



# **Equipo para aireado, lavado y secado de hojas verdes de Yerba Mate**

**Julián Andrés García**  
**Andrés Menestrini**

Universidad Nacional de Rosario  
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Rosario, Argentina  
Año 2024

# **Equipo para aireado, lavado y secado de hojas verdes de Yerba Mate**

**Julián Andrés García**

**Andrés Menestrini**

Proyecto Final de Ingeniería Mecánica presentado como requisito parcial para optar al  
título de:

**Ingeniero Mecánico**

Directores:

Ing. Guillermo Rodríguez

Ing. Pedro Sismondi

Ing. Juan Sismondi

Universidad Nacional de Rosario  
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Rosario, Argentina  
Año 2024

*Dedicado a nuestros afectos, padres, compañeros de estudio y amigos, por el apoyo incondicional y por siempre apostar en nuestro crecimiento profesional, que fueron parte de ello motivando y empujando cada día para ayudarnos a cumplir nuestros objetivos.*

## Agradecimientos

A la institución,

Escuela de Ingeniería Mecánica

por brindarnos el espacio y la oportunidad de realizar este trabajo, de total aporte a nuestra formación profesional, con el apoyo de la cátedra, quienes fueron guía y motivación en este proceso

Ing. Guillermo Rodríguez

Ing. Pedro Sismondi

Ing. Juan Sismondi

## Resumen

En nuestra cultura, se encuentra muy instalado el consumo de la Yerba Mate, la cual se cultiva en el noreste del país, en la provincia de Misiones. Para su procesamiento y elaboración se encuentran instalados en esta región los principales establecimientos yerbateros del país, los cuales poseen distintas capacidades de procesamiento de hojas verdes en función de su tamaño.

Este trabajo tiene por objetivo perseguir calidades más altas de la yerba mate, estudiando la problemática actual de estos establecimientos, entre los cuales se detectan la rápida fermentación de las ramas recién cosechadas por las altas temperaturas en la región durante la época de verano, como así también la tierra y suciedad presente en la superficie de la hoja. Estos puntos son clave en la calidad final del producto y en el sabor, ya que se producen antes del primer paso de procesamiento y son arrastrados hasta el producto final.

El proyecto si bien busca adaptarse a una capacidad de procesamiento de hasta 30 ton/día para grandes establecimientos y 3000 kg/h como caudal típico de trabajo, podrá adaptarse a las capacidades de cada establecimiento donde se implemente, y abarca las cuestiones mencionadas en una etapa previa al tradicional primer proceso de zapeado, agregando tratamientos previos a las ramas cosechadas y afectando en menos de un 20% el caudal de trabajo actual del establecimiento donde se implemente.

**Palabras clave:** Yerba Mate, aireado, lavado, secado, fermentación, suciedad, calidad

## Abstract

In our culture, the consumption of Yerba Mate is very well established, which is cultivated in the northeast of the country, in the province of Misiones. For its processing and elaboration, the main yerba mate establishments in the country are installed in this region, which have different capacities for processing green leaves depending on their size.

This work aims to pursue higher quality yerba mate, studying the current problems of these establishments, among which the rapid fermentation of the recently harvested branches due to the high temperatures in the region during the summer season, as well as the soil and dirt present on the surface of the leaf, are detected. These points are key to the final quality of the product and the flavor, since they occur before the first processing step and are carried over to the final product.

The project, while seeking to adapt to a processing capacity of up to 30 tons/day for large establishments and 3000 kg/h as a typical workflow, can be adapted to the capacities of each establishment where it is implemented, and covers the issues mentioned in a stage prior to the traditional first zapecado process, adding pre-treatments to the harvested branches and affecting less than 20% of the current work flow of the establishment where it is implemented.

**Keywords:** Yerba Mate, aeration, washing, drying, fermentation, dirt, quality

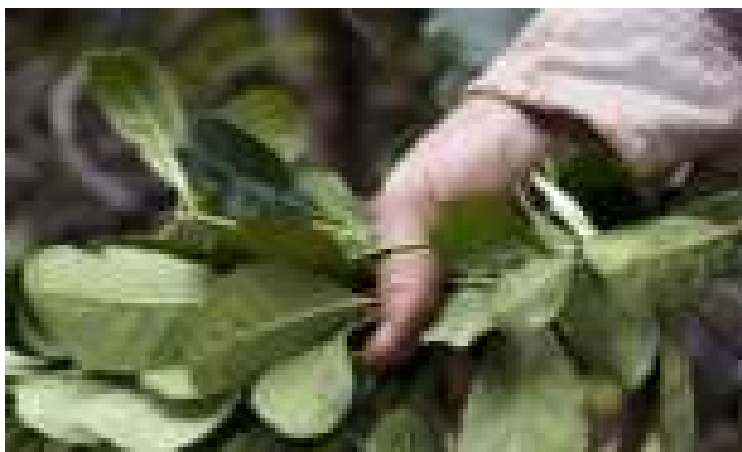
# Contenido

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Agradecimientos.....</b>                                              | <b>4</b>  |
| <b>Resumen.....</b>                                                      | <b>5</b>  |
| <b>Abstract.....</b>                                                     | <b>6</b>  |
| <b>Contenido.....</b>                                                    | <b>7</b>  |
| <b>Introducción.....</b>                                                 | <b>9</b>  |
| <b>Capítulo 1: Contexto actual y aspectos de mejora.....</b>             | <b>13</b> |
| <b>Capítulo 2: Propósitos y propuestas de solución.....</b>              | <b>17</b> |
| Propósitos.....                                                          | 17        |
| Medición experimental de la masa de tierra depositada sobre la hoja..... | 18        |
| Análisis preliminar de alternativas (Aireado - Lavado - Secado).....     | 19        |
| Propuesta 1.....                                                         | 21        |
| Propuesta 2.....                                                         | 23        |
| Propuesta 3.....                                                         | 25        |
| Elección de la solución.....                                             | 27        |
| Valoración.....                                                          | 27        |
| Matriz de decisión.....                                                  | 28        |
| <b>Capítulo 3: Diseño de la propuesta de solución elegida.....</b>       | <b>29</b> |
| Consideraciones generales.....                                           | 29        |
| Puesta en marcha y ejecución.....                                        | 32        |
| Tecnología propuesta (uso alimenticio).....                              | 33        |
| Sistema de carga.....                                                    | 34        |
| Sistema de aireado.....                                                  | 36        |
| Sistema de descarga.....                                                 | 38        |
| Sistema de lavado.....                                                   | 40        |
| Filtrado.....                                                            | 43        |
| Sistema de secado.....                                                   | 45        |
| <b>Capítulo 4: Memoria de cálculo y selección de componentes.....</b>    | <b>49</b> |
| Datos de proceso.....                                                    | 49        |
| Sistema de carga.....                                                    | 49        |
| Cilindro hidráulico - Inclinación tambor.....                            | 49        |
| Determinación de carrera.....                                            | 49        |
| Determinación de la fuerza ejercida.....                                 | 50        |
| Verificación al pandeo.....                                              | 53        |
| Anclaje inferior cilindro.....                                           | 54        |
| Perno pivote - Inclinación tambor.....                                   | 56        |
| Dimensionamiento secado.....                                             | 57        |

|                                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|
| Cálculo teórico.....                       | 57        |
| Validación experimental.....               | 59        |
| Cinta de secado.....                       | 62        |
| Dimensionamiento aireado.....              | 65        |
| Mando de tambor.....                       | 65        |
| Demanda teórica de potencia.....           | 65        |
| Selección del motorreductor.....           | 68        |
| Ventilación.....                           | 73        |
| <b>Conclusiones y recomendaciones.....</b> | <b>76</b> |
| Conclusiones.....                          | 76        |
| Recomendaciones.....                       | 77        |
| <b>Bibliografía.....</b>                   | <b>78</b> |
| <b>Anexo.....</b>                          | <b>79</b> |
| Anexo A: Planos.....                       | 79        |

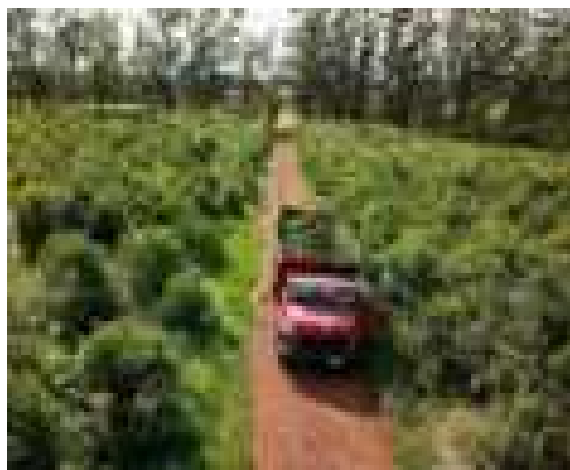
## Introducción

La planta de Yerba Mate, cuyo formato puede verse en la figura 1, se cultiva en yerbales dedicados exclusivamente para tal fin, los cuales están situados en zonas rurales, inmediatamente al lado de los caminos.



**Figura 1:** Corte típico de cosecha [Tierra viva agencia de noticias]

En el procesamiento de la hoja verde de yerba mate, luego de la cosecha (ver figura 2) las mismas son llevadas y descargadas en el “playón de hojas verdes” de la planta de procesamiento.



**Figura 2:** Cosecha de hojas verdes de yerba mate [Agencia de información paraguaya]

Este playón consiste en un espacio bajo techo donde son abiertos y descargados los bolsones de aproximadamente 80 kg y 1m<sup>3</sup>, con la materia prima recién cosechada, adquiriendo este playón tal volumen de hojas a procesar que resulta en que las mismas deben apilarse formando montículos, que alcanzan alturas en ocasiones superiores a 1,5 metro.

El playón de hojas verdes es el sitio donde se realizará el primer tratamiento de la hoja denominado zapecado, el cual consiste en dar un golpe de calor a llama viva durante unos pocos segundos de manera controlada a fin de detener la oxidación de la hoja para mantener propiedades tales como sabor, color, aroma y además reducir entre un 20 y 30% la humedad que contiene la misma.

A este primer paso, en ocasiones 5hs después de la cosecha, la hoja debe ingresar en condiciones lo más semejantes posible a su estado previo a la misma.

En la hoja verde ya cosechada, al tratarse de materia orgánica y encontrarse apilada sin circulación de aire, se evidencia un aumento de la temperatura propio del proceso de oxidación, donde aparecen de forma inmediata los denominados “puntos negros”, que son aquellos donde se inició la fermentación, y que afectarán de manera irreversible la calidad del producto final.

Actualmente, durante la estadía en el playón de hojas verdes y para evitar los “puntos negros”, se realiza como actividad previa en la espera para el ingreso al horno de zapecado, un proceso que consiste en remover con fines de airear, refrigerar y descompactar (por su propio peso) las hojas mediante el uso de minicargadoras. De esta forma las hojas son removidas cada cierto intervalo de tiempo requiriendo mano de obra y consumo de combustible extras. Esta condición puede verse en la figura 3 y 4.



**Figura 3:** Condición típica de remoción de hojas en playón de hojas verdes  
[Establecimiento yerbatero, Apóstoles, Misiones]



**Figura 4:** Condición típica de remoción de hojas en playón de hojas verdes  
[Establecimiento Mulita y Pipore]

Los efectos nocivos para la hoja tales como los “puntos negros” y el apelmazamiento están fuertemente influenciados por las altas temperaturas ambiente en época de verano, la acumulación de calor en el volumen a procesar y la humedad del aire ambiente.

Otro factor muy controlado en el proceso, son las malezas e impurezas (otras hierbas, semillas, etc.) que ingresan con la materia prima y la suciedad superficial que traen la hojas, debido a partículas de polvo en suspensión que surgen de los caminos cercanos a los lotes de cosecha, que se terminan depositando sobre las mismas y adhiriéndose luego con el rocío. Actualmente esta suciedad en el zapecado en horno convencional no es removida, afectando la calidad final del producto.

En la actualidad existe una variante al zapecado convencional que es el zapecado en agua hirviendo, donde se destacan entre otros objetivos la higiene alcanzada en la hoja.

Se propone en principio, a través de un dispositivo modular, al que ingresan de manera directa los bolsones, con capacidad de almacenaje de 1000kg (ver adaptación en Capítulo 2) y un caudal de salida de hasta 3000 kg/h (caudal promedio de procesamiento del horno consecutivo), asegurar la remoción con la resultante aireación y refrigeración de la materia prima a fin de evitar su fermentación, como así también generar condiciones de higiene de la hoja similares a las obtenidas con el zapecado húmedo.

La higiene de la hoja se propone alcanzar mediante un lavado con agua a temperatura ambiente, filtrada y recirculada reduciendo el consumo de la misma y un posterior secado utilizando aire a temperatura ambiente con el fin de minimizar la humedad superficial que se adiciona en el lavado y de esta manera no afectar en gran medida los parámetros y caudales de procesamiento del proceso consecutivo en el horno de zapecado.

Las tareas de lavado y secado contemplarán el trato suave de la materia prima dado que se busca mantener la integridad de la misma, tal como se encontraba previa a la cosecha.

*Las funciones que se pretenden alcanzar con el dispositivo propuesto, fueron consultadas mediante un productor y experto en el procesamiento de la hoja verde, quién aseguró que bajo las condiciones planteadas no se pierden propiedades de interés en la hoja, dado que la misma es tratada a nivel superficial.*

## Capítulo 1: Contexto actual y aspectos de mejora

Hoy en día, durante el ingreso de las hojas verdes recién cosechadas de Yerba Mate al establecimiento yerbatero, se descargan los bolsones de la cosecha en el denominado “playón de hojas verdes”, lugar que se encuentra bajo el “Reglamento de Cosecha de la Yerba Mate” y el “Reglamento de Secanza de la Yerba Mate” [2] del INYM. En este punto, es donde la cosecha se mantendrá en espera hasta ingresar al primer proceso de la cadena que se trata del horno de zapecado, el cual entre otras funciones detiene el proceso de oxidación de la hoja que comienza desde el instante de la cosecha.

La manipulación de la cosecha en esta instancia puede verse en las figuras 1-1 y 1-2, donde se acumula por montículos que alcanzan grandes alturas y son removidos mediante minicargadoras para facilitar el aireado entre ramas y favorecer la evacuación de calor generada por la actividad de la materia orgánica.



**Figura 1-1:** Descarga de hojas en playón de hojas verdes [La Nación Campo]



**Figura 1-2:** Montículos en playón de hojas verdes [Yerba Andresito]

Es aquí, donde en las épocas de verano, las temperaturas alcanzan valores cercanos a los 45°C en esta región del país, y donde toman lugar rápidamente los inicios de la fermentación en las hojas.

La fermentación aeróbica de la materia orgánica, en líneas generales, tiene distintos estadios con una consecuente evolución de la temperatura, el cual puede verse en la curva de la figura 1-3 , tomadas como referencia de el proceso típico de compostaje.



**Figura 1-3:** Curva de evolución de la temperatura, fermentación aeróbica

Esta evolución se encuentra a su vez fuertemente influenciada por la temperatura ambiente, y sobre la que se dedicará especial atención en el desarrollo de los capítulos siguientes.

Es desde esta condición donde se buscará aportar una solución al fenómeno de la fermentación mencionado.

En cuanto a la higiene de la hoja, las figuras 1-4 y 1-5 reflejan en parte la problemática actual en cuanto a este aspecto, ya sea por la acumulación de tierra arraigada al haz y envés de las hojas por los efectos de la humedad y el rocío, como también por los residuos de pesticidas utilizados para el control de plagas, que si bien hoy en día se realiza un uso medido y controlado de los mismos, o bien se utilizan otras técnicas para el control de plagas, potencialmente podrían aún existir en la cosecha.



**Figura 1-4:** Acumulación de tierra en plantas linderas a caminos [Ser Argentino]



**Figura 1-5:** Control de plagas [ABC Rural]

Una alternativa que tiene como ventaja obtener mejores resultados en cuanto a la higiene de la hoja, aunque no sea su principal objetivo, es el zapecado húmedo en el cual las hojas ingresan en un baño de agua hirviendo, ver figura 1-6. Por ello se buscará obtener condiciones de higiene de la hoja similares a las obtenidas por este método.



**Figura 1-6:** Cinta de salida del zapecado húmedo en agua hirviendo [Agrovision TV]

## Capítulo 2: Propósitos y propuestas de solución

### Propósitos

Conocidos los resultados del diagnóstico, se estudiarán los aspectos clave los cuales debe abarcar la propuesta de solución, y que resultarán premisa de los subsistemas que se encarguen de ellos:

1- Lograr con el menor rozamiento posible de las hojas, un grado de descompactación tal que permita el ingreso de aire a temperatura ambiente entre las mismas para evitar que la temperatura no se eleve más allá de 40°C a 55°C (Rango de máxima actividad biológica). Proponemos no superar los 38°C para así evitar la fermentación.

2- Mejorar la condición actual de apilamiento de hojas (ver figura 1, altura aprox. 1,7 m) a fin de evitar que las mismas sean autoportantes de su peso, es decir, disminuyendo la altura de la columna de hojas, como así también la relación Fuerza/Área.

3- Mantener el aireado y la descompactación de forma continua hasta que la carga se procese en su totalidad

4- Lavar la hoja con el fin de remover la tierra superficial de ambos lados (haz y envés), como así también impurezas y semillas, a la vez que el agua es filtrada y recirculada. Se estima para las semillas (ver figura 2-1) un tamaño de partícula de 2 x 3.5mm y un máximo de 9.9 gramos/kg yerba, y para la tierra un tamaño de partícula de 20µm y un máximo de 1.27 gramos/kg de yerba. Ver apartado “Medición experimental de la masa de tierra depositada sobre la hoja”.

5- Secado de la hoja a temperatura ambiente de forma mecánica, para el ingreso al horno de zapecado con una humedad máxima a la salida del secado de 78 g agua/kg yerba.

6- Caudal variable de procesamiento para adecuar la descarga continua del equipo, al caudal de carga del proceso de zapecado siguiente (max. 3000kg/h).

7- Reducir la mano de obra encargada de remover y airear las hojas en el playón de hojas verdes, comparado a la actualidad.

8- Reducir el consumo innecesario de combustible de las minicargadoras utilizadas en la actualidad en la remoción de las hojas verdes.



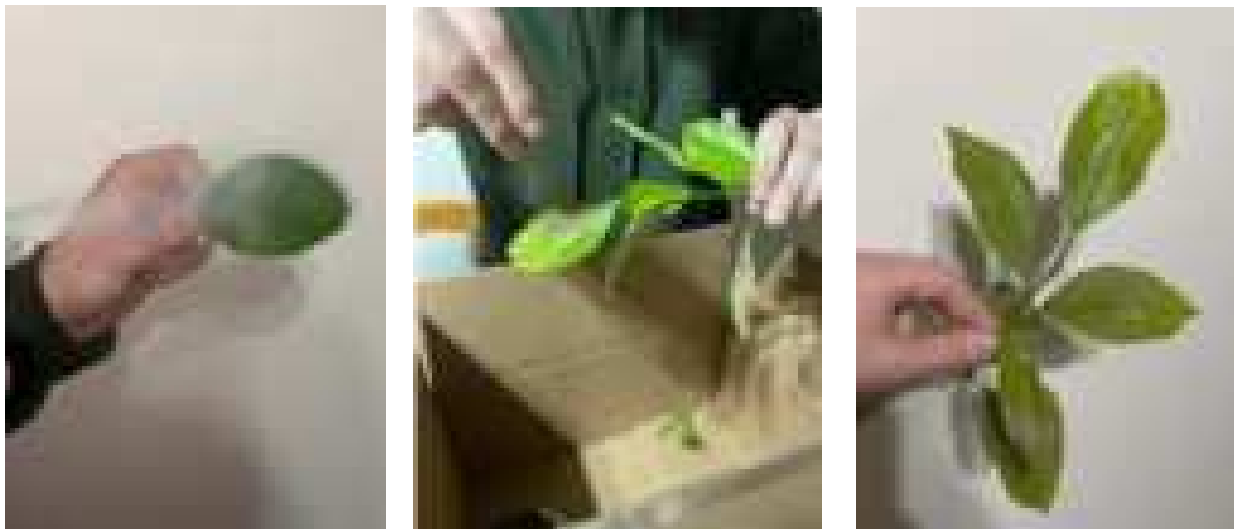
**Figura 2-1:** Semillas de Yerba Mate [Elaboración propia]

## **Medición experimental de la masa de tierra depositada sobre la hoja**

Para estimar el valor de la masa de tierra adherida a las hojas y que se pretende remover en el lavado, se realizó una sencilla experiencia basada en una rama de formato y dimensiones similares al corte de la cosecha de la planta de yerba mate.

En primer lugar se pesó con una balanza de precisión la rama limpia y seca, para luego ser finamente humedecida mediante un spray de agua aplicado con un aerosol, para ser pesada nuevamente y obtener el peso de la misma humedecida. Luego se espolvorea la rama con tierra seca y finamente tamizada, que se adherirá a la superficie de las hojas mediante la humedad, para finalmente ser pesada y obtener por diferencia el peso

de la suciedad adherida. A continuación en la figura 2-2 se ilustra el procedimiento mencionado:



**Figura 2-2:** Procedimiento exp. obtención masa de tierra [Elaboración propia]

| Pesos                                 | Grain | Gramos  |
|---------------------------------------|-------|---------|
| Peso en seco                          | 78,2  | 5,06727 |
| Peso mojado (Aerosoil)                | 78,3  | 5,15855 |
| Peso mojado + tierra                  | 79,4  | 5,14503 |
|                                       |       |         |
| Peso neto de tierra en la rama pesada |       | 0,00648 |
| Peso de tierra en 1000g de ramas      |       | 1,3788  |
|                                       |       |         |
| Peso de tierra en 10000g de ramas     |       | 1378,8  |

**Tabla 2-2:** Resultados experimentales masa de tierra sobre la hoja [Elaboración propia]

## Análisis preliminar de alternativas (Aireado - Lavado - Secado)

| FUNCIÓN | ALTERNATIVAS |                                                                                                                         |
|---------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AIREADO | 1            | Disposición de las ramas en tambor con movimiento rotativo, combinado con flujo cruzado de aire a temperatura ambiente. |
|         |              |                                                                                                                         |

|               |   |                                                                                                                                                                                             |
|---------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | 2 | Disposición de las ramas en zarandas, combinado con flujo cruzado de aire a temperatura ambiente.                                                                                           |
|               | 3 | Dedos/paletas mecánicas que remuevan las ramas.                                                                                                                                             |
| <b>LAVADO</b> | 1 | Cortina de agua sobre las ramas, de forma perpendicular y estando las mismas respaldadas. De ambos lados.                                                                                   |
|               | 2 | Cortina de agua sobre las ramas las cuales flotan y avanzan dentro de una pileta con agua.                                                                                                  |
|               | 3 | Cepillado mediante cerdas suaves más agua.                                                                                                                                                  |
|               | 4 | Por corriente de agua, dentro de un tambor generando un torbellino de agua.                                                                                                                 |
| <b>SECADO</b> | 1 | Por evaporación, adecuando la atmósfera (% humedad y temperatura).                                                                                                                          |
|               | 2 | Sistema Air Knife. Mediante una cortina de aire a presión, la cual remueve el agua por barrido de manera mecánica, de forma perpendicular y estando las mismas respaldadas. De ambos lados. |
|               | 3 | Por contacto, mediante rodillos de algún material absorbente, ejerciendo una leve presión sobre las ramas.                                                                                  |
|               | 4 | Por escurrimiento en tambor, mediante centrifugado.                                                                                                                                         |

**Tabla 2-1:** Análisis preliminar de alternativas

Como resultado de un análisis de factibilidad de las anteriores alternativas de solución a las subfunciones mencionadas, surgen las siguientes propuestas como combinaciones de las mismas, contemplando que sean constructivamente posibles, manteniendo el dispositivo el aspecto modular y procurando que el mismo sea compacto.

## Propuesta 1

En los siguientes croquis podemos observar el funcionamiento de la propuesta número 1. La misma cuenta con un tambor con varios compartimentos, los cuales son llenados desde un extremo del mismo, uno por vez. Una vez lleno por completo el tambor, el mismo comienza a rotar a una velocidad baja con el fin de evitar la compactación y el estacionamiento de las ramas para disminuir la velocidad de descomposición y fermentación. A su vez, para mejorar el rendimiento de este dispositivo, el mismo en uno de sus extremos cuenta con un ventilador de aspiración de aire, para que dentro del interior del tambor circule aire y no se produzca la fermentación anaeróbica.

Una vez requerida la descarga del tambor, el mismo abre las compuertas longitudinales de sus compartimentos para descargar las ramas sobre una cinta transportadora de paletas (ver figura 5) la cual las llevará hasta el proceso de lavado.

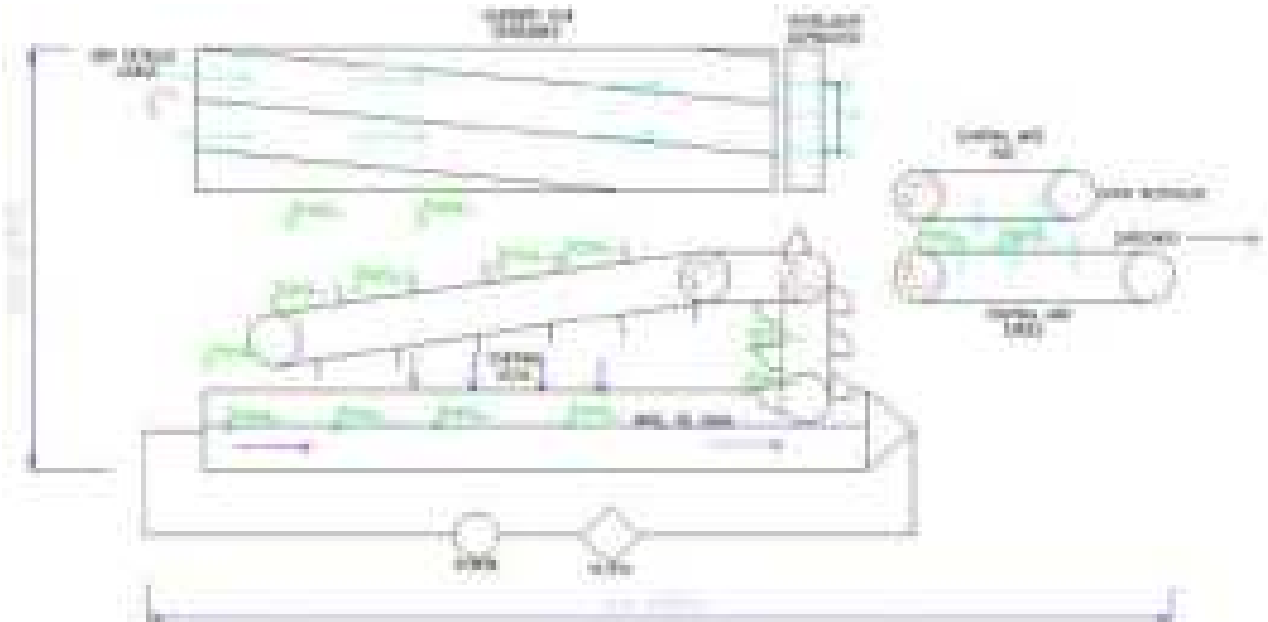
Las ramas son vertidas dentro de una pileta sobre la cual flotan, y que cuenta con una corriente de agua en una dirección y aspersores de agua sobre la superficie con el fin de lavar la hoja tanto con el movimiento de agua de la pileta como con la presión de los aspersores.

Esta pileta contará con una bomba y un sistema de filtrado para poder recircular el agua y reutilizarla.

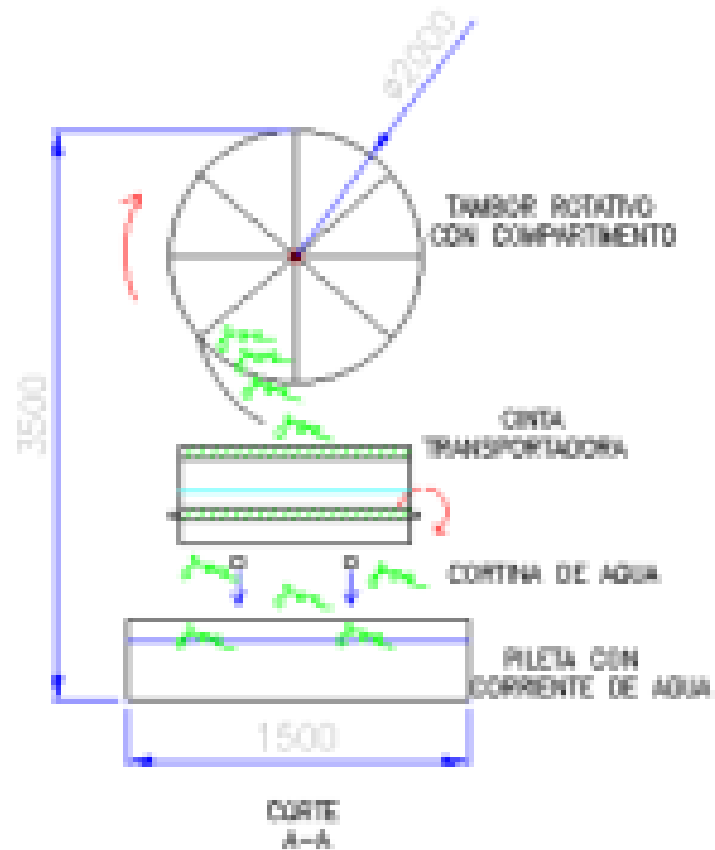
Una vez lavadas las hojas, son captadas por un elevador de cangilones perforado, el cual lleva las ramas hasta una cinta transportadora mallada (ver figura 2-5), donde las mismas mediante cortinas de aire a presión tanto de un lado de la cinta como del otro, serán secadas mecánicamente, removiendo por barrido el exceso de agua de la superficie de las mismas.

Con el fin de que las hojas no se “vuelen” de la cinta al secar el envés, se coloca una cinta de respaldo.

Una vez secadas las ramas, las mismas están listas para ser introducidas dentro del horno de zapecado.



**Figura 2-3:** Esquema de Propuesta 1 [Elaboración propia]



**Figura 2-4:** Corte transversal - Esquema de figura 3 [Elaboración propia]



**Figura 2-5:** Izq. Cinta inox.mallada [CAMPBELT] - Der. Banda transportadora [FLEXOWELL]

## Propuesta 2

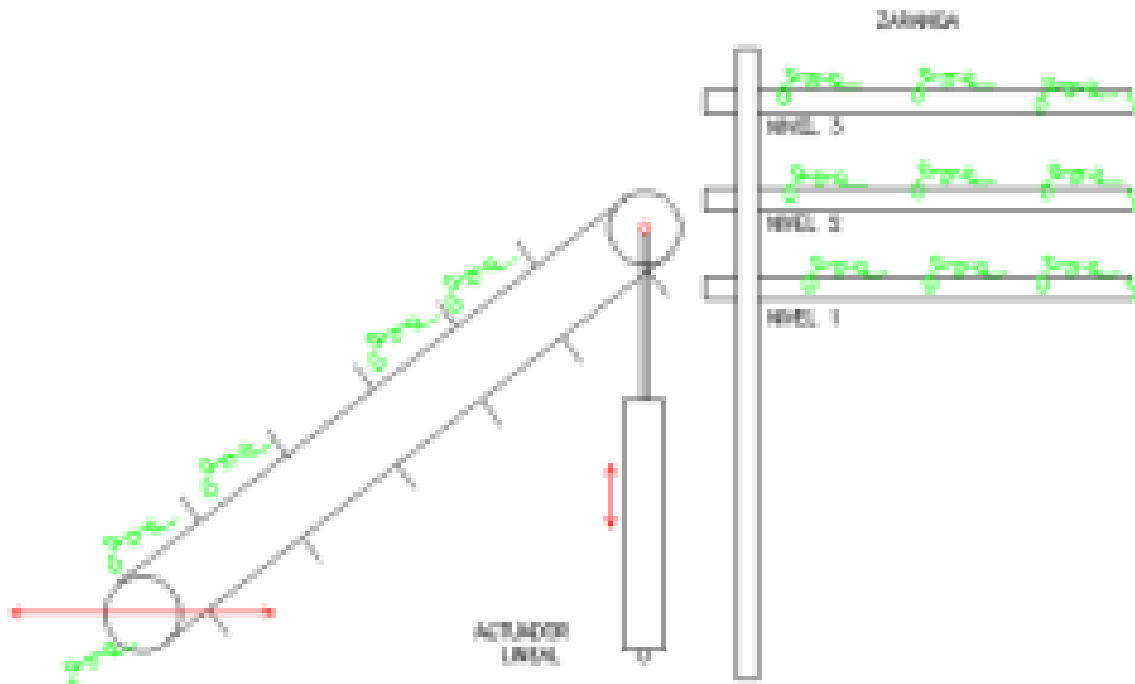
Esta propuesta cumple los propósitos planteados comenzando por el aireado, el cual se realiza mediante una zaranda sobre la que se dispone un colchón de ramas. El movimiento de la zaranda permite un leve descompactación de las ramas para que ingrese de forma cruzada el flujo de aire a temperatura ambiente. La descarga de la misma se realiza de forma independiente para cada nivel, inclinándose cada uno de ellos mediante actuadores lineales, para que en combinación con el movimiento de la zaranda pueda descargarse el nivel de forma gradual.

El lavado de las ramas se plantea en etapas y mediante una cortina de agua perpendicular a la cinta mallada que las transporta, habiendo otra que las respalde y logrando de esta forma lavar el haz y el envés de las hojas. Luego un elevador de cangilones transporta las ramas hacia el tambor de secado.

El secado se realiza por escurrimiento de forma centrífuga, asegurando que las ramas se adhieran por esta fuerza y de forma suave a las paredes del tambor, el cual variará de forma cíclica sus rpm entre un máximo y un mínimo, logrando que en la disminución de las rpm la gravedad actúe sobre las ramas haciéndolas descender gradualmente por



En la siguiente figura se propone un boceto del sistema de carga para la zaranda.

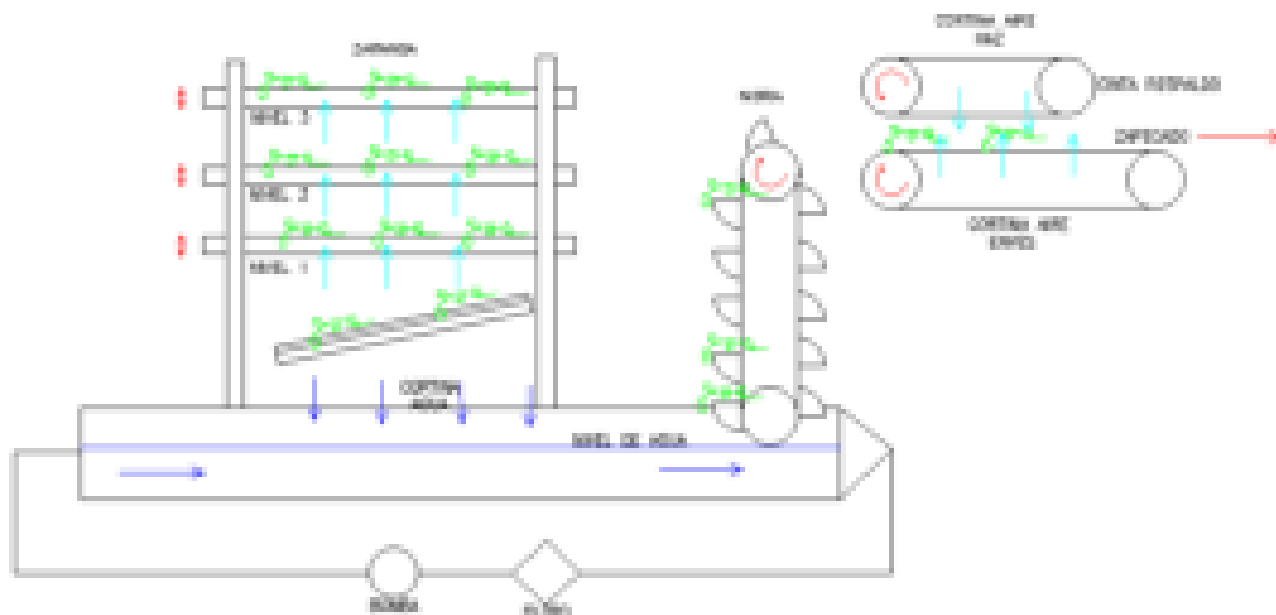


**Figura 2-8:** Sistema de carga para zaranda [Elaboración propia]

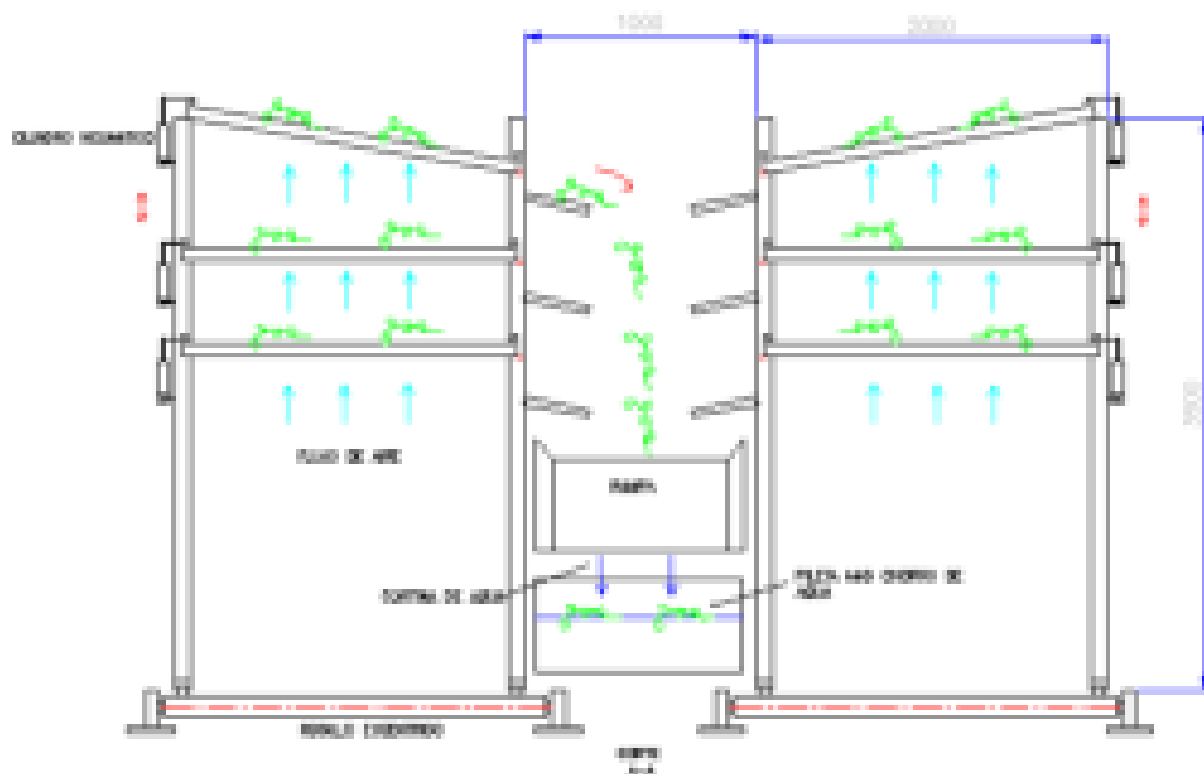
### Propuesta 3

Esta propuesta resulta de una combinación de las anteriores. Cuenta con un sistema de aireado mediante zaranda igual al de la propuesta número 2, tanto en su funcionamiento como así también para la carga y descarga de sus niveles.

El lavado de las ramas se realizará mediante una pileta con agua y aspersores al igual que en la propuesta número 1. Luego del lavado, serán captadas por un elevador de cangilones perforados y llevadas hasta una cinta transportadora donde se secarán mecánicamente mediante aire a presión, tal como se menciona en la propuesta número 1.



**Figura 2-9:** Esquema de propuesta 3 [Elaboración propia]



**Figura 2-10:** Corte transversal - Esquema de figura 9 [Elaboración propia]

## Elección de la solución

Para el análisis y elección de la mejor propuesta de solución a los propósitos planteados se realizó un análisis en detalle de los distintos casos, que se expresa a continuación de forma cuantitativa en torno a 8 criterios que se consideran fundamentales. Los mismos, fueron valorados en una escala del 1 al 3, y ponderados según su influencia a la solución.

| Criterios |                                         | Valoración |            |            | Ponderación |
|-----------|-----------------------------------------|------------|------------|------------|-------------|
|           |                                         | 1          | 2          | 3          | 1-6         |
| 1         | Costo                                   | Alto       | Medio      | Bajo       | 4           |
| 2         | Factibilidad                            | Poco fac.  | Media      | Muy fact.  | 4           |
| 3         | complejidad de la solución              | Alta       | Media      | Baja       | 2           |
| 4         | Espacio requerido (1000 kg)             | Alto       | Medio      | Bajo       | 3           |
| 5         | Café a las hojas                        | Alto       | Medio      | Bajo       | 3           |
| 6         | Grado de automatización                 | Bajo       | Medio      | Alto       | 3           |
| 7         | Posibilidad de variar caudal de trabajo | Reducido   | Amplio     | Muy amplio | 1           |
| 8         | ¿Los objetivos se alcanzan?             | Algunos    | La mayoría | Todos      | 4           |

**Tabla 2-3:** Ponderación de criterios [Elaboración propia]

## Valoración

De acuerdo a la tabla anterior, se valoraron los criterios de la siguiente manera:

| Criterios |                                         | Propuestas |    |    |
|-----------|-----------------------------------------|------------|----|----|
|           |                                         | 1          | 2  | 3  |
| 1         | Costo                                   | 2          | 1  | 1  |
| 2         | Factibilidad                            | 2          | 1  | 2  |
| 3         | complejidad de la solución              | 2          | 1  | 1  |
| 4         | Espacio requerido (1000 kg)             | 2          | 2  | 1  |
| 5         | Café a las hojas                        | 3          | 2  | 3  |
| 6         | Grado de automatización                 | 2          | 2  | 2  |
| 7         | Posibilidad de variar caudal de trabajo | 2          | 3  | 2  |
| 8         | ¿Los objetivos se alcanzan?             | 3          | 2  | 2  |
| Total     |                                         | 18         | 14 | 14 |

**Tabla 2-4:** Valoración de propuestas [Elaboración propia]

## Matriz de decisión

Una vez ponderados y valorados cada uno de los 8 criterios para cada posible solución, se obtuvieron las siguientes puntuaciones finales:

| Criterios de propuesta ponderados |                                         | Propuestas |    |    |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|------------|----|----|
|                                   |                                         | 1          | 2  | 3  |
| 1                                 | Costo                                   | 8          | 4  | 4  |
| 2                                 | Factibilidad                            | 8          | 4  | 8  |
| 3                                 | complejidad de la solución              | 4          | 2  | 2  |
| 4                                 | Espacio requerido (2000 kg)             | 6          | 6  | 8  |
| 5                                 | Daño a las hojas                        | 15         | 10 | 15 |
| 6                                 | Grado de automatización                 | 6          | 6  | 6  |
| 7                                 | Posibilidad de variar caudal de trabajo | 2          | 3  | 2  |
| 8                                 | ¿Los objetivos se alcanzan?             | 12         | 8  | 8  |
| Total                             |                                         | 69         | 49 | 48 |

**Tabla 2-5:** Puntuación de propuestas [Elaboración propia]

Observando los valores obtenidos, se concluye que la propuesta número 1 es la que mejor cumple con los propósitos establecidos, por ende, será la solución elegida.

## Capítulo 3: Diseño de la propuesta de solución elegida

### Consideraciones generales

Como se concluye en el Capítulo 1, la propuesta elegida será la número 1, que resultará de la combinación de los subsistemas mencionados.

Esta propuesta de solución se planteará sobre un secadero modelo que procese 30 ton/día de hojas verdes, pudiendo rediseñarse la capacidad de almacenamiento del equipo en función de las toneladas/día que procese cada secadero en particular.

Realizando un breve análisis de costos, se determina adaptar la propuesta de solución elegida de manera tal que el equipo pueda contener la capacidad total esperada de hojas en un día, con un único sistema de lavado y secado.

Para dimensionar la capacidad del equipo se plantea la siguiente situación de funcionamiento, dado que la frecuencia de recepción del ingreso de hojas a los secaderos no se encuentra regulada actualmente y, en caso de que la frecuencia de recepción supere a la propuesta deberá ajustarse la misma.

| Hora  | Ingresó<br>[kg] | Procesamiento<br>[kg] | Acumulado<br>[kg] |
|-------|-----------------|-----------------------|-------------------|
| 8:00  |                 |                       |                   |
|       | 6000            | 3000                  | 3000              |
| 9:00  |                 |                       |                   |
|       | 6000            | 3000                  | 6000              |
| 10:00 |                 |                       |                   |
|       | 6000            | 3000                  | 9000              |

|                                      |      |      |       |
|--------------------------------------|------|------|-------|
| <b>11:00</b>                         |      |      |       |
|                                      | 6000 | 3000 | 12000 |
| <b>12:00</b>                         |      |      |       |
|                                      | 6000 | 3000 | 15000 |
| <b>13:00</b> (Fin del ingreso hojas) |      |      |       |
|                                      | 0    | 3000 | 12000 |
| <b>14:00</b>                         |      |      |       |
|                                      | 0    | 3000 | 9000  |
| <b>15:00</b>                         |      |      |       |
|                                      | 0    | 3000 | 6000  |
| <b>16:00</b>                         |      |      |       |
|                                      | 0    | 3000 | 3000  |
| <b>17:00</b>                         |      |      |       |
|                                      | 0    | 3000 | 0     |
| <b>18:00</b> (Fin de la jornada)     |      |      |       |

**Tabla 3-1:** Frecuencia de ingreso de hojas verdes [Elaboración propia]

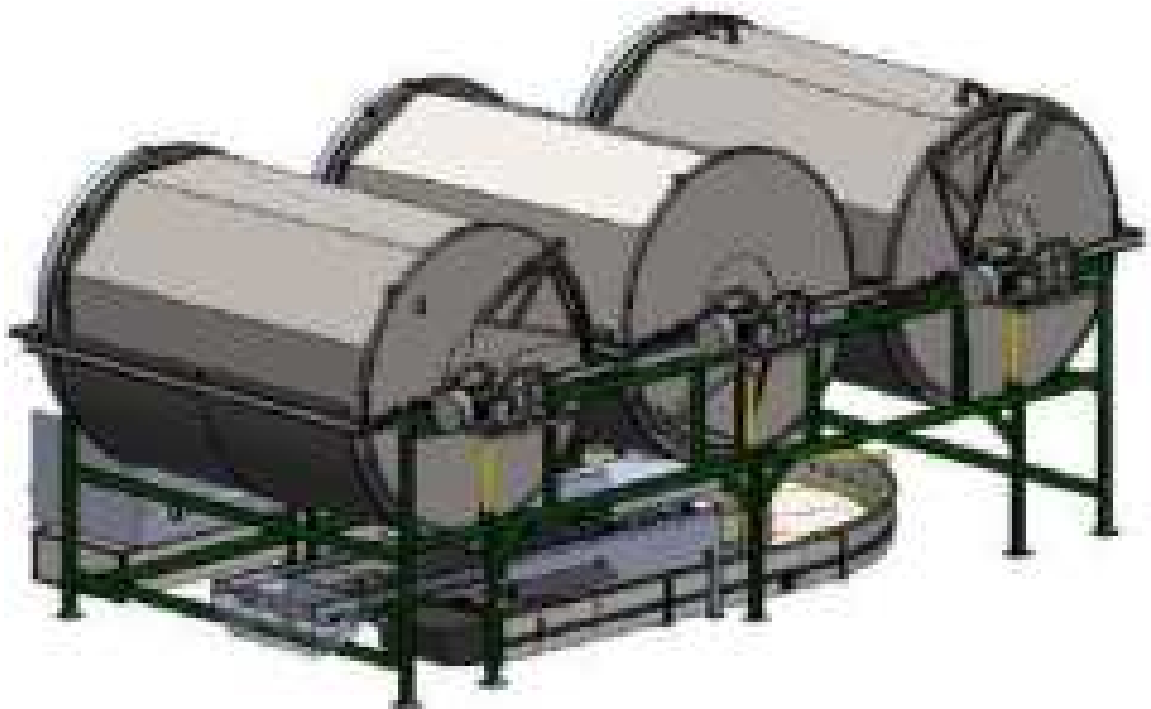
Como resultado del análisis anterior se plantea una capacidad máxima acumulada de hojas de 15000 kg, contemplando una velocidad máxima típica de procesamiento de 3000 kg/hora, la cual puede disminuirse según se requiera.

La incorporación de la capacidad total de almacenaje al diseño, produjo que al estudiar en detalle los subsistemas que componen la propuesta elegida, se produzcan cambios en el diseño del equipo respecto a esta última, los cuales se listan a continuación:

- La descarga del tambor de aireado, propuesta originalmente de forma longitudinal y de a un compartimento por vez, se realizará por el extremo del

tambor opuesto a la carga, donde los compartimentos se descargan ahora de forma simultánea.

- El aireado de las ramas en el interior del tambor propuesto mediante un ventilador de succión de aire, se reemplaza por un ventilador que insufla el aire dentro del mismo, realizando ahora el aireado por presión positiva (mayor control).
- Se suprime en el diseño la cinta transportadora que lleva y fracciona la carga de ramas desde la descarga del tambor hacia la pileta de lavado.
- Se suprime del diseño el elevador de cangilones perforado que recolecta las ramas de la pileta para depositarlas sobre la cinta de secado.



**Figura 3-1:** Isometría frontal del equipo completo [Elaboración propia]



**Figura 3-2:** Isometría posterior del equipo completo [Elaboración propia]

## **Puesta en marcha y ejecución**

Para la puesta en funcionamiento del equipo, deberá completarse la capacidad máxima de un tambor al iniciar la jornada laboral.

El soplador se encontrará insuflando aire aún durante el proceso de carga del tambor, para iniciar cuanto antes las funciones del aireado.

Una vez puesto en funcionamiento el primer tambor que se llenó, y aún mientras este se encuentre realizando la etapa de descarga podrán ir acumulándose las ramas que ingresan a la planta en los restantes tambores, llenándose de a uno a la vez.

La velocidad de procesamiento del equipo podrá ajustarse a la de trabajo de cada establecimiento donde se implemente y variarse de ser necesario durante el

funcionamiento. Para ello se encontrarán coordinadas ciertas velocidades de cada subsistema, siendo la velocidad crítica o determinante la de descarga del tambor.

La velocidad de descarga del tambor, al finalizar el proceso de aireado, resultará de la combinación del grado de apertura de la puerta de descarga y la velocidad de giro del mismo. A partir de allí, a través del control sobre el motor de la bomba centrífuga, se sincroniza el caudal de la misma que comandará la velocidad de la corriente de agua establecida en la pileta de lavado y que arrastrará las ramas hacia el proceso de secado.

En la etapa de secado se ajustará simultáneamente al caudal de ramas en el lavado, la velocidad del mando de la cinta de secado, a fin de obtener por la tolva de descarga hacia el zapecado los kg/h de ramas que requiere el horno en ese momento.

La sincronización de los subsistemas del equipo para ajustar la velocidad de procesamiento se realizará mediante la automatización del mismo, lo cual excede el alcance de este proyecto y será mediante la gestión de un PLC. De esta forma se persigue el objetivo de que una única persona en la planta pueda vigilar y gestionar los kg/h de procesamiento del equipo.

## **Tecnología propuesta (uso alimenticio)**

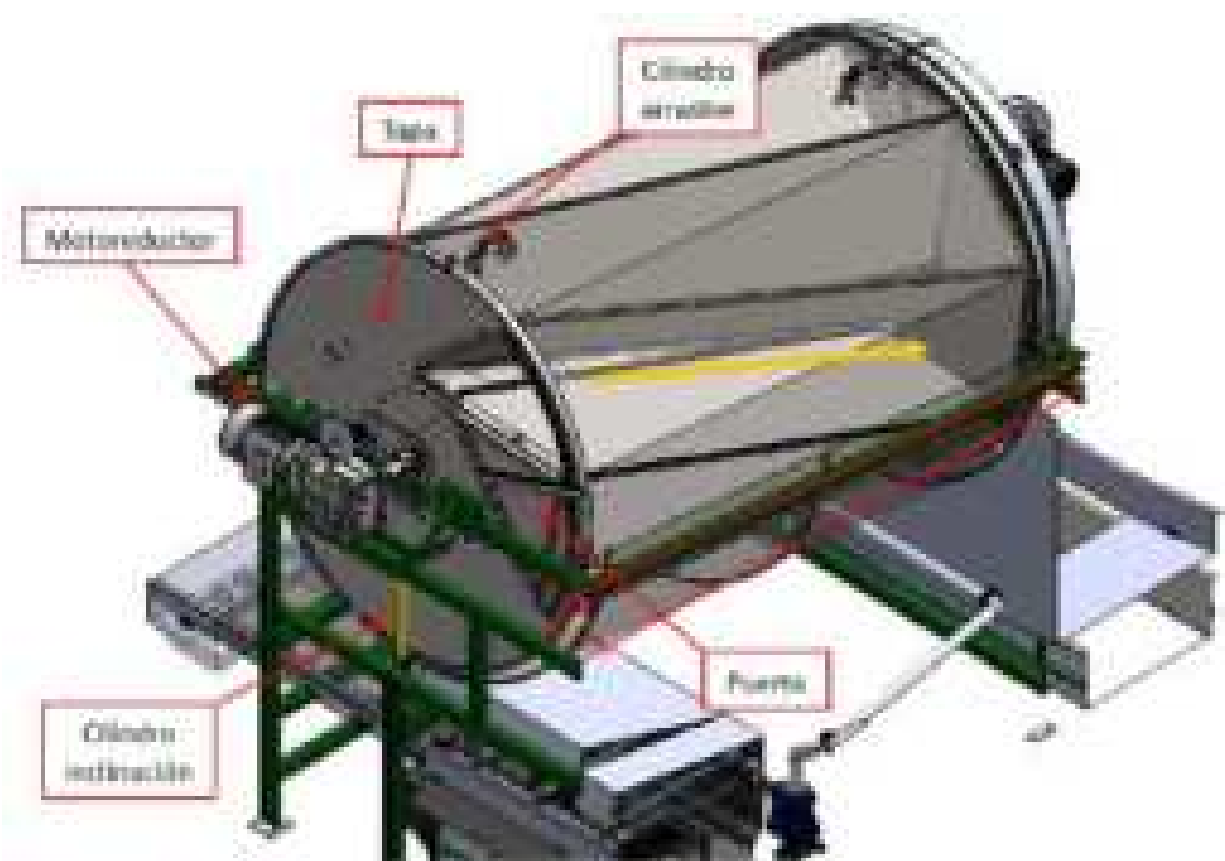
La tecnología propuesta para los accionamientos de los actuadores que gobernarán los movimientos de carga y descarga se plantean del tipo neumática, dado que al tratarse de la industria alimenticia deben tenerse ciertos recaudos en cuanto a la contaminación de la materia prima.

Por su parte también los materiales se adecuarán a los fines alimenticios, tales como acero inoxidable, lubricantes apto alimentos, etc. que se irán mencionando en cada apartado siguiente.

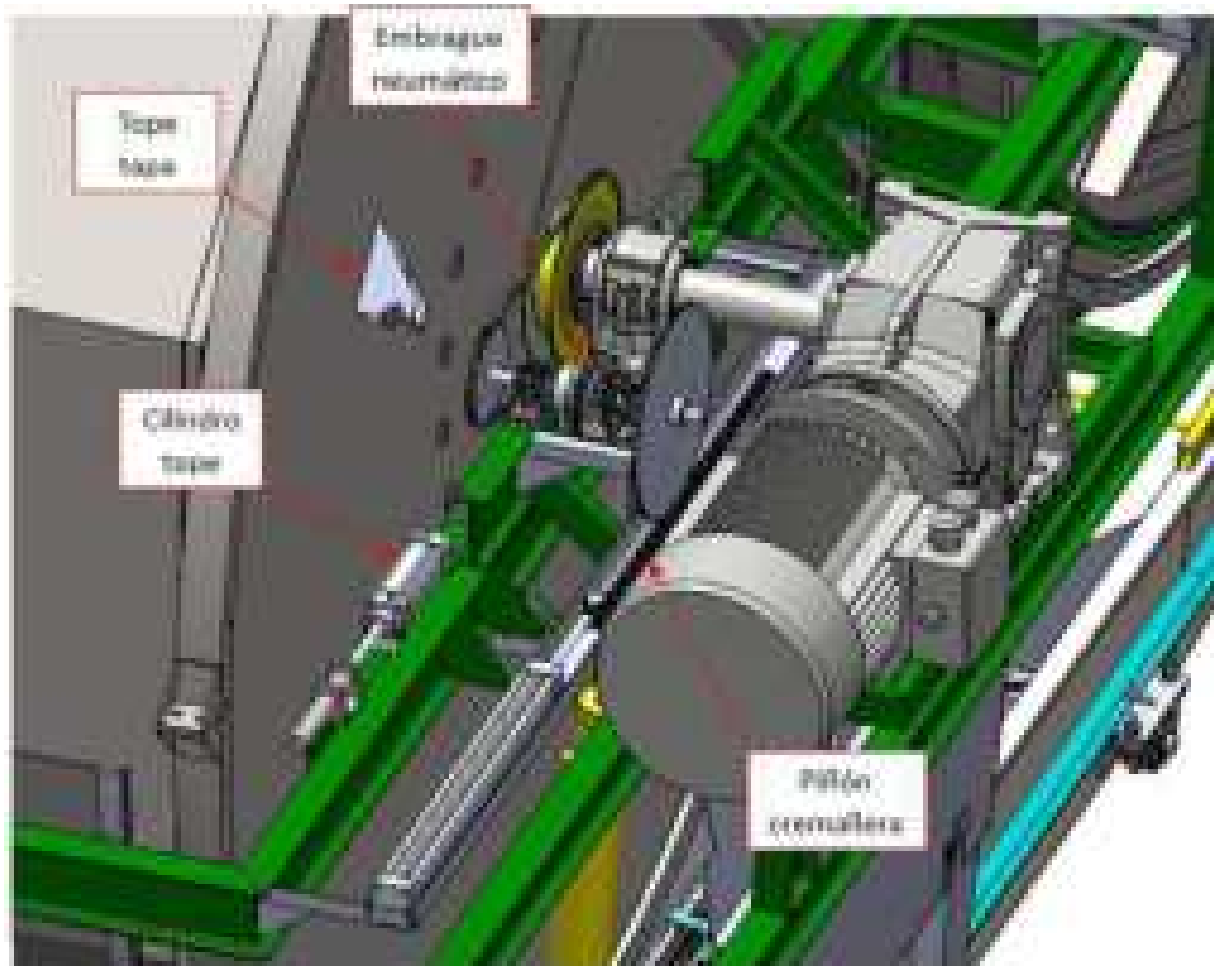
## Sistema de carga

La carga del tambor se realizará por un extremo del mismo, y las hojas serán llevadas mediante una cinta transportadora (no representada) hasta este sitio.

Los componentes que intervienen durante la carga del tambor se muestran en las figuras 3-3 y 3-4.



**Figura 3-3:** Componentes principales del sistema de carga [Elaboración propia]



**Figura 3-4:** Componentes de sistema de tope y apertura de puerta de carga  
[Elaboración propia]

La secuencia de carga se dividirá en ítems a continuación para un mayor entendimiento:

1- Los compartimentos del tambor poseen una inclinación determinada por el ángulo mínimo de deslizamiento de las hojas, el cual se obtuvo de forma experimental con valores de  $20^\circ$  para el caso estático y de  $16^\circ$  para el caso dinámico, y que es crucial para el llenado del compartimento de carga. El ángulo de inclinación fijo de los compartimentos es propuesto en  $16^\circ$ , para lo cual como primera instancia el cilindro hidráulico inclina  $5^\circ$  adicionales la estructura soporte del tambor, a fines de permitir el deslizamiento de las hojas por dentro del compartimento y su óptimo llenado. El cilindro encargado de comandar esta inclinación es del tipo hidráulico por las fuerzas

implicadas, y en caso de existir fugas de aceite en este sector la materia prima no se vería afectada por contaminación.

2- La tapa, solidaria al tambor mediante el cilindro de arrastre, se aproxima de modo que el tope de la misma se detenga en su complemento dado por el cilindro de tope.

3- Se desvincula la tapa del tambor mediante la retracción del cilindro de arrastre, consecuentemente la tapa tendrá movimiento relativo respecto a el tambor.

4- Mediante las partes componentes del conjunto de comando de la puerta se otorgará movimiento relativo a la puerta respecto a la tapa, permitiendo descubrir el compartimento de carga el cual se encuentra orientado favorablemente para el ingreso de las hojas.

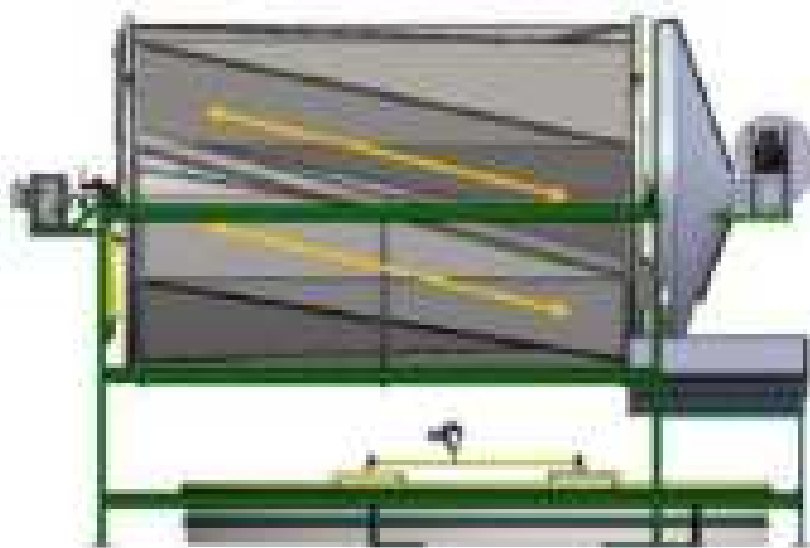
5- Los compartimentos se irán llenando de a uno por vez y de manera opuesta (no adyacentes) a fin de permitir una carga equilibrada. Este movimiento preciso para la selección del compartimento a cargar será comandada mediante un encoder que trabajará en conjunto con el motoreductor con freno

6- Al completarse el llenado de todos los compartimentos, el tambor toma de nuevo su posición horizontal, se realiza el cierre de la puerta de carga, retracción del cilindro de tope y vinculación del cilindro de arrastre, para nuevamente girar de manera solidaria el conjunto tapa - puerta con el tambor.

## **Sistema de aireado**

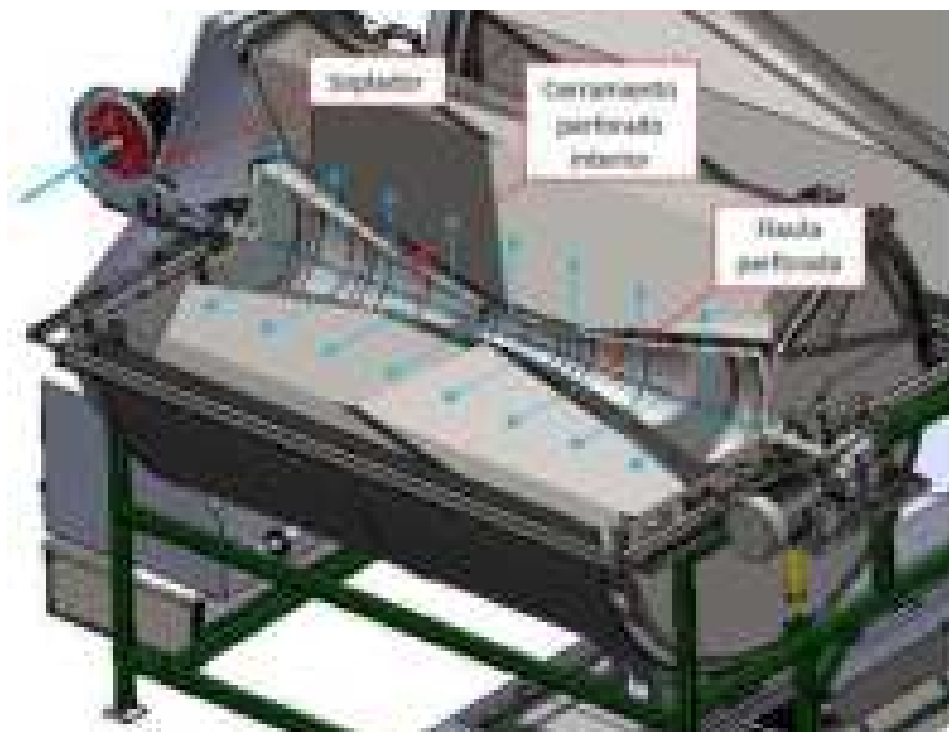
El tambor con la carga en su interior permanecerá en movimiento a bajas rpm, aireando las ramas recién cosechadas hasta que inicie el proceso de descarga. Cabe destacar que este proceso no busca enfriar la carga de ramas sino evacuar el calor generado por la actividad de la materia orgánica.

El aireado se realiza combinando el suave movimiento longitudinal alternativo de vaivén de las hojas dentro del tambor, ver figura 3-5, con el flujo radial de aire, proporcionado por el soplador.



**Figura 3-5:** movimiento de vaivén en los compartimentos [Elaboración propia]

El soplador insufla aire en la flauta perforada, ubicada dentro del espacio del cerramiento interior del tambor. Las perforaciones de esta flauta en el espacio libre del cerramiento interior del tambor permiten una distribución uniforme del flujo de aire, ver figura 3-6.



**Figura 3-6:** Sección parcial - flujo de aire [Elaboración propia]

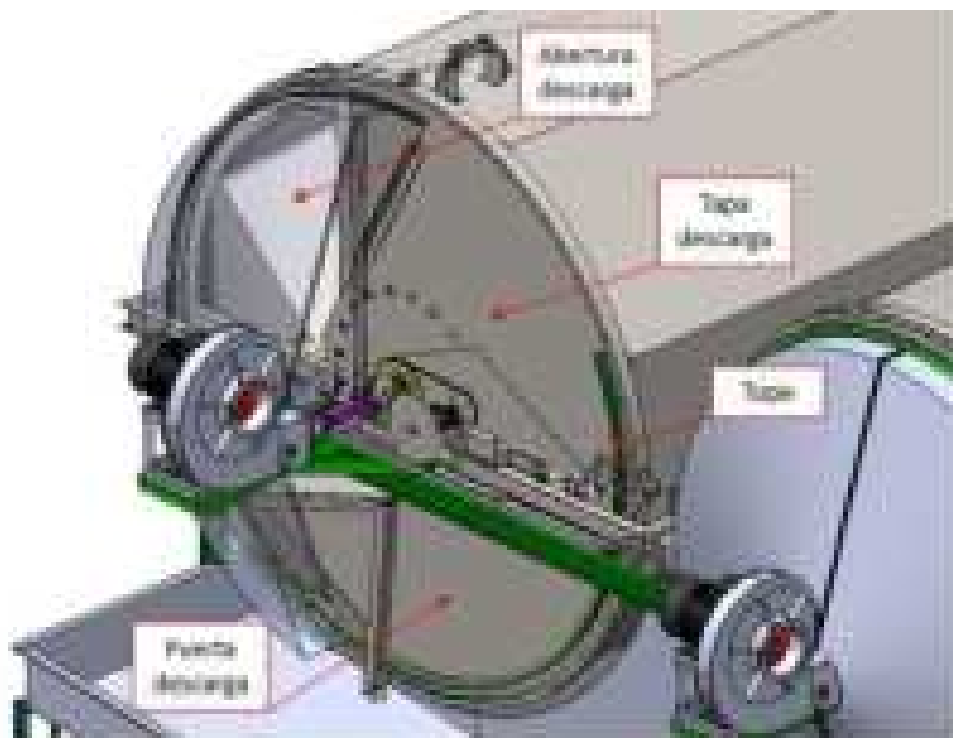
El tambor se encuentra compartimentado a fin de mejorar la condición de apilamiento actual de las hojas, ver figura 1-1, y de esta forma reducir la presión sobre las mismas y que no resulten autoportantes de su propio peso. De esta forma las divisiones permiten soportar el peso de cada fracción de la carga en elementos estructurales del tambor y no sobre sí misma.

## **Sistema de descarga**

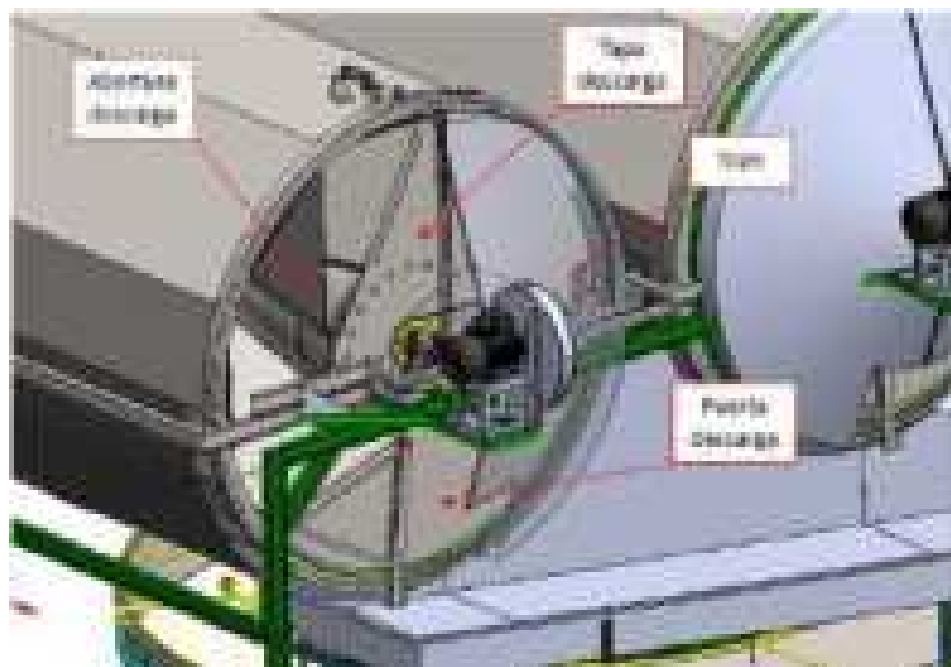
El mecanismo de descarga se compone de las mismas partes que el sistema de carga, a diferencia de que en este la puerta y abertura de descarga abarca más de un compartimento, ver figura 3-7.

Los compartimentos se descargan en simultáneo durante el giro y no requieren de inclinación adicional por parte de la estructura que contiene al tambor, debido a que el coeficiente de roce dinámico es menor para las ramas en movimiento.

La razón por la que la abertura abarca más de un compartimento radica en que, al existir movimiento relativo entre la tapa y el tambor durante la descarga, las ramas no deben “guillotinarsen” contra el final de la abertura de descarga. Así, esto no ocurre dado que el movimiento de vaivén de las ramas en los compartimentos del tambor producen que en el momento en que el compartimento que se encuentra descargando deje de estar descubierto por la abertura, las ramas ya no se encuentren ejerciendo presión sobre la tapa en la parte superior.



**Figura 3-7:** Subconjunto de descarga, se retira cono de descarga derecho para comprensión visual. [Elaboración propia]



**Figura 3-8:** Subconjunto de descarga, se retira cono de descarga izquierdo para comprensión visual. [Elaboración propia]

## Sistema de lavado

Una vez descargadas en la pileta, a través de la rampa de descarga, comienza el proceso de lavado de la materia prima, para así remover de la misma los restos de polvo adheridos en el haz y el envés de la hoja, así como también separar las semillas y restos vegetales que estas pueden contener para obtener al final del proceso una yerba de mayor calidad.



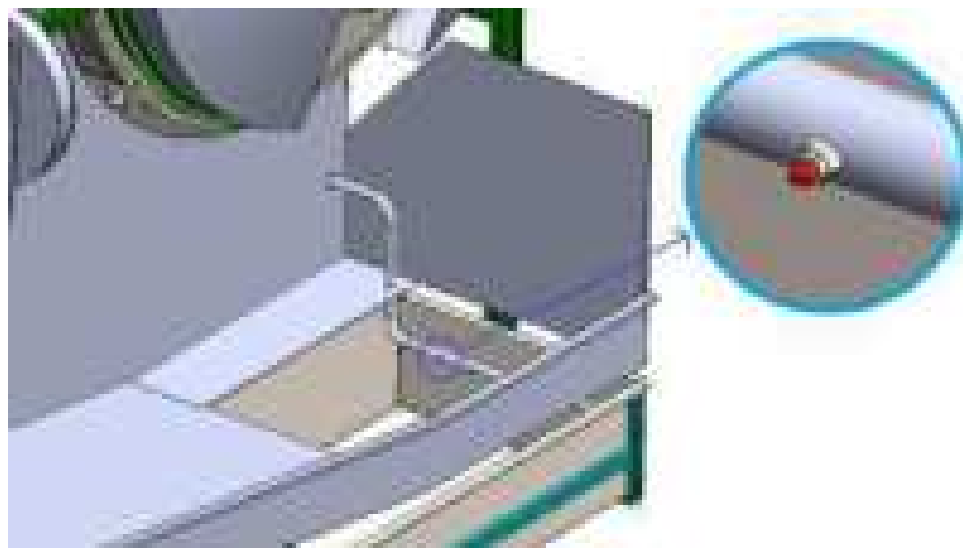
**Figura 3-9:** Flujo de ramas en rampa de descarga. [Elaboración propia]

Las hojas descargadas en la pileta se encuentran con un chorro de agua a presión en la dirección de avance. Este chorro genera el inicio de una corriente de agua la cual recorre toda la longitud de la pileta con el fin de trasladar las ramas hasta el proceso de secado a la vez que va lavandolas.



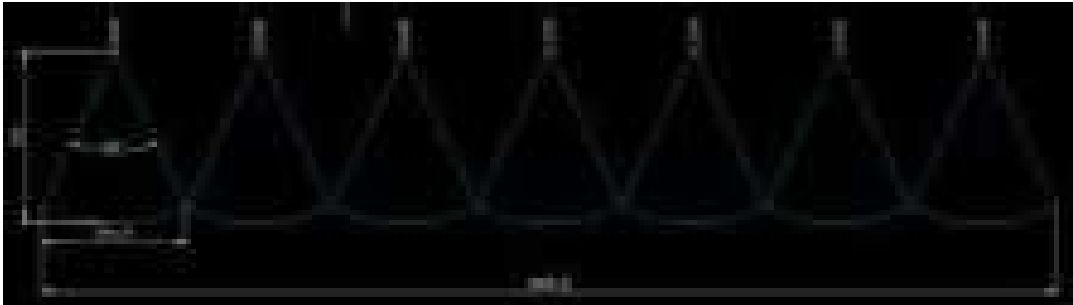
**Figura 3-10:** Subconjunto de lavado - Dirección de avance, corriente de agua  
[Elaboración propia]

Este chorro impulsor es generado por unas boquillas las cuales están dispuestas a 45° respecto de la horizontal con el fin de generar la corriente de avance en el agua a la vez que las va limpiando.



**Figura 3-11:** Boquillas [Elaboración propia]

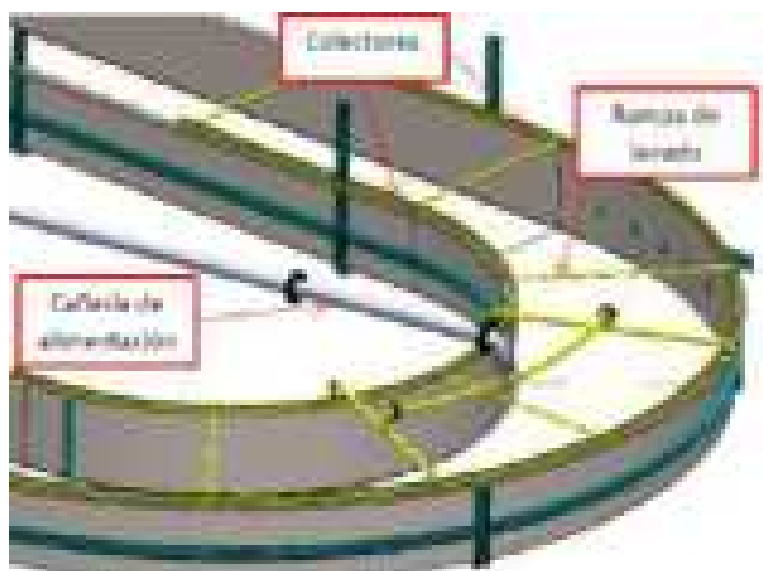
Estas boquillas son del tipo abanico y las mismas tienen un ángulo de apertura de  $50^\circ$ , y al estar a una distancia de 250 mm de la superficie del agua las mismas son capaces de cubrir todo el ancho de la pileta para así generar un lavado efectivo.



**Figura 3-12:** Apertura de boquillas [Elaboración propia]

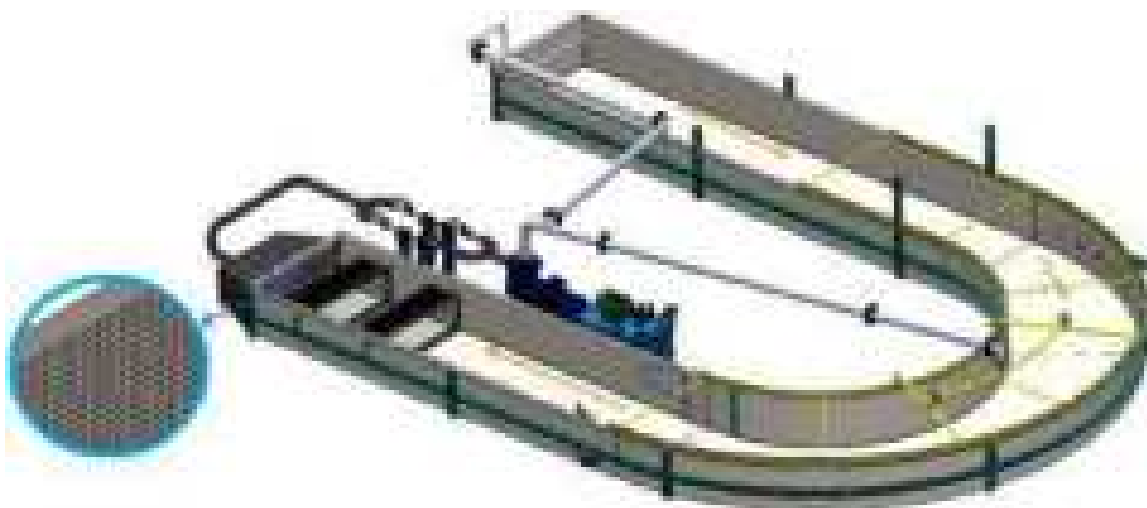
La corriente de agua no solo es generada por las boquillas mostradas anteriormente colocadas al inicio de la pileta sino que también, hay un total de 42 boquillas más distribuidas a lo largo de la misma.

Estos picos/boquillas están montados sobre lo se que denominan rampas de lavado, que son cañerías de acero inoxidable de 1" de diámetro, las cuales son alimentadas por dos caños colectores también de acero inoxidable que se encargan de distribuir el agua a presión. Se seleccionaron caños de acero inoxidable debido a que se trata del procesamiento de un producto alimenticio.



**Figura 3-13:** Componentes principales del sistema de lavado [Elaboración propia]

Así como la corriente es generada por la impulsión de chorros de agua, también es favorecida por la succión de la bomba, la cual está ubicada al final de la pileta, luego de una primera etapa de filtrado grueso.



**Figura 3-14:** Pared perforada de succión [Elaboración propia]

Esta pared perforada se encarga de generar una succión de manera uniforme a lo largo y ancho de la sección transversal de la pileta, con el fin de mejorar y favorecer el flujo de las ramas.

La succión nombrada es generada por una bomba **autocebante**, debido a la diferencia de altura desfavorable que existe entre el punto de aspiración y de impulsión de la misma. Dicha bomba es cuidadosamente accionada con agua ya filtrada.

## Filtrado

El proceso de filtrado del agua se realiza en dos etapas:

Una primera etapa de filtrado grueso, donde se eliminará todo tipo de hojas o ramas que no hayan sido capturadas por la cinta de secado que se verá posteriormente, con el fin de evitar la obturación de la pared perforada de succión.

Este filtro de malla es controlado e intervenido de manera manual aún en funcionamiento, mediante una manivela con la cual es posible, una vez obturada la

mallas de filtrado, rotarla y descargar las hojas y ramas sobre una bandeja de recolección, la cual es desmontable para poder desechar estos residuos.



**Figura 3-15:** Primer etapa de filtrado [Elaboración propia]

Una segunda etapa de filtrado se da luego de que el agua ya libre de materiales de tamaño considerable atraviesan la pared perforada.

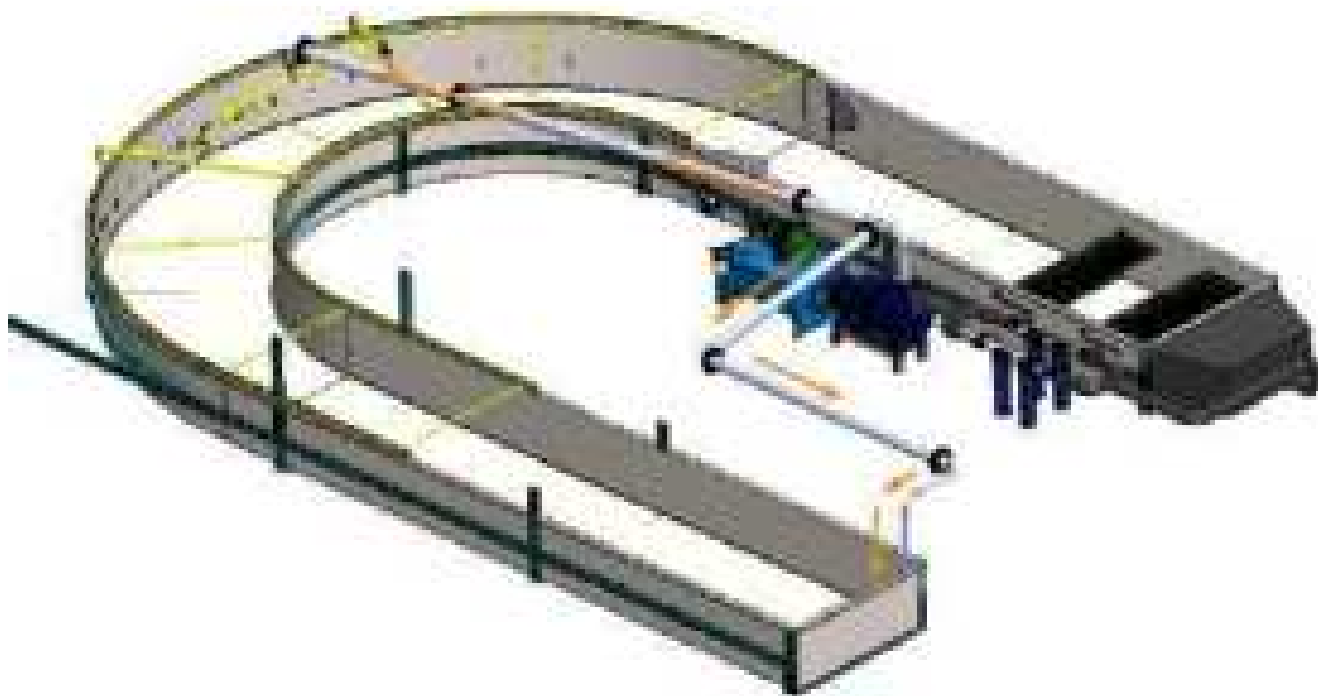
Esta segunda etapa, es una filtrado fino donde el mismo se realiza con filtros de cartucho de acero inoxidable, con dos tamaños de filtro distintos. Primero se filtra con una malla de 30um y luego con una de 10um.



**Figura 3-16:** Segunda etapa de filtrado [Elaboración propia]

El filtrado se realiza con 2 filtros en paralelo y con una desviación comandada por válvulas esféricas de 1 ½" con el fin de poder realizar mantenimiento de a un filtro a la vez, aun cuando el sistema de lavado está en funcionamiento.

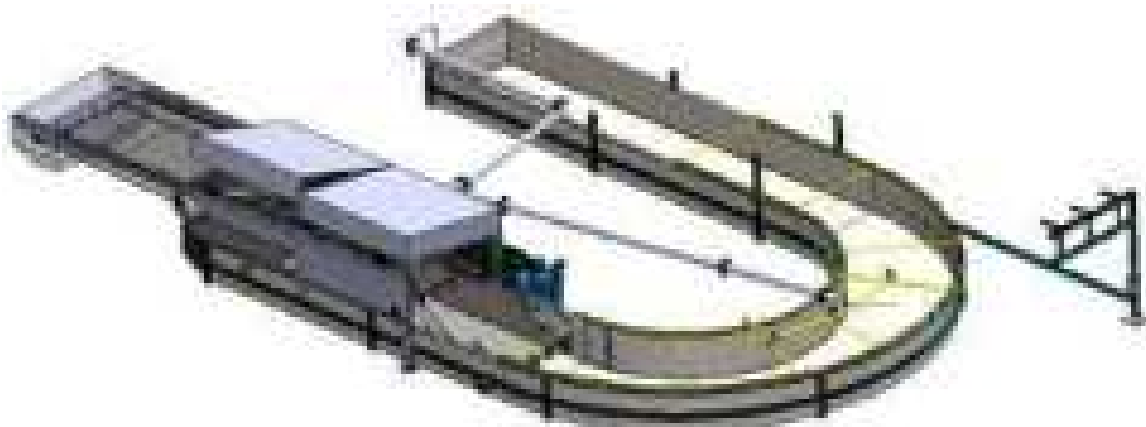
Una vez ya filtrada el agua, la bomba la impulsa por la tubería de 4" tanto al frente de la pileta, donde se descargan las ramas luego del aireado, como a los colectores que alimentan las rampas de lavado.



**Figura 3-17:** Impulsión [Elaboración propia]

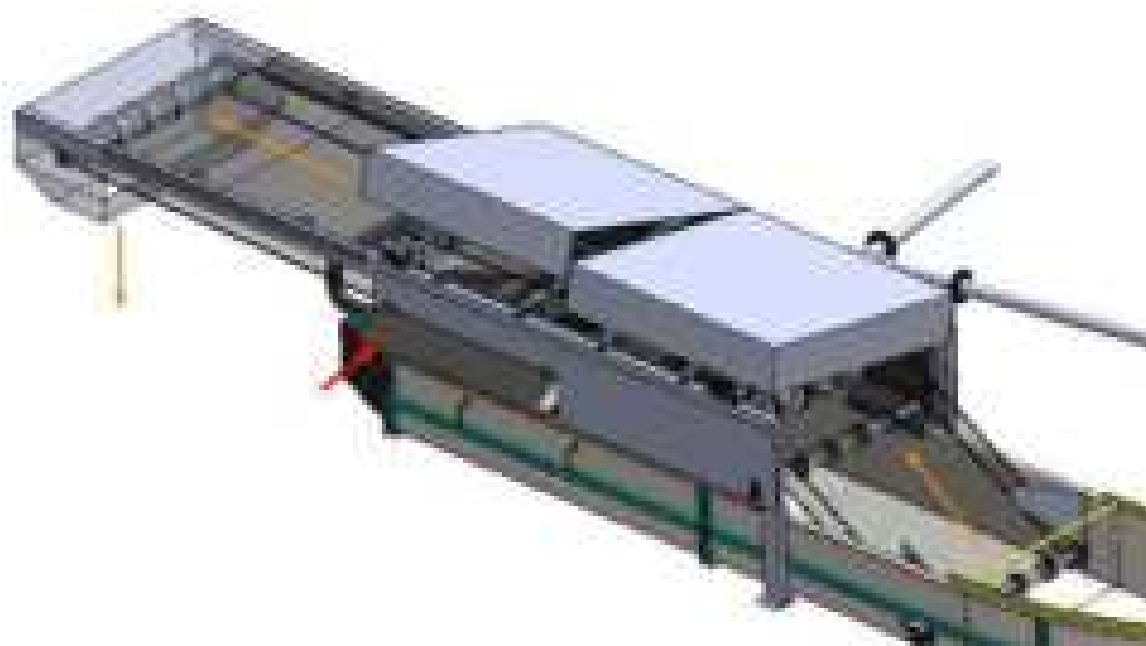
## Sistema de secado

A continuación se observa el conjunto Pileta - Cinta de secado, ver figura 3-18, para comprender la secuencia del último proceso del tratado de la yerba, antes de su entrada al horno.



**Figura 3-18:** Conjunto Pileta-Cinta de secado [Elaboración propia]

Una vez que las ramas fueron lavadas en la pileta, las mismas por la acción del flujo de agua se encuentran con la cinta transportadora mallada, la cual las recoge del agua con la ayuda de unos deflectores que encausan las ramas hacia el centro de la banda mallada.



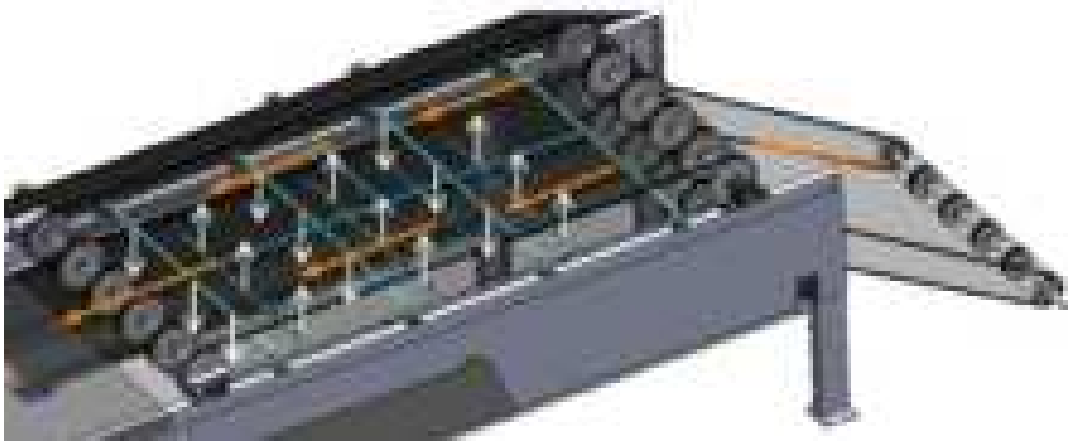
**Figura 3-19:** Recorrido de las ramas en la estación de secado [Elaboración propia]

Las ramas entran dentro del equipo de secado donde se encuentran con cortinas de aire ascendentes y descendentes que se encargan de barrer el remanente de líquido que les queda en superficie de manera mecánica mediante aire a presión.

Este dispositivo maneja una presión de 6.5 Bar, la cual disminuye debido a la distancia que existe entre las boquillas y la superficie de la cinta (150 mm).

La imagen siguiente nos deja ver como es el sistema por dentro, donde podemos apreciar mediante flechas blancas la dirección del flujo de aire, en cada una de las rampas de aire que alimentan a las boquillas.

En color naranja se representa el sentido de avance de las ramas lavadas.

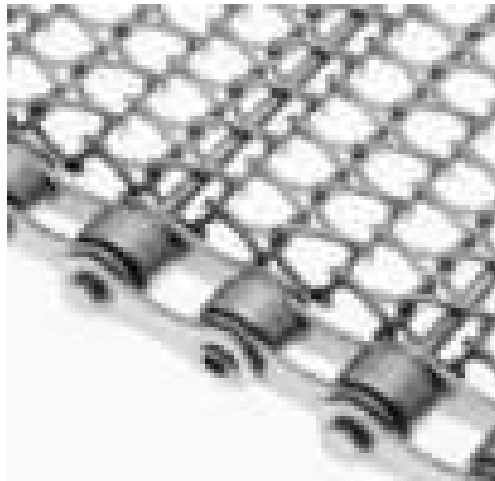


**Figura 3-20:** Cortina ascendente y descendente de aire [Elaboración propia]

Este equipo de secado es comandado por un motorreductor de ejes ortogonales que, mediante un sistema de transmisión por cadena, se encarga de entregar potencia a los ejes encargados de portar la banda mallada mediante un sistema de rodillos acanalados de PTFE.

La banda mallada incorpora cadenas de transmisión en sus bordes, así por medio de coronas montadas en los ejes motrices, se genera el movimiento de avance de la cinta.

Tanto la banda mallada como la cadena son de acero inoxidable debido a que en esta instancia, las ramas se encuentran en una atmósfera húmeda.



**Figura 3-21:** Cinta mallada a utilizar, permite paso de cortina de aire y escurrimiento.  
[CAMPBELT S.A]

Los ejes que observamos en la Figura 3-20, van montados sobre unidades de rodamiento de bolas, por lo que será necesario el uso de lubricantes especiales y que sean aptos para la industria alimenticia, es por eso que optamos por la línea para la industria de alimentos y bebidas de la marca SKF, dado que la lubricación es imprescindible en estos elementos de máquina.

La estación de secado cuenta con un cerramiento de chapa en toda su longitud el cual tiene como objetivo mantener controlado el spray generado por el barrido del remanente de agua de las ramas, a su vez de mantener la materia prima ya lavada y seca aislada del polvillo que podrían arrojar los tambores de aireado debido a que sus paredes son perforadas.

Estos cerramientos pueden ser abiertos, ya que los mismos están montados sobre bisagras para así poder inspeccionar el interior de la cinta y proceder a realizar alguna intervención en caso de ser necesario.

Si observamos la figura 3-19 vemos que en rojo se indica una tapa, la cual tiene como objetivo poder ser abierta y extraer las bandejas de recolección de la imagen 3-15 para su posterior limpieza.

Al finalizar esta etapa de secado las ramas están en condiciones de seguir su camino hacia el horno de zapecado.

## Capítulo 4: Memoria de cálculo y selección de componentes

### Datos de proceso

El equipo se dimensiona para las siguientes características:

- Capacidad máxima de procesamiento de 3000 kg/h, caudal típico de trabajo del horno de zapecado.
- Densidad de ramas de yerba mate 80kg/m<sup>3</sup> (estimado)

Estos datos serán utilizados en los siguientes apartados de la memoria de cálculo.

### Sistema de carga

#### Cilindro hidráulico - Inclinación tambor

Determinación de carrera

Según el análisis del ángulo de talud de las ramas, para la condición de carga, se requiere que la inclinación del tambor dada por el cilindro sea de 5° adicionales a la pendiente de los compartimentos del tambor.

De allí se deduce que la carrera necesaria es de aproximadamente 520 mm.

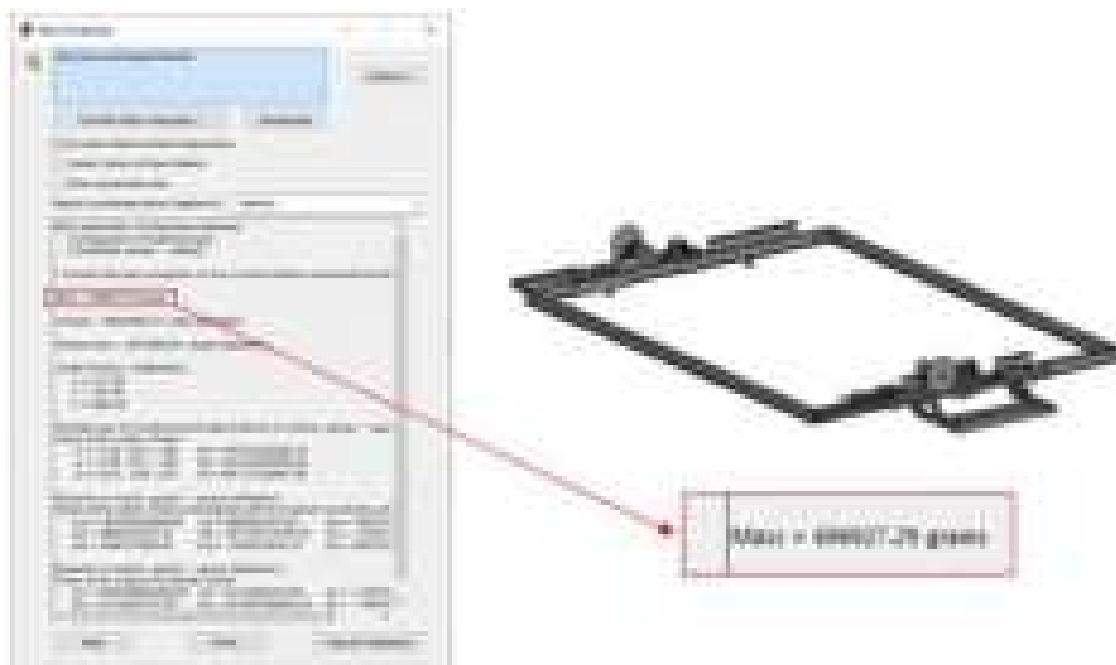


**Figura 4-1:** Esquema para cálculo. [Elaboración propia]

#### Determinación de la fuerza ejercida

Para determinar la fuerza a ejercer por el cilindro, se contempla el peso de la estructura sobre la que va montada el tambor, el tambor, la carga de ramas, y el conjunto motorreductor.

Para determinar las propiedades de masa de la estructura y el tambor, se realizó mediante la asistencia del software Solidworks, con sus correspondientes materiales asignados. Ver figuras 4-2 y 4-3 respectivamente.



**Figura 4-2:** Propiedades de masa de estructura individual. [Elaboración propia]



**Figura 4-3:** Propiedades de masa del tambor. [Elaboración propia]

Para el cálculo de la fuerza resultante a ejercer por el cilindro, se tiene entonces:

$$F = \frac{\text{Peso estructura}}{2} + \frac{\text{Peso tambor}}{2} + \frac{\text{Peso carga ramas}}{2} + \text{Peso reductor (ver fig. 19)}$$

$$F = \frac{697}{2} + \frac{6997}{2} + \frac{5000}{2} + 666 = 7013 \text{ [kg]}$$

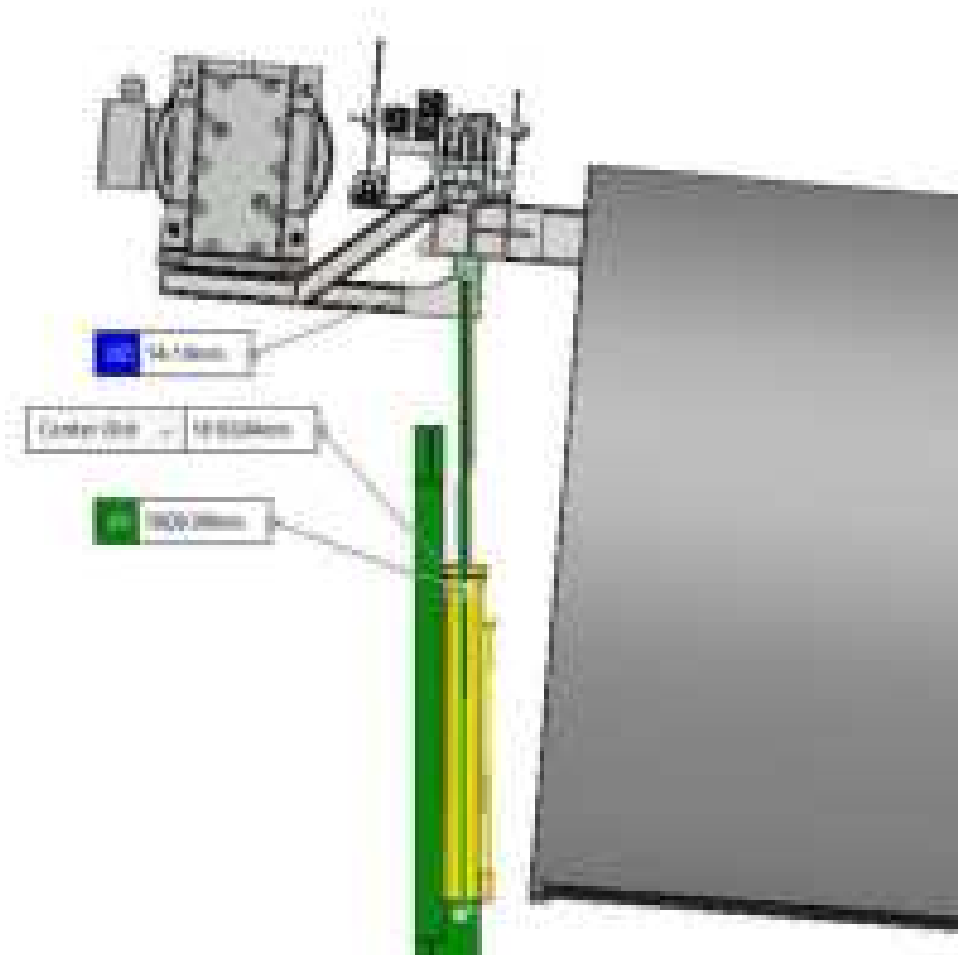
Del catálogo del fabricante Moro Hidráulica se selecciona un cilindro de uso robusto, con las siguientes características superadoras a las necesarias:

- Carrera: 800 mm
- Diámetro: 4" → 9700 [kgf] @120bar (presión recomendada)



## Verificación al pandeo

La disposición de cilindro adoptada, ver figura 4-5, resulta con ambos extremos articulados, y una distancia máxima entre los mismos de 1810 mm.



**Figura 4-5:** Montaje del cilindro [Elaboración propia]

La verificación al pandeo se realiza por Euler, considerando a la barra como una vara esbelta

$$F = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{S_k^2 \cdot C} = [kg]$$

Donde:

$Sk = \text{Longitud libre de pandeo en cm}$

$E = \text{Módulo de elasticidad en kg/cm}^2 (2,1 \times 10^6 \text{ para acero})$

$J = \text{Momento de inercia en cm}^4 (0,0491 \times d^4 \text{ para secciones redondas})$

$C = \text{Coeficiente de seguridad (2,5)}$

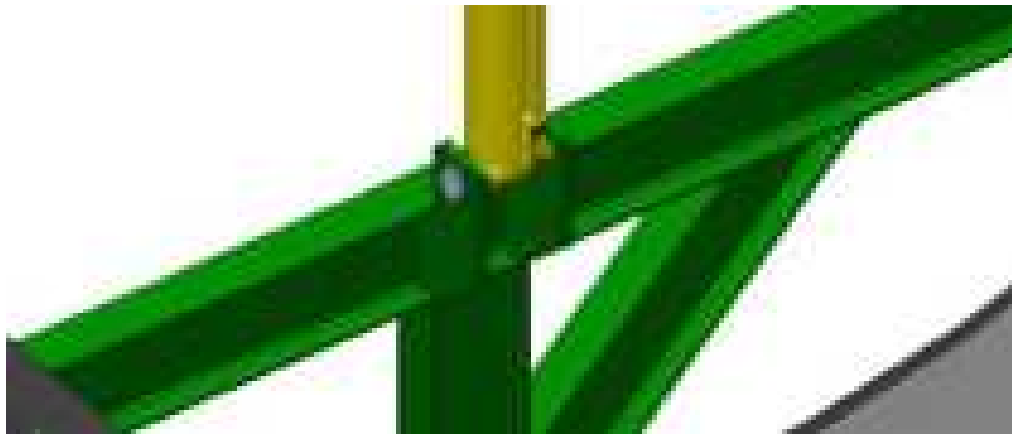
De donde se obtiene que:

$$F = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^6 \cdot 0,0491 \times 5,08^4}{181^2 \cdot 2,5} = 8274 \text{ [kg]}$$

Por lo tanto, con un factor de seguridad de 2.5, el cilindro hidráulico verifica al pandeo ya que  $7013 < 8274 \text{ [kg]}$

## Anclaje inferior cilindro

Para la verificación de este anclaje se realiza una simulación por elementos finitos utilizando el software Solidworks. La disposición del anclaje puede verse en la figura 4-6.



**Figura 4-6:** Disposición anclaje inferior. [Elaboración propia]

Material: SAE 1020 espesor  $\frac{3}{4}$ "

Fuerza aplicada en el ojal del cilindro:

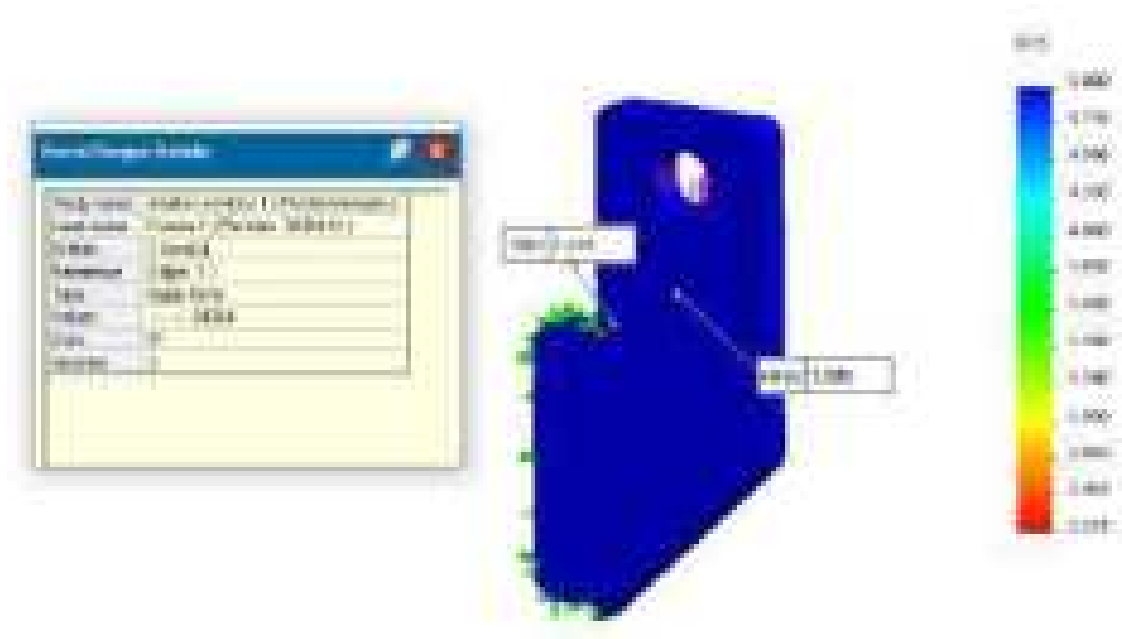
$$F = \frac{7013[kg]}{2} = 3506.5[kg] \cdot 9,8\left[\frac{m}{s^2}\right] = 34364[N]$$



**Figura 4-7:**Condiciones de simulación. [Elaboración propia]



**Figura 4-8:**Resultados. Tensiones de Von Misses. [Elaboración propia]



**Figura 4-9:**Resultados. Factor de seguridad, máximos y mínimos. [Elaboración propia]

Puede observarse que el factor de seguridad es mayor a 5 prácticamente en la totalidad de la pieza, a excepción de un único punto donde se produce un fenómeno de concentración de tensiones, pero aún así en este punto el factor resulta mayor a 2, por lo que el anclaje verifica correctamente para el estado de cargas solicitado.

## Perno pivote - Inclinación tambor

El diámetro de los pernos en la sección más solicitada al corte es de 50mm

Material: SAE 4140 Templado y revenido a 37HRc

La carga P a la que se encuentran sometidos estos pernos es

$$F = \left( \frac{697}{2} + \frac{6997}{2} + \frac{5000}{2} \right) / 2 = 3174[kg]$$

$$\sigma_{fl.SAE4140-37HRc} = 118 \left[ \frac{kg}{mm^2} \right]$$

Con un factor de seguridad

$$N = 6 \rightarrow \sigma_{fl. SAE4140-37HRc} = \frac{118 \left[ \frac{kg}{mm^2} \right]}{6} = 19,6 \left[ \frac{kg}{mm^2} \right]$$

$$\tau_{eje} = \frac{P}{\pi \cdot \left( \frac{50mm}{2} \right)^2} = \frac{3174}{1963 [mm^2]} = 1,61 \left[ \frac{kg}{mm^2} \right] \ll \sigma_{fl. SAE4140-37HRc}$$

Se verifican los pernos para el estado de carga solicitado.

## Dimensionamiento secado

El método de breve secado por barrido mecánico propuesto, trae implícita la existencia de humedad remanente en la superficie de la hoja. Es por ello que se verá afectada la capacidad de procesamiento del zapecado, proceso siguiente.

## Cálculo teórico

Para determinar en qué medida afecta al zapecado y cuál es el máximo contenido de humedad remanente admisible, adicional a la propia de las ramas, el estudio se basó en la tesis **"ESTUDIO Y MODELADO MATEMÁTICO DEL PROCESAMIENTO PRIMARIO DE LA YERBA MATE"** [4] utilizada como referencia, y en el cual se estudia en detalle el rendimiento de un horno de zapecado, contemplando todas las variables que intervienen y planteado sobre un establecimiento típico sobre el que se realizaron mediciones del proceso.

En primera instancia se convirtió el procedimiento de cálculo en formato de hoja de cálculo, para poder ajustar las variables de interés.

| Cálculos teóricos de referencia |                                           |      |      |
|---------------------------------|-------------------------------------------|------|------|
| 1                               | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 2                               | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 3                               | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 4                               | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 5                               | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 6                               | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 7                               | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 8                               | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 9                               | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 10                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 11                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 12                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 13                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 14                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 15                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 16                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 17                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 18                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 19                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 20                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 21                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 22                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 23                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 24                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 25                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 26                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 27                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 28                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 29                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 30                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 31                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 32                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 33                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 34                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 35                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 36                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 37                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 38                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 39                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 40                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 41                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 42                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 43                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 44                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 45                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 46                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 47                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 48                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 49                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 50                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 51                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 52                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 53                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 54                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 55                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 56                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 57                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 58                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 59                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 60                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 61                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 62                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 63                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 64                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 65                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 66                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 67                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 68                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 69                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 70                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 71                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 72                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 73                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 74                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 75                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 76                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 77                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 78                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 79                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 80                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 81                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 82                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 83                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 84                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 85                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 86                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 87                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 88                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 89                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 90                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 91                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 92                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 93                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 94                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 95                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 96                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 97                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 98                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 99                              | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |
| 100                             | Costo de materia prima (kg de yerba mate) | 1000 | 1000 |

**Tabla 4-1:** Cálculos teóricos de referencia [Elaboración propia]

Al contar luego del secado propuesto con un mayor valor de humedad, se plantea una reducción del 20% en el caudal de alimentación del horno de zapecado como admisible. Como el rendimiento del horno no cambiará y se mantendrá en el 76% calculado, es decir se mantendrán las variables de consumo de combustible y condiciones de humedad de las ramas a la salida del mismo (dado que las exige el procesamiento), se ajusta el valor de humedad extra admisible en las ramas.

| Entrada         |                         |         |         | Un |
|-----------------|-------------------------|---------|---------|----|
| H <sub>h1</sub> | Contenido humedad hojas | [kg/kg] | 0,57481 | 13 |
| H <sub>p1</sub> | Contenido humedad palos | [kg/kg] | 0,70512 | 13 |

Caudal de flujo de ramas [%] 20 1470,506

| Datos originales |         |
|------------------|---------|
| H <sub>h1</sub>  | 0,57481 |
| H <sub>h2</sub>  | 0,597   |
| H <sub>p1</sub>  | 0,624   |
| A <sub>1</sub>   | 2040,7% |

**Tabla 4-2:** Cálculos teóricos [Elaboración propia]

Como resultado, es posible ingresar al horno manteniendo su rendimiento, las hojas y palos con un valor de humedad adicional del 13% respecto al propio.

Dado que la proporción de humedad de las hojas y de los palos respecto a sus propios pesos es cercano entre sí (59,7% para las hojas y 62,4% para los palos), consideramos como proporción de agua respecto al peso de la rama (hojas y palo) el 60%, a fin de simplificar el análisis. De allí se deduce que el 13% de humedad adicional respecto al propio de las ramas es equivalente al 7,8% de su peso, es decir un valor de 78 g de agua/kg de yerba.

## Validación experimental

Para contrastar que es posible de alcanzar el valor teórico estimado de humedad remanente en las ramas con el método de secado propuesto, se realizó una breve experiencia que consistió en simular el avance de las ramas por sobre el abanico de aire a presión, relevando variables tales como cantidad de pasadas (haz y envés de la hoja), distancia de aplicación y presión utilizada, ver imágenes 4-10 y 4-11.

Se utilizó una rama de características similares al corte de cosecha típico de la yerba mate y, al conocerse mediante una balanza de precisión los valores del peso de la rama antes de ser lavada y secada, y el valor del peso de la misma luego del secado, es decir, por diferencia del valor de humedad remanente, pudo establecerse el % del peso que esta última representa.



**Figura 4-10:**Relevo experimental de variables de influencia. [Elaboración propia]



**Figura 4-11:**Balanza de precisión utilizada [Elaboración propia]

Obteniéndose un valor de 5,16%, resultando menor al límite establecido de 7,8% obtenido de forma teórica en el apartado anterior.

Este último se tomó como representativo luego de una serie de pruebas a distintas distancias de barrido a la hoja, presión de aire y velocidad de pasada. Particularmente se obtuvo con una distancia a la hoja de 15 cm, una presión de aire de 6.5 bar y un total

de 3 pasadas (haz y envés), características mínimas suficientes con las que contará el subsistema de secado del equipo.

|              |       |          |
|--------------|-------|----------|
| Peso en seco | 95,8  | [Gramos] |
| Peso en agua | 0,118 | [Gramos] |
|              |       |          |

| Prueba 1                     |                     |          |
|------------------------------|---------------------|----------|
| Presión                      | 0,5                 | [bar]    |
| Alfura pico aire             | 12                  | [cm]     |
| Cant. etapas secado          | 4 (2 Haz y 2 Envés) |          |
| Peso luego del secado        | 100,15              | [Gramos] |
|                              |                     |          |
| Peso de agua                 | 4,85                | [Gramos] |
| Peso de agua                 | 0,118               | [Gramos] |
|                              |                     |          |
| Peso de agua en 1kg de ramas | 54,66               | [Gramos] |

| Prueba 2                     |                     |          |
|------------------------------|---------------------|----------|
| Presión                      | 7                   | [bar]    |
| Alfura pico aire             | 17,5                | [cm]     |
| Cant. etapas secado          | 4 (2 Haz y 2 Envés) |          |
| Peso luego del secado        | 100,15              | [Gramos] |
|                              |                     |          |
| Peso de agua                 | 12,1                | [Gramos] |
| Peso de agua                 | 0,061               | [Gramos] |
|                              |                     |          |
| Peso de agua en 1kg de ramas | 100,09              | [Gramos] |

| Prueba 3                     |                     |          |
|------------------------------|---------------------|----------|
| Presión                      | 0,5                 | [bar]    |
| Alfura pico aire             | 12,5                | [cm]     |
| Cant. etapas secado          | 4 (2 Haz y 2 Envés) |          |
| Peso luego del secado        | 100,45              | [Gramos] |
|                              |                     |          |
| Peso de agua                 | 5,11                | [Gramos] |
| Peso de agua                 | 0,002               | [Gramos] |
|                              |                     |          |
| Peso de agua en 1kg de ramas | 55,35               | [Gramos] |

| Prueba 4                     |                     |          |
|------------------------------|---------------------|----------|
| Presión                      | 0,5                 | [bar]    |
| Alfura pico aire             | 12                  | [cm]     |
| Cant. etapas secado          | 4 (2 Haz y 2 Envés) |          |
| Peso luego del secado        | 100,15              | [Gramos] |
|                              |                     |          |
| Peso de agua                 | 4,8                 | [Gramos] |
| Peso de agua                 | 0,111               | [Gramos] |
|                              |                     |          |
| Peso de agua en 1kg de ramas | 54,37               | [Gramos] |

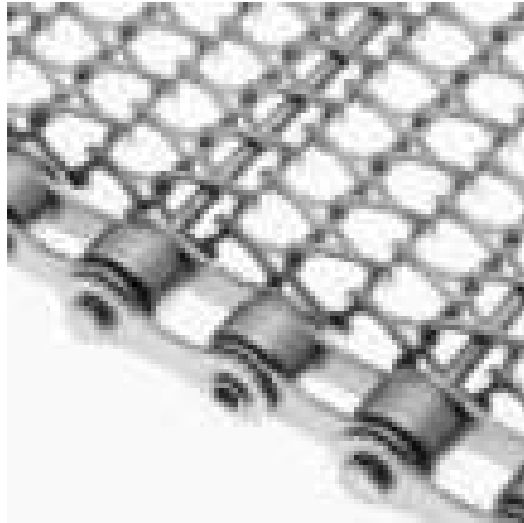
  

| Prueba 5                     |                     |          |
|------------------------------|---------------------|----------|
| Presión                      | 0,5                 | [bar]    |
| Alfura pico aire             | 12                  | [cm]     |
| Cant. etapas secado          | 4 (2 Haz y 2 Envés) |          |
| Peso luego del secado        | 100,15              | [Gramos] |
|                              |                     |          |
| Peso de agua                 | 4,85                | [Gramos] |
| Peso de agua                 | 0,114               | [Gramos] |
|                              |                     |          |
| Peso de agua en 1kg de ramas | 54,86               | [Gramos] |

**Tabla 4-3:**Resultados prueba de secado [Elaboración propia]

## Cinta de secado

Para el dimensionamiento del mando de la cinta mallada utilizada para el secado, dadas sus características (ver figura 4-12), se la considera como una cadena de transporte, a los fines de obtener la fuerza realizada por la misma y a partir de dicha fuerza la potencia requerida para el transporte.



**Figura 4-12:**Cinta mallada a utilizar, permite paso de cortina de aire y escurrimiento [CAMPBELT S.A]



**Figura 4-13:**Esquema para cálculo [Elaboración propia]

Conociendo los datos del proceso y de la cinta mallada (con cadenas incluídas) se tiene:

| Sim | Cálculo matemático [kg/m]             | Valor  |
|-----|---------------------------------------|--------|
| A1  | Distancia entre ejes [m]              | 0.1    |
| W   | Peso por metro de cinta [kg/m]        | 0.01   |
| Q   | Peso por metro de hoja [kg/m]         | 0.01   |
| Mu  | Coef. de fricción                     | 0.25   |
| Wu  | Ancho cinta [m]                       | 1.5    |
| Q   | Distancia entre cintas [m]            | 0.05   |
| S   | Sección transversal [m <sup>2</sup> ] | 0.0001 |
| V   | Volumen de hojas [m <sup>3</sup> ]    | 0.001  |
| rho | Densidad hojas [kg/m <sup>3</sup> ]   | 80     |
| R   | Radio de bambú [m]                    | 0.025  |
| P   | Peso total de hojas en la cinta [kg]  | 0.01   |

**Tabla 4-4:** Tabla de cálculo [Elaboración propia]

|                 |                                            |       |
|-----------------|--------------------------------------------|-------|
| L               | Longitud efectiva de secado                | 1     |
| Area            | Area efectiva de secado [cm <sup>2</sup> ] | 45000 |
| Presión de aire | [bar]                                      | 2     |

**Tabla 4-5:** Tabla de cálculo [Elaboración propia]

Donde la presión de aire se estima efectiva en 2 bar como resultado de la distancia del pico a la superficie del colchón de hojas y el coeficiente de rozamiento de la cadena (que en esta aplicación será sin lubricación) está dado por la siguiente tabla

| Tabla de coeficientes de rozamiento |      |
|-------------------------------------|------|
| Rozamiento deslizante               | 0.1  |
| Rozamiento por fricción             | 0.25 |
| Rozamiento por compresión           | 0.25 |

**Figura 4-14:** Coeficientes de rozamiento [Cadenas-MCG]

Donde:

$$\text{Volumen de hojas} = \text{Sección transversal} \cdot \text{Distancia entre ejes}$$

$$\text{Peso total de material sobre la cinta} = \text{Volumen hojas} \cdot \text{Densidad de hojas}$$

$$\text{Peso por metro de material} = \frac{\text{Peso total hojas en la cinta}}{\text{Distancia entre ejes}}$$

Ahora bien, las fuerzas resultantes en la cadena son:

|                             |     |    |
|-----------------------------|-----|----|
| Presión de aire (kg/cm²)    | 0,1 | 10 |
| Presión de succión (kg/cm²) | 0,1 | 10 |
| Presión de succión (kg/cm²) | 0,1 | 10 |
| Presión de succión (kg/cm²) | 0,1 | 10 |
| Presión de succión (kg/cm²) | 0,1 | 10 |
| Presión de succión (kg/cm²) | 0,1 | 10 |

**Tabla 4-6:**Tabla de cálculo [Elaboración propia]

Donde:

$$Frp = 9,8 \cdot A1 \cdot (2Qf + Q) \cdot \mu$$

$$Frpa = 9,8 \cdot \text{Área} \cdot \text{Presión de aire} \cdot 0,1 \cdot \mu$$

Donde 0,1 es el área efectiva que se estima de aplicación del secado puntual por barrido

$$Ft = Frp + Frpa$$

$$T = R \cdot Ft$$

Para conocer la velocidad de avance lineal de la cinta se tiene:

|       |                           |        |
|-------|---------------------------|--------|
| Cinta | Caudal volumétrico (m³/h) | 0,0014 |
| Vel   | Velocidad de avance (m/s) | 0,75   |

**Tabla 4-7:**Tabla de cálculo [Elaboración propia]

Donde:

$$Qv = \frac{\text{Caudal másico}}{\text{Densidad ramas}} / 3600$$

$$Vel = \frac{\text{Caudal volumétrico}}{\text{Sección transversal}}$$

Finalmente se obtienen la potencia y velocidad:

|     |                           |      |
|-----|---------------------------|------|
| Vel | Velocidad de avance (m/s) | 0,75 |
| Vel | Velocidad de avance (m/s) | 0,75 |
| Vel | Velocidad de avance (m/s) | 0,75 |
| Vel | Velocidad de avance (m/s) | 0,75 |

**Tabla 4-8-:**Tabla de cálculo [Elaboración propia]

Donde:

$$W = \frac{\text{Velocidad de avance}}{\text{Radio tambor}}$$

$$Pot = \text{Torque necesario} \cdot \text{Velocidad angular} \cdot 0,00134 \quad [Hp]$$

$$Vel Rpm = \frac{Vel angular}{2 \cdot \pi} * 60$$

Por último, una vez obtenida la potencia por cálculo, a los fines prácticos y contemplando los rozamientos adicionales existentes, los datos de entrada para aplicar los factores de corrección de la potencia y selección del conjunto motorreductor serán los siguientes:

- Potencia: 10 [HP]
- T: 4032 [Nm]
- i: [70] - 17 Rpm salida

## Dimensionamiento aireado

### Mando de tambor

Demanda teórica de potencia

Se seleccionará el conjunto motorreductor con freno para transmitir el movimiento rotacional al tambor.

En primera instancia, se calculará de forma teórica la potencia necesaria de manera rotacional:

$$P = T \cdot \omega \quad (1)$$

La segunda ley de newton en forma rotacional indica:

$$T = I \cdot \alpha \quad (2)$$

Reemplazando (2) en (1) se tiene:

$$P = I \cdot \alpha \cdot \omega$$

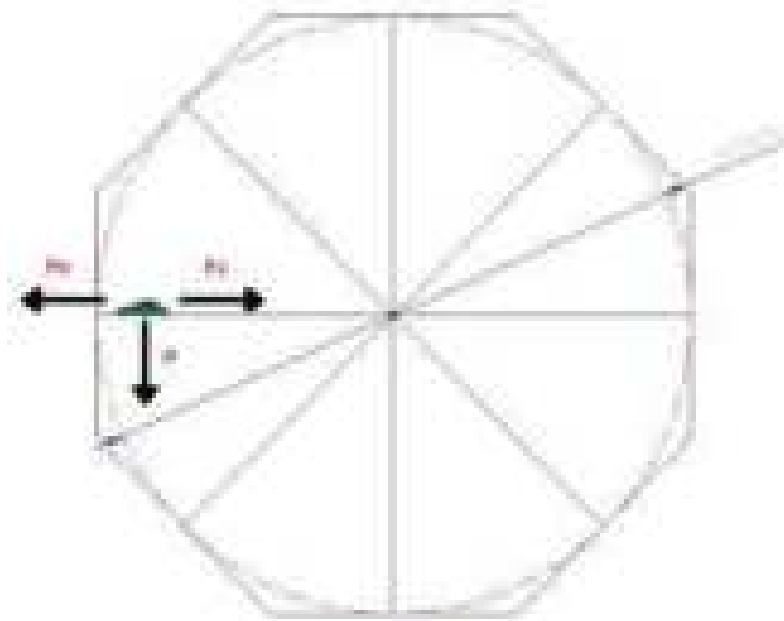
$$P = I \cdot \frac{\omega}{t} \cdot \omega$$

$$P = I \cdot \frac{\omega^2}{t} \quad (3)$$

Donde:

$$P = [kg \cdot m^2] \cdot \frac{[s^{-1}]^2}{[s]} = [W]$$

La velocidad angular se deduce contemplando la premisa de evitar que las ramas se centrifuguen dentro del tambor, para procurar un tratamiento suave de las mismas. El esquema de las fuerzas que intervienen puede verse en la figura 4-14.



**Figura 4-14:**Esquema para cálculo [Elaboración propia]

De esta forma, planteando un equilibrio de fuerzas, se tiene:

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

$$F_r = \mu \cdot N$$

$$m \cdot \omega^2 \cdot r = \mu \cdot N$$

$$m \cdot \omega^2 \cdot r = \operatorname{tg} 16^\circ \cdot m \cdot g$$

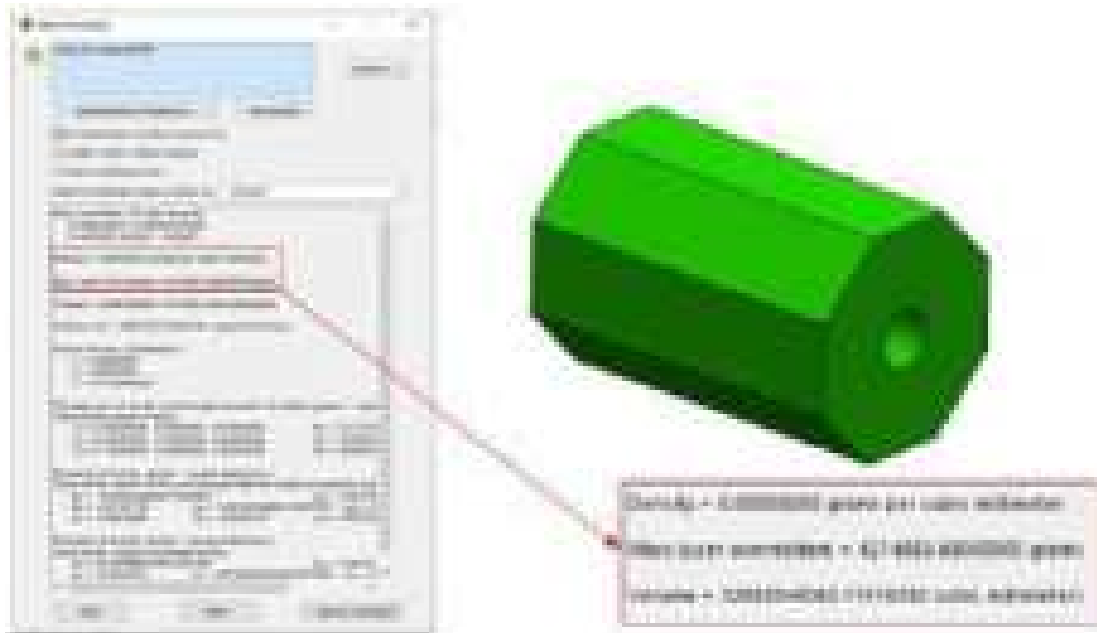
$$\omega^2 \cdot r = \operatorname{tg} 16^\circ \cdot g$$

$$\omega = \sqrt{\frac{\operatorname{tg} 16^\circ \cdot g}{r}}$$

Como peor condición se toma  $r = 1750$  mm, mayor radio teórico del tambor, y se deduce finalmente la velocidad límite

$$\Rightarrow \omega = 1.26 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] = 12 \text{ rpm}$$

Para obtener la inercia del conjunto tambor + carga completa de ramas se utilizaron las propiedades de masa que devuelve el software Solidworks, para ello se modeló un sólido con las dimensiones que ocupa dentro del tambor la yerba mate, y de acuerdo a este volumen se forzó la masa del mismo para que la densidad resulte de  $80[\text{kg/m}^3]$ , tal como las características de masa reales de las ramas de yerba.



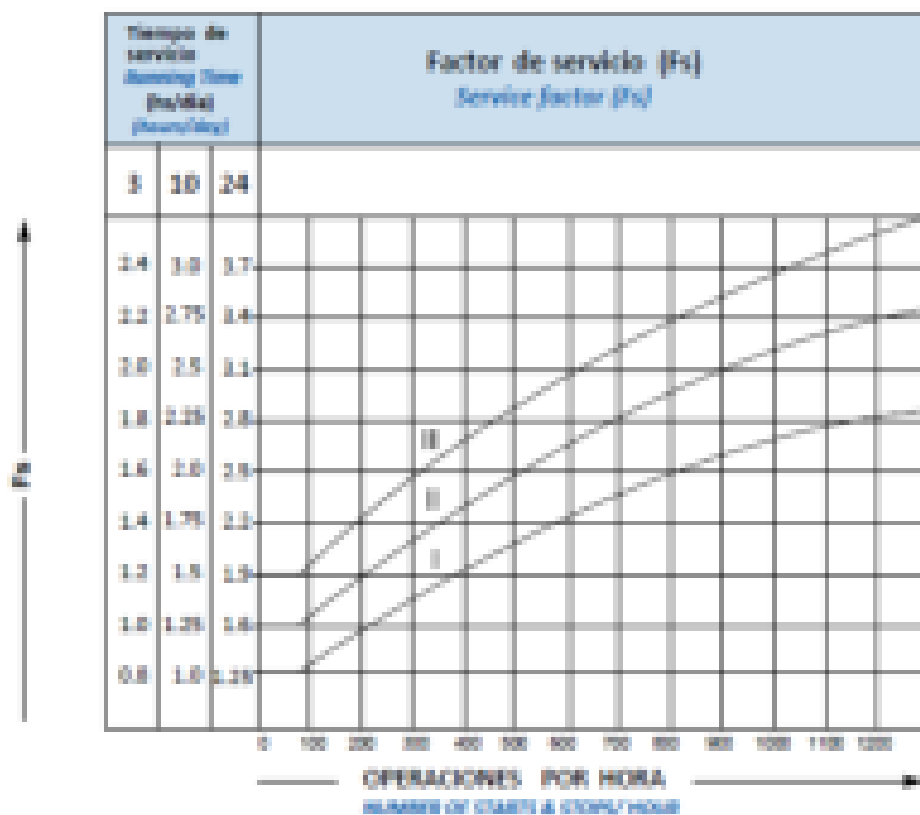
**Figura 4-15:** Propiedades de masa de la carga [Elaboración propia]





**Figura 4-17:** Pasos a seguir selección de motorreductor [Catálogo LENTAX]

Para la determinación del factor de servicio se utilizó la gráfica del fabricante, ver figura 18, sobre la cual se ingresó con un valor menor a 100 arranques por hora y una clasificación de la carga tipo II.



#### CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA

##### LOAD CLASSIFICATION

- I REGULAR: Pequeñas masas para acelerar sin sobrecargas.
- I UNIFORM LOAD: Small mass to accelerate, without overloads.
- II IRREGULAR: Medianas masas para acelerar sobrecargas medianas.
- II MODERATE (Irregular) LOAD: Medium mass to accelerate, moderate overloads.
- III IRREGULAR: Grandes masas para acelerar fuertes sobrecargas.
- III HEAVY (Irregular) LOAD: Large mass to accelerate, heavy overloads.

**Figura 4-18:**Curvas de factor de servicio [Catálogo LENTAX]

Obteniéndose el siguiente valor final de potencia equivalente:

| Selección motoreductor según catálogo |                                 |             |            |
|---------------------------------------|---------------------------------|-------------|------------|
| $P_{ab}$                              | Potencia absorbida              | 11,05       | [hp]       |
| $P_e$                                 | Potencia de entrada             | 11,99       | (2 etapas) |
| $F_s$                                 | Factor de servicio              | 1,25        |            |
| $P_{eq}$                              | Potencia de entrada equivalente | 14,24       | [hp]       |
|                                       |                                 | 10616,07488 | [w]        |

**Tabla 4-8:**Tabla de cálculo [Elaboración propia]

Por último se selecciona el reductor indicado con sus dimensiones en las figuras 4-19 y 4-20, sobre esta selección se corrobora:

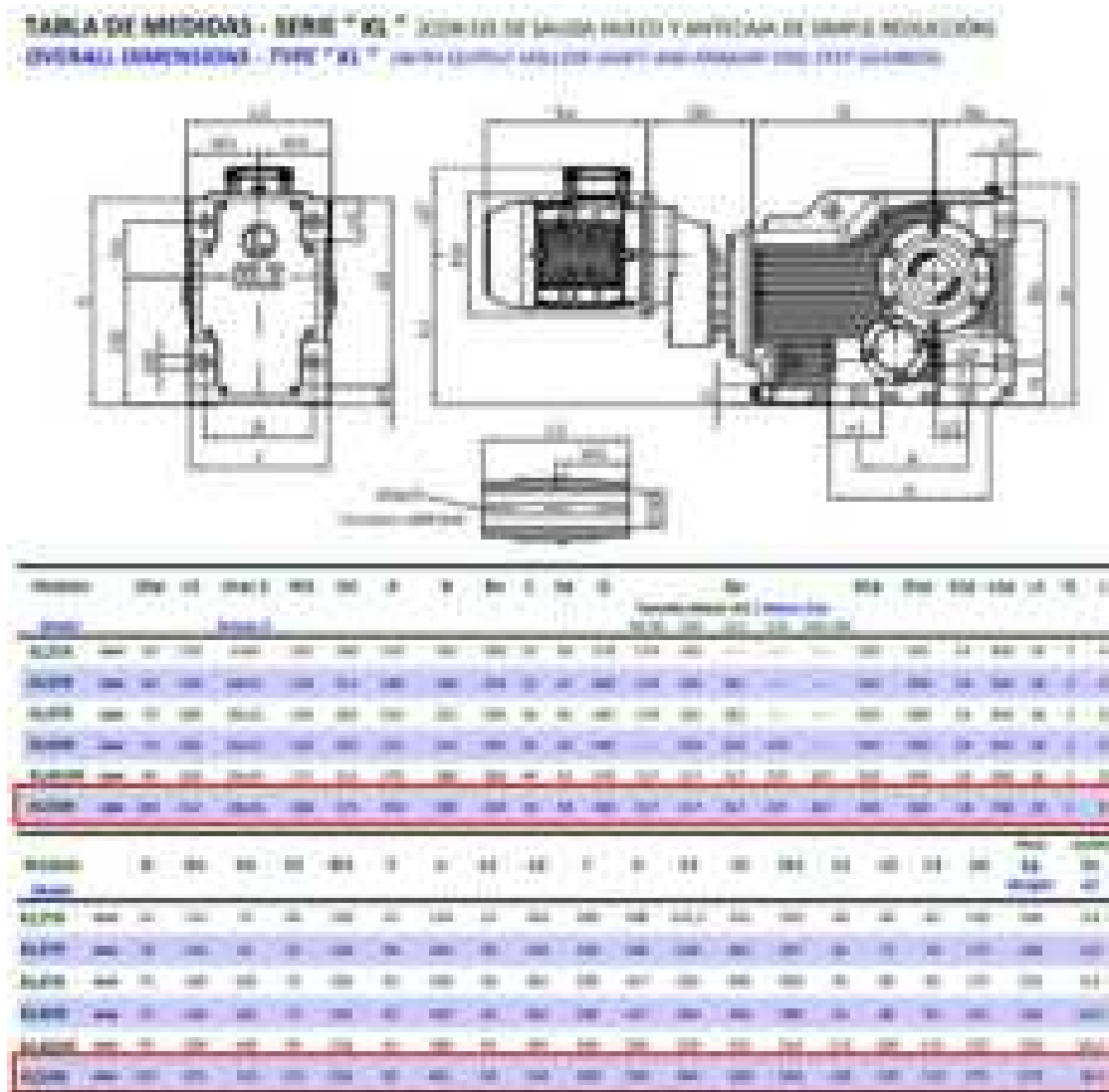
$$T[Nm] > \frac{10456,8[W]}{1,26[s^{-1}]} = 8425[Nm]$$

$$N \geq Neq$$

$$i \approx \frac{1500}{12} = 125 \text{ (para un motor de 4 polos)}$$

| Category        | Item             | Unit | Price | Quantity | Total | Tax | Net Total | Discount | Final Total |
|-----------------|------------------|------|-------|----------|-------|-----|-----------|----------|-------------|
| Electronics     | Smartphone       | Unit | 1000  | 1        | 1000  | 100 | 1100      | 0        | 1100        |
|                 | Laptop           | Unit | 2000  | 1        | 2000  | 200 | 2200      | 0        | 2200        |
|                 | Tablet           | Unit | 500   | 1        | 500   | 50  | 550       | 0        | 550         |
|                 | Smartwatch       | Unit | 300   | 1        | 300   | 30  | 330       | 0        | 330         |
|                 | Wireless Earbuds | Unit | 150   | 1        | 150   | 15  | 165       | 0        | 165         |
|                 | Smart TV         | Unit | 1200  | 1        | 1200  | 120 | 1320      | 0        | 1320        |
|                 | Gaming Console   | Unit | 400   | 1        | 400   | 40  | 440       | 0        | 440         |
|                 | Smart Home Hub   | Unit | 100   | 1        | 100   | 10  | 110       | 0        | 110         |
|                 | Smart Lock       | Unit | 250   | 1        | 250   | 25  | 275       | 0        | 275         |
|                 | Smart Doorbell   | Unit | 180   | 1        | 180   | 18  | 198       | 0        | 198         |
| Home Appliances | Refrigerator     | Unit | 1500  | 1        | 1500  | 150 | 1650      | 0        | 1650        |
|                 | Washing Machine  | Unit | 800   | 1        | 800   | 80  | 880       | 0        | 880         |
|                 | Dishwasher       | Unit | 600   | 1        | 600   | 60  | 660       | 0        | 660         |
|                 | Stove            | Unit | 400   | 1        | 400   | 40  | 440       | 0        | 440         |
|                 | Water Filter     | Unit | 100   | 1        | 100   | 10  | 110       | 0        | 110         |
|                 | Dehumidifier     | Unit | 300   | 1        | 300   | 30  | 330       | 0        | 330         |
|                 | Space Heater     | Unit | 200   | 1        | 200   | 20  | 220       | 0        | 220         |
|                 | Air Purifier     | Unit | 250   | 1        | 250   | 25  | 275       | 0        | 275         |
|                 | Smart Thermostat | Unit | 150   | 1        | 150   | 15  | 165       | 0        | 165         |
|                 | Smart Plug       | Unit | 50    | 1        | 50    | 5   | 55        | 0        | 55          |
| Furniture       | Sofa             | Unit | 1200  | 1        | 1200  | 120 | 1320      | 0        | 1320        |
|                 | Chair            | Unit | 300   | 1        | 300   | 30  | 330       | 0        | 330         |
|                 | Table            | Unit | 400   | 1        | 400   | 40  | 440       | 0        | 440         |
|                 | Bed              | Unit | 800   | 1        | 800   | 80  | 880       | 0        | 880         |
|                 | Dresser          | Unit | 200   | 1        | 200   | 20  | 220       | 0        | 220         |
|                 | Desk             | Unit | 350   | 1        | 350   | 35  | 385       | 0        | 385         |
|                 | Shelf            | Unit | 100   | 1        | 100   | 10  | 110       | 0        | 110         |
|                 | Armchair         | Unit | 250   | 1        | 250   | 25  | 275       | 0        | 275         |
|                 | Recliner         | Unit | 450   | 1        | 450   | 45  | 495       | 0        | 495         |
|                 | ottoman          | Unit | 150   | 1        | 150   | 15  | 165       | 0        | 165         |

**Figura 4-19:**Selección de modelo de motorreductor [Catálogo LENTAX]



De esta forma, el torque y la potencia disponibles del motorreductor son superadores a los parámetros requeridos, lo cual es coherente dado que no fueron contemplados en el cálculo los rozamientos existentes en el giro del tambor.

## Ventilación

Como se mencionó anteriormente, las ramas verdes de yerba mate recién cosechadas e ingresadas en el tambor se encuentran en condiciones propicias para el comienzo de la fermentación aeróbica. La máxima actividad biológica para este tipo de materia orgánica ocurre en el rango de 40 a 55°C, temperaturas posibles de alcanzar en épocas de verano en la provincia de Misiones, donde se encuentran la mayor cantidad de establecimientos yerbateros del país. Es por ello que el diseño propuesto tiene por propósito que la masa de hojas verdes dentro del tambor (5000 kg aproximadamente) no supere los 38°C.

La causas por las que tiene lugar esta tasa de transferencia de calor y el consecuente aumento de la temperatura se da debido a diversas razones:

- El inmediato inicio de los efectos de la descomposición de las ramas luego de la cosecha
- Los efectos de “respiración” de la materia orgánica potenciados luego de lastimar la rama en la cosecha

Para poder estimar el valor del caudal de aire necesario para la ventilación es fundamental conocer la tasa de transferencia de calor de la masa de ramas dentro del tambor. Dado la dificultad para determinar este valor se toma como referencia los estudios ya realizados sobre los granos húmedos en los silos, donde a los fines prácticos continúa tratándose de materia orgánica vegetal que experimenta en parte los mismos fenómenos mencionados anteriormente, y sobre los que se encuentran establecidos valores orientativos del caudal específico.

|                                                       | Procedente                                                           | Caudal Específico                                                                                |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Refrescar granos secos                                | Eliminar o disminuir la humedad<br>variación de temperatura          | Apox.<br>0,25 - 0,28 m <sup>3</sup> /min/ton<br>Especialmente<br>0,4 m <sup>3</sup> /min/ton     |
| Desaglomeración                                       | Eliminar la humedad de los<br>granos a medida que se va secando      | Apoximada<br>0,25 - 0,28 m <sup>3</sup> /min/ton<br>Especialmente<br>0,4 m <sup>3</sup> /min/ton |
| Mantenimiento de<br>grano húmedo por<br>breve período | Evitar el calentamiento de los granos por<br>un fuerte flujo de aire | Apox.<br>0,25 - 0,28 m <sup>3</sup> /min/ton                                                     |

**Figura 4-21:** Tabla orientativa de caudal específico de aire según aplicación en granos  
[Fuente: INTA]

Se tomará entonces como referencia el caudal para mantenimiento de grano húmedo por ser más exigente como condición, dado que es el que mayor actividad del agua presenta. Esto implica que para las 5 toneladas aproximadamente de carga se requieren:

$$Q \geq \frac{0,5[m^3]}{[min \cdot ton]} \cdot 5 [ton]$$

$$Q \geq 2,5 \left[ \frac{m^3}{min} \right]$$

Se selecciona un soplador del fabricante ZIEHL-ABEGG [9] utilizado para la aireación de granos en los silos, de caudal superior a los estimados anteriormente

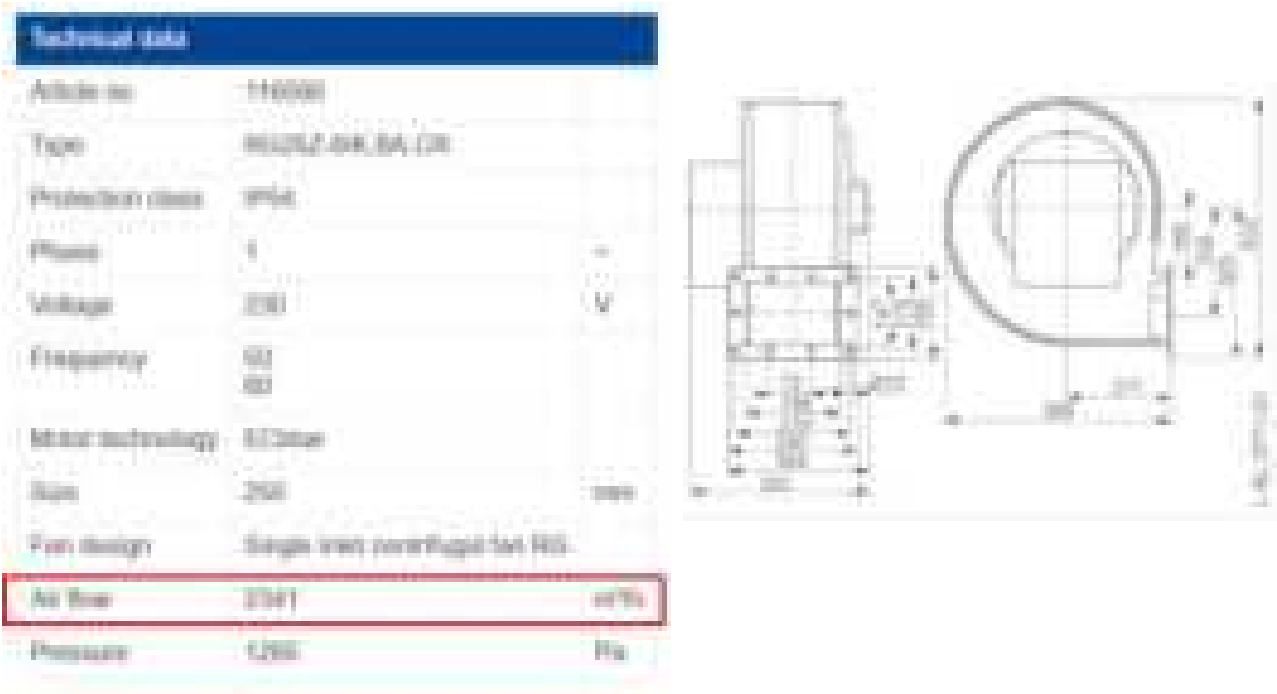


Figura 4-22: Especificaciones técnicas soplador [Hoja de datos ZIEHL-ABEGG]

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

Habiendo finalizado el presente proyecto concluimos que fue posible lograr el principal objetivo propuesto de mejorar la calidad del producto final, logrando obtener a través de los procesos listados, una yerba libre de puntos negros y con un nivel superior de higiene y calidad.

A su vez, mediante la incorporación de un sistema de aireado dentro del tambor rotatorio, que permite a las ramas cambiar su posición constantemente y recibir un mayor flujo de aire en comparación a lo que se tenía en un principio en el playón de hojas verdes, se logró reducir la descompactación de la misma de modo de permitirle al aire circular a través de las ramas facilitando la evacuación de calor, generada por el propio proceso de descomposición de la hoja.

También, al reducirse el aplastamiento generado por el mismo peso de la hoja, se obtiene una rama de mayor integridad, y un menor grado de roturas y daños en las hojas. Otro punto de gran ventaja de este sistema es que permite generar un proceso continuo, donde el mismo no se ve interrumpido, desde el momento en que el bolsón de hojas cosechadas entra a la planta de procesamiento.

Se pudo notar que la implementación del proceso de lavado es necesaria dada la gran cantidad de tierra que traen adheridas las hojas, la que consideramos necesaria de eliminar si se busca un producto de mayor calidad.

En cuanto a dimensiones, es notable que el equipo tiene un tamaño considerable y que si bien es posible su diseño según las necesidades y tamaño de la planta, se considera que su aprovechamiento es mayor en plantas de gran caudal de procesamiento, donde es necesario el almacenaje de un importante volumen de hojas.

Respecto a la mano de obra utilizada, debido a que se trata de un proceso completamente automatizado, la totalidad del equipo puede ser controlada por un número reducido de operarios.

Si bien es recomendable poder gestionar el flujo de entrada de hojas verdes a la planta para garantizar un caudal uniforme, dada la posibilidad de modificar el caudal de trabajo en el momento debido a la automatización del proceso, pueden evitarse interrupciones en el tratamiento de la hoja. Además, desde el punto de vista ecológico, no se estará consumiendo combustible fósil para una acción que no necesariamente lo demande como es el volteo de las hojas, a la vez que se recircula el agua de lavado.

## **Recomendaciones**

Si bien este trabajo se trató de un proyecto académico, realizado de manera objetiva y con el mayor resguardo respecto a los criterios de diseño tomados, continúa tratándose de un prototipo que deberá ajustarse a la realidad mediante validaciones experimentales en campo, para poder alcanzar de forma plena los propósitos de mejora de la calidad del producto final. Así también, debido a las limitaciones existentes en cuanto al alcance posible de abarcar, no fueron desarrollados ciertos aspectos de interés y sobre los cuales sería de gran aporte continuar investigando:

- Método de carga del equipo.
- Dimensionamiento de la totalidad de las partes componentes.
- Si bien el proyecto persigue la mejora en la calidad del producto final, es imprescindible un análisis exhaustivo de costo - beneficio para evaluar su implementación en cada establecimiento.

Creemos recomendable continuar estudiando en detalle los aspectos listados anteriormente, a modo de poder generar un procesamiento completo y optimizando en su totalidad tanto el equipo como los subprocesos involucrados, ya que este prototipo resuelve los objetivos buscados pero aún mantiene un amplio potencial de mejora.

## Bibliografía

- [1] BURTNIK ,Oscar José. Yerba mate: Manual de producción. Corrientes, 2006.
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE LA YERBA MATE, Resolución 11/2017. Posadas, Misiones. 19/01/17
- [3] PRAT KRICUN, Sergio .Guía para la aplicación de buenas prácticas de manufactura en Yerba Mate. Misiones, Febrero 2006.
- [4] MARQUES PEREIRA, José Antônio. Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Capítulo VI. AIREACIÓN DE LOS GRANOS Santiago, Chile 1993
- [4] SCHMALKO, Miguel E. ESTUDIO Y MODELADO MATEMÁTICO DEL PROCESAMIENTO PRIMARIO DE LA YERBA MATE. 2005
- [5] INYM. Normativa yerbatera. En línea: <https://inym.org.ar/normativa-yerbatera.html>
- [6] MICRO Automación. Catálogo Master. En línea: <https://co.microautomacion.com>
- [7] SKF. Catálogo Capacidades de SKF para la industria de alimentos y bebidas. En línea: <https://www.skf.com/ar/industries/food-and-beverage>.
- [8] CAMFOSS. Catálogo Bandas transportadoras metálicas. En línea: <https://camfoss.net/categoria-producto/bandas-transportadoras-metalicas/>
- [9] MORO HIDRÁULICA. Catálogo cilindros hidráulicos. Obtenido de: <https://morohidraulica.com.ar/productos/cilindros-hidraulicos-y-componentes/>
- [9] LENTAX. Catálogo 723 Línea KL (MOTO-REDUCTORES A ENGRANAJES ORTOGONALES). Obtenido de: <https://www.lentax.com/catalogos.html>
- [9] ZIEHL-ABEGG. Catálogo ZAsilo. Obtenido de: <https://www.ziehl-abegg.com/es/serie/zasilo#descargas>
- [10] AYRFUL. Catálogo EXAIR. Obtenido de: <https://www.ayrful.com.ar/producto/boquillas-soplado/>

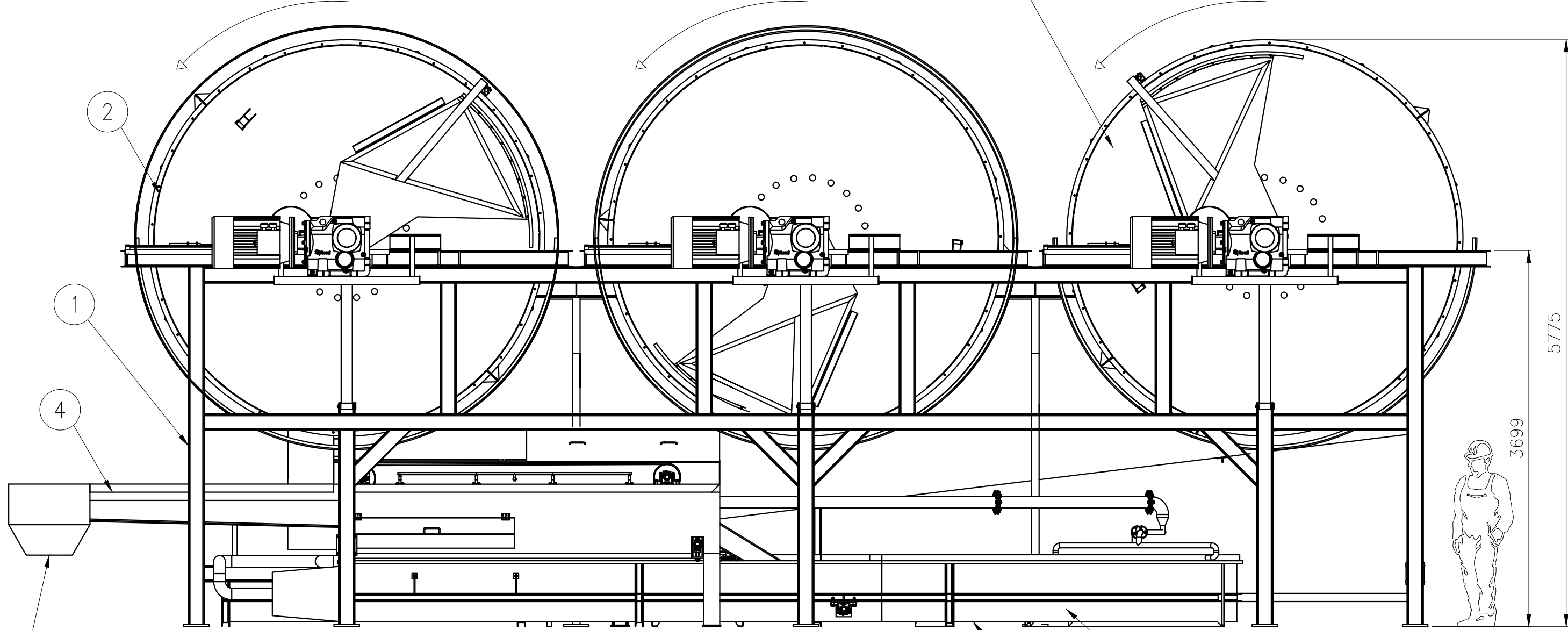
## **Anexo**

### **Anexo A: Planos**

CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO TOTAL  
DEL EQUIPO = 15000KG

TAMBORES PARA AIREADO Y  
DESCOMPACTADO DE HOJAS

SENTIDO DE GIRO



VISTA FRONTAL  
ESC 1:40

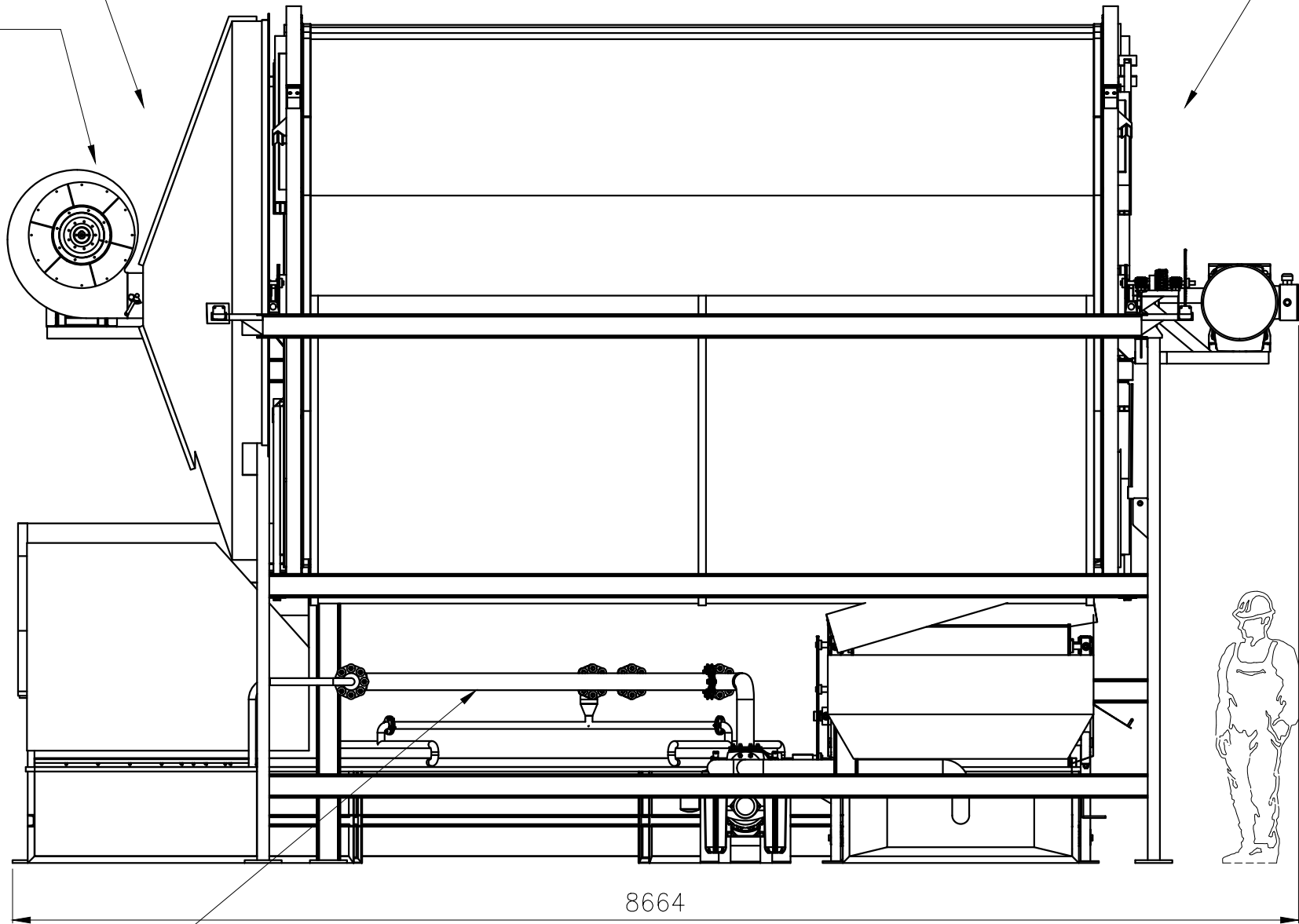
PILETA PARA LAVADO Y TRANSPORTE DE HOJAS

TOLVA DE DESCARGA  
HACIA CINTA DE ZAPECADO

LADO DESCARGA

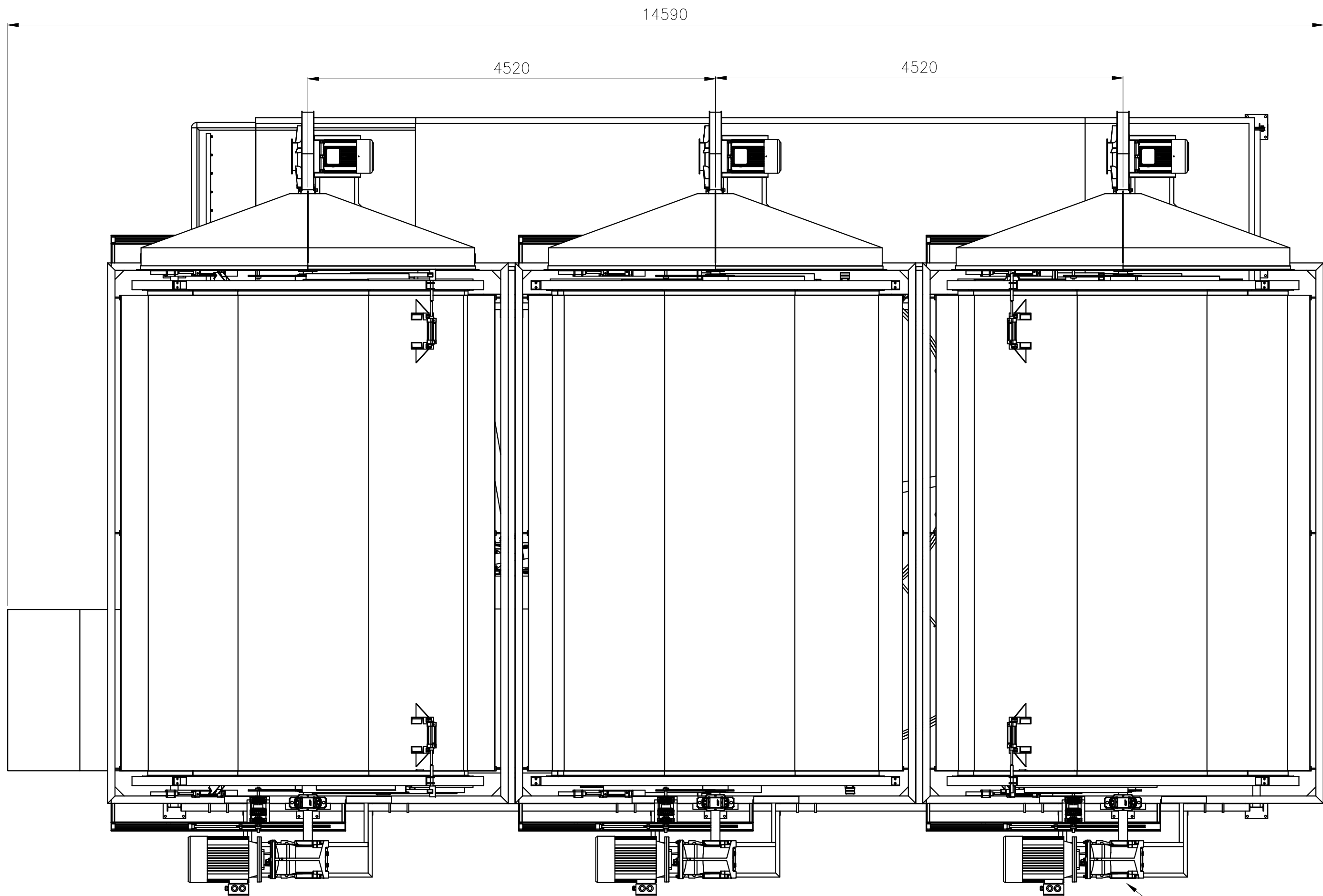
SISTEMA DE VENTILACION PARA  
PROCESO DE AIREADO

LADO CARGA



VISTA LATERAL  
ESC 1:40

PIPING PROCESO DE LAVADO

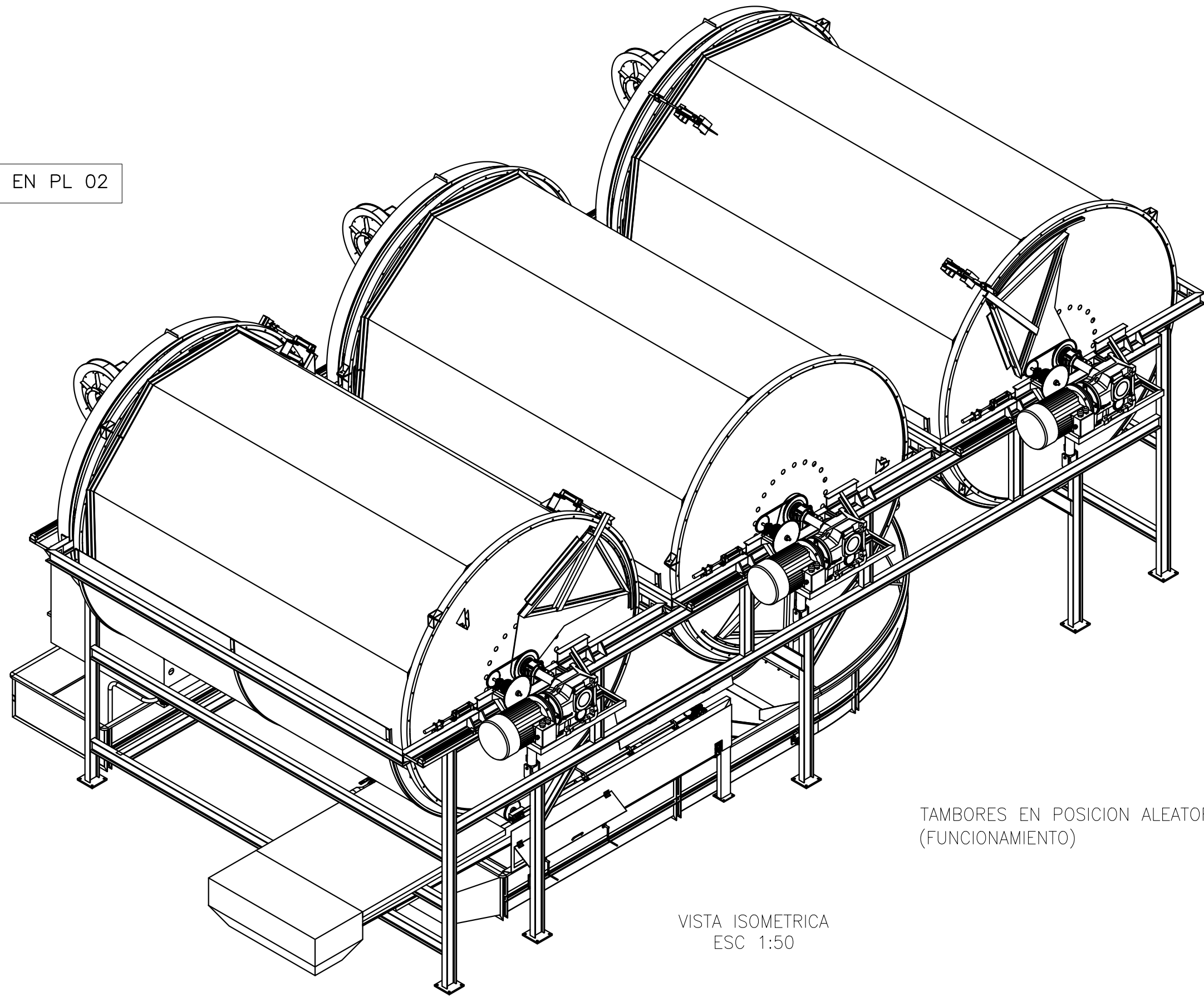


VISTA SUPERIOR  
ESC 1:40

MANDOS ENCARGADOS DE LA  
ROTACION DE LOS TAMBORES

NOTA

VISTAS RESTANTES EN PL 02

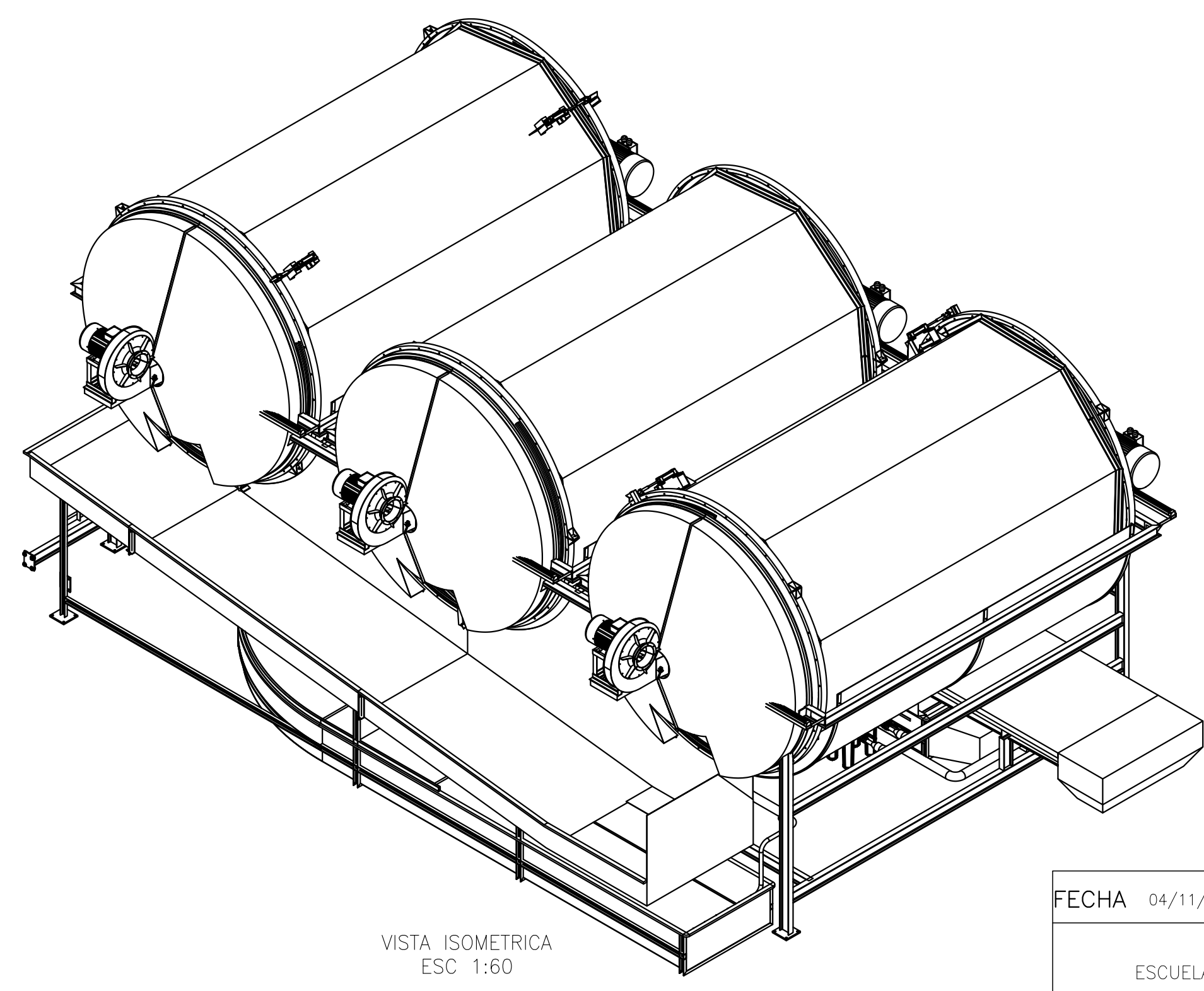
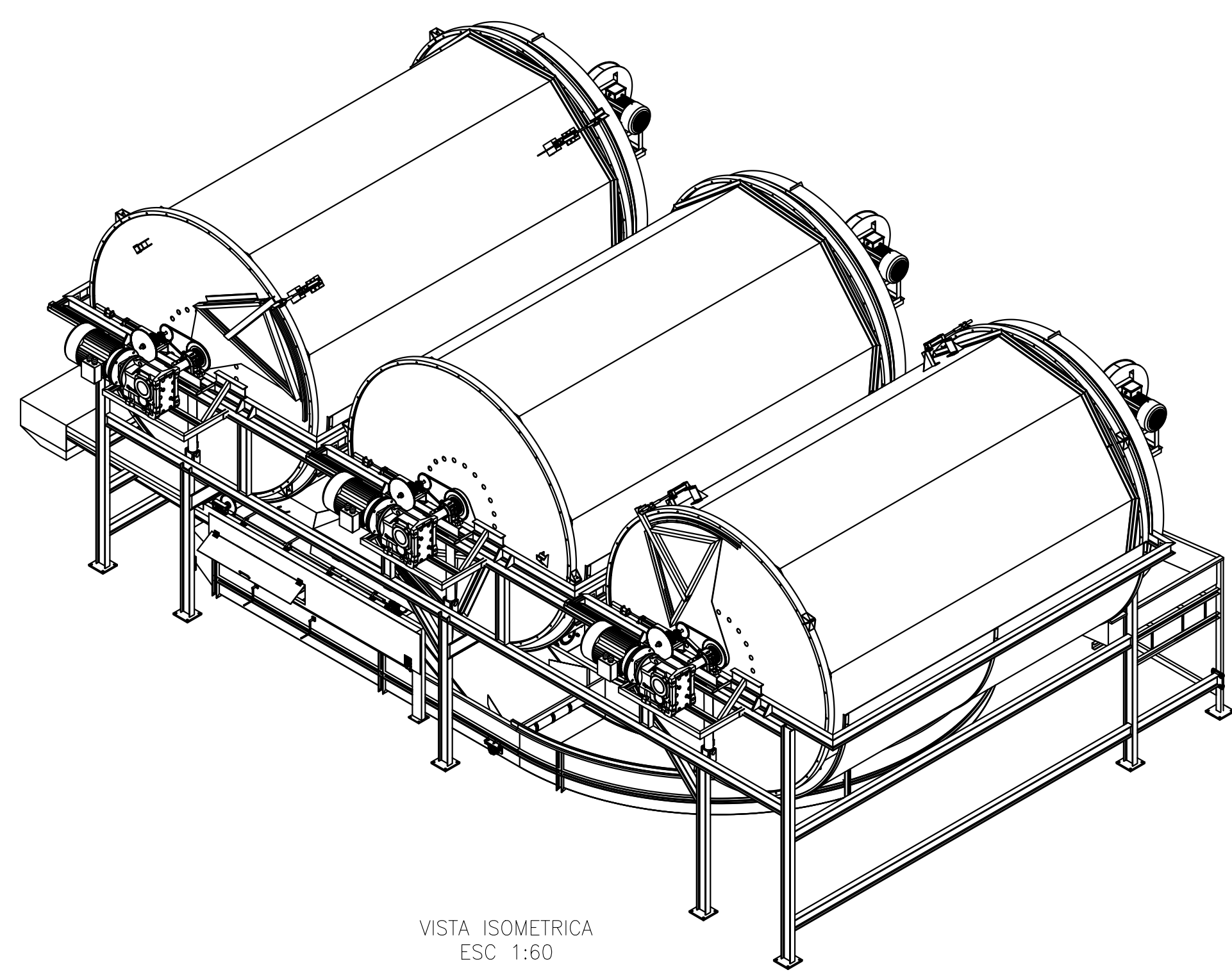
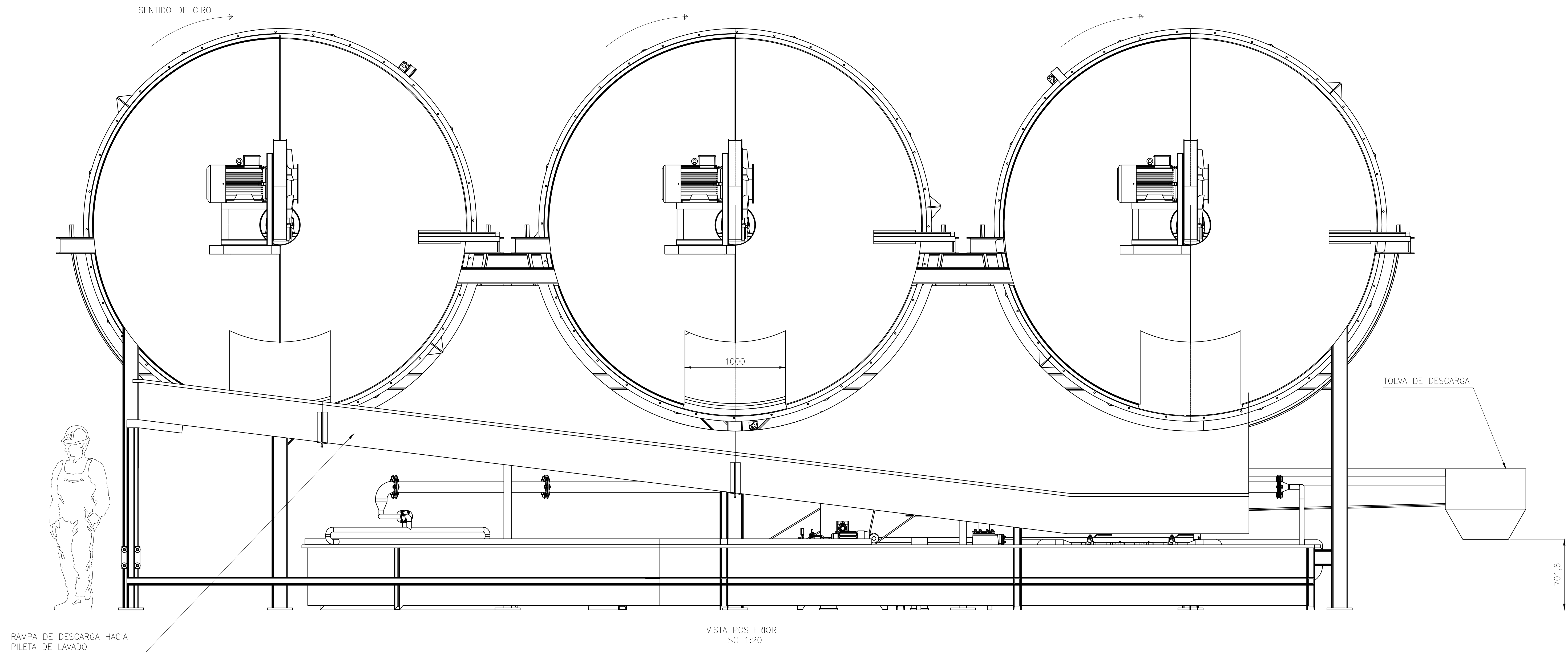


TAMBORES EN POSICION ALEATORIA  
(FUNCIONAMIENTO)

VISTA ISOMETRICA  
ESC 1:50

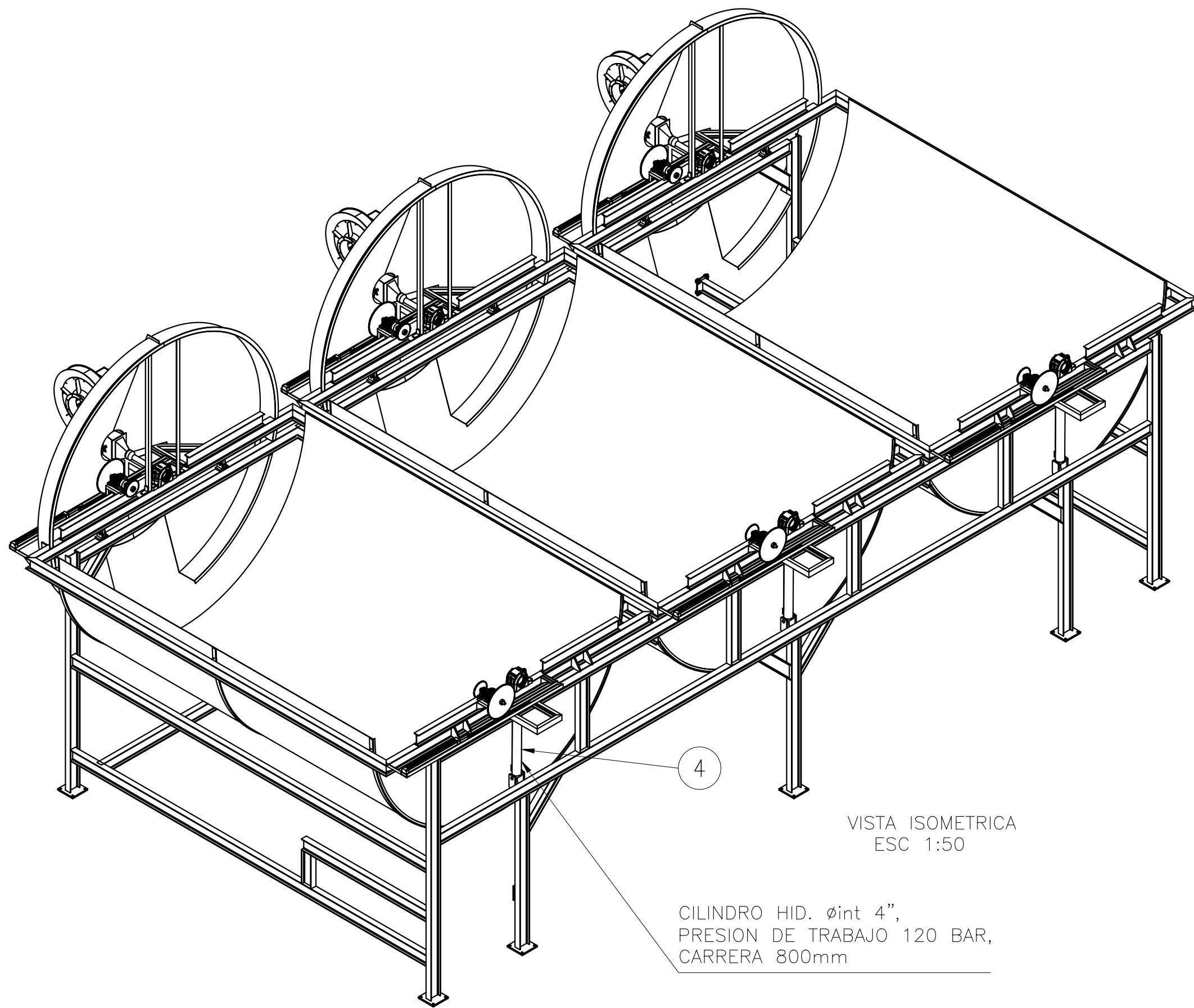
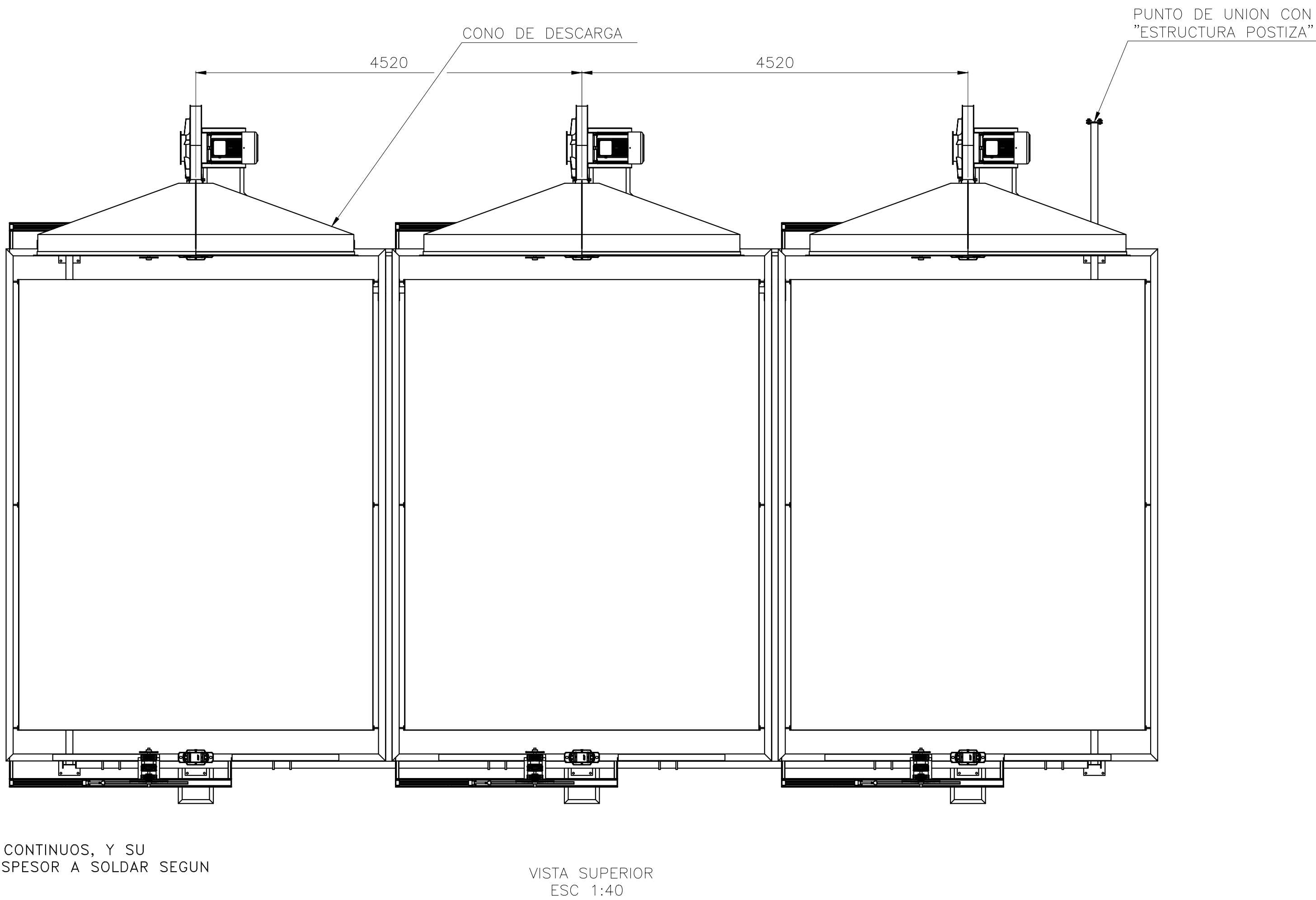
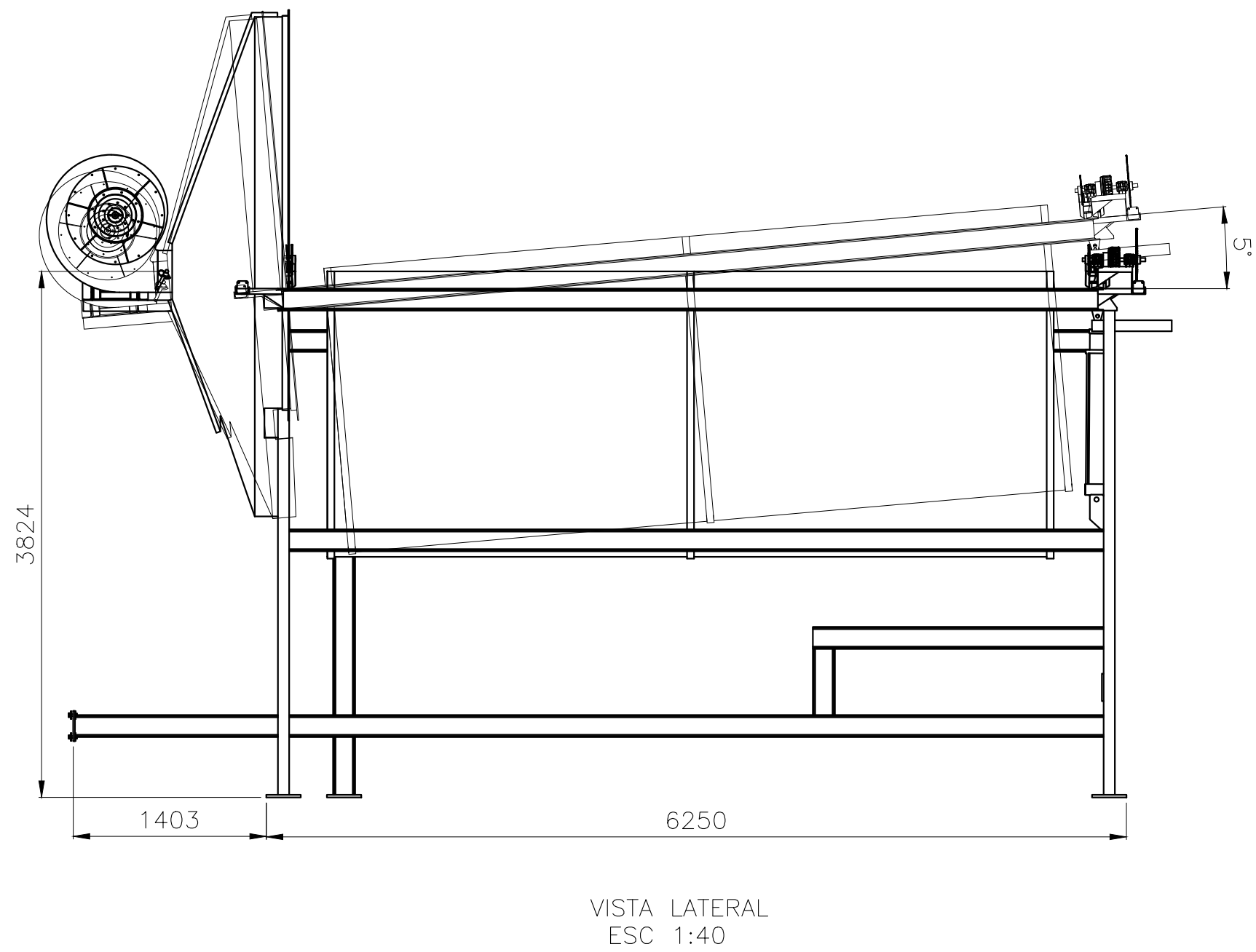
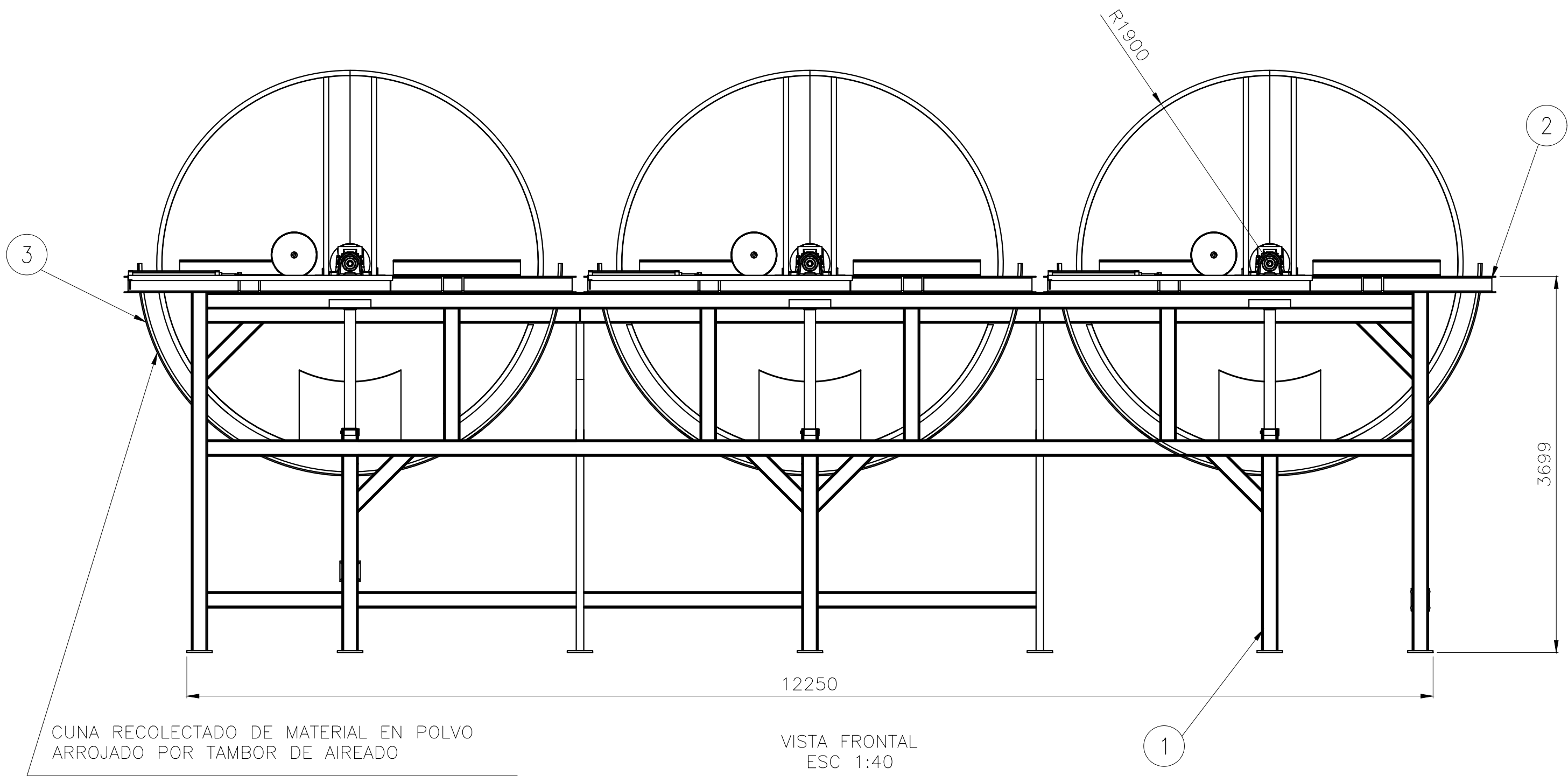
| HOJA<br>N° | INDICE                               |
|------------|--------------------------------------|
| 01         | CONJUNTO                             |
| 02         | CONJUNTO II                          |
| 03         | ESTRUCTURA<br>COMPLETA               |
| 04         | SUBCONJUNTO ESTRUCTURA<br>INDIVIDUAL |
| 05         | ESTRUCTURA<br>SOPORTE                |
| 06         | SUBCONJUNTO SISTEMA DE<br>AIREADO    |
| 07         | DETALLE SISTEMAS<br>NEUMATICOS       |
| 08         | TAPA DE CARGA                        |
| 09         | CONO DESCARGA                        |
| 10         | SUBCONJUNTO SISTEMA<br>DE LAVADO     |
| 11         | SUBCONJUNTO SISTEMA<br>DE SECADO     |
| 12         | DESPIECE SECADO                      |
| 13         | PLACA SUECION<br>INF. CILINDRO HID   |

|                                             |                                   |                |                    |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|--------------------|
| 04                                          | SUBCONJUNTO SISTEMA SECADO        | 01             | VER PLANO 11       |
| 03                                          | SUBCONJUNTO SISTEMA DE LAVADO     | 01             | VER PLANO 10       |
| 02                                          | SUBCONJUNTO SISTEMA DE AIREADO    | 03             | VER PLANO 06       |
| 01                                          | SUBCONJUNTO ESTRUCTURA COMPLETA   | 03             | VER PLANO 03       |
| POS.<br>N°                                  | DENOMINACION                      | CANT.          | OBSERVACIONES      |
| FECHA                                       | 04/11/24                          | ESCALA         | 1:40               |
| DIBUJO                                      | GARCIA JULIAN - MENESTRINI ANDRES |                |                    |
| UNR-FCEIA<br>ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA |                                   | HOJA N°:<br>01 | CONTINUA EN:<br>02 |
| PROYECTO FINAL DE INGENIERIA MECANICA       |                                   | N°<br>PFM-01   |                    |
| PARTE                                       | CONJUNTO                          |                |                    |



|                                             |          |        |      |          |                                   |  |
|---------------------------------------------|----------|--------|------|----------|-----------------------------------|--|
| FECHA                                       | 04/11/24 | ESCALA | 1:20 | DIBUJO   | GARCIA JULIAN - MENESTRINI ANDRES |  |
| UNR-FCEIA<br>ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA |          |        |      | HOJA N°: | CONTINUA EN:                      |  |
| PROYECTO FINAL DE INGENIERIA MECANICA       |          |        |      | 02       | 03                                |  |
| PARTE _____ CONJUNTO II _____               |          |        |      | N°       | PFM-02                            |  |

| POS. N° | DENOMINACION                               | CANT. | OBSERVACIONES |
|---------|--------------------------------------------|-------|---------------|
| 01      | ESTRUCTURA SOPORTE                         | 01    | VER PLANO 05  |
| 02      | SUBCONJUNTO ESTRUCTURA INDIVIDUAL          | 03    | VER PLANO 04  |
| 03      | CUNA PARA RECOLECCION DE POLVO             | 03    | —             |
| 04      | CILINDRO HIDRAULICO MORO øint 4" MOD 70109 | 03    | MORO          |



NOTA GENERAL

SOLDADURAS

LOS CORDONES DE SOLDADURA SERAN CONTINUOS, Y SU ESPESOR SERA DE  $a=0,7$  DE MINIMO ESPESOR A SOLDAR SEGUN AWS

PINTURA

LA ESTRUCTURA DEBERA SER LIMPIADA, Y SE PINTARA EN SU TOTALIDAD CON UNA CAPA DE ANTIOXIDO Y LUEGO CON PINTURA SINTETICA

|                                       |          |                     |      |              |                                   |
|---------------------------------------|----------|---------------------|------|--------------|-----------------------------------|
| FECHA                                 | 04/11/24 | ESCALA              | 1:40 | DIBUJO       | GARCIA JULIAN — MENESTRINI ANDRES |
| UNR—FCEIA                             |          | HOJA N°:            |      | CONTINUA EN: |                                   |
| ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA        |          | 03                  |      | 04           |                                   |
| PROYECTO FINAL DE INGENIERIA MECANICA |          | N°                  |      | PFM—03       |                                   |
| PARTE                                 |          | ESTRUCTURA COMPLETA |      |              |                                   |

NOTA GENERAL

SOLDADURAS

LOS CORDONES DE SOLDADURA SERAN CONTINUOS, Y SU ESPESOR SERA DE  $a=0,7$  DE MINIMO ESPESOR A SOLDAR SEGUN AWS

PINTURA

LA ESTRUCTURA DEBERA SER LIMPIADA, Y SE PINTARA EN SU TOTALIDAD CON UNA CAPA DE ANTIOXIDO Y LUEGO CON PINTURA SINTETICA

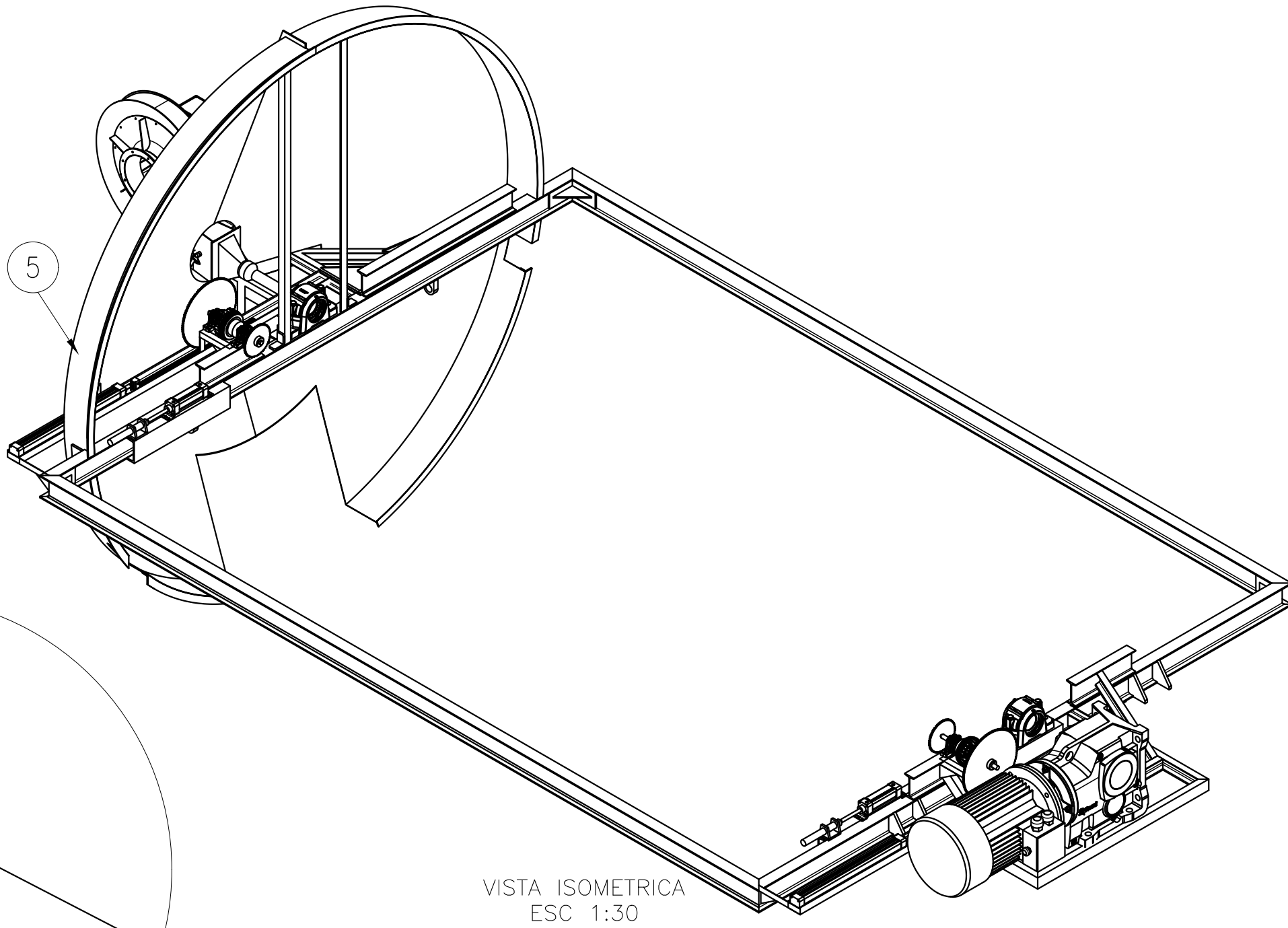
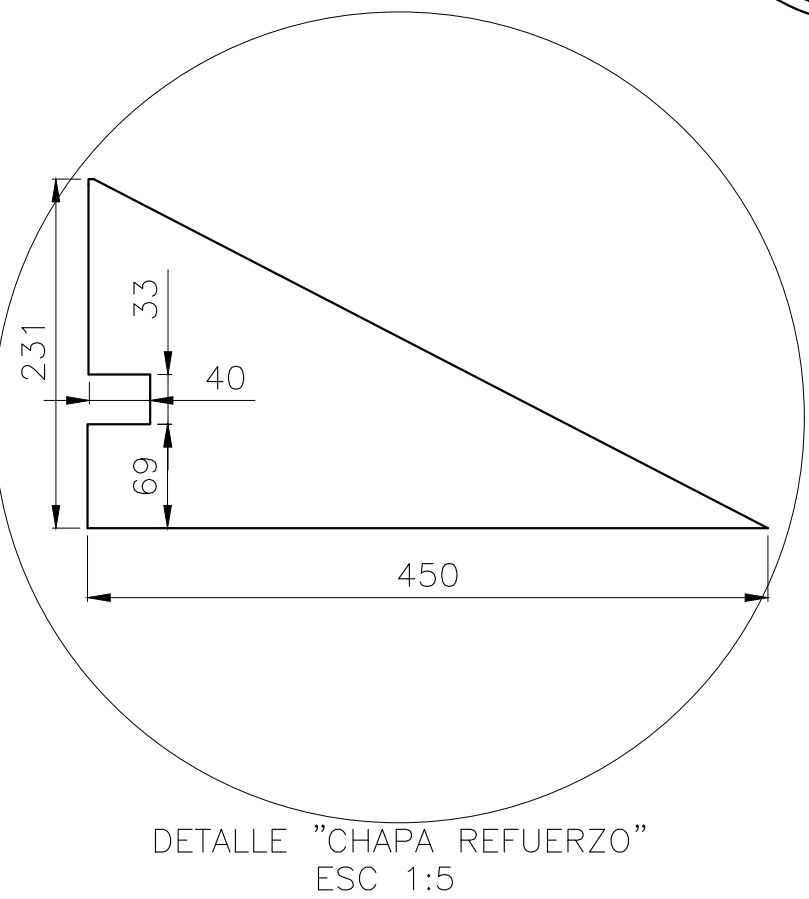
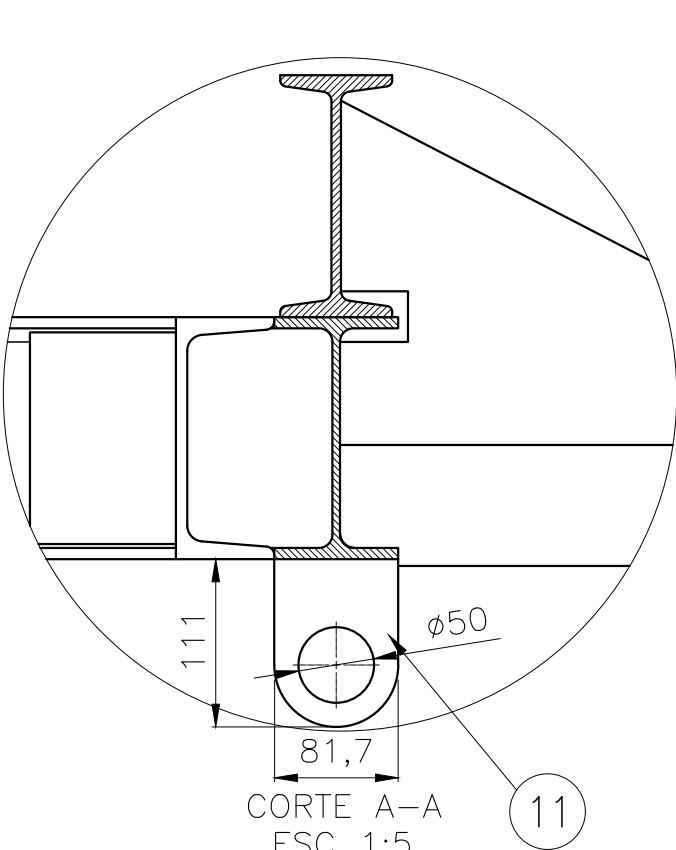
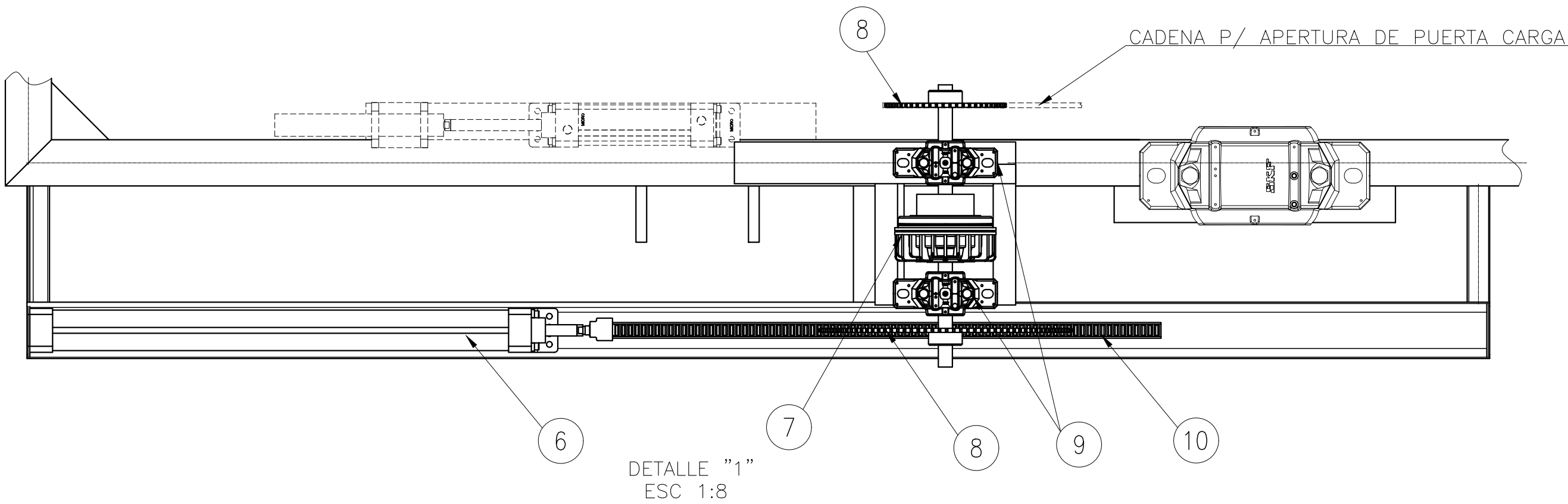
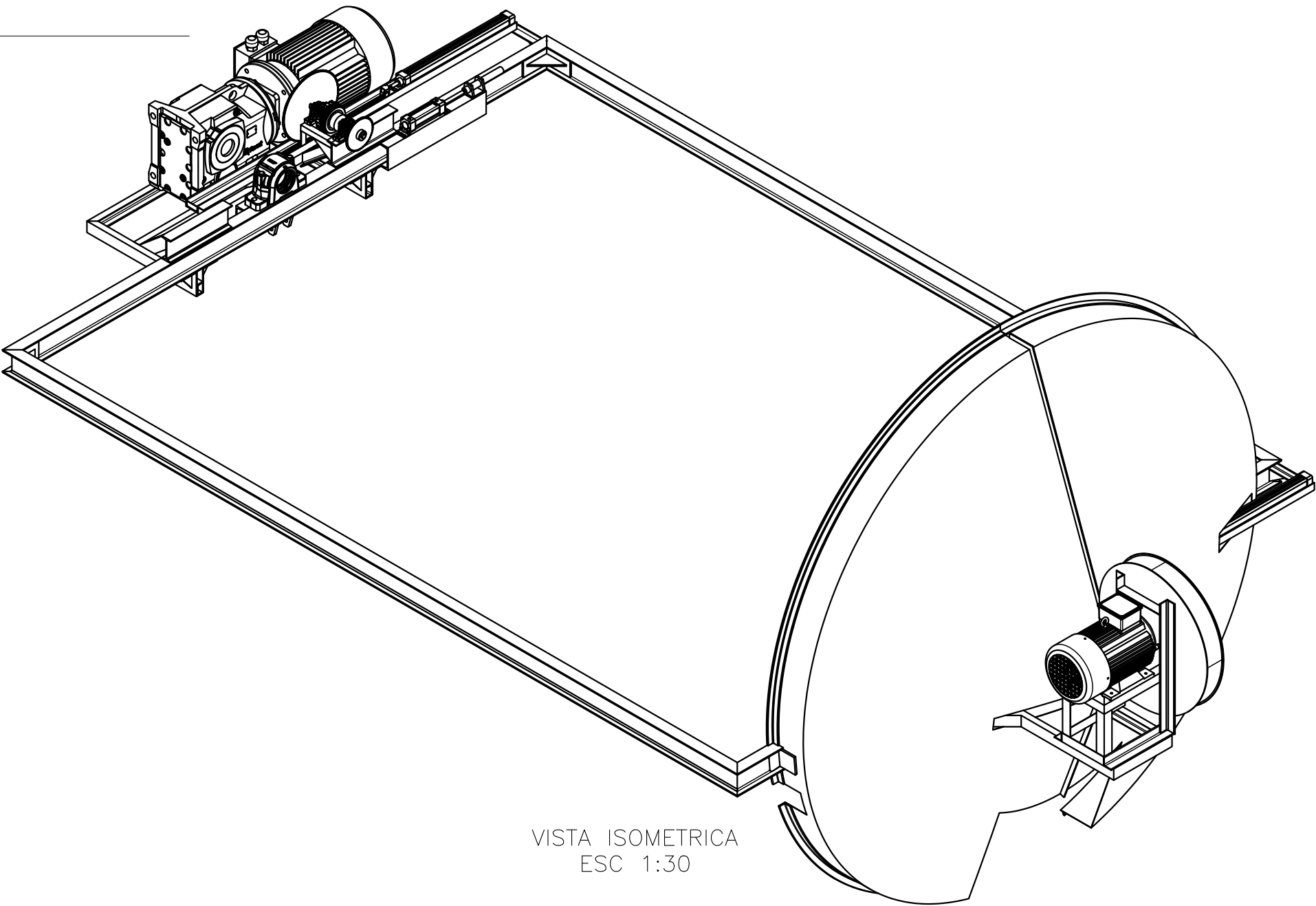
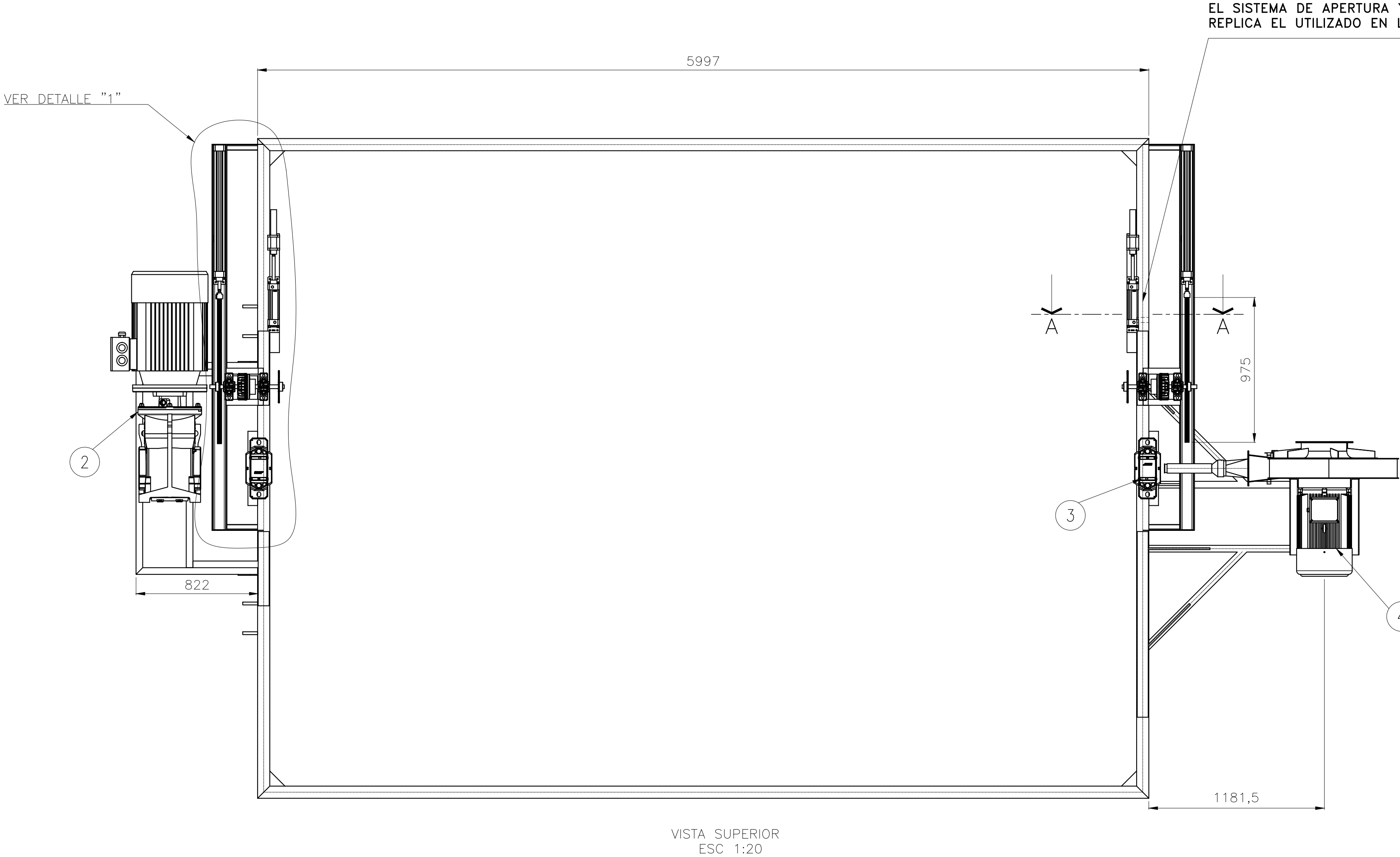
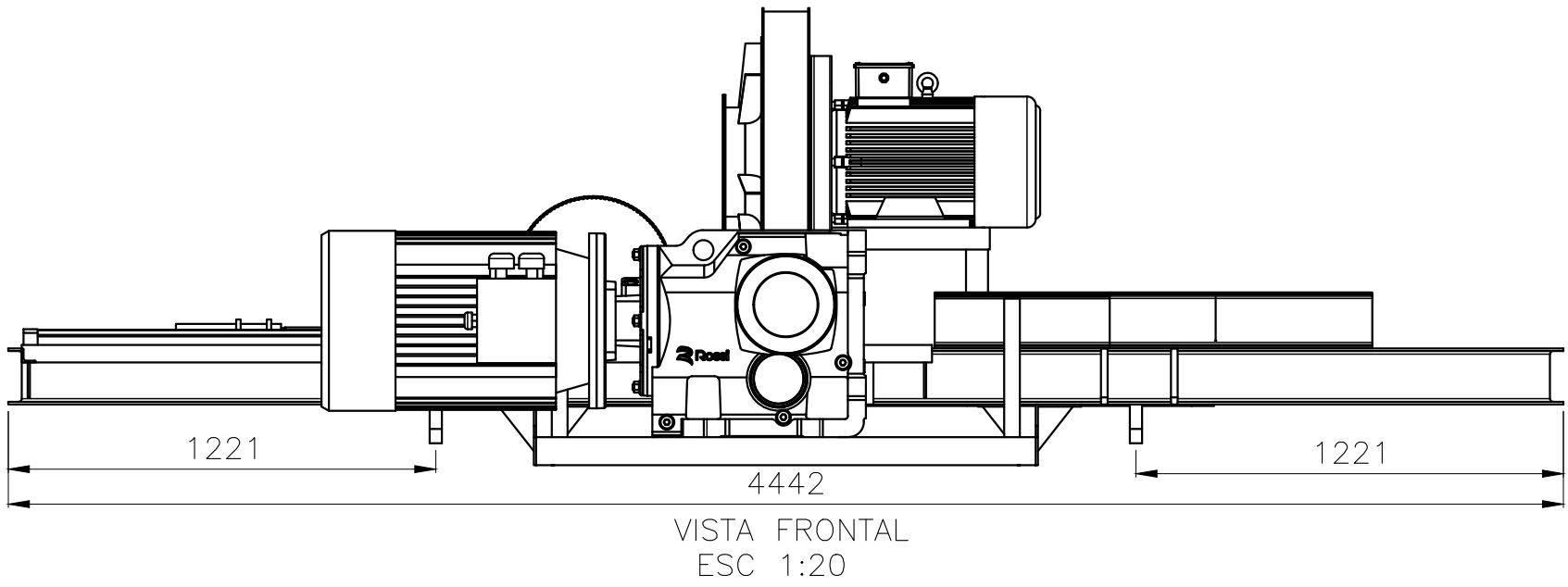
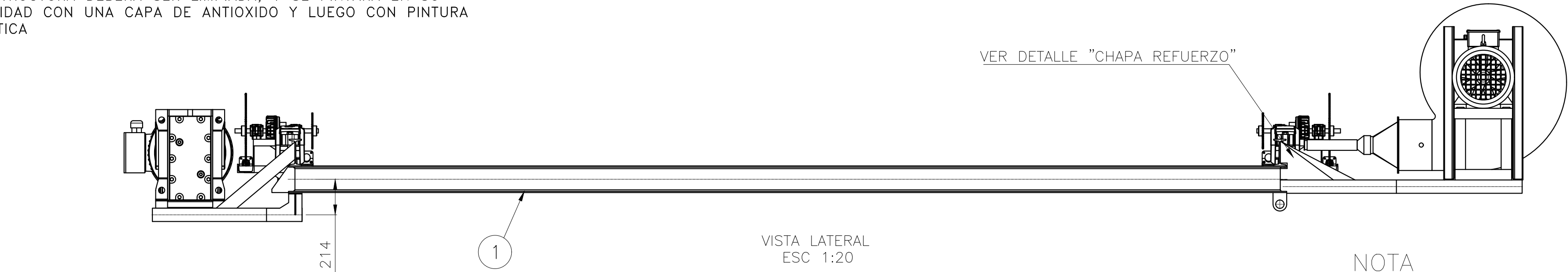
NOTA

VISTAS

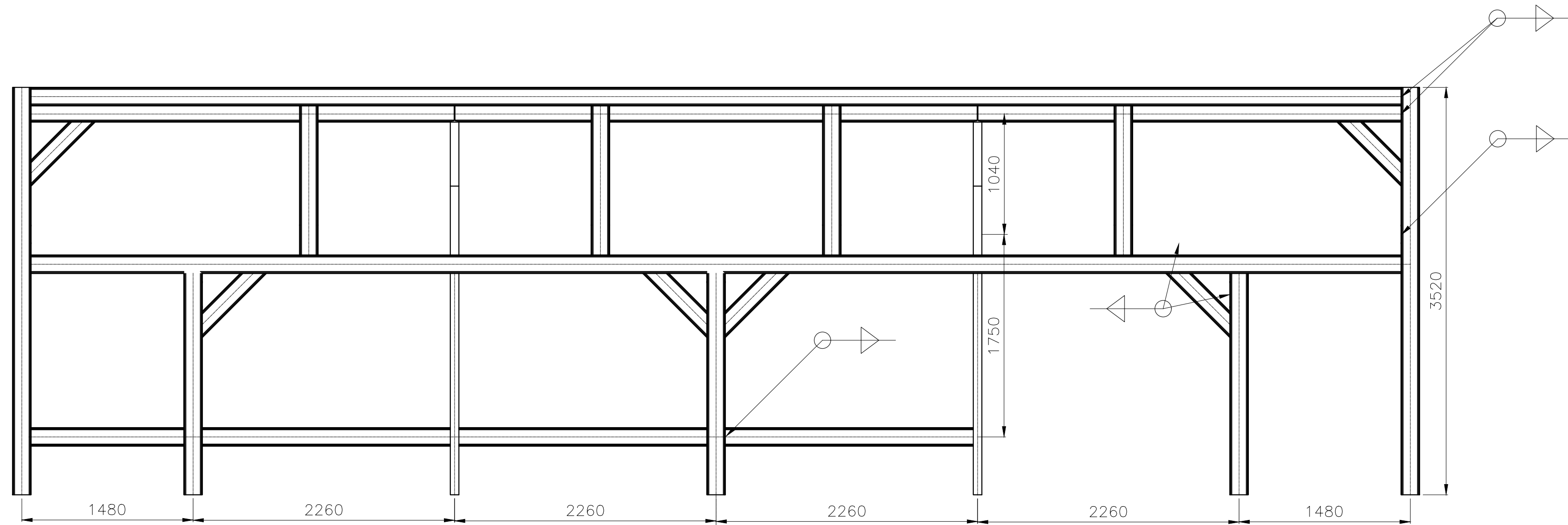
LAS VISTAS PRINCIPALES FUERON REPRESENTADAS SIN EL CONO DE DESCARGA QUE SE OBSERVA EN LAS ISOMETRIAS PARA UNA UNA MEJOR COMPRESION VISUAL

|    |                                           |    |           |
|----|-------------------------------------------|----|-----------|
| 10 | CREMALLERA DENTADA M=4 LARGO 975mm x 22mm | 02 | COMERCIAL |
| 11 | ANCLAJE OJAL                              | 02 | SAE 1045  |

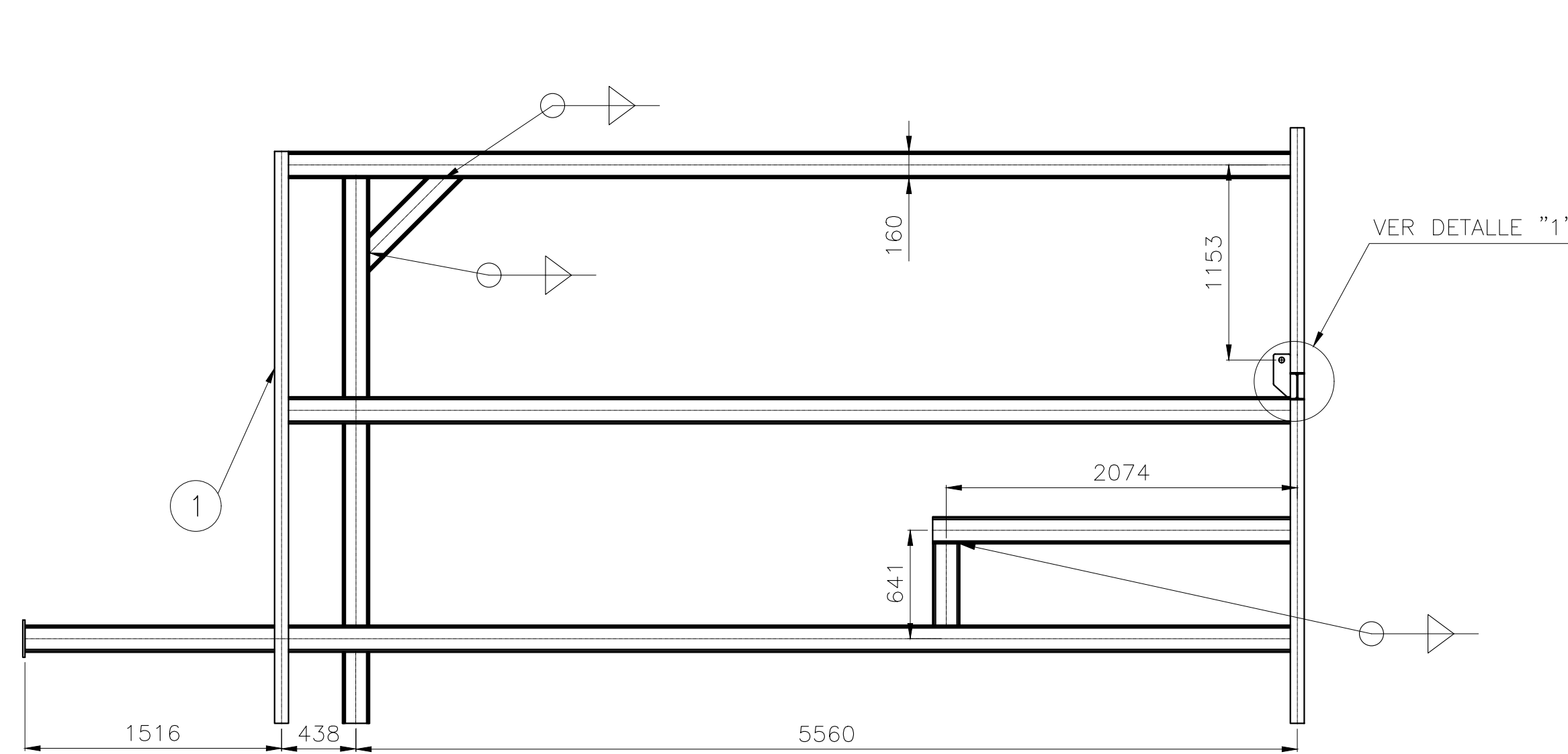
| POS. N° | DENOMINACION                                     | CANT. | OBSERVACIONES |
|---------|--------------------------------------------------|-------|---------------|
| 01      | BASTIDOR ESTRUCTURA INDIVIDUAL IPN 160           | 01    | F-24          |
| 02      | MOTORREDUCTOR C/ FRENO A ENGRANAJES ORTOGONALES  | 01    | LENTAX KL5HR  |
| 03      | COMPLETAR CAJA ROD SKF SNL 522-619               | 02    | SKF           |
| 04      | SOPLADOR DE AIRE                                 | 01    | COMERCIAL     |
| 05      | SUCONJUNTO CONO DE DESCARGA                      | 01    | VER PLANO 09  |
| 06      | CILINDRO NEUMATICO MICRO $\phi 63$ CARRERA 800mm | 02    | MICRO         |
| 07      | EMBRAGUE NEUMATICO DENTADO                       | 02    | -             |
| 08      | CORONA DENTADA $\phi p445mm$ Z=111 M=4           | 02    | COMERCIAL     |
| 09      | SOPORTE PARA RODAMIENTO SKF SNL 506 605          | 04    | SKF           |



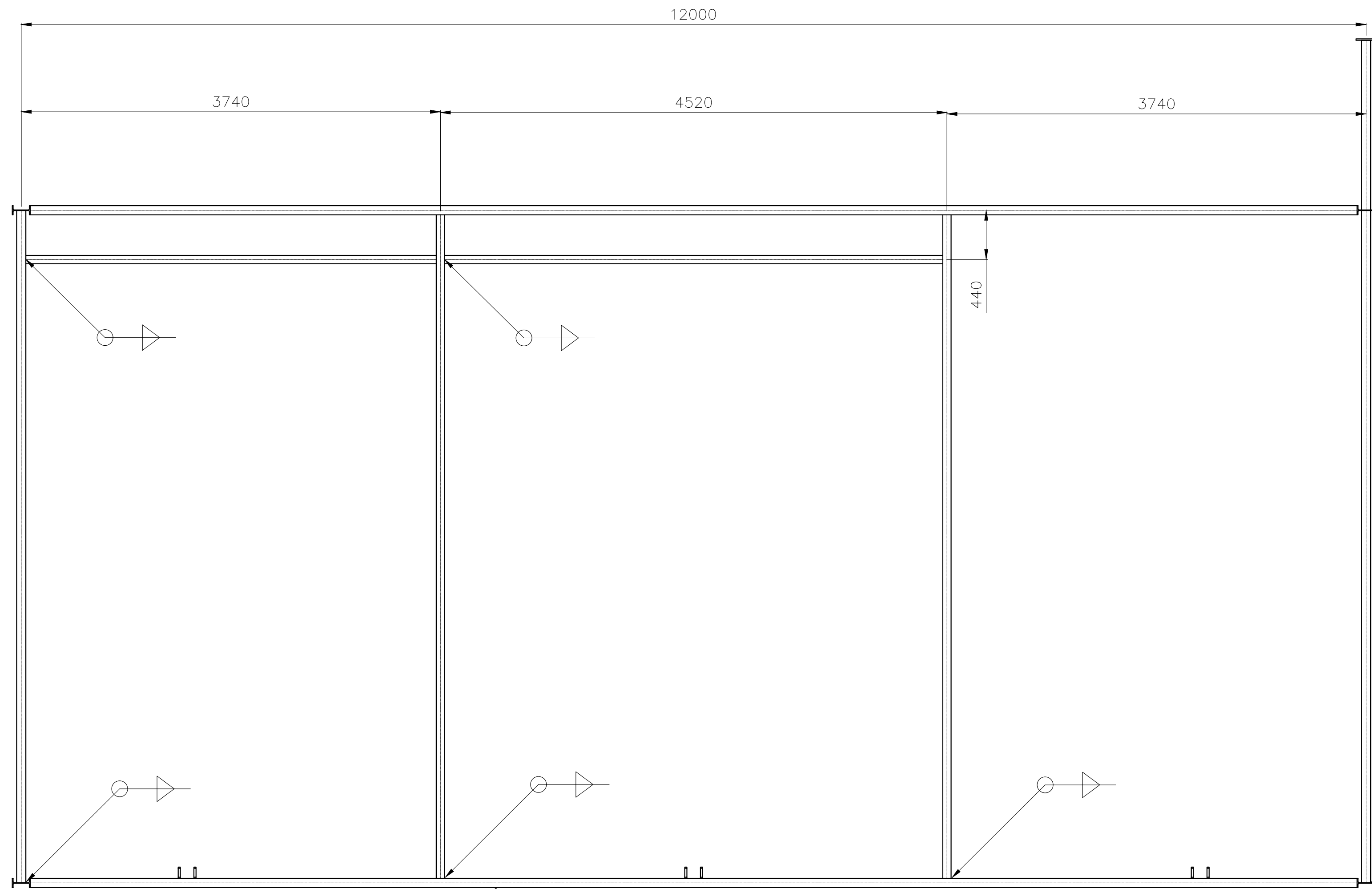
|                                       |          |        |      |          |                                   |  |
|---------------------------------------|----------|--------|------|----------|-----------------------------------|--|
| FECHA                                 | 04/11/24 | ESCALA | 1:20 | DIBUJO   | GARCIA JULIAN – MENESTRINI ANDRES |  |
| UNR-FCEIA                             |          |        |      | HOJA N°: | CONTINUA EN:                      |  |
| ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA        |          |        |      |          |                                   |  |
| PROYECTO FINAL DE INGENIERIA MECANICA |          |        |      | 04       | 05                                |  |
| SUBCONJUNTO ESTRUCTURA INDIVIDUAL     |          |        |      | N°       | PFM-04                            |  |
| PARTE _____                           |          |        |      |          |                                   |  |



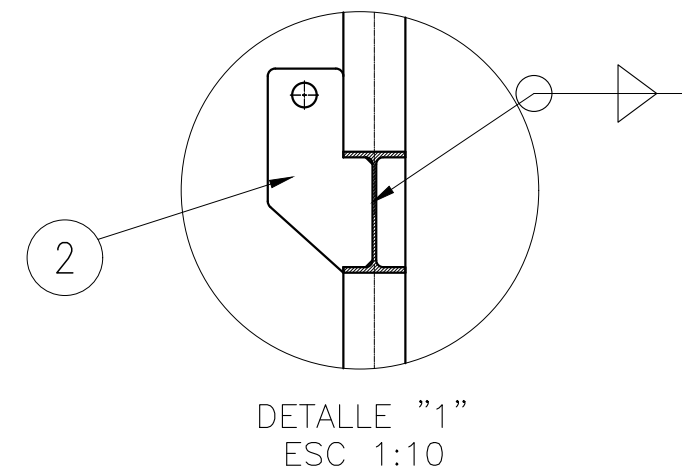
VISTA FRONTAL  
ESC 1:30



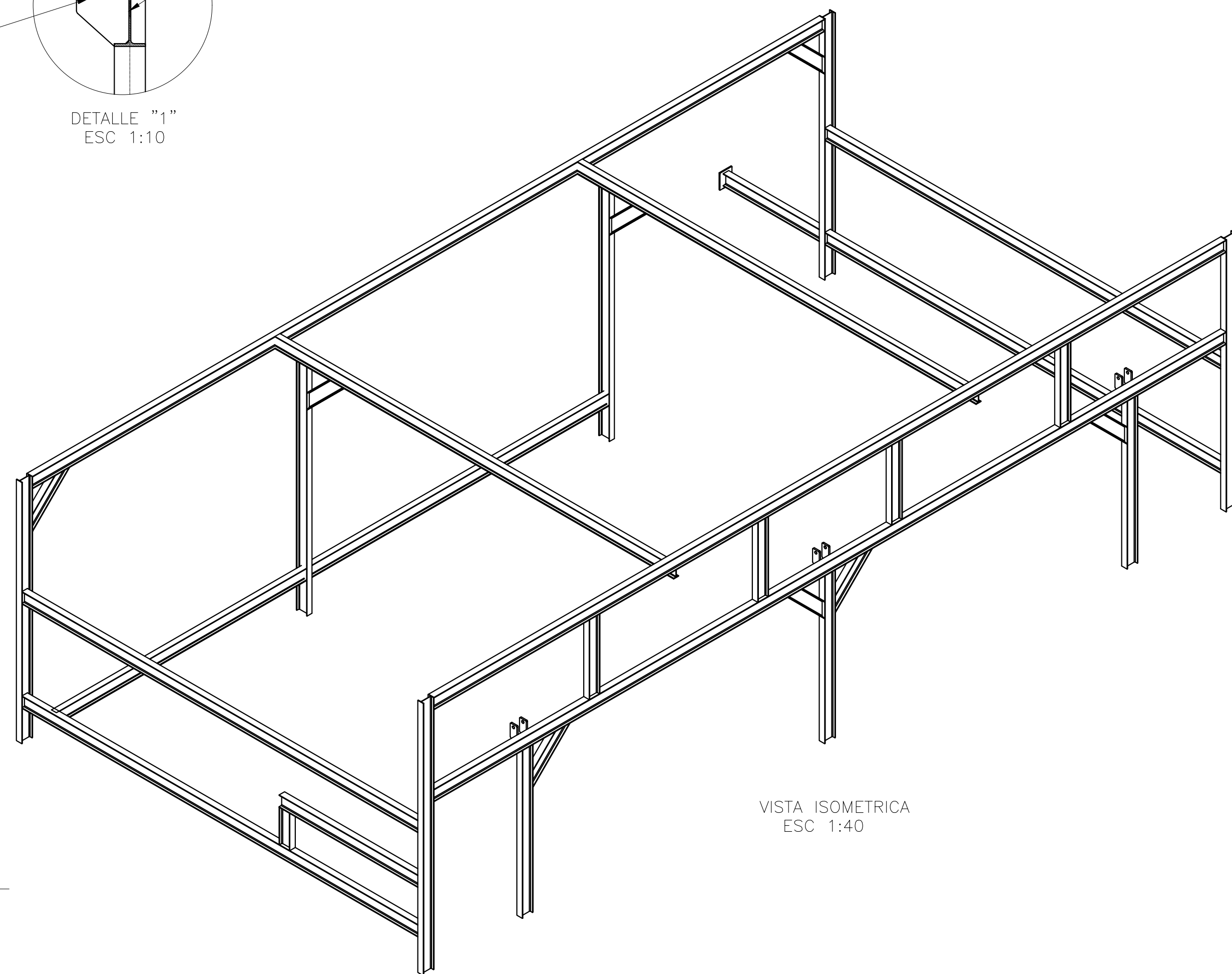
VISTA LATERAL  
ESC 1:30



VISTA SUPERIOR  
ESC 1:30



DETALLE "1"  
ESC 1:10



VISTA ISOMETRICA  
ESC 1:40

### NOTA GENERAL

#### SOLDADURAS

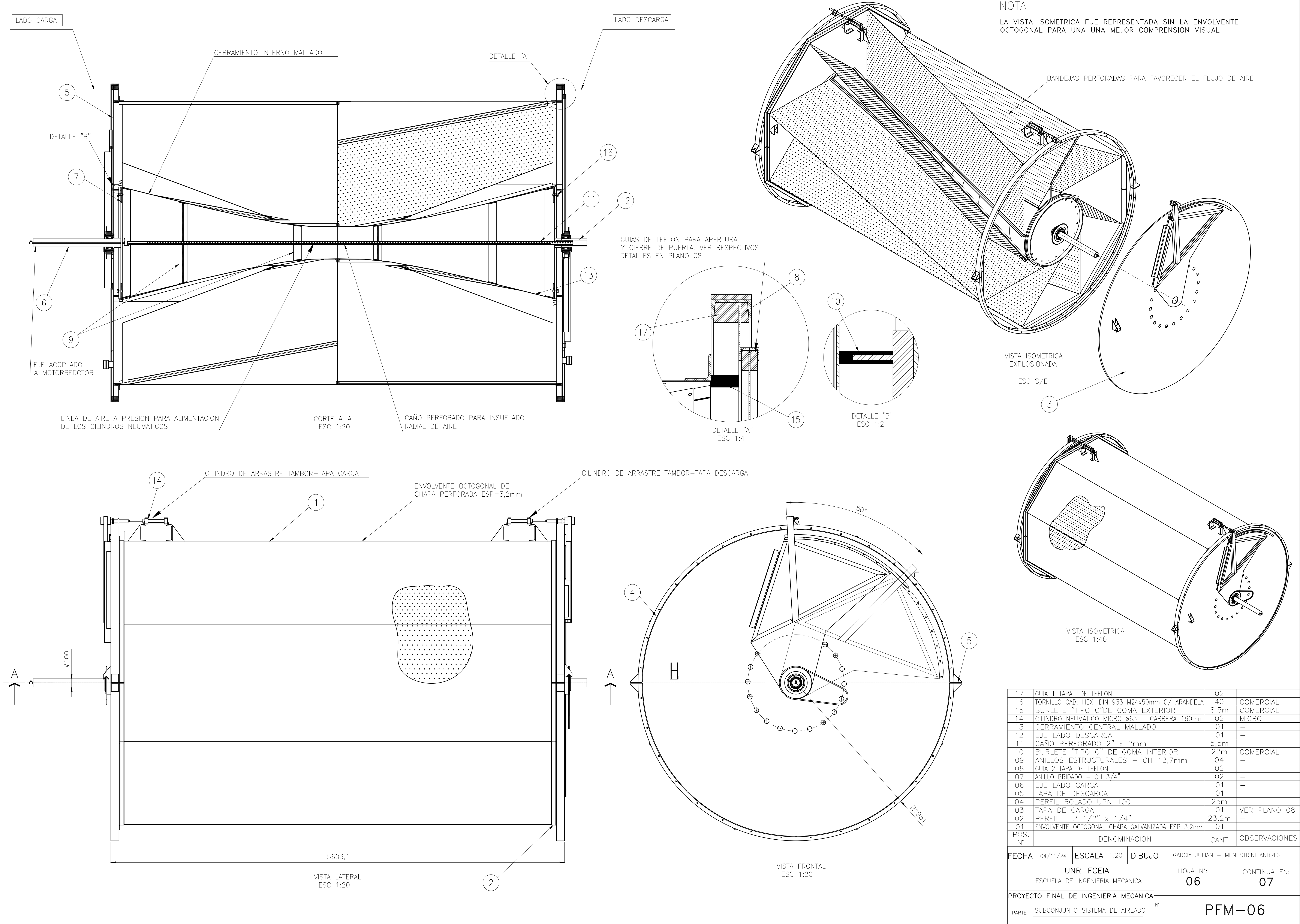
LOS CORDONES DE SOLDADURA SERAN CONTINUOS, Y SU ESPESOR SERA DE  $a=0,7$  DE MINIMO ESPESOR A SOLDAR SEGUN AWS

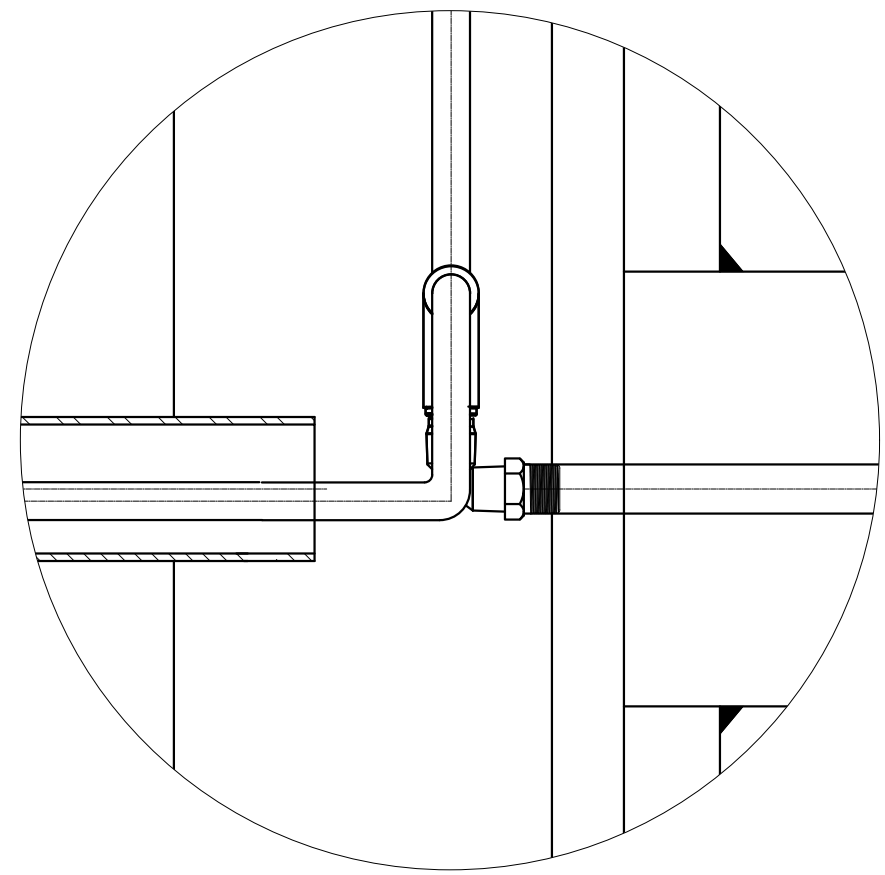
#### PINTURA

LA ESTRUCTURA DEBERA SER LIMPIADA, Y SE PINTARA EN SU TOTALIDAD CON UNA CAPA DE ANTIOXIDO Y LUEGO CON PINTURA SINTETICA

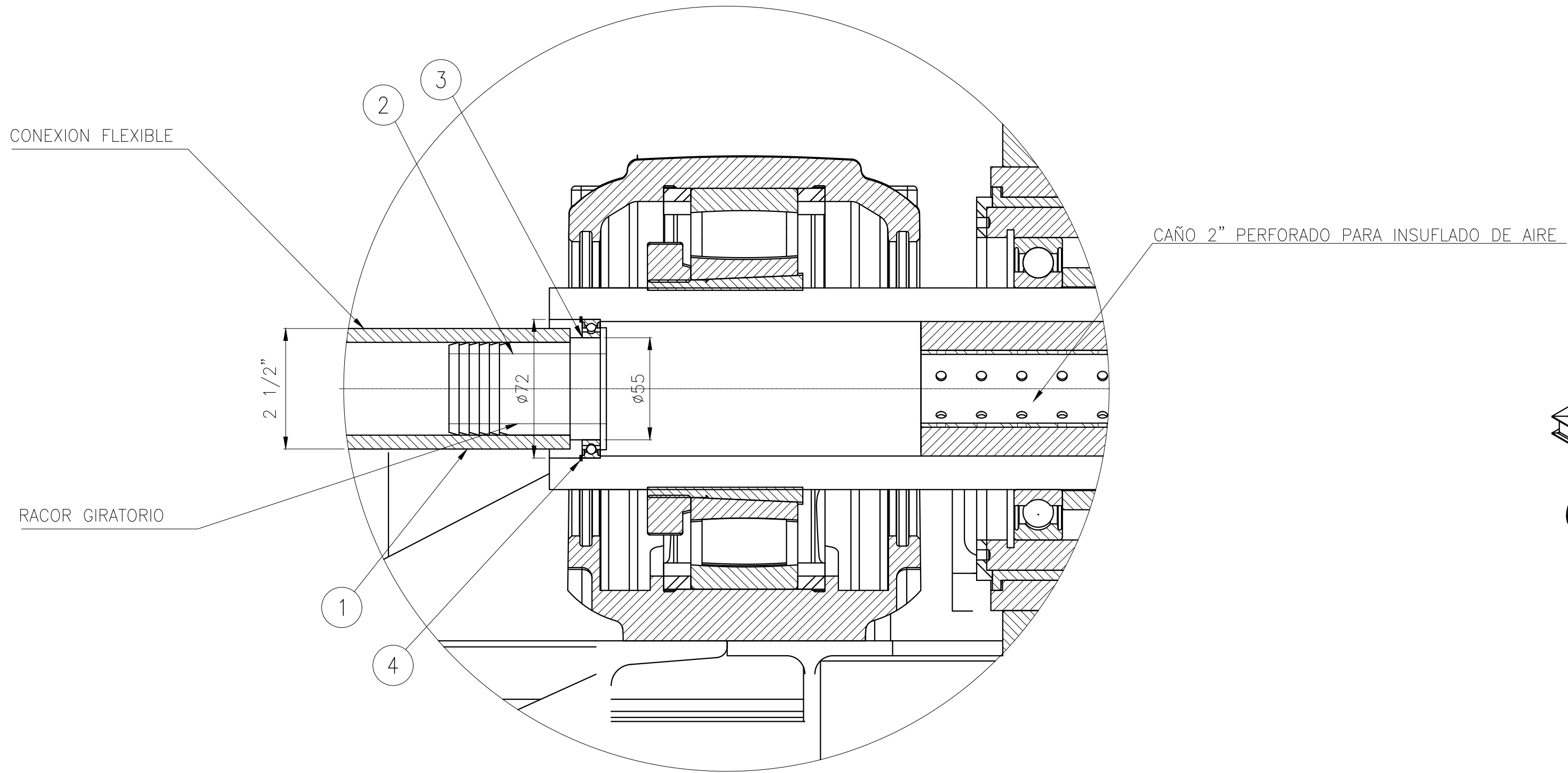
ESTRUCTURA DE PERFIL IPN 160  
CONTRUIDA MEDIANTE UNIONES SOLDADAS  
SEGUN NORMA AWS D1.1

|                                             |                                          |             |                                          |                    |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|--------------------|
| 02                                          | PLACA DE SUJECION INFERIOR CILINDRO HID. |             | 06                                       | VER PLANO 13       |
| 01                                          | PERFIL IPN 160                           |             | m                                        | —                  |
| POS. N°                                     | DENOMINACION                             |             | CANT.                                    | OBSERVACIONES      |
| FECHA                                       | 04/11/24                                 | ESCALA 1:30 | DIBUJO GARCIA JULIAN — MENESTRINI ANDRES |                    |
| UNR—FCEIA<br>ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA |                                          |             | HOJA N°:<br>05                           | CONTINUA EN:<br>06 |
| PROYECTO FINAL DE INGENIERIA MECANICA       |                                          |             | N°<br>PFM—05                             |                    |
| PARTE                                       | ESTRUCTURA SOPORTE                       |             |                                          |                    |

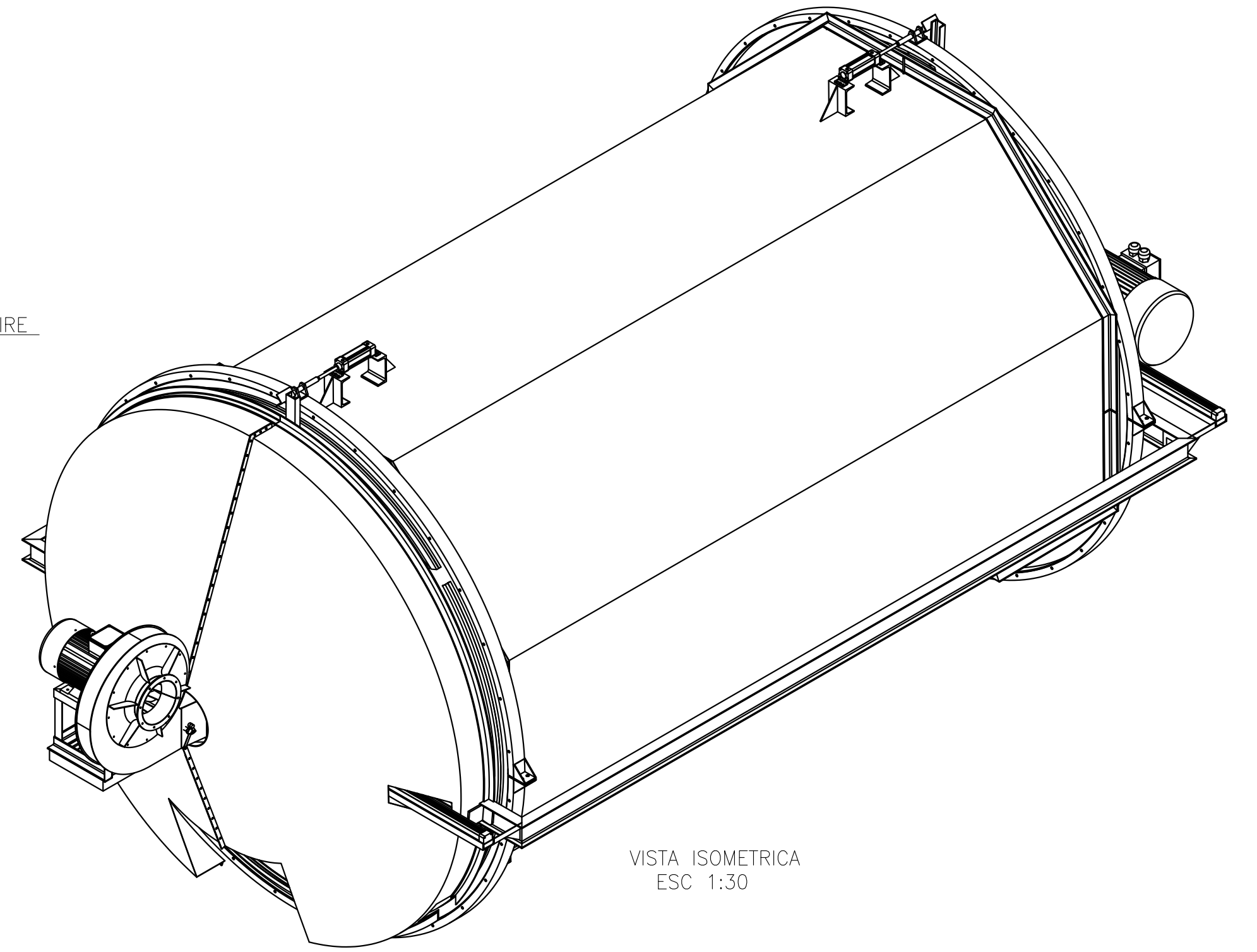




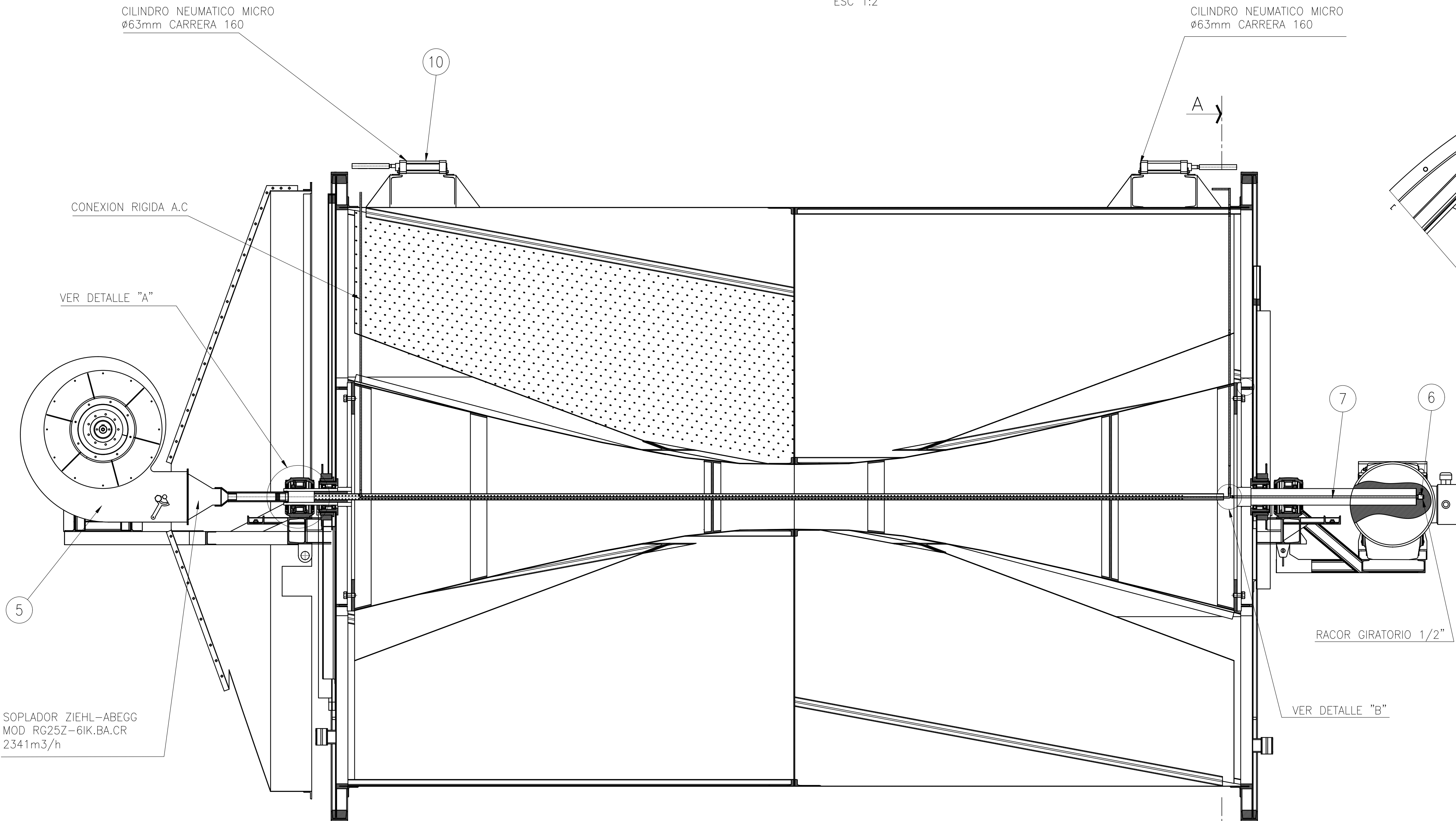
DETALLE "B"  
ESC 1:1



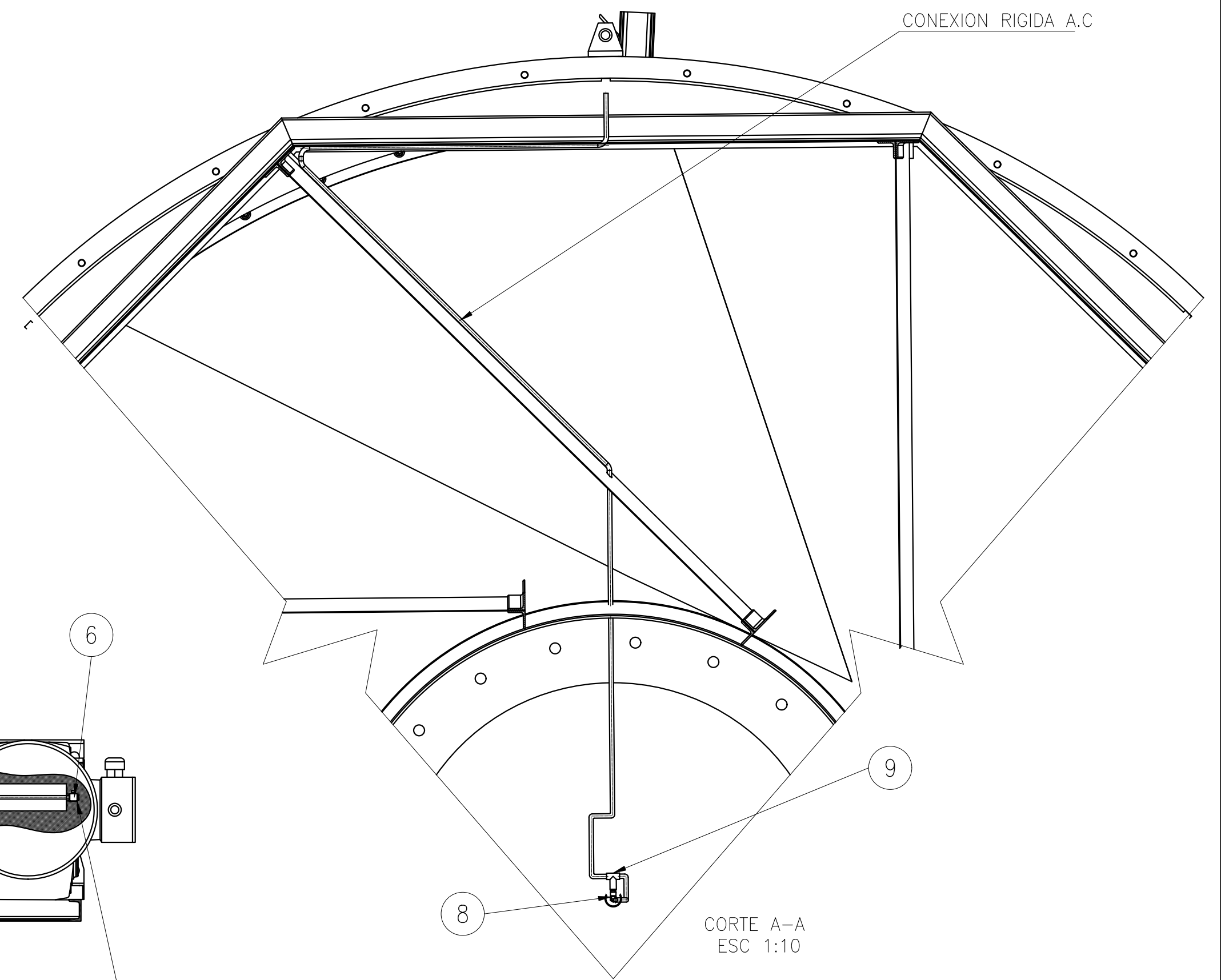
DETALLE "A"  
ESC 1:2



VISTA ISOMETRICA  
ESC 1:30



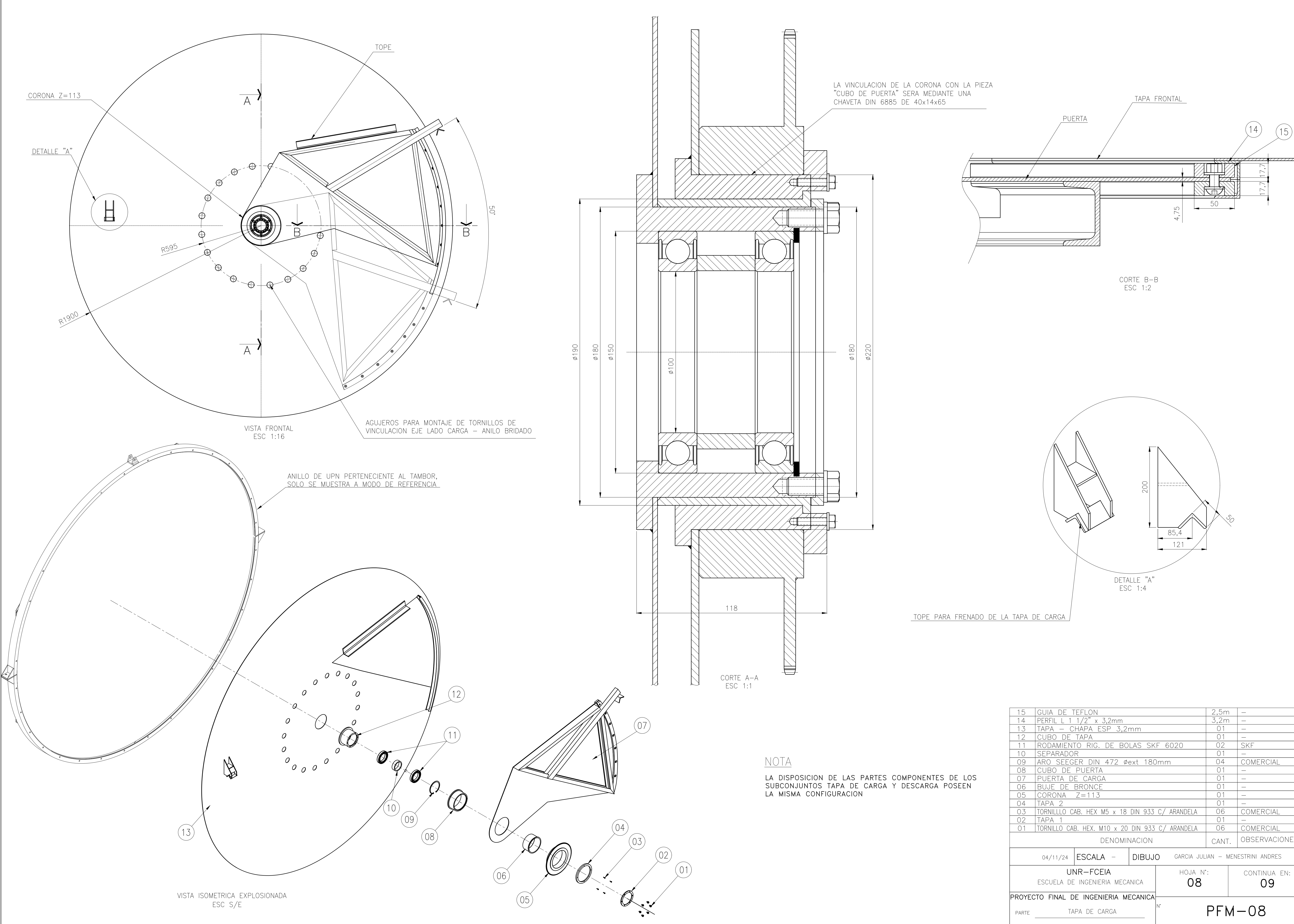
CORTE LONGITUDINAL  
ESC 1:16

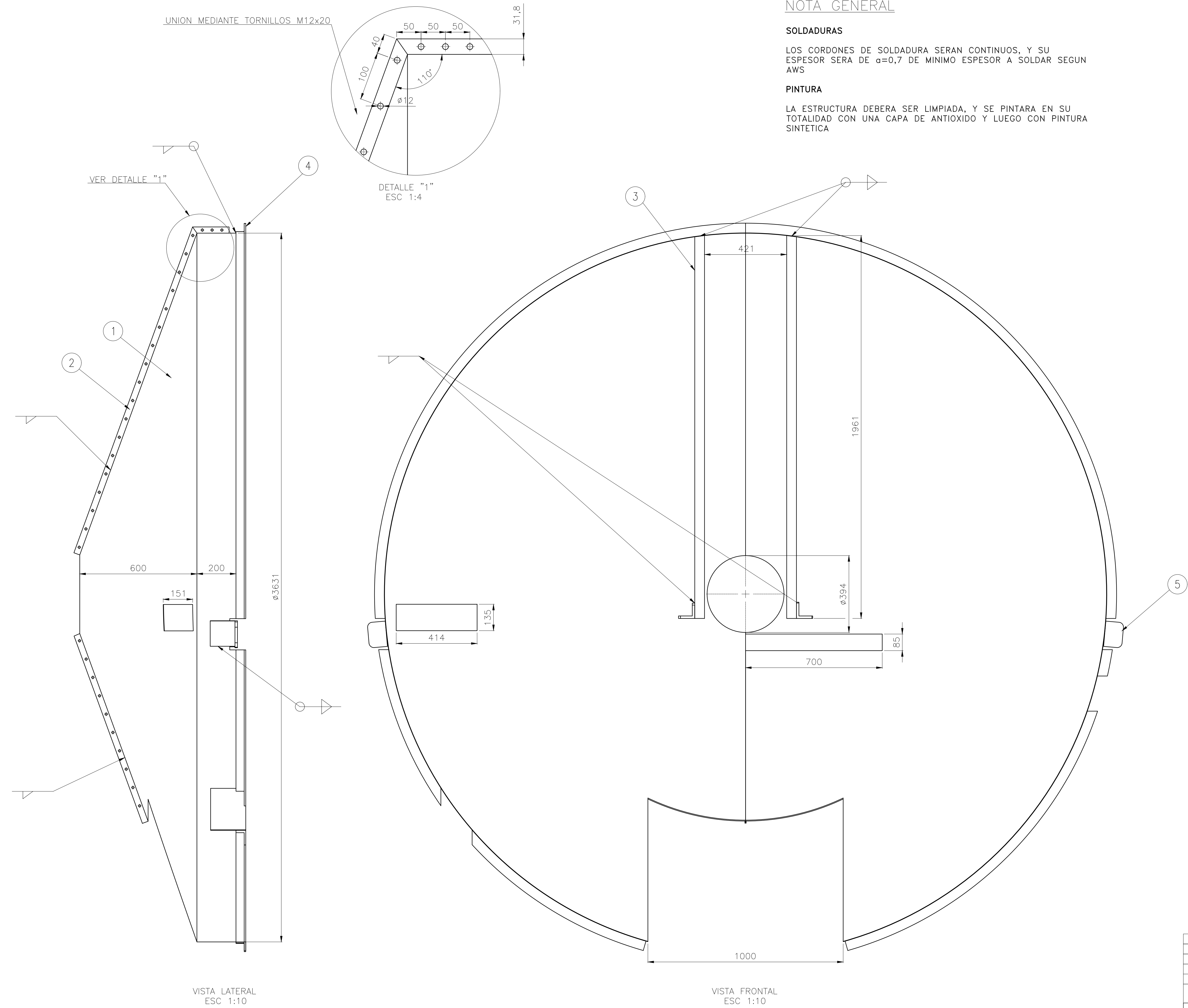


CORTE A-A  
ESC 1:10

|         |                                            |       |               |
|---------|--------------------------------------------|-------|---------------|
| 10      | CILINDRO NEUMATICO MICRO ø63mm CARRERA 160 | 02    | MICRO         |
| 09      | TEE ø 1/2"                                 | 01    | MICRO         |
| 08      | CODO 90° 1/2"                              | 01    | MICRO         |
| 07      | SISTEMA CAÑERIA ALUMINIO ø 1/2"            | 10m   | —             |
| 06      | RACOR GIRATORIO 1/2"                       | 01    | MICRO         |
| 05      | SOPLADOR MOD RG25Z-6IK.BA.CR- 2341m3/h     | 01    | ZIEHL-ABEGG   |
| 04      | ARO SEEGER DIN 472 P/ ø72mm                | 01    | —             |
| 03      | RODAMIENTO RIGIDO DE BOLAS SKF 61811       | 01    | SKF           |
| 02      | RACOR                                      | 01    | —             |
| 01      | MANGUERA CONTINENTAL FRONTIER 200 ø2 1/2"  | 350mm | CONTINENTAL   |
| POS. N° | DENOMINACION                               | CANT. | OBSERVACIONES |

|                                       |                             |          |      |              |                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------|----------|------|--------------|-----------------------------------|
| FECHA                                 | 04/11/24                    | ESCALA   | 1:20 | DIBUJO       | GARCIA JULIAN - MENESTRINI ANDRES |
| UNR-FCEIA                             |                             | HOJA N°: | 07   | CONTINUA EN: |                                   |
| ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA        |                             |          |      | 08           |                                   |
| PROYECTO FINAL DE INGENIERIA MECANICA |                             |          |      |              |                                   |
| PARTE                                 | DETALLE SISTEMAS NEUMATICOS |          |      | N°           |                                   |
|                                       |                             |          |      | PFM-07       |                                   |





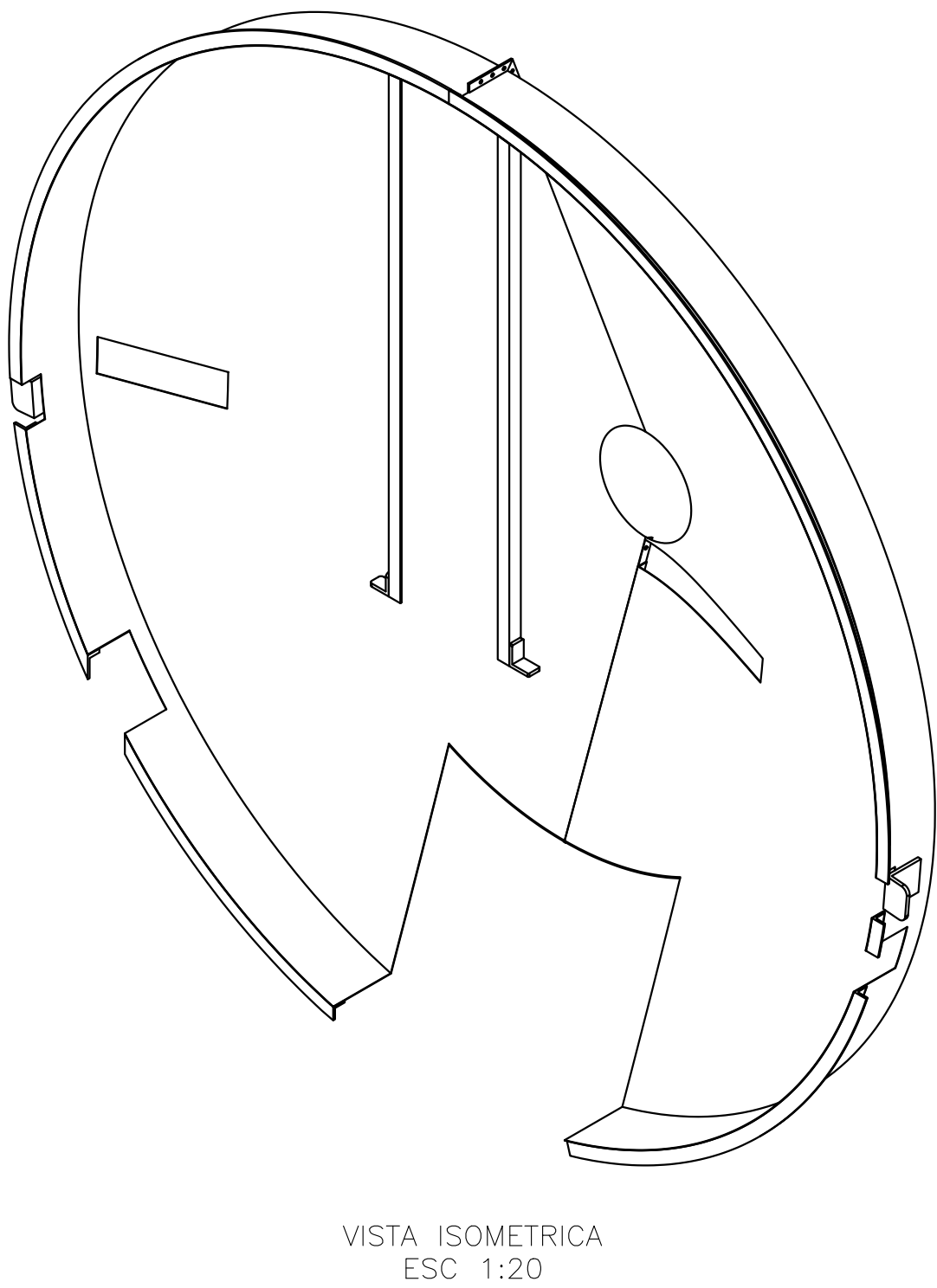
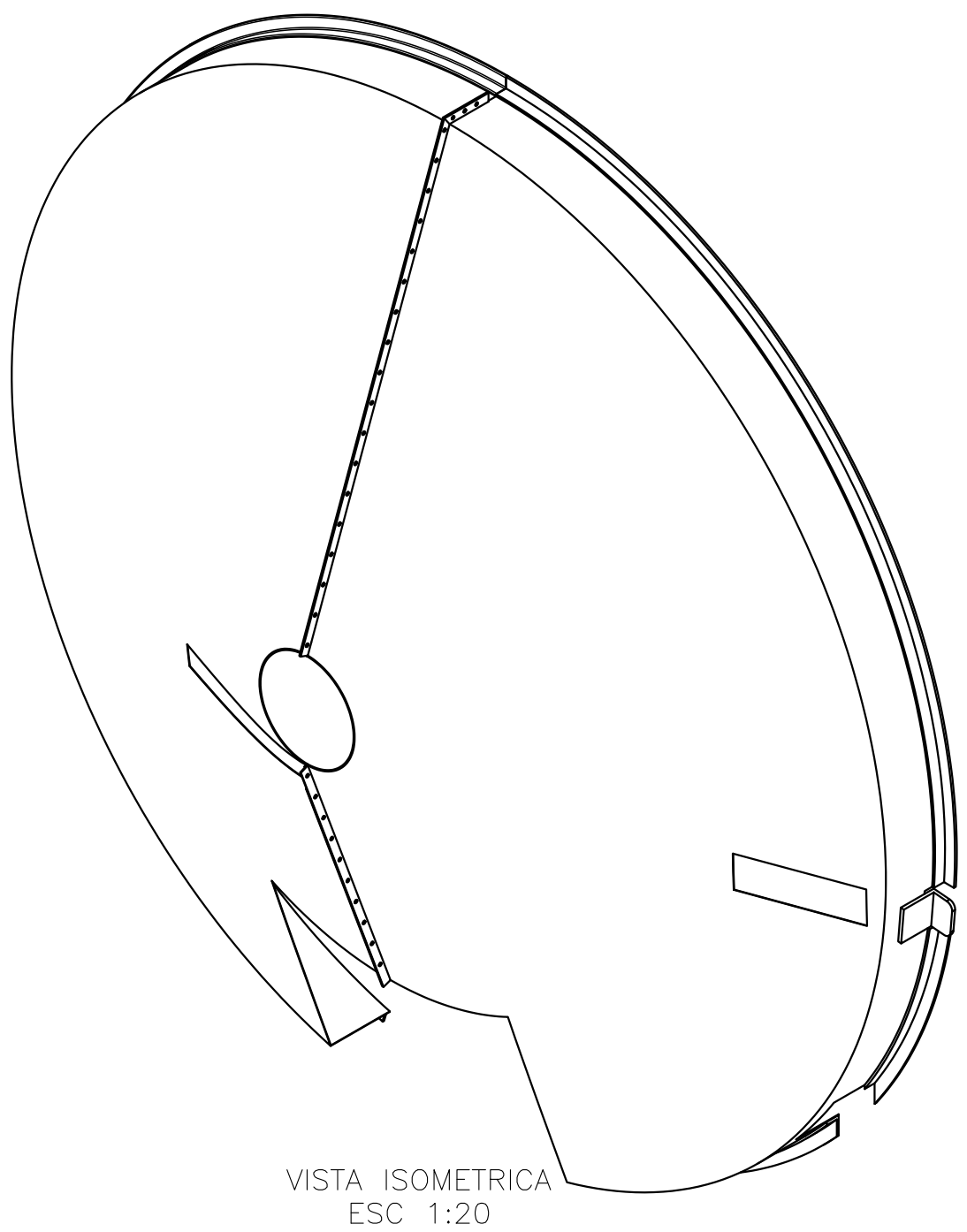
NOTA GENERAL

SOLDADURAS

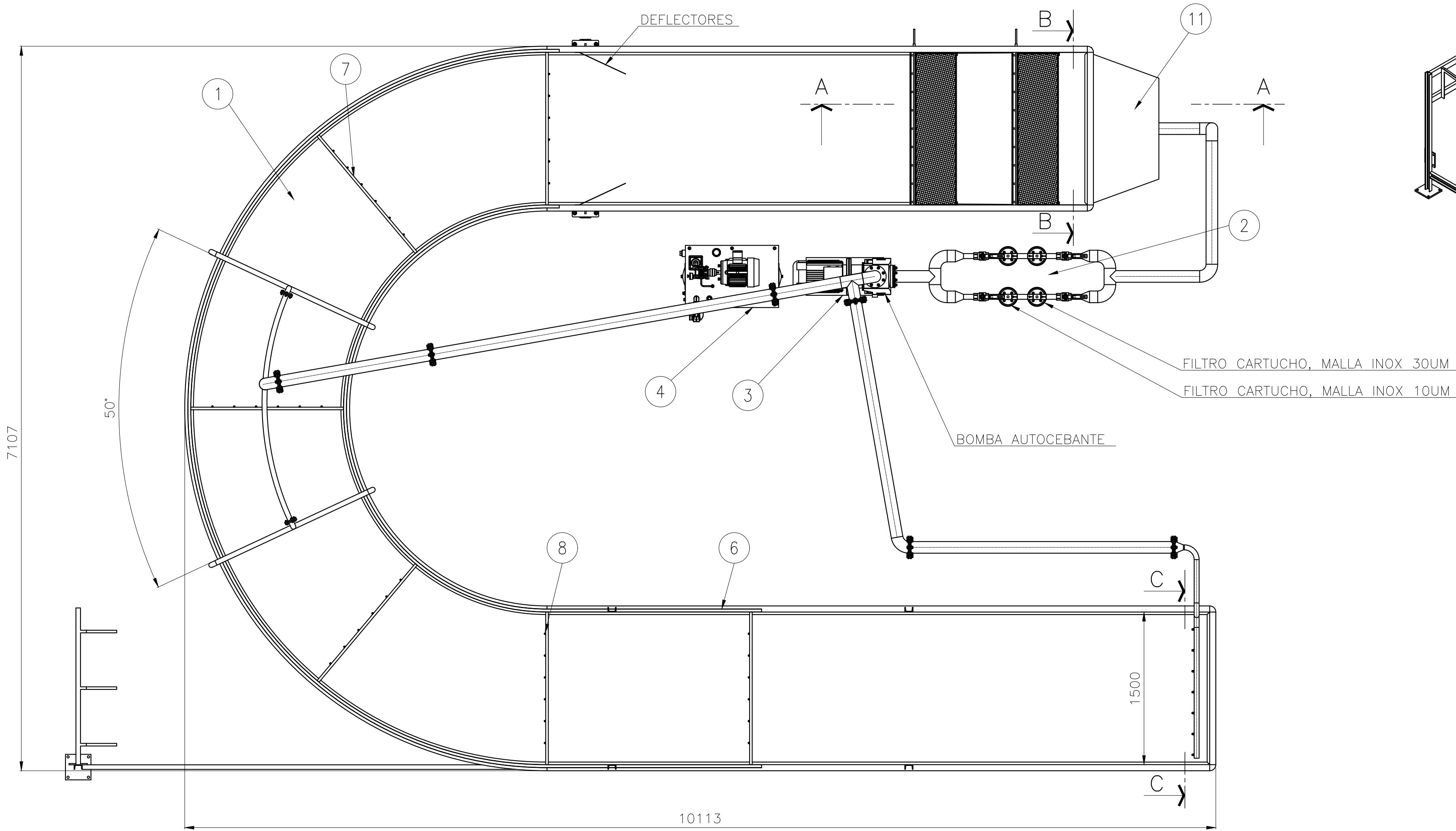
LOS CORDONES DE SOLDADURA SERAN CONTINUOS, Y SU ESPESOR SERA DE  $a=0,7$  DE MINIMO ESPESOR A SOLDAR SEGUN AWS

PINTURA

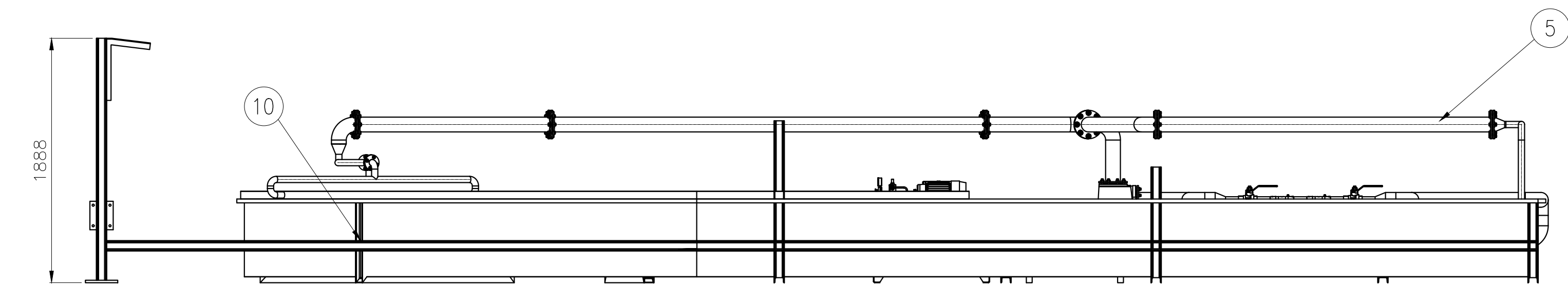
LA ESTRUCTURA DEBERA SER LIMPIADA, Y SE PINTARA EN SU TOTALIDAD CON UNA CAPA DE ANTIOXIDO Y LUEGO CON PINTURA SINTETICA



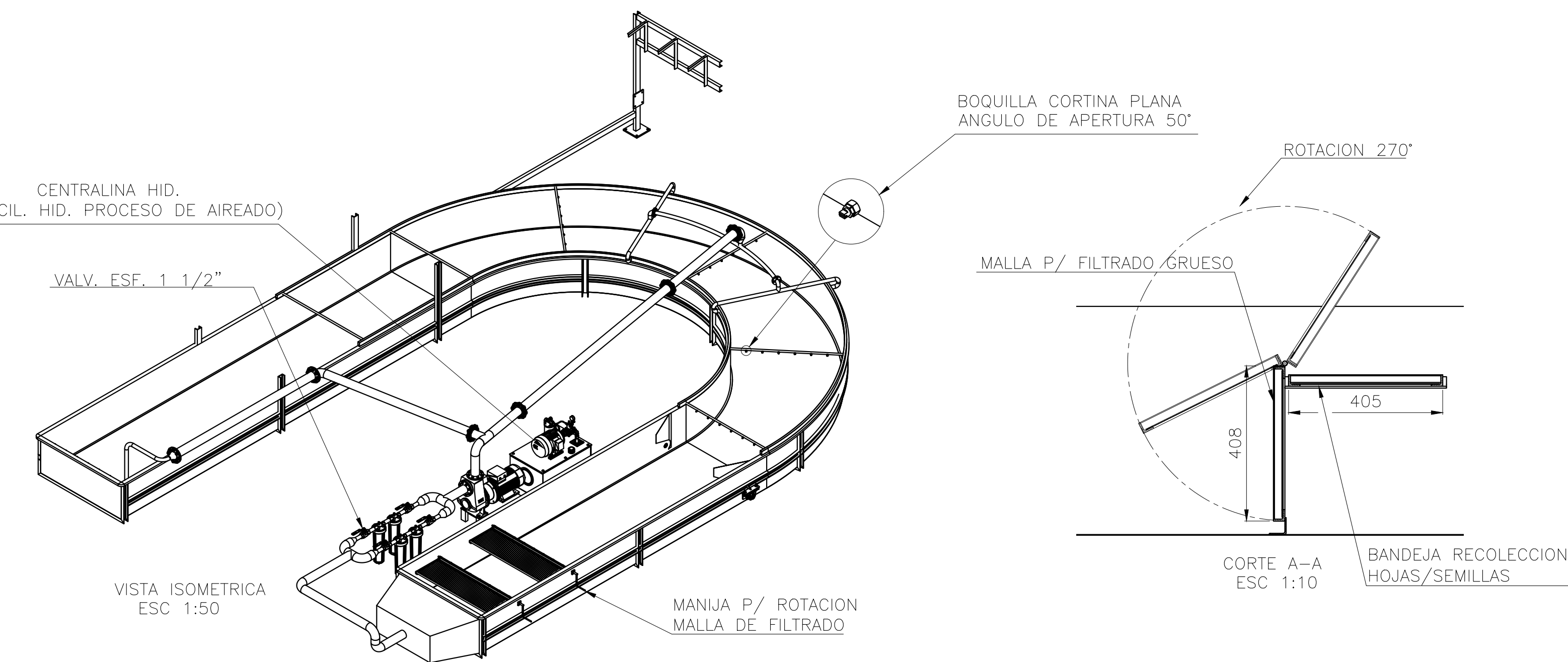
|                                             |                                   |                |                    |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|--------------------|
| 05                                          | SOPORTE                           | 02             | —                  |
| 04                                          | PERFIL L ROLADO 50 x 50           | 12m            | —                  |
| 03                                          | PERFIL L 50 x 50                  | 4m             | —                  |
| 02                                          | PLANCHUELA 1/8" x 1 1/2"          | 3m             | —                  |
| 01                                          | CONO DE CHAPA ROLADA ESP=1,6mm    | 01             | —                  |
| POS.<br>N°                                  | DENOMINACION                      | CANT.          | OBSERVACIONES      |
| FECHA                                       | 04/11/24                          | ESCALA         | 1:10               |
| DIBUJO                                      | GARCIA JULIAN — MENESTRINI ANDRES |                |                    |
| UNR—FCEIA<br>ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA |                                   | HOJA N°:<br>09 | CONTINUA EN:<br>10 |
| PROYECTO FINAL DE INGENIERIA MECANICA       |                                   | N°             | PFM—09             |
| PARTE CONO DESCARGA                         |                                   |                |                    |



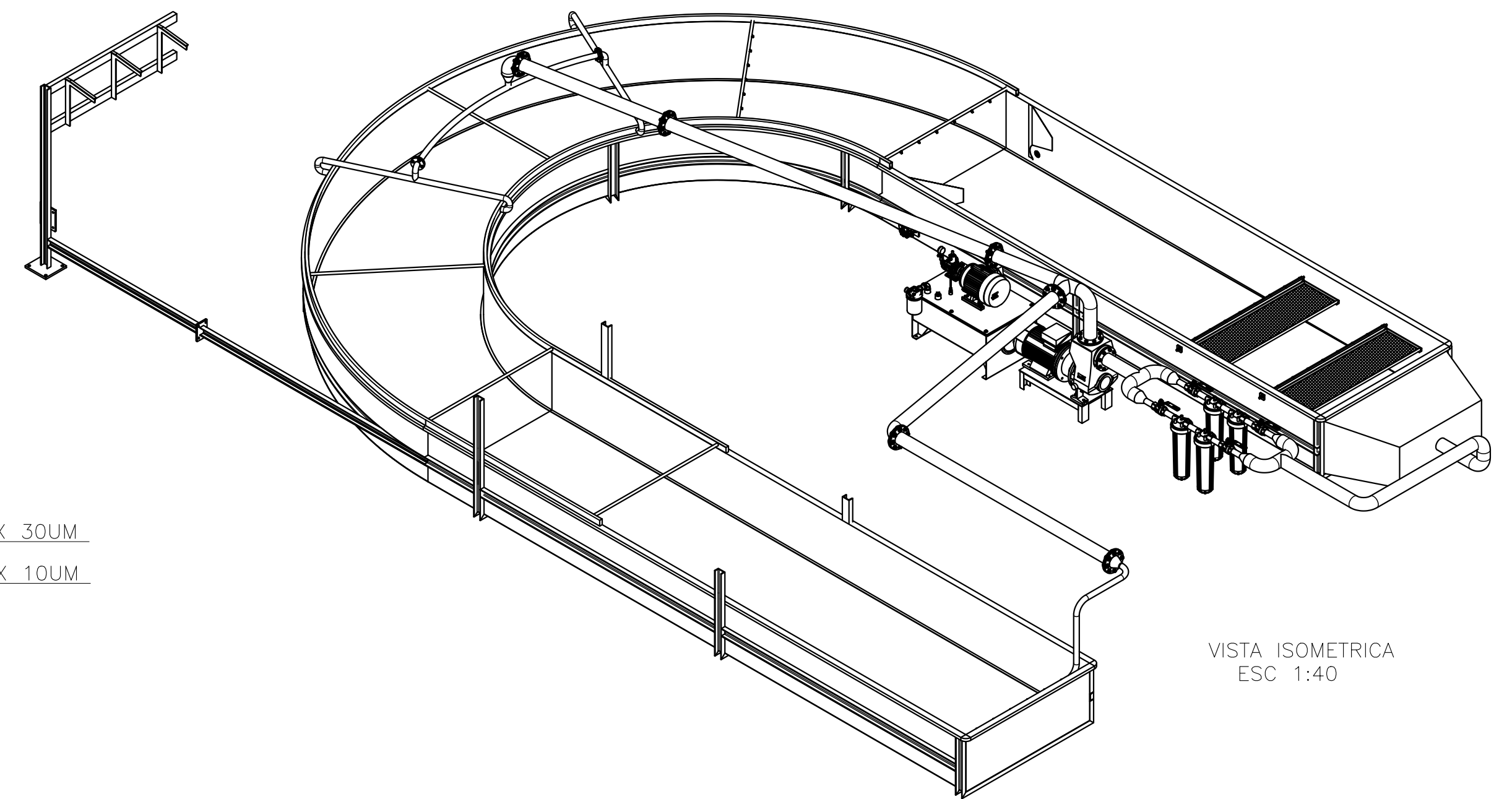
VISTA SUPERIOR  
ESC 1:30



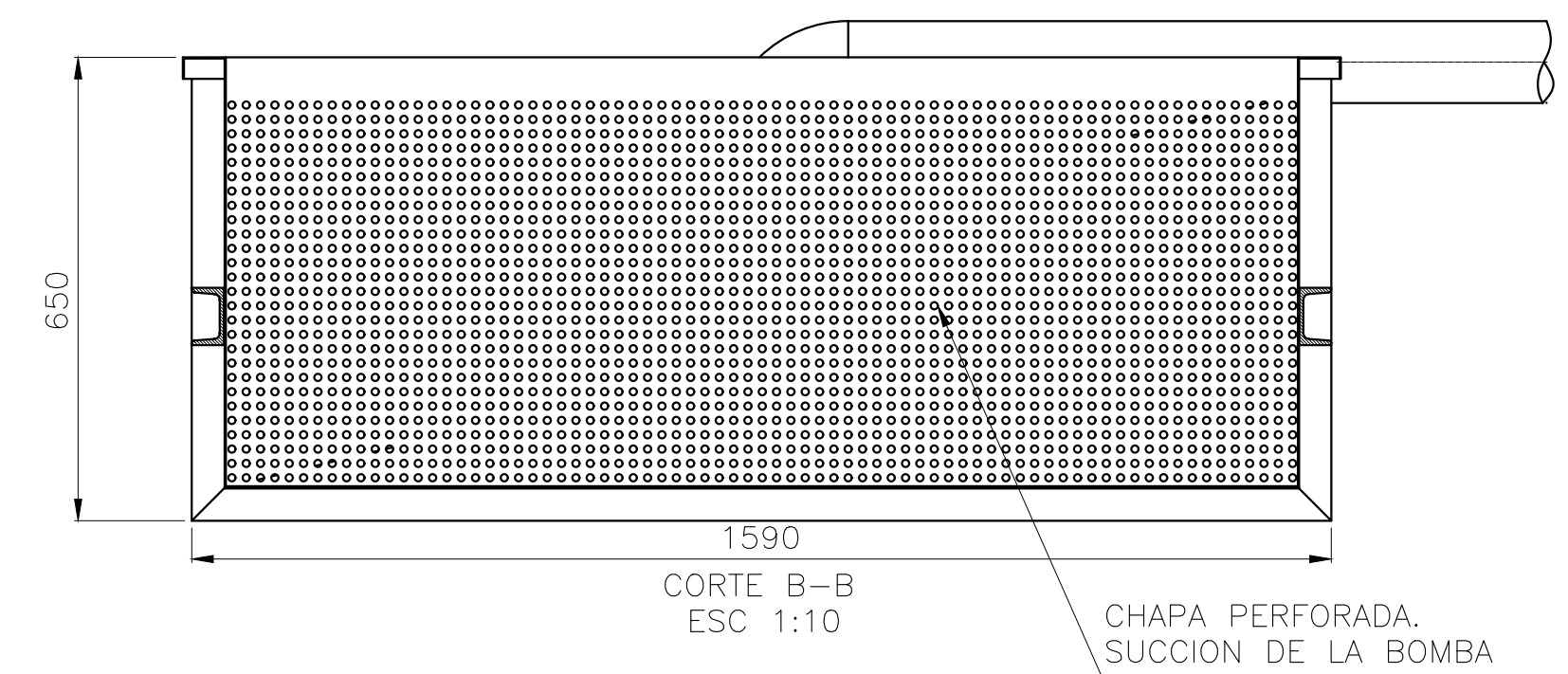
VISTA LATERAL  
ESC 1:30



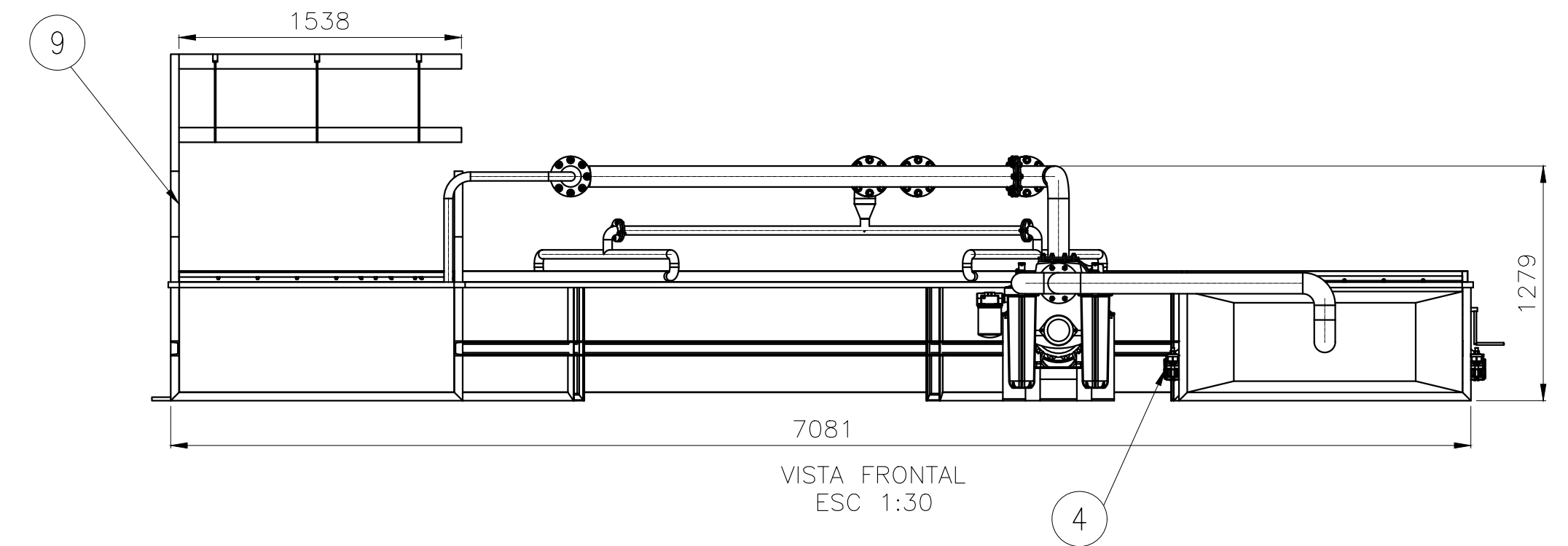
VISTA ISOMETRICA  
ESC 1:50



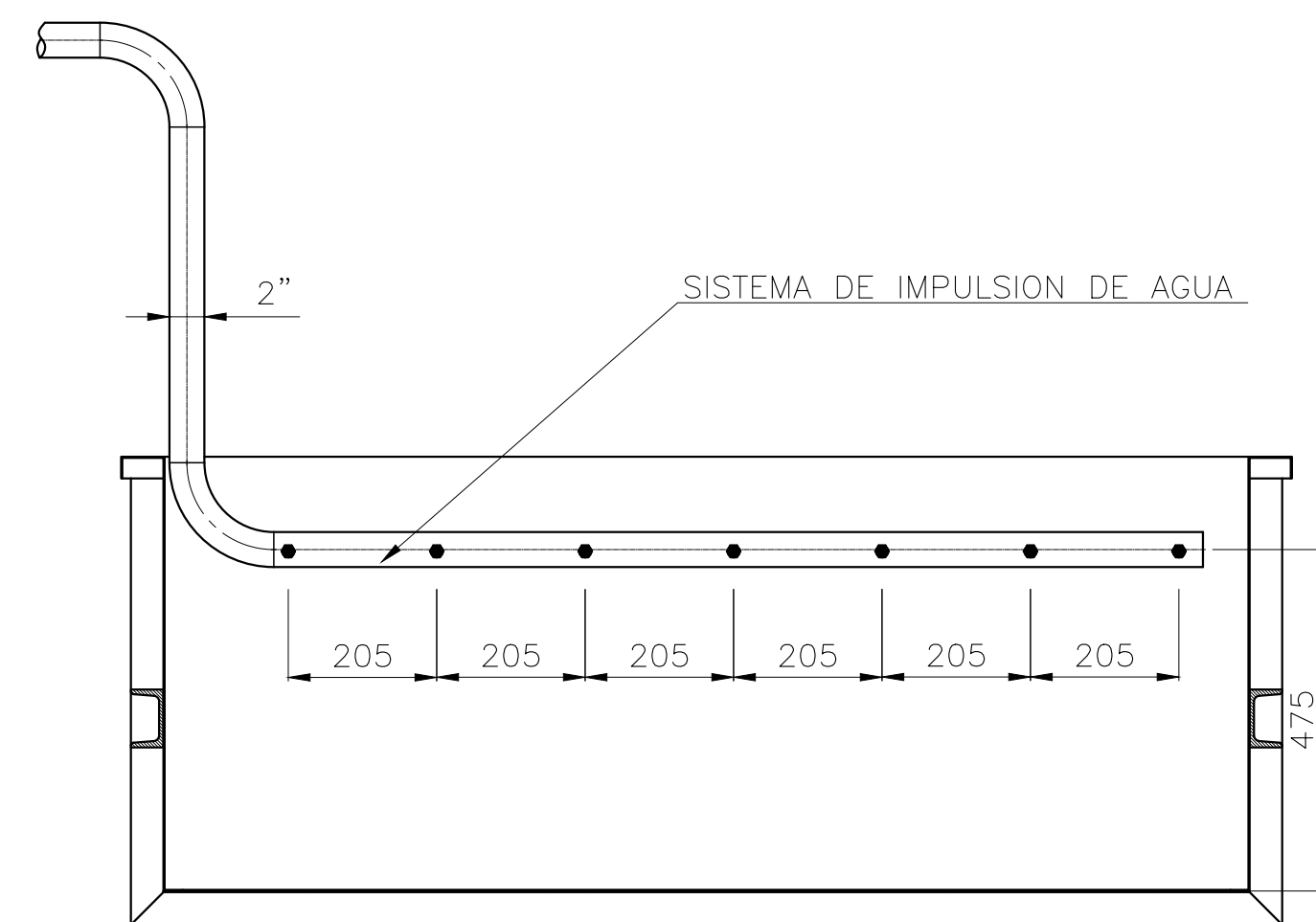
VISTA ISOMETRICA  
ESC 1:40



CORTE B-B  
ESC 1:10

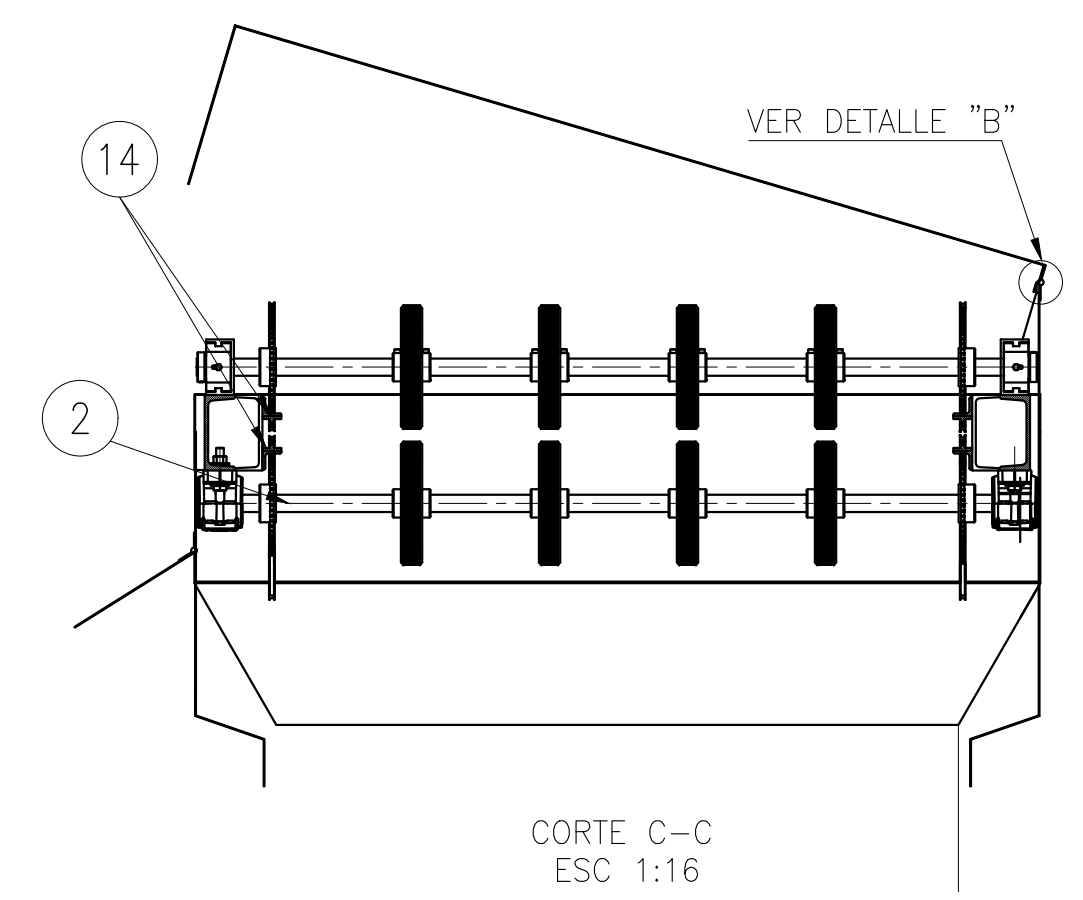
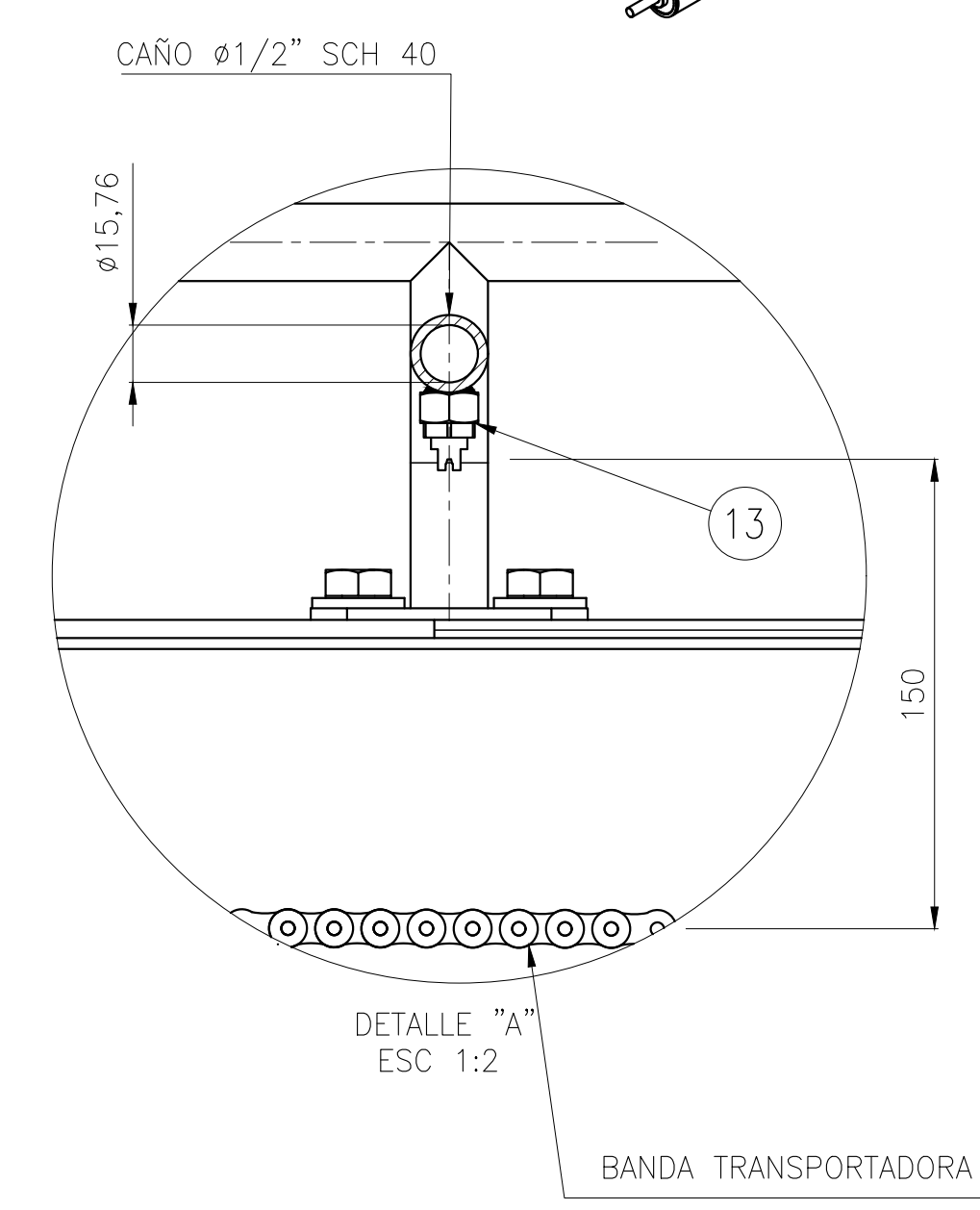
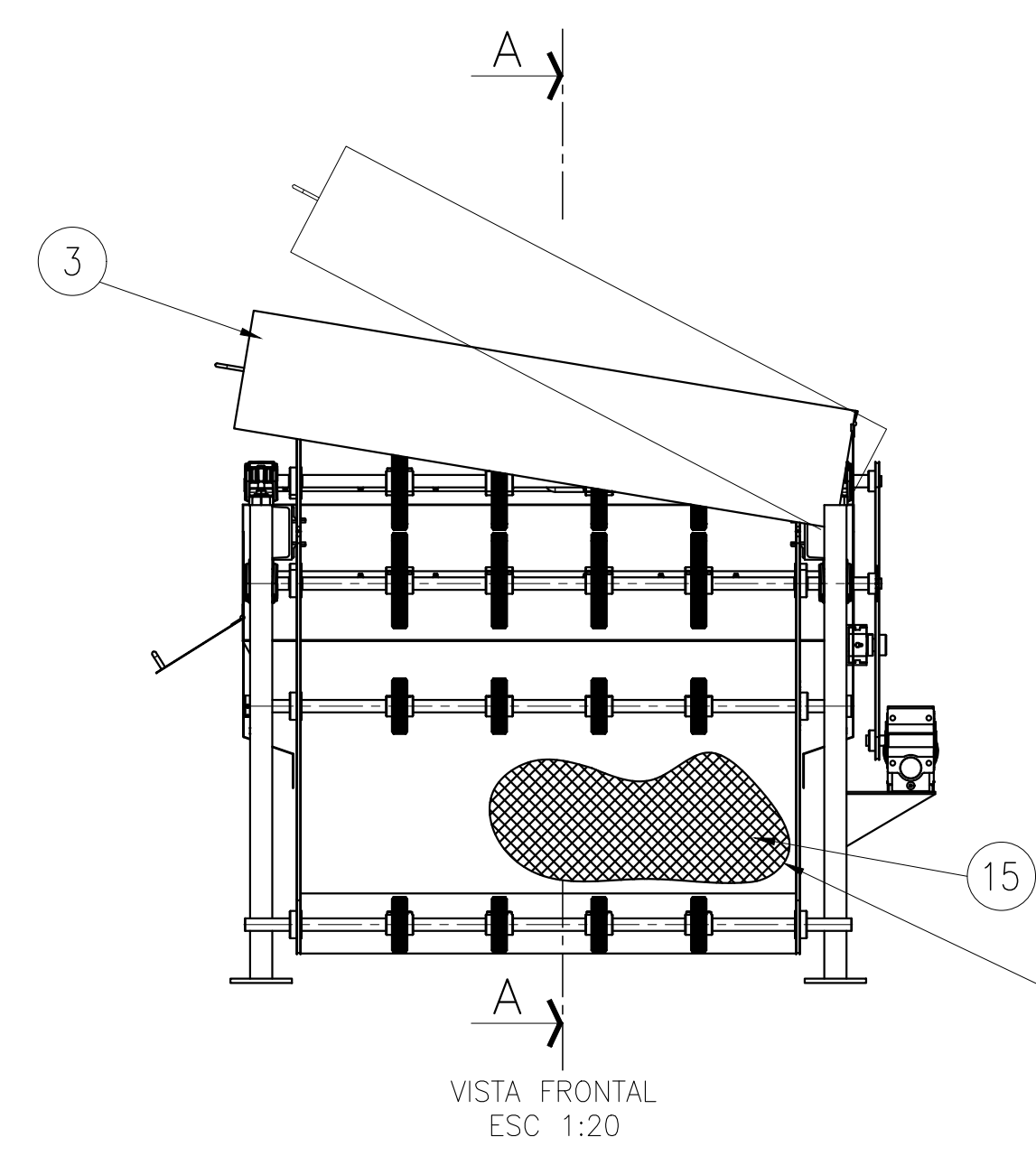
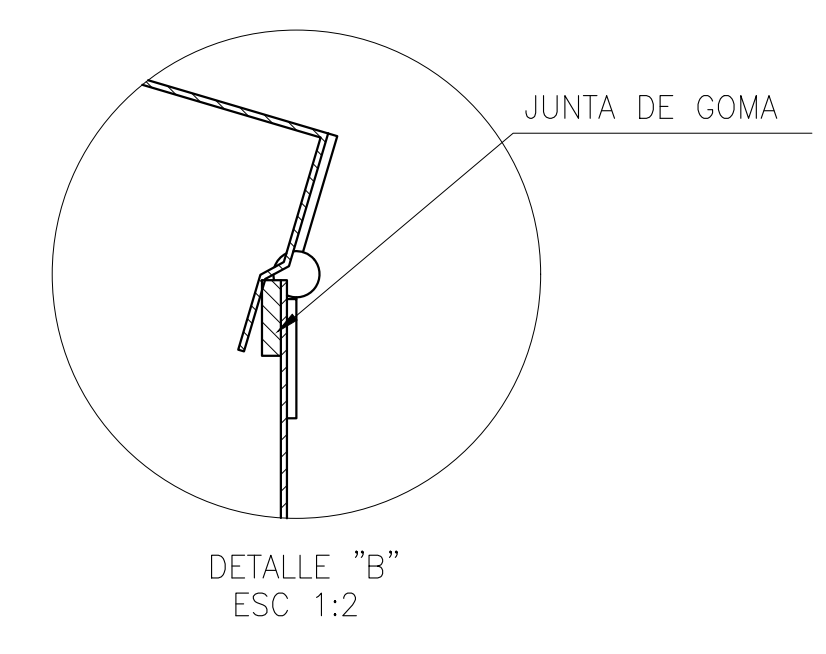
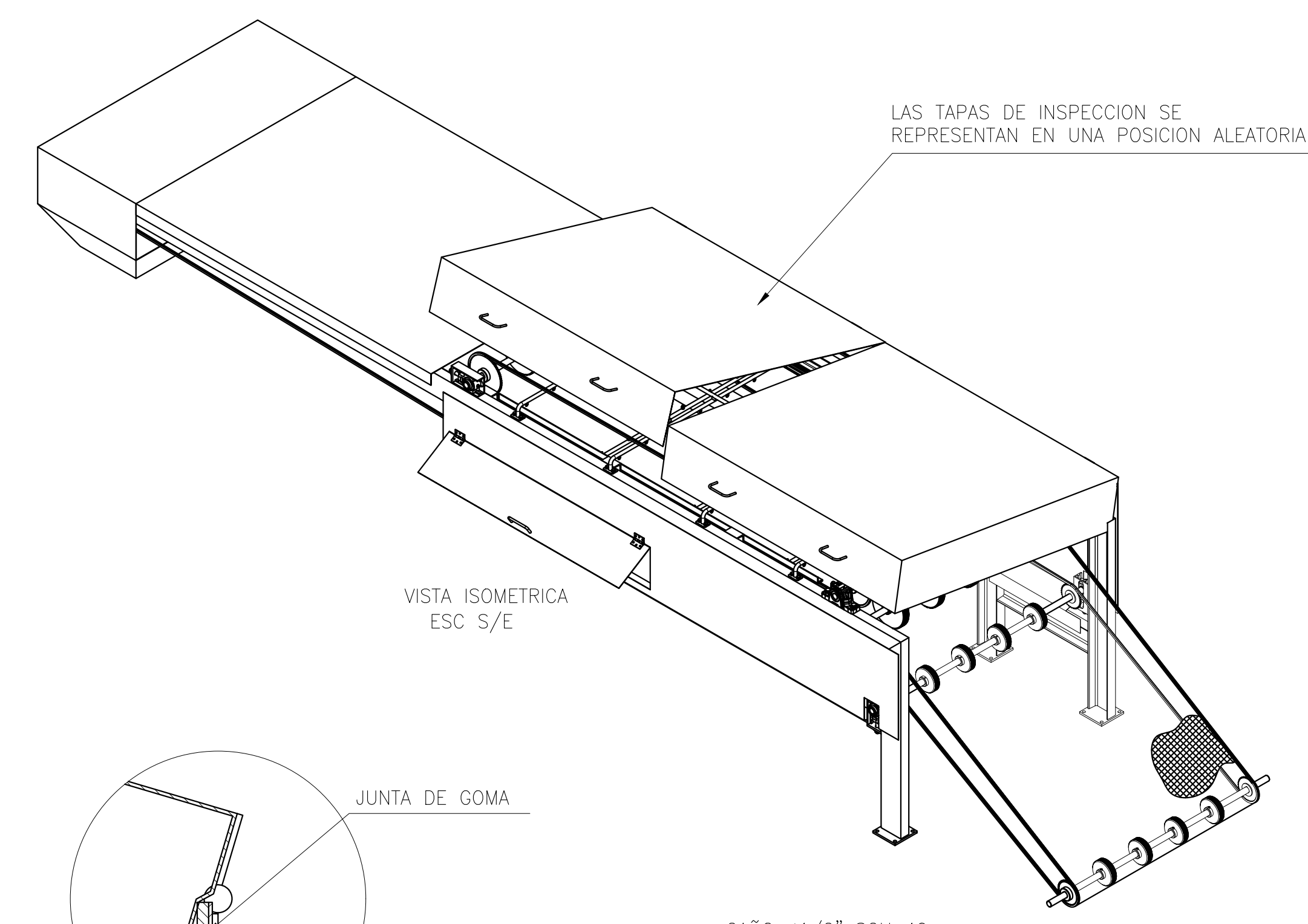
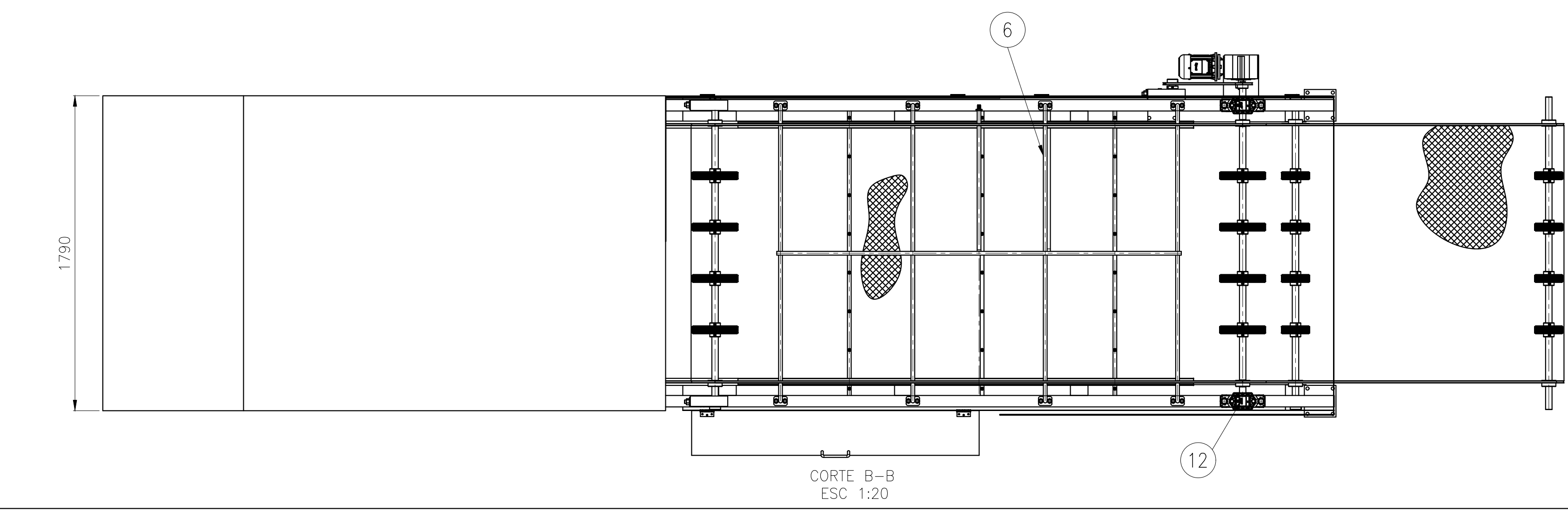
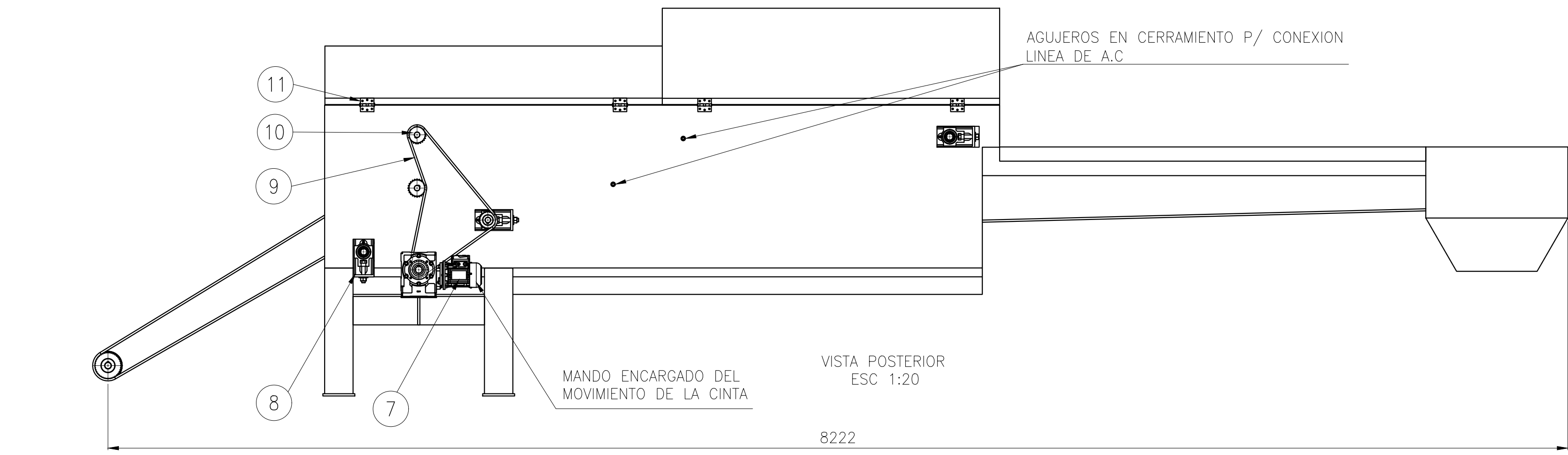
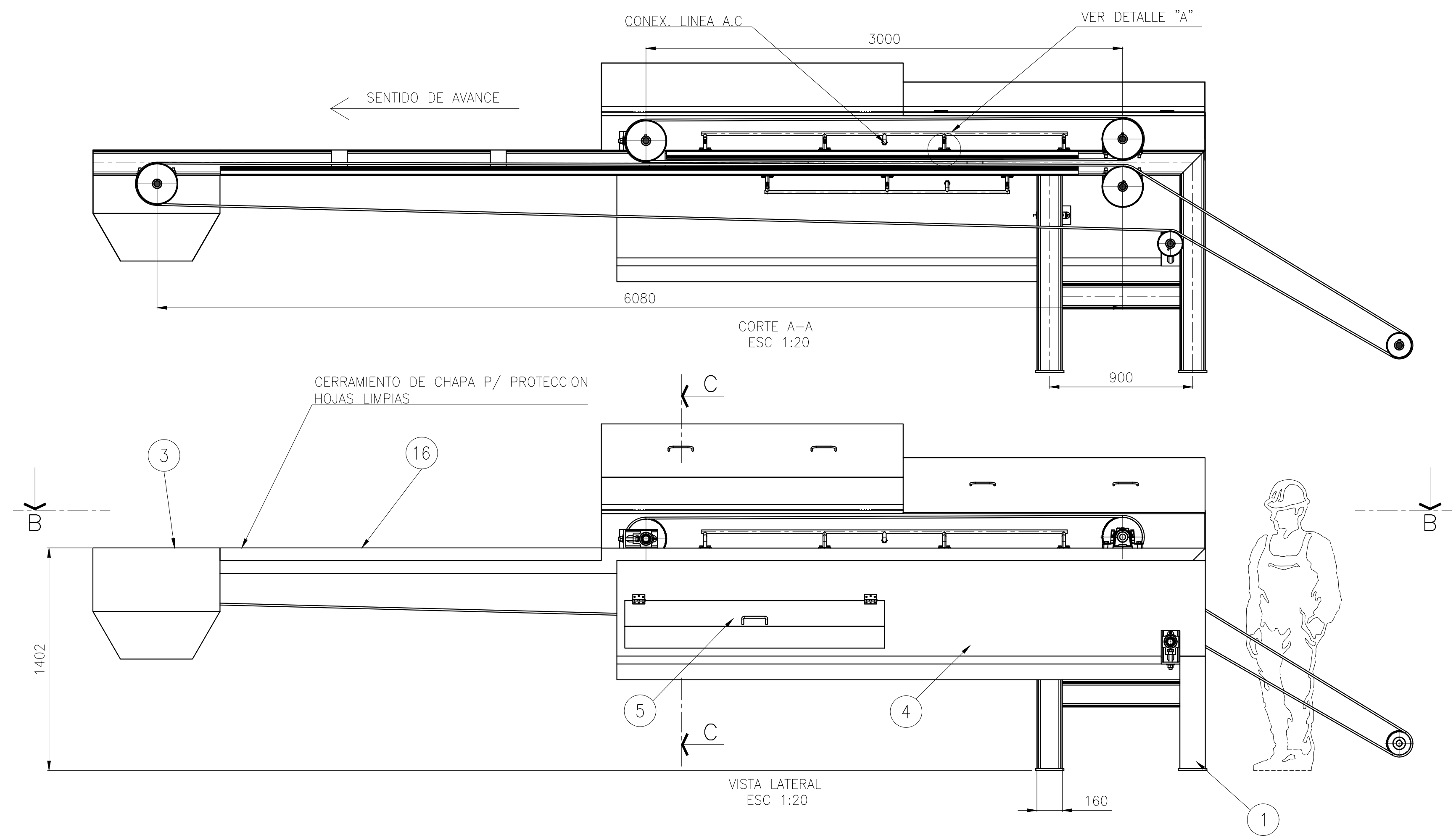


VISTA FRONTAL  
ESC 1:30



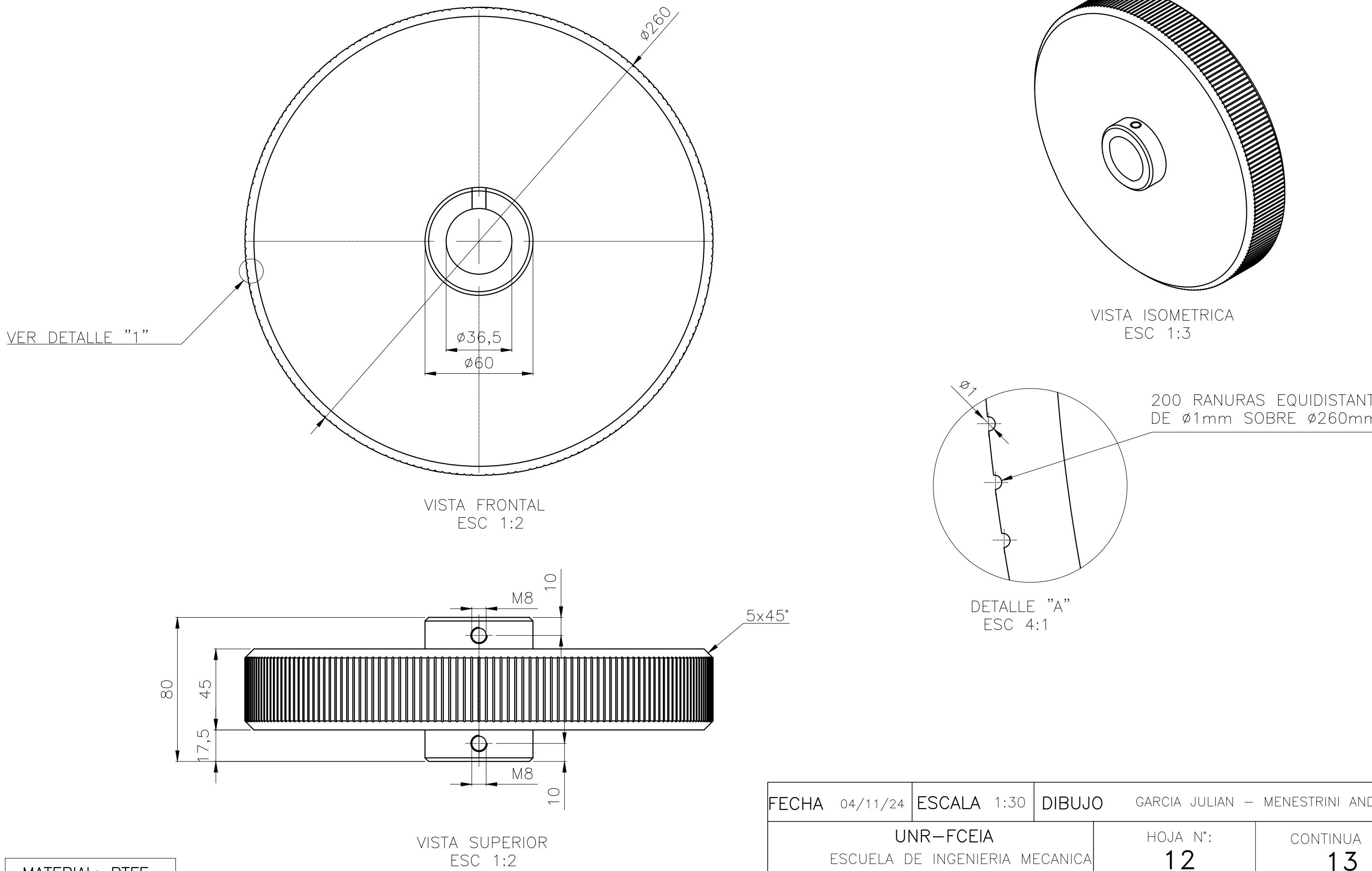
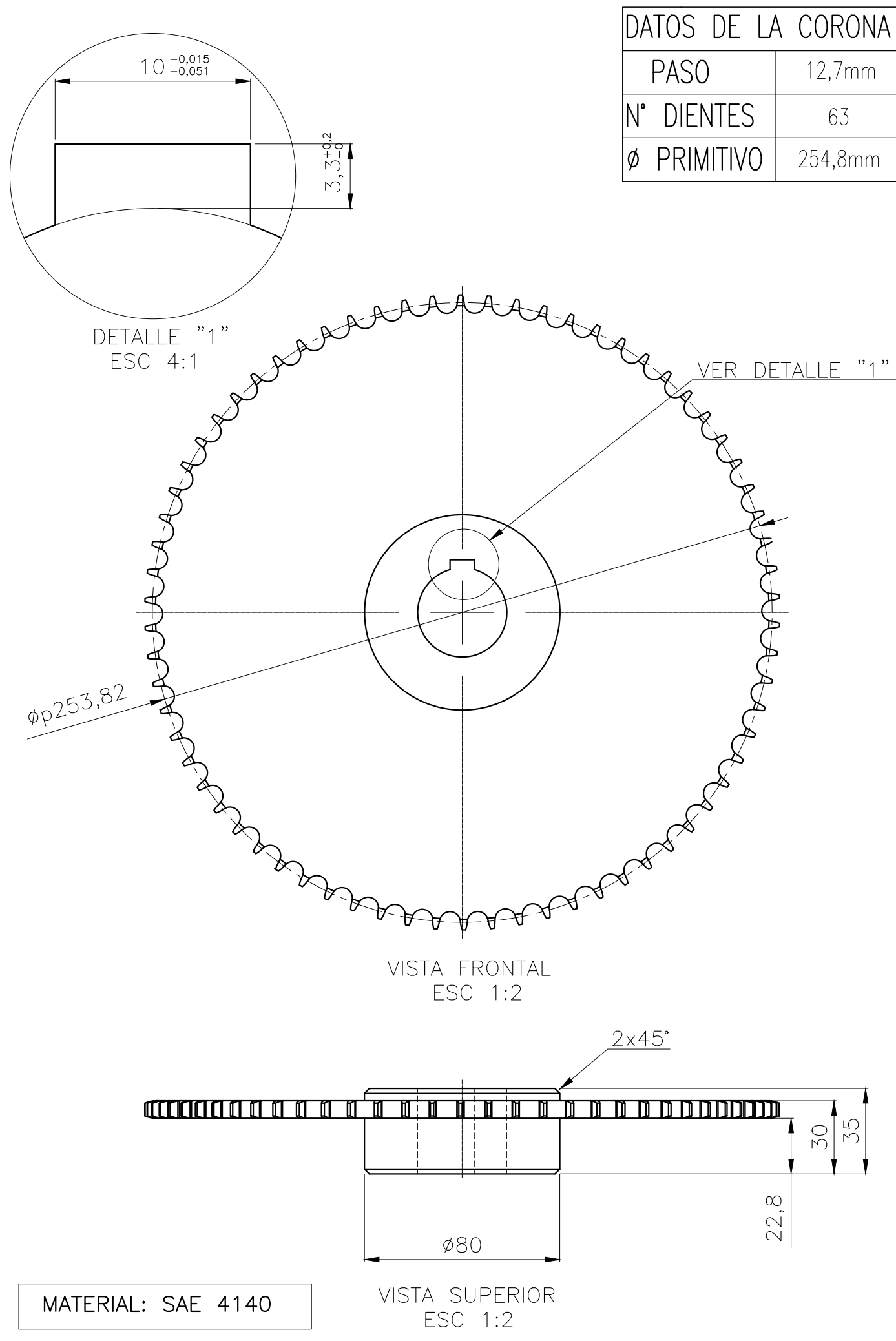
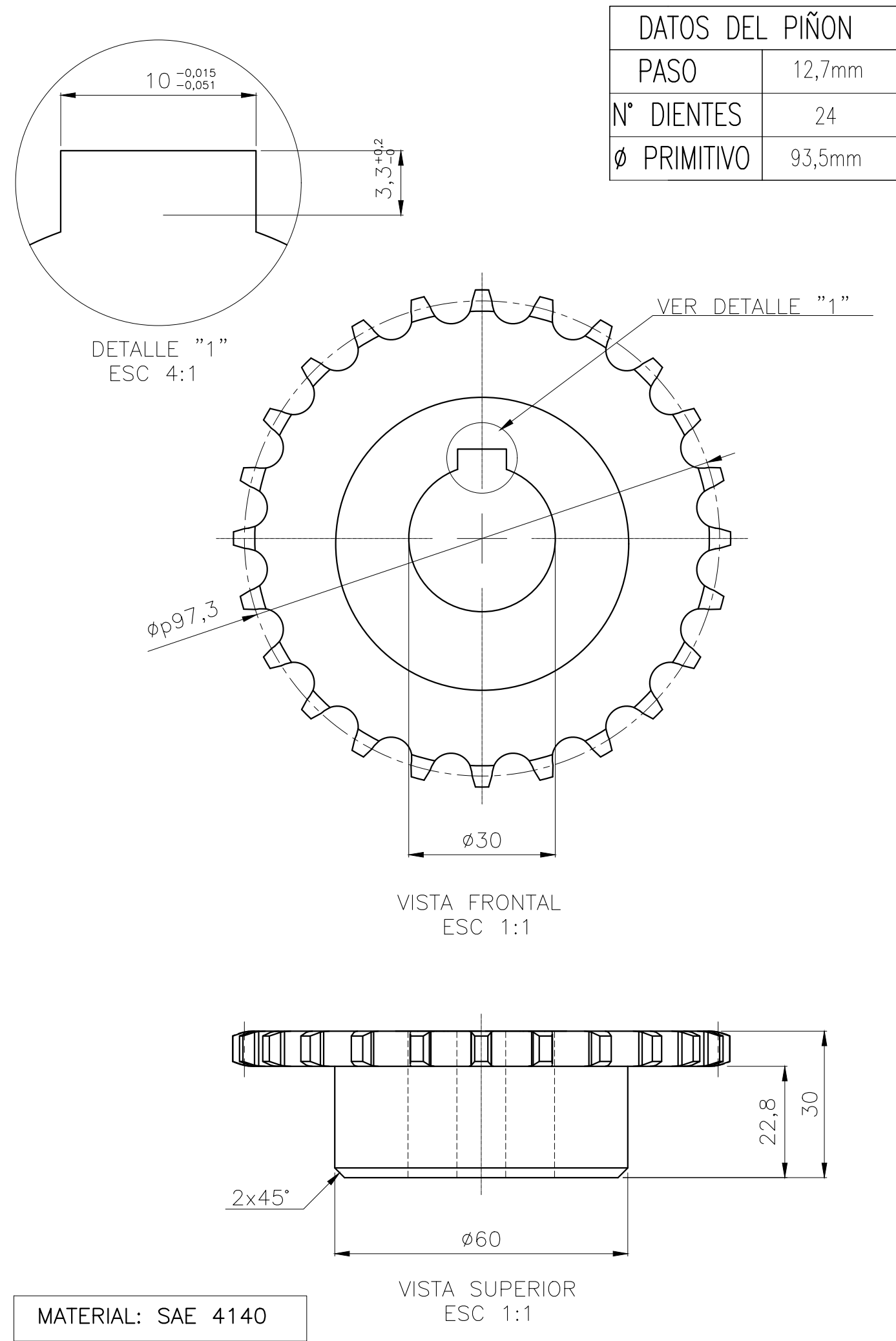
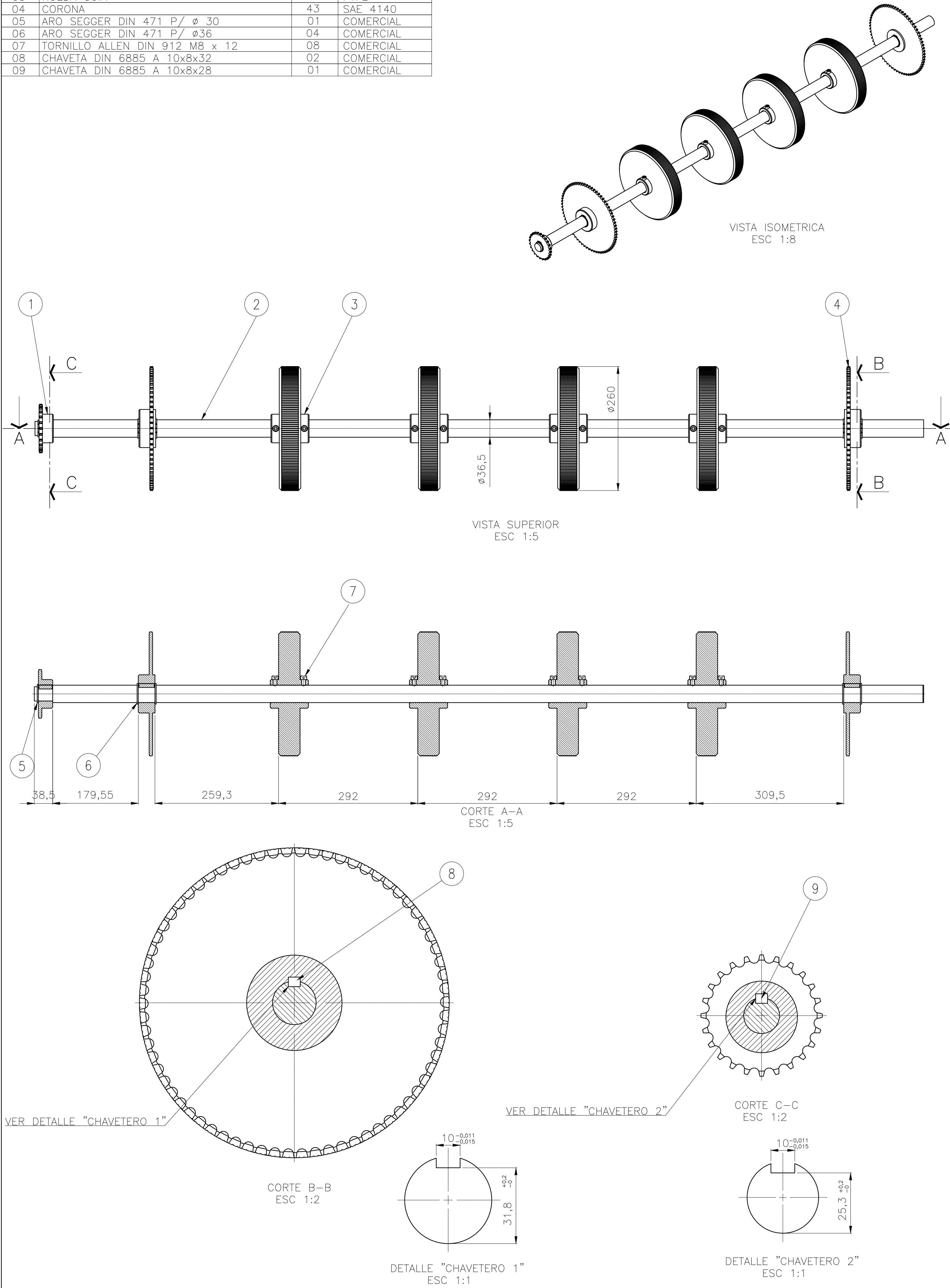
CORTE C-C  
ESC 1:10

|          |                                            |              |               |
|----------|--------------------------------------------|--------------|---------------|
| 11       | CONO DE SUCCION                            | 01           | —             |
| 10       | ESTRUCTURA DE CONTENCIÓN PILETA            | 01           | —             |
| 09       | ESTRUCURA POSTIZA                          | 01           | —             |
| 08       | BOQUILLA CORTINA PLANA ANG. APERTURA 50°   | 43           | COMERCIAL     |
| 07       | RAMPA DE BOQUILLAS                         | 06           | —             |
| 06       | TUBERIA DE DISTRIBUCION DE AGUA            | 01           | —             |
| 05       | PIPING LAVADO                              | 01           | —             |
| 04       | CENTRALINA HIDRAULICA                      | 01           | COMERCIAL     |
| 03       | BOMBA AUTOCEBANTE                          | 01           | COMERCIAL     |
| 02       | CARTUCHOS DE FILTRADO- MALLA INOX. 10/30um | 04           | ASER          |
| 01       | PILETA DE ACERO INOXIDABLE                 | 01           | —             |
| POS. N°  | DENOMINACION                               | CANT.        | OBSERVACIONES |
| FECHA    | 04/11/24                                   | ESCALA       | 1:30          |
| DIBUJO   | GARCIA JULIAN — MENESTRINI ANDRES          | HOJA N°:     | 10            |
| PROYECTO | FINAL DE INGENIERIA MECANICA               | CONTINUA EN: | 11            |
| PARTE    | SUBCONJUNTO SIST. DE LAVADO                | N°           | PFM-10        |



|                                       |                                                         |          |                 |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------|-----------------|
| 16                                    | CERRAMIENTO DE CHAPA                                    | 01       | —               |
| 15                                    | BANDA TRANSPORTADORA METALICA CON CADENA                | 01       | DURATECH        |
| 14                                    | PATIN DE TEFLON PARA CADENA                             | 04       | —               |
| 13                                    | BOQUILLA DE SOPLADO DE AIRE                             | 42       | AYRFUL          |
| 12                                    | UNIDAD DE RODAMIENTOS SKF SNL 511-609                   | 06       | SKF             |
| 11                                    | BISAGRA TIPO MUNICION                                   | 06       | COMERCIAL       |
| 10                                    | PINON <math>Z=24</math>; <math>\varnothing p96mm</math> | 04       | COMERCIAL       |
| 09                                    | CADENA DE TRANSMISION                                   | 01       | COMERCIAL       |
| 08                                    | TENSOR SKF WSTU 107-SRB-SRE                             | 03       | SKF             |
| 07                                    | MOTO-REDUCTOR LENTAX ORTOGONAL DE ENGRANAJES 1HP        | 01       | LENTAX          |
| 06                                    | PIPING AIRE COMPRIMIDO                                  | 01       | —               |
| 05                                    | PUERTA INSPECCION FILTRADO                              | 01       | —               |
| 04                                    | CERRAMIENTO FRONTAL                                     | 01       | —               |
| 03                                    | TAPA DE INSPECCION                                      | 02       | —               |
| 02                                    | CONJUNTO DE GUIADO DE CINTA                             | 04       | VER PLANO 12    |
| 01                                    | ESTRUCTURA CINTA DE SECADO-IPN 160                      | 01       | —               |
| POS. N°                               | DENOMINACION                                            | CANT.    | OBSERVACIONES   |
| FECHA                                 | 04/11/24                                                | ESCALA   | 1:20            |
| DIBUJO                                | GARCIA JULIAN - MENESTRINI ANDRES                       |          |                 |
| UNR-FCEIA                             |                                                         | HOJA N°: | 11              |
| ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA        |                                                         |          | CONTINUA EN: 12 |
| PROYECTO FINAL DE INGENIERIA MECANICA |                                                         |          |                 |
| PARTE SUBCONJUNTO SISTEMA DE SECADO   |                                                         | N°       | PFM-011         |

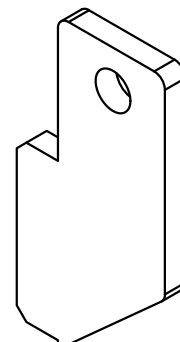
| POS. N° | DENOMINACION                   | CANT. | OBSERVACIONES |
|---------|--------------------------------|-------|---------------|
| 01      | PIÑON                          | 01    | SAE 4140      |
| 02      | EJE                            | 01    | SAE 4140      |
| 03      | RUEDA GUIA                     | 04    | PTFE          |
| 04      | CORONA                         | 43    | SAE 4140      |
| 05      | ARO SEGGER DIN 471 P/ ø 30     | 01    | COMERCIAL     |
| 06      | ARO SEGGER DIN 471 P/ ø36      | 04    | COMERCIAL     |
| 07      | TORNILLO ALLEN DIN 912 M8 x 12 | 08    | COMERCIAL     |
| 08      | CHAVETA DIN 6885 A 10x8x32     | 02    | COMERCIAL     |
| 09      | CHAVETA DIN 6885 A 10x8x28     | 01    | COMERCIAL     |



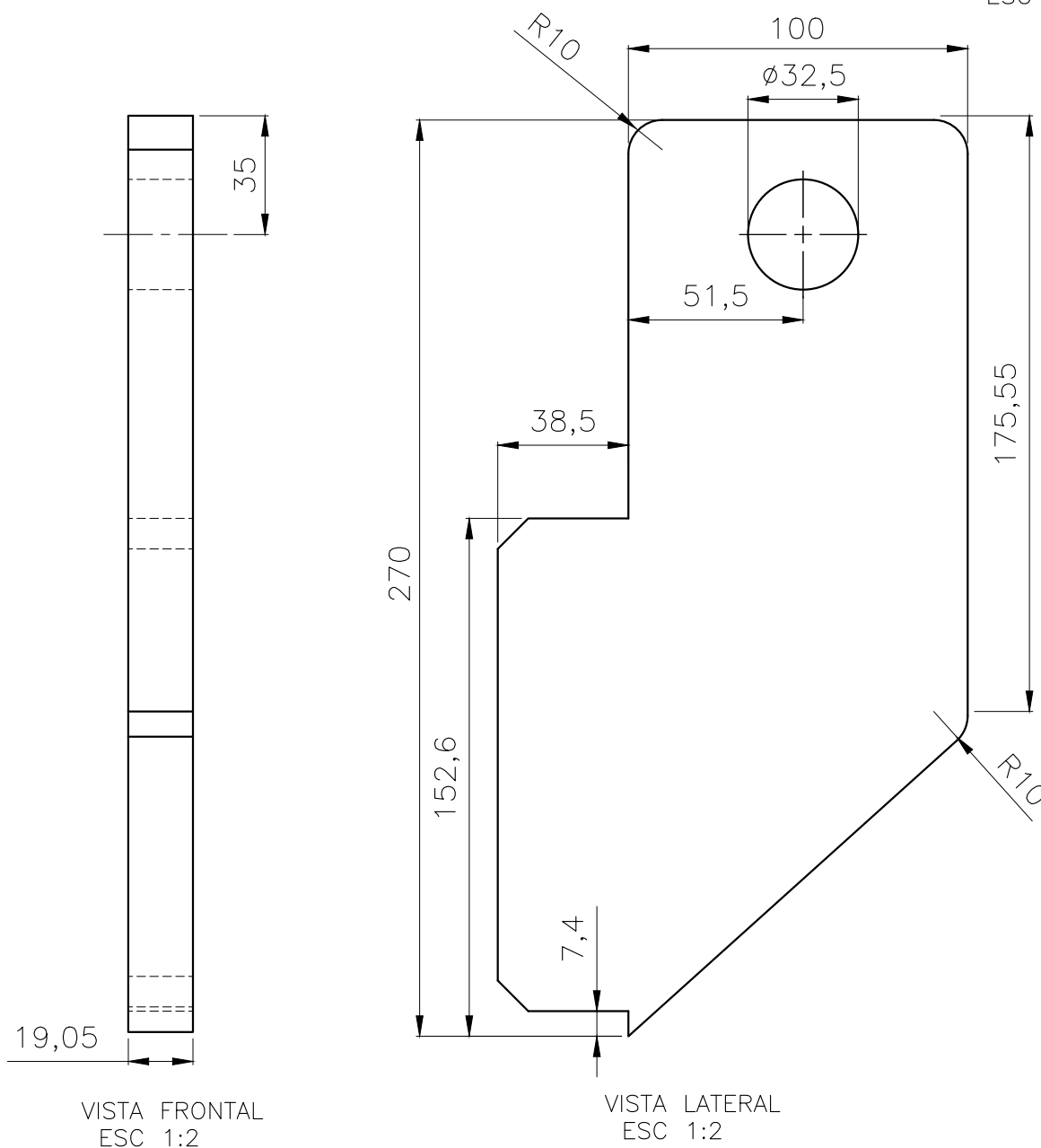
|                                             |                 |        |      |          |                                   |
|---------------------------------------------|-----------------|--------|------|----------|-----------------------------------|
| FECHA                                       | 04/11/24        | ESCALA | 1:30 | DIBUJO   | GARCIA JULIAN — MENESTRINI ANDRES |
| UNR—FCEIA<br>ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA |                 |        |      | HOJA N°: | CONTINUA EN:                      |
| PROYECTO FINAL DE INGENIERIA MECANICA       |                 |        |      | 12       | 13                                |
| PARTE                                       | DESPIECE SECADO |        |      | N°       | PFM—12                            |

PLACA DE SUJECION INFERIOR CILINDRO HIDRAULICO  
MATERIAL: CHAPA ACERO SAE 1020 ESP 3/4"

CHAFLANES 8x45°



VISTA ISOMETRICA  
ESC 1:5



FECHA 04/11/24 ESCALA 1:2 DIBUJO GARCIA JULIAN – MENESTRINI ANDRES

UNR–FCEIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

HOJA N°:

13

CONTINUA EN:

—

PROYECTO FINAL DE INGENIERIA MECANICA

PLACA SUJECION INF.  
CILINDRO HID.

PARTE

N°

PFM–13