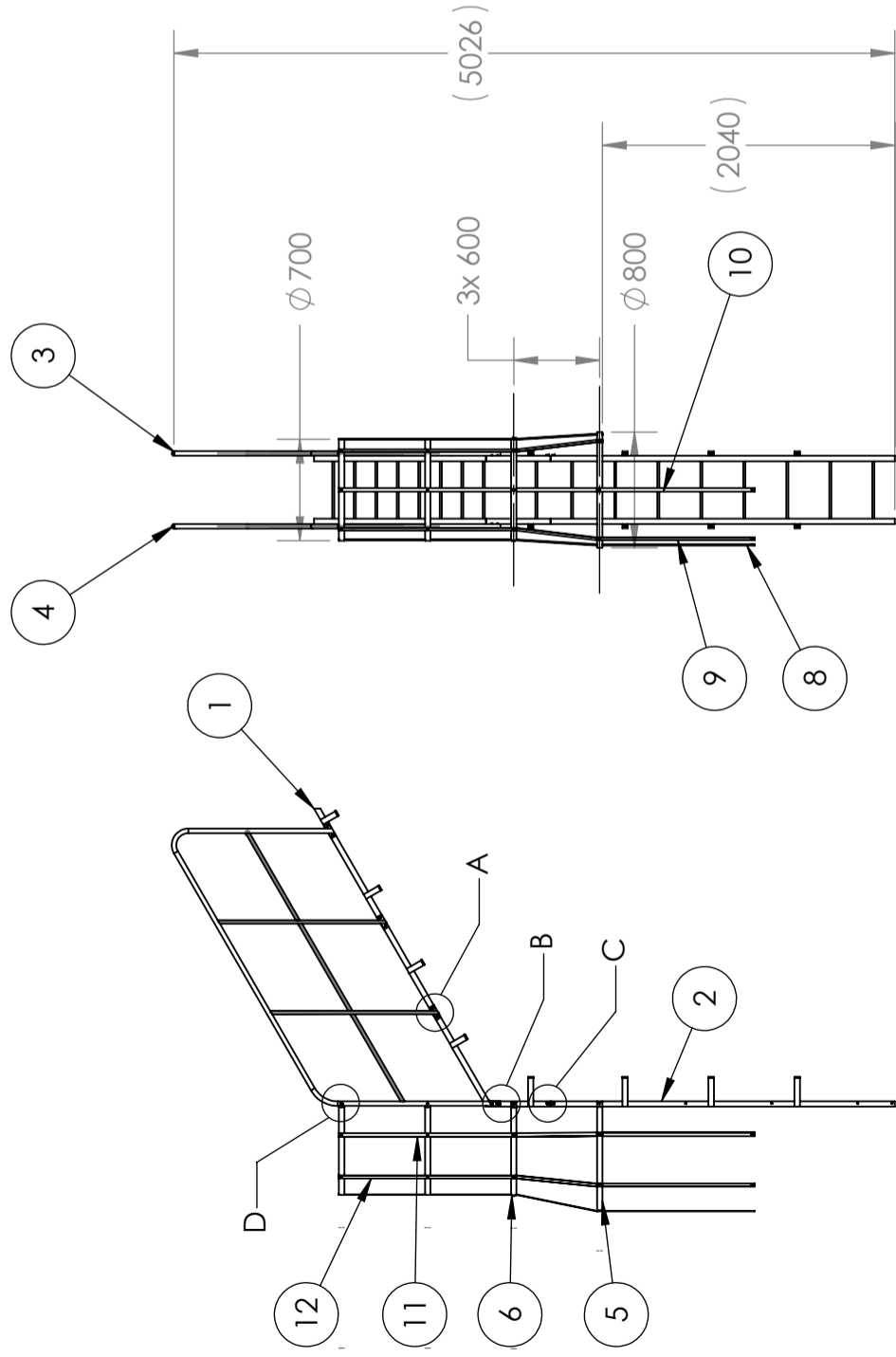
TÍTULO:  
**Subconjunto boca de inspección**

DWG NO. FT.001-S.017  
REVISION A

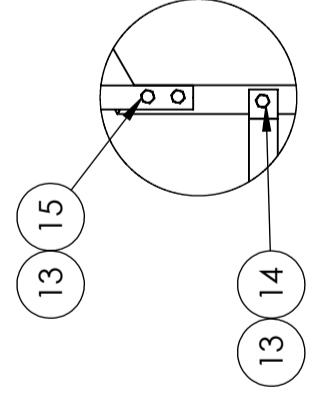
SCALE: 1:10  
WEIGHT:  
SHEET 1 OF 1  
SHEET SIZE A3

FECHA: 16/7/2022  
DIBUJÓ: J.L.Chaula  
REVISÓ:  
MATERIAL:  
TRAT. SUP.:

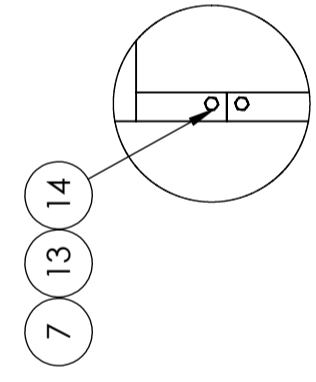
NOTAS GENERALES:  
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.  
REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS



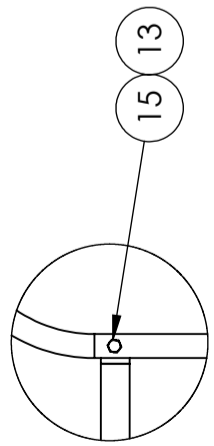
DETALLE A  
ESCALA 1:10



DETALLE B  
ESCALA 1:10



DETALLE C  
ESCALA 1:10



DETALLE D  
ESCALA 1:10

Pos.	Nº de parte	Cant.	Descripción	Observación
15	FT.001-P.085	8	Bulón GEOMET - M10x1.5x50	DIN B18.2.3.1M
14	FT.001-P.080	38	Bulón GEOMET - M10x1.5x30	DIN B18.2.3.1M
13	FT.001-P.081	46	Tuerca GEOMET - M10	DIN B18.2.4.1M
12	FT.001-P.070	1	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 1850mm
11	FT.001-P.069	1	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4 x 3,2mm x 1841mm
10	FT.001-P.068	1	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 2912mm
9	FT.001-P.067	1	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 2907mm
8	FT.001-P.066	1	Refuerzo jaula de seguridad	Planchuela 25,4 x 3,2mm x 2907mm
7	FT.001-P.064	2	Refuerzo unión de escalera	Planchuela 25,4mm x 3,2mm x 80mm
6	FT.001-P.025	3	Aro para jaula de protección	Planchuela 38,1mm x 3,2mm x 1760mm
5	FT.001-P.026	1	Aro para jaula de protección - Entrada	Planchuela 38,1mm x 3,2mm x 2088mm
4	FT.001-S.006	1	Subconjunto baranda LI	
3	FT.001-S.005	1	Subconjunto baranda LD	
2	FT.001-S.004	1	Subconjunto escalera vertical superior	
1	FT.001-S.003	1	Subconjunto escalera como superior	

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0	6	30	120	400	1000	2000	4000	8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00

TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	2.5	6.3	12.5	25	50	100	200	400	800
	0.005	0.007	0.010	0.015	0.020	0.030	0.040	0.060	0.090

REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

NOTAS GENERALES:
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

TRAT. SUP.:	Base Epoxi + Acabado Poliuretánico
MATERIAL:	

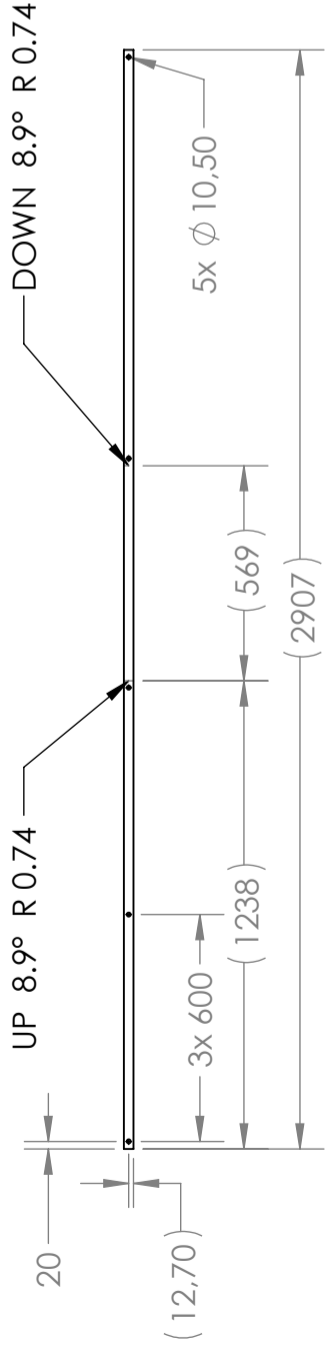


Subconjunto escalera superior

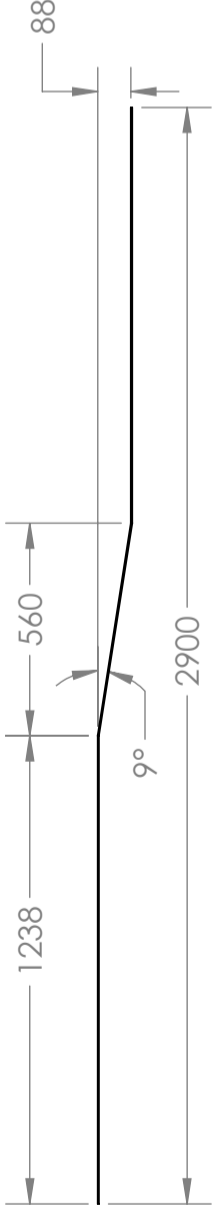
DWG NO. FT.001-S.018

REVISION	A
SCALE: 1:50	WEIGHT:
SHEET 1 OF 2	SHEET SIZE: A3

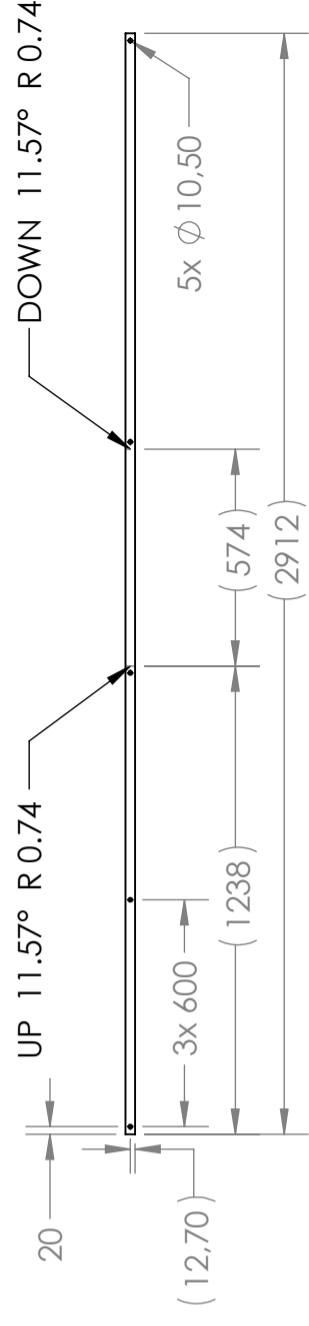




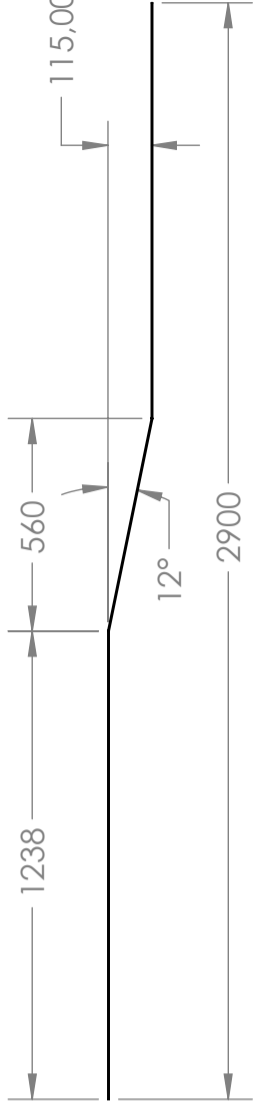
Detalle de chapa desplegada



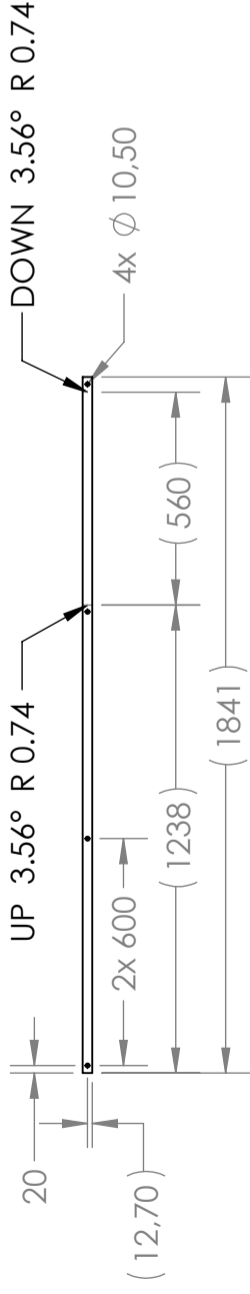
Posición: 09  
 N° de parte: FT.001-P.067  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Planchuela 1" SAE 1010 LC



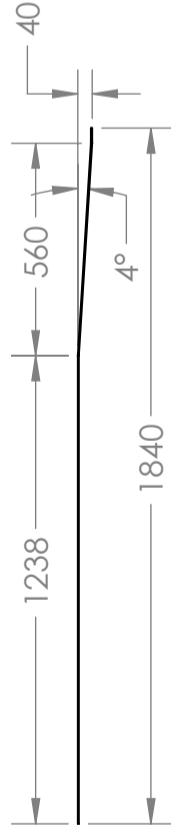
Detalle de chapa desplegada



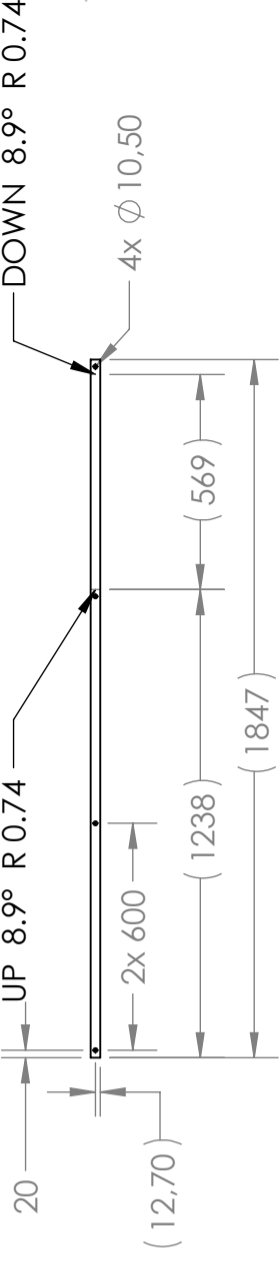
Posición: 10  
 N° de parte: FT.001-P.068  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Planchuela 1" SAE 1010 LC



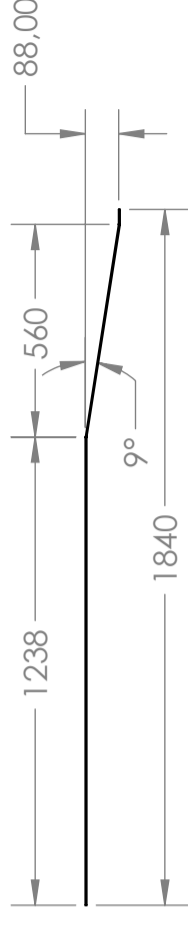
Detalle de chapa desplegada



Posición: 11  
 N° de parte: FT.001-P.069  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Planchuela 1" SAE 1010 LC



Detalle de chapa desplegada



Posición: 12  
 N° de parte: FT.001-P.070  
 Espesor: 3,2mm  
 Material: Planchuela 1" SAE 1010 LC

**Notas generales:**

Posiciones 09, 10, 11 y 12

Pre tratamiento de 3 etapas:

Desengrase + Enjueague + Fosfato de Zinc

Terminación:

Base con Epoxi y acabado con Poliuretano color RAL 1016



TÍTULO:

Subconjunto escalera superior

DWG NO.

FT.001-S.018

REVISION

A

TRAT. SUP.: Base Epoxi + Acabado Poliuretano

SCALE: 1:20

WEIGHT:

SHEET 2 OF 2

2

3

4

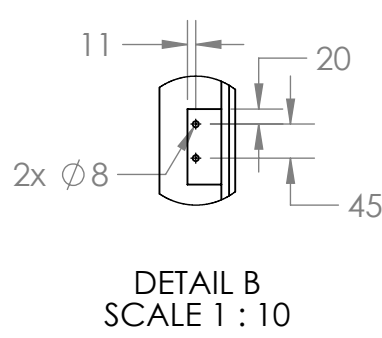
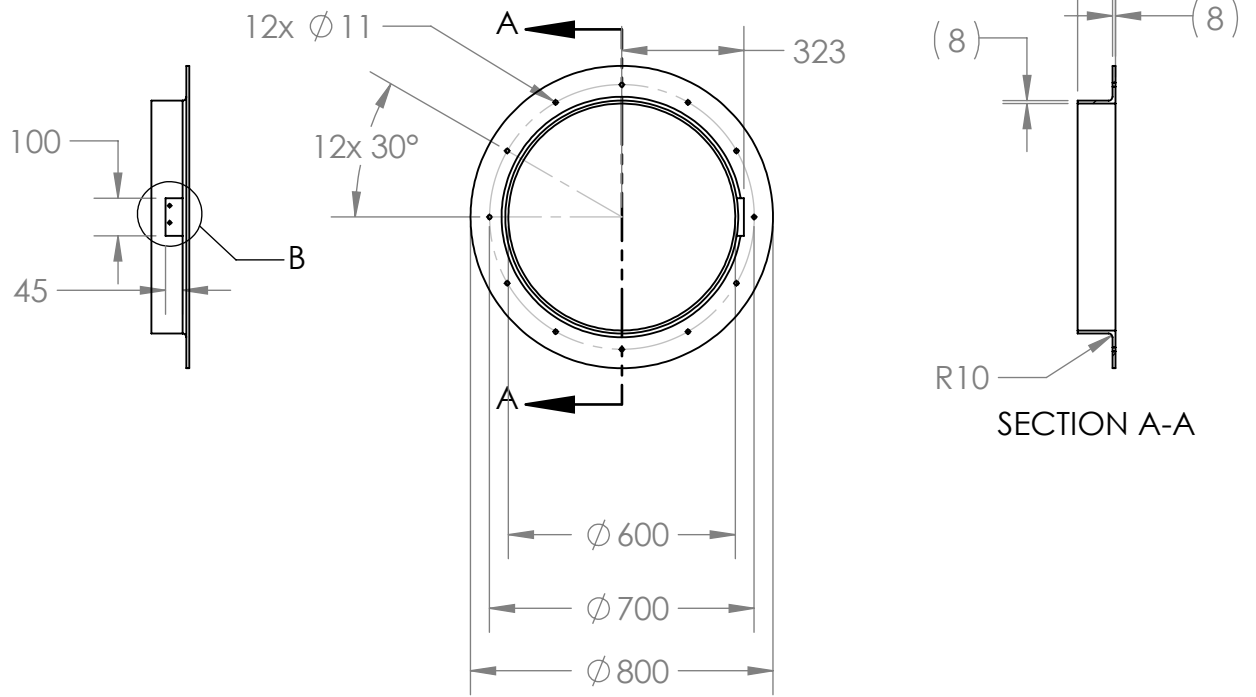
5

6

7

8

1



Todas las dimensiones no especificadas deben obtenerse del modelo 3D.

Construcción del laminado

- Relación resina-fibra 1,70 (63% de resina Polial WR)
- 4 capas de fibra de vidrio MAT 0.45 kg/m2
- 3 capas de refuerzo de tela Roving de 0.8 kg/m2
- 1 capa de recubrimiento Gelcoat color blanco

Intercalar capas de MAT y WR.  
El recubrimiento debe quedar en la parte exterior de la pieza.

Trazabilidad: Datos a imprimir o grabar

- Fecha de fabricación
- N° de matriz utilizada
- Número de parte
- Marca comercial: Fibratec

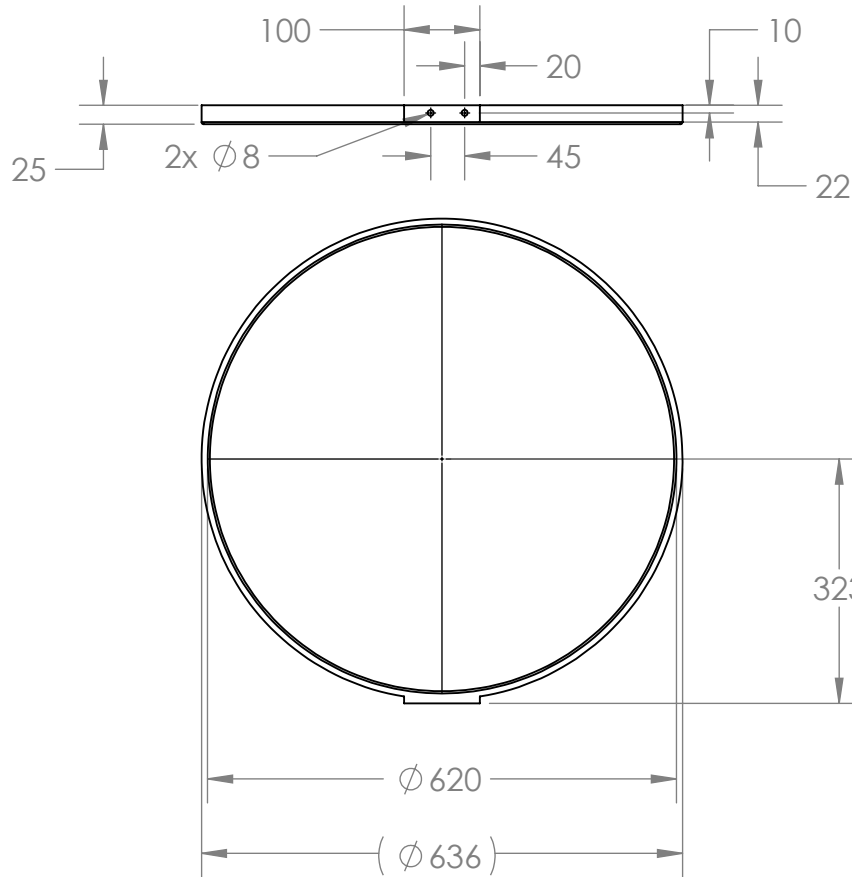
TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0/6	6/30	30/120	120/400	400/1000	1000/2000	2000/4000	4000/8000	8000/>8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	~	∇	∇∇	∇∇∇	∇∇∇∇	∇∇∇∇∇	∇∇∇∇∇∇	∇∇∇∇∇∇∇	∇∇∇∇∇∇∇∇
	25-50/	6.3-12.5/	1.6-3.2/	0.4-0.8/	0.05-0.2/				



REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA	TITLE:
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022	Base boca de inspección

NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	MATERIAL:	Políester Reforzado con Fibra de Vidrio
	TRAT. SUP.:	

DWG NO.	FT.001-P.057	REVISION	A
SCALE: 1:20	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1	SHEET SIZE A4



Todas las dimensiones no especificadas deben obtenerse del modelo 3D.

#### Construcción del laminado

- Relación resina-fibra 1,70 (63% de resina Polial WR)
- 4 capas de fibra de vidrio MAT 0.45 kg/m<sup>2</sup>
- 3 capas de refuerzo de tela Roving de 0.8 kg/m<sup>2</sup>
- 1 capa de recubrimiento Gelcoat color blanco

Intercalar capas de MAT y WR.

El recubrimiento debe quedar en la parte exterior de la pieza.

Trazabilidad: Datos a estampar o grabar

- Fecha de fabricación
- Nº de matriz utilizada
- Número de parte
- Marca comercial: Fibratec

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0 6	6 30	30 120	120 400	400 1000	1000 2000	2000 4000	4000 8000	8000 >8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	~ 25-50	▽ 6.3-12.5	▽▽ 1.6-3.2	▽▽▽ 0.4-0.8	▽▽▽▽ 0.05-0.2				

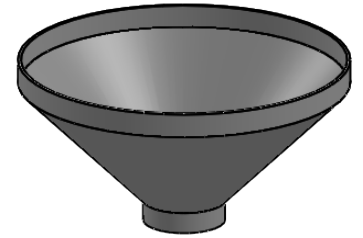
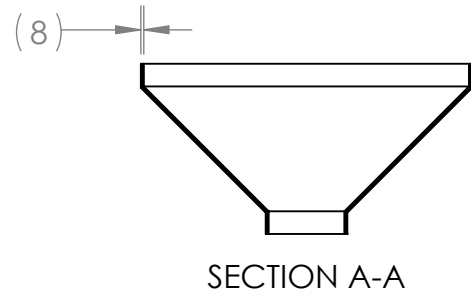
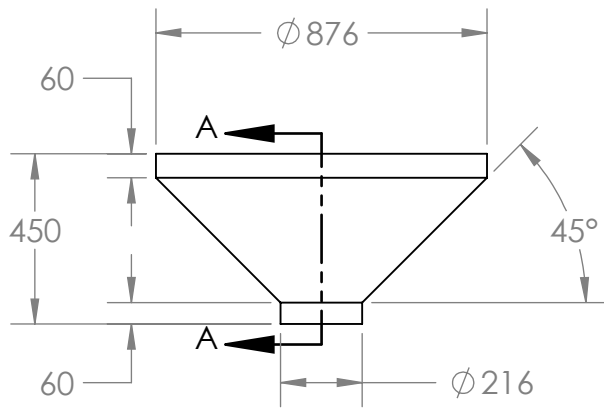


REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

TITLE:	Tapa boca de inspección	
DWG NO.	FT.001-P.058	REVISION A

NOTAS GENERALES: DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA. REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	MATERIAL: Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio
TRAT. SUP.:	

SCALE: 1:10	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1	SHEET SIZE A4
-------------	---------	--------------	------------------



Todas las dimensiones no especificadas deben obtenerse del modelo 3D.

**Construcción del laminado**

- Relación resina-fibra 1,70 (63% de resina Polial WR)
- 4 capas de fibra de vidrio MAT 0.45 kg/m<sup>2</sup>
- 3 capas de refuerzo de tela Roving de 0.8 kg/m<sup>2</sup>
- 1 capa de recubrimiento Gelcoat color blanco

Intercalar capas de MAT y WR.

El recubrimiento debe quedar en la parte exterior de la pieza.

Trazabilidad: Datos a estampar o grabar

- Fecha de fabricación
- N° de matriz utilizada
- Número de parte
- Marca comercial: Fibrattec

TOLERANCIA GENERAL NO INDICADA (mm)	0/6	6/30	30/120	120/400	400/1000	1000/2000	2000/4000	4000/8000	8000/>8000
	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00	±3.00	±4.00
TERMINACIÓN SUPERFICIAL (µm)	~	∇	∇∇	∇∇∇	∇∇∇∇	∇∇∇∇∇	∇∇∇∇∇∇	∇∇∇∇∇∇∇	∇∇∇∇∇∇∇∇
	25-50	6.3-12.5	1.6-3.2	0.4-0.8	0.05-0.2				



REV.	DESCRIPCIÓN	DIBUJÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA
A	Rev. para construcción	J.L.Chaula			16/7/2022

TITLE: **Contracono de descarga**

DWG NO. **FT.001-P.071**

REVISION **A**

**NOTAS GENERALES:**  
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.  
REBABAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

MATERIAL: **Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio**

TRAT. SUP.: 1 capa de GELCOAT blanco

SCALE: 1:20

WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

SHEET SIZE **A4**