

Título del Proyecto Final de Ingeniería Mecánica

Optimización en secador para harina de soja para mejorar el contenido de proteína.

Lacorazza Anibal L-1359/5
Rossi Fernando Carlos R-2030/3

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
Año 2023

Optimización en secador para harina de soja para mejorar el contenido de proteína.

Lacorazza Anibal L-1359/5
Rossi Fernando Carlos R-2030/3

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

Ingeniero Mecánico

Directores:

Ing. Pedro Sismondi

Ing. Guillermo Rodríguez

Ing. Juan Sismondi

Universidad Nacional de Rosario

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Rosario, Argentina

Año 2023

No hay nada en lo que crea más firmemente que lograr que los jóvenes se interesen por la ciencia y la Ingeniería, por un mañana mejor, para toda la humanidad.

- *Bill Nye*

Agradecimientos

A nuestras familias porque nos apoyaron en todas las índoles en las diferentes etapas de nuestras vidas en la carrera universitaria, en los primeros años desde el apoyo económico y emocional, y en los últimos años insistiendo persistentemente a que cerremos esta buena etapa de la vida.

Profesionalmente debemos agradecer a los siguientes profesionales por su apoyo técnico:

Hector Autino, dentro de todos los cargos que tuvo en su vida profesional podemos nombrar los siguientes, miembro fundador de la Asociación Argentina de Grasas y Aceites (ASAGA), también ocupó diferentes cargos en la firma Bunge Argentina S.A., donde hoy en día sigue participando en su etapa de jubilación. Su aporte fue apoyo técnico y brindarnos toda la información que nosotros pudiéramos necesitar y más.

Miguel Carletti, de amplia experiencia en la Industria Aceitera, trabajando en firmas como Aceitera Chabas S.A. y Allocco S.A., hoy en día es socio fundador de su propia empresa, Ingenieria Diexal. Su aporte técnico fue fundamental ya que es el profesional que dicta los cursos de esta especialidad y en el cual nos apoyamos para la generación de este proyecto.

Resumen

La soja es el principal cultivo de la Argentina y una de las principales fuentes de ingresos de divisas al país. Del poroto de soja se obtienen diferentes productos siendo los principales y más importantes el aceite y la harina de soja.
Argentina es el cuarto productor mundial de harinas de soja con una participación del 13% en el total anual producido y es el principal exportador mundial de harinas de soja del mundo.
La semilla de soja en la argentina a través de los últimos años ha sufrido una baja del contenido porcentual de la proteína en el grano en relación con los demás componentes. Las causas de esta disminución del contenido de proteína se agrupan en consideraciones ambientales y genéticas. Las industrias han tenido que adaptarse a esa situación. A los agricultores se les paga su producción por toneladas producidas, la industria de la semilla de soja a investigado y desarrollado nuevas semillas para que se obtengan mayores rindes por hectárea sembrada, el inconveniente resultante es que al aumentar la producción, la cantidad de proteína que contiene el poroto de soja se vio disminuida, en consecuencia se ve disminuida la cantidad de proteína que contiene uno de sus productos principales como son las harinas y eso conlleva a tener que trabajar en la industria para obtener un producto de la misma calidad con materias primas de menor calidad.
Una de las posibles acciones a tomar para enfrentar este problema es bajar la humedad del producto final así aumenta la concentración de proteína de la misma. Proponemos trabajar sobre el diseño de los equipamientos de la industria para aumentar el efecto de secado que realiza sobre la harina de soja y así poder aumentar el valor de proteína para alcanzar valores de 46% (exigencia de los clientes del mercado).
El caso lo vamos a analizar sobre una planta de proceso de Crushing de Soja de 3200 tn/día.

Palabras clave: Soja; harina; proteína; genética; crushing.

Abstract

Soybean grain is the main crop in Argentina and one of the main sources of foreign exchange income for the country. Different products are obtained from soybeans, the main and most importants are being oil and soybean meal.

Argentina is the fourth largest producer of soybean meal in the world with a 13% share of the annual total produced and is the world's leading exporter of soybean meal in the world. The soybean in Argentina through the last years has suffered a decrease in the percentage content of the protein in the grain in relation to the other components.

The causes of this decrease in protein content are grouped into environmental and genetic considerations. Industries have had to adapt to this situation. Farmers are paid for their production by tons produced, the soybean industry has developed to obtain higher yields per hectare planted, the resulting inconvenience is that by increasing production the amount of protein contained in the soybean was decreased, consequently the amount of protein contained in one of its main products, such as meal, is decreased, and this leads to having to work in the industry to obtain a product of the same quality with lower quality raw materials.

One of the possible actions to take to deal with this problem is to lower the humidity of the final product, thus increasing its protein concentration. We propose working on the design of industry equipment to increase the drying effect it performs on soybean meal and thus be able to increase the protein value to reach values of 46% (requirement of market customers).

We are going to analyze the case on a Soybean Crushing process plant of 3200 ton/day.

Keywords: Soy; soybean; meals; protein; genetics; crushing.

Contenido

Agradecimientos **4**

Resumen **5**

Abstract **6**

Contenido **7**

Introducción **9**

Capítulo 1 ..... **11**

Soja características y producción **11**

1 Características de la semilla de soja. 13

2 Producción mundial de semilla de soja. 15

3 Producción nacional 16

4 Producción Mundial de harina de soja 17

5 La industria aceitera en Argentina. 18

Capítulo 2 ..... **21**

Proceso de Produccion de harina de soja **21**

1 Recepción y almacenado 22

2 Pre-limpieza 23

3 Secado 23

4 Tempering 24

5 Pesaje 24

6 Limpieza 26

7 Triturado o quebrado 27

8 Descascarado 28

9 Cocinado (o acondicionado) 29

10 Laminado 31

11 Expandido 33

12 Secador enfriador de expandido 35
13 Extracción por solvente 35
14 Destilación de miscela 38
15 Proceso de Producción de Harina de Soja 38
16 Desolventizado y Tostado (DT) 39
Vapor directo 39
17 Secado de harinas 40
18 Molienda 40
19 Almacenamiento 40

Capítulo 3 41
Beneficio económico 41
Almacenaje sin riesgo 42
Tipos de Secadores 48

Capítulo 4 53

Datos de línea de producción Linea 2 54

Conclusiones y recomendaciones 71
Conclusiones 71
Recomendaciones 71

Bibliografía 73

Anexo A: Planos 74

Introducción

En el transcurso de los últimos años y con la creciente producción de soja en la argentina que todos ya conocemos, hemos estado observando que el contenido de proteínas en los porotos de soja tiene una tendencia decreciente.
Estos valores que se están obteniendo generan no solo inconvenientes en la comercialización, sino que afectan al proceso industrial de obtención de harinas.

En el año 2002 se tenía en Argentina contenidos de proteínas de alrededor de **39 %** (base seca) lo cual posibilitaba obtener harinas bien consideradas en los mercados más exigentes (Unión Europea). En los últimos años se obtienen porotos cuyos contenidos de proteínas promedian **37 %** de contenido de proteína. Esto lleva a estar cerca de tener que afrontar rechazos de mercaderías por estar fuera de las bases de comercialización.

Los referentes de la industria nacional coinciden en atribuir entre las causas de esta merma, a una gran preocupación de los productores por producir con altos rindes en detrimento de la calidad, una genética enfocada en la producción de variedades que privilegian la resistencia a condiciones climáticas adversas y los buenos rindes y otros determinantes no menores, como las condiciones climáticas, geográficas, manejo de suelos y fechas de siembra, entre otros.

El hecho que las proteínas de soja hayan caído a lo largo de los años genero la necesidad de profundizar los esfuerzos operativos de las plantas de producción para evitar el incumplimiento de las condiciones internacionales de comercialización de harinas de soja.

Los porotos de soja, como así también las harinas, se comercializan en base a parámetros de calidad base con tolerancias de máximos y mínimos los cuales se explican a continuación.

En el caso de la humedad en harinas el máximo es 12,5% con tolerancias de recibo hasta el 13%.

La materia grasa base es 2,5% con tolerancias hasta 3%.

Las fibras de 3,5% con tolerancias hasta el 4%.

Mientras que el tenor de proteínas tenía como base de comercialización 47% (para harinas argentinas) con tolerancias hasta 45,5%.

Todos los parámetros fuera de estándar implican castigos y descuentos, y los parámetros fuera de los límites de tolerancia implican rechazos de mercadería.

Con el propósito de poder resolver estos desvíos, fue necesario realizar modificaciones en el procesamiento industrial para la obtención de harinas con mayor contenido proteico y baja fibra, entre ellos podemos citar el sobre-secado de la harina de soja, la eliminación de la adición de gomas (subproducto obtenido del desgomado acuoso del aceite de soja), esos cambios conllevan a tener que lidiar con una serie de inconvenientes, los cuales se detallan a continuación:

- El mayor secado implica bajar al menos 2,5% de humedad (10% vs. 12,5%) tanto en harina de soja como en los porotos de soja, con la finalidad de elevar el porcentaje de proteínas.
- Disminuir la capacidad de molienda de las plantas para lograr un mayor secado o invertir en equipamiento de mayor eficiencia o capacidad.
- Mayores consumos de energía por toneladas de soja procesadas para el secado.
- Eliminación de la presencia de gomas de la harina produciendo una disminución en el rendimiento.
- Problemas de logística en la carga, transporte y descarga de mercaderías muy secas y por ende con más generación de finos.
- Incremento de polución, obligando a las mejoras en los sistemas de retención de polvos con incrementos de costos de limpieza.
- Aumento del riesgo de microorganismos e incremento de costos para combatir este riesgo.

Capítulo 1

Soja características y producción

Primero y para que todos entendamos vamos a explicar brevemente como está constituido una semilla de soja.

La ***soja*** es una semilla oleaginosa que presenta una geometría esférica y un tamaño que depende de la variedad vegetal y de las condiciones de crecimiento. Tiene el aspecto de un poroto o arveja, pero en realidad su comportamiento es distinto, también su valor y textura son diferentes. (CAPURRO, Junio 2009)



Figura 1-1: Imagen porotos de soja

La ***soja*** es un vegetal en el que se encuentran reunidos todos los aminoácidos esenciales, lo que determina su valor biológico en la alimentación humana.

La ***soja*** se incorpora al menú familiar como uno de los alimentos más concentrados, nutritivos y de bajo costo.

El valor proteico de la ***soja***, no sólo es considerable por la cantidad sino por su calidad, que la homóloga a la proteína de origen animal (carne, leche, pescado y huevos).

De todas maneras no debe considerarse a la soja como sustituto total de las tradicionales fuentes proteicas, de forma que tales deficiencias pueden superarse mediante una dieta equilibrada.

Es rica en calcio, fósforo *y* hierro y provee vitaminas A, B, C como poroto verde y A-B como poroto seco y A, D, E, F, y X como aceite.

Algunas proteínas sirven para el normal funcionamiento de los órganos y favorecen el crecimiento. Por cumplir ambas funciones se llaman completas y se encuentran especialmente en alimentos de origen animal. También la ***soja*** tiene el privilegio de poseer proteínas completas y en cantidad muy generosa.

Todos necesitamos comer proteínas. Los niños que no las consumen tienen dificultado su crecimiento, no muestran interés por jugar, no aprovechan la escuela, duermen mal. Las personas adultas con alimentación pobre en proteínas están siempre cansadas, sin entusiasmo, sin fuerzas y tardan en recuperarse de las enfermedades.

Es, pues, necesario insistir acerca de la importancia que tienen los alimentos ricos en proteínas en la comida diaria.

La composición del grano es, en promedio, 36,5% de proteínas; 20% de lípidos; 30% de hidratos; 9% de fibra alimentaria; 8,5% de agua; y 5% de cenizas. Posee proteínas de alta calidad, en comparación con otros alimentos de origen vegetal.

COMPOSICION PROMEDIO DE SEMILLA DE SOJA (BASE SECA)				
SEMILLA COMPLETA	PROTEINA (%)	MATERIA GRASA (%)	CARBOHIDRATOS (%)	CENIZAS (%)
100,0	40,3	21,0	33,8	4,9

Figura 1-2: Composición promedio de semilla de soja (AUTINO, 2010)

Por lo general los porcentajes se suelen dar en base seca ya que le contenido de humedad es variable.

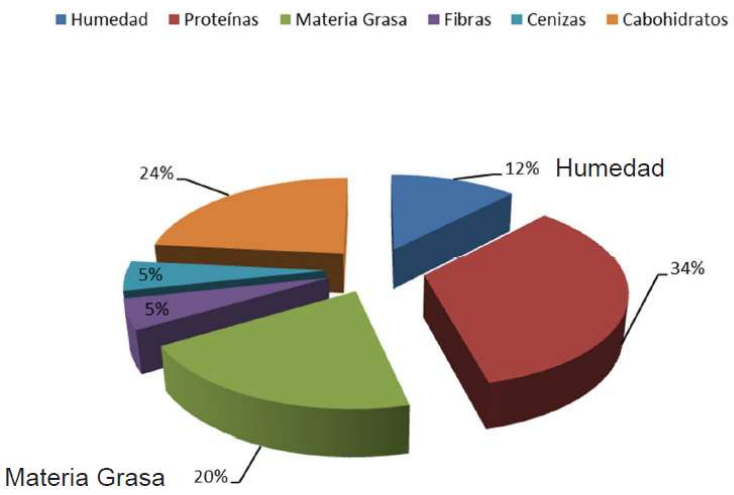


Figura 1-3: Composición promedio de semilla de soja (AUTINO, 2010)

1 Características de la semilla de soja. (CAPURRO, Junio 2009)

La soja es una leguminosa originaria de China que se conoce posiblemente desde 15 siglos antes de Cristo. De ahí pasa a Europa y a Sudamérica.

Solo a partir del siglo XX se comienza a procesar industrialmente en EE. UU. para obtener aceite y harina proteica.

Nombre común: Soja o soya

Nombre botánico: Glycine max

Nombre en inglés: *Soybean*

Las semillas son redondas de color verdoso o amarillento recubiertas de una fina cáscara y de unos 8 mm. de diámetro y se encuentran en las plantas dentro de vainas.



Figura 1-4: Porotos de soja



Figura 1-5: Vainas de soja



Figura 1-6: Plantación de soja

La soja se desarrolla en zonas templadas con buen régimen de lluvias y suelos de calidad mediana a buena.

En Argentina se cultiva principalmente en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Entre Rios, pero en los últimos años el área de cultivo se ha ampliado a muchas provincias más.

El porcentaje de aceite en semilla es aproximadamente 19% variando en un pequeño porcentaje según la variedad de semilla y la zona de cultivo.

El porcentaje de proteína en harina varía entre 44 a 48%. En Argentina la soja producida en la zona de la pampa húmeda suele contener 44% de proteína en semilla sin descascarar. En las zonas del norte del país, o en países como Bolivia, Paraguay o Brasil, con más horas de sol y de mayor intensidad la proteína alcanza 48%.

Tanto el aceite como la harina de soja tienen problemas específicos a tratar en su proceso para poder comercializar. La harina contiene antes del desolventizado y secado compuestos llamados factores antitripsina, lo que trae trastornos en los animales alimentados con ella.

Para eliminarlos, durante el proceso de desolventizado en el tostador se lo somete durante un tiempo del orden de 30 minutos a una inyección de vapor directo y a un calentamiento indirecto, lo que eleva su temperatura de 55° a 110°C y de 10% a 18% la humedad.

Este “tostado” inhibe esos factores pero debe cuidarse de no hacerse en demasía porque se deteriora la calidad nutricional de la harina.

2 Producción mundial de semilla de soja.

En la tabla siguiente (Tabla 1-1) se detallan las producciones declaradas de los principales países productores de Soja entre los años 2005 y 2016. Los datos se muestran en millones de toneladas:

Tabla 1-1: Principales países productores de soja (ASAGA)

	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	2012/ 2013	2013/ 2014	2014/ 2015	2015/ 2016*
Estados Unidos	87	72,9	80,7	91,4	90,6	84,2	82,2	91,4	108	104,8	106,9
Brasil	52,5	57,9	59,8	57,3	68,8	74,8	65,8	81,7	86,8	97	100
Argentina	40,5	47,5	46,2	31	52,7	48,9	40,1	49,3	53,4	57	58,5
China	15,5	12,7	15,5	15	15,1	14,5	13	12	12,2	11,5	12
India	8,9	11	9,9	10	12,7	12,2	14,7	11,9	10,5	11,5	8
Paraguay	3,8	6	6,3	3,9	7,5	8,3	4,3	9,1	10	8,8	8,8
Canadá	3,5	2,7	3,3	3,5	4,3	4,2	5,1	5,4	6	6,2	6,2
Otros	10,3	9	9,6	11,3	13,2	14,5	16,4	17,3	21,5	20,6	20,1
Total Mundial	**222**	**219,7**	**231,3**	**223,4**	**264,9**	**261,6**	**241,6**	**278,1**	**308,4**	**317,4**	**320,5**
*Fuente: elaboración propia sobre información proveniente de la FAO / * Estimado por USDA*											

Para saber qué pasa con la soja en el mundo alcanza con mirar lo que ocurre en cuatro países: USA, Brasil, Argentina y China; los tres primeros como productores y el gigante asiático como consumidor.

3 Producción nacional

Si, nuestro país es importante a nivel mundial por su producción de soja y derivados, este cultivo ha crecido internamente en importancia a nivel doméstico de tal forma que forma parte de la agenda política, ambiental y económica de manera preponderante.

Si bien este proceso viene desarrollándose desde la década del 80, ha tenido un aceleramiento pronunciado desde 1996. Lo que se ve en la **Tabla 1-1** es que en los últimos diez años este proceso no sólo no se detuvo, sino que mantuvo valores de crecimientos de punta a punta mayores para la superficie sembrada. Esto muestra que el mayor crecimiento se dio por una expansión horizontal antes que por una mejora “vertical” (en la eficiencia de producción), lo que implica que se han incorporado nuevas áreas al cultivo, seguramente marginales y de mayor fragilidad, y/o se han desplazado áreas destinadas a otros cultivos o producciones.

La soja es el principal cultivo de la Argentina no sólo por la producción, sino por la superficie ocupada. En la actualidad representa el 55% de los casi 37 millones de hectáreas que se siembran, seguida muy de lejos por los cultivos de maíz y trigo que en conjunto representan el 26%, menos de la mitad. Fenómeno similar ocurre en Brasil y Estados Unidos.

Del poroto de soja se obtienen diferentes productos siendo los principales y más importantes el aceite y la harina de soja.

4 Producción Mundial de harina de soja

Argentina es el cuarto productor mundial de harina/pellets de soja con una participación del 13% en el total anual producido.

Uno de los grandes logros productivos de Argentina es precisamente éste. Nuestro país tiene una posición muy relevante como productor mundial de harina/pellets de soja. Nuestro país ocupa el cuarto lugar a nivel mundial con una producción de casi 30 millones de toneladas (Mt) de harina y pellets. Argentina es superada en este ciclo (de octubre 2017 a setiembre 2018) por China (con una producción de 73,2 Mt), Estados Unidos (42 Mt) y Brasil con 33 Mt.

Tabla 1-2: Producción mundial de harinas de soja (en millones de tn) (ASAGA)

Rubro	Oct-Set. 2017/2018 (P)	
Producción Mundial	230,64	100%
China	73,20	32%
USA	42,00	18%
Brasil	33,00	14%
Argentina	29,47	13%
Unión Europea(28)	11,78	5%

Fuente: OIL World Set. 2017

¿Por qué Argentina es el principal exportador mundial de harina/pellets de soja?

Respuesta: Porque todos los países productores –a excepción de Argentina- tienen altos consumos internos de este producto y menores excedentes exportables.

Tabla 1-3: Exportaciones mundiales de harinas de soja (en millón de tn) (ASAGA)

Rubro	Oct-Set. 2017/2018 (P)	
Exportaciones Mundiales	64,00	100%
Argentina	27,55	43%
Brasil	15,85	25%
USA	11,20	18%
Paraguay	2,45	4%
China	1,80	3%

Fuente: OIL World Set. 2017

	USA	Brasil	Argentina
Soja			
Industrialización	52%	53%	73%
Exportación	39%	40%	15%
Aceite de Soja (*)			
Consumo Interno	83%	69%	19%
Exportación	17%	31%	81%
Harinas de Soja			
Consumo Interno	78%	52%	9%
Exportación	22%	48%	91%
Equivalente Poroto			
Exportación	51%	65%	86%

Fuente: USDA - SAGPyA ***(*) inc. Biocombustibles***

Figura 1-4: Destinos de la soja y sus derivados (AUTINO, 2003)

5 La industria aceitera en Argentina.

La industria aceitera, no cesa de crecer. Hacia fines de los '90 la industria poseía una capacidad de procesamiento que no superaba las 94.000 toneladas diarias. En 2005 superó las 135.000 toneladas o sea un 43,6 % más, y para 2010 alcanza las 172.000 toneladas. Finalmente, en la actualidad está procesando 200.000 toneladas día. Representa 119,1% de incremento en los últimos 15 años con una tasa de crecimiento acumulada de 5,03%.

De las 51 plantas aceiteras en actividad (correspondientes a las 37 empresas), gran parte se localizan en Santa Fe (22) y en Buenos Aires (16), distribuyéndose el resto entre Córdoba (6), Entre Ríos (4), La Pampa (1), Salta (1) y Santiago del Estero (1).

La producción se encuentra fuertemente concentrada en Santa Fe (80%). Le siguen, en importancia, Buenos Aires (11%), Córdoba (5%) y Santiago del Estero (2%) Del total de la producción de aceite crudo de soja, entre el 65 y 70% se destina a la exportación, entre el 20 y 25% a la producción de biodiesel y el resto a la refinación (tanto para consumo doméstico como para otras industrias).

5 Soja Sustentable

Es importante diferenciar entre granos de soja sustentable y no sustentable dado que los primeros tienen mayor valor comercial. No sustentable se considera a los granos de soja provenientes de tierras que al 1° de Enero de 2008 hayan sido bosques naturales, reservas ecológicas, tierras con alto contenido biológico, etc. Es llamada así por su objetivo de mitigar la emisión de gases invernaderos al provenir de campos que no han sufrido desmontes. Prácticamente el 85% de las tierras cultivables en Argentina cumplen con esta condición, pero es requisito evidenciar el origen del poroto.

Capítulo 2

Proceso de Producción de harina de soja.
(AUTINO, 2010)

En esta capitulo vamos a desarrollar la explicación del proceso de producción de harina de soja de una empresa ubicada en Puerto General San Martin, esta cuenta con dos líneas de crushing de soja. Las líneas se denominan 2 y 4 y tienen una capacidad 3200 y 4800 ton/día respectivamente. En nuestro caso procederemos a desarrollar el proceso de Línea 2 con una capacidad de 3200 ton/día.

Nota1: Los indicadores de la producción están basados en ton de granos que ingresan a la preparación. Es decir, granos que han pasado por pre-limpieza.

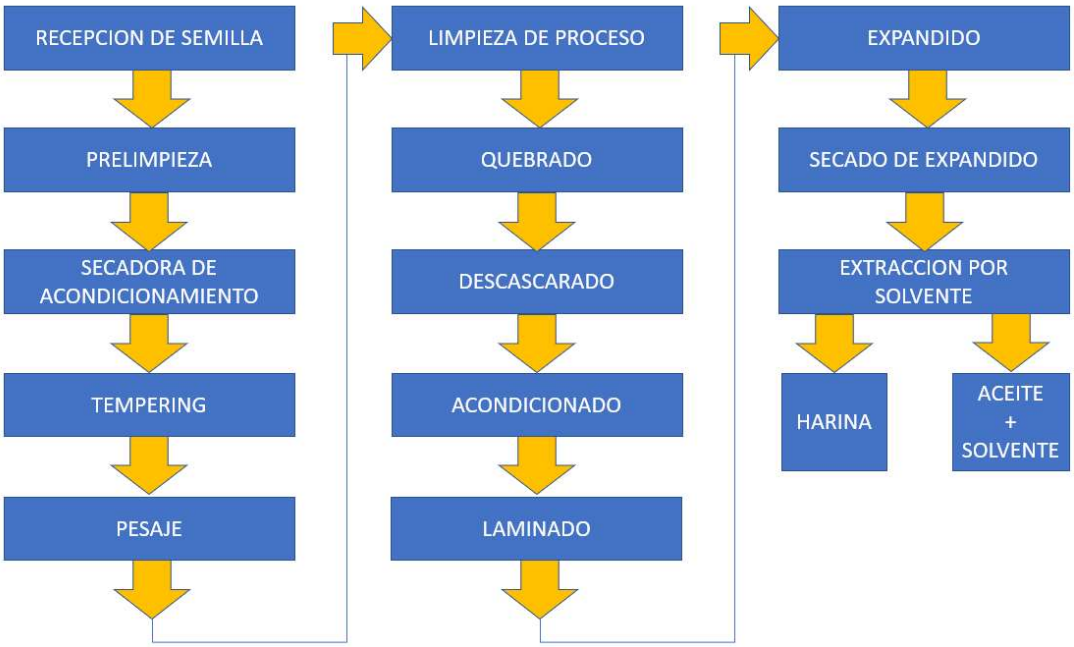


Figura 2-1: Diagrama básico de proceso de Crushing de Soja

1 Recepción y almacenado

La adecuada recepción y manejo del grano adquiere una importancia superlativa como consecuencia de la necesidad de separar del mismo todos aquellos cuerpos extraños que puedan ser causantes de un posterior deterioro. Dicho proceso es causado por la presencia de vainas, palos, cáscara suelta, tierra, etc., debido a que la presencia de dichos elementos induce a una conservación inadecuada como consecuencia de la imposibilidad de circulación de aire y consecuente generación de puntos calientes que con posterioridad son causa de auto combustión por sobre temperatura y degradación microbiológica. Este proceso provoca una pérdida de humedad, deterioro de materia orgánica y desnaturalización proteica.

En el Calado, área de la empresa donde se muestrean los camiones de soja a recibir, se evalúa el estado del grano. Se aplican descuentos por humedad superior a 13,5%, porcentaje de cuerpos extraños, estado general de los granos, olores, entre otros.

Cuando la humedad es mayor a 13%, el grano debe ser secado antes de ser almacenado.

Los granos, de acuerdo con su nivel de humedad, pueden ser almacenados en distintos lugares: silos de húmedo (donde serán secados en secadores) o en celdas de almacenamiento, ya depositados antes de ser enviados a ser procesados.

Es importante que no haya cuerpos extraños ya que durante en el almacenado pueden deteriorar los granos.

2 Pre-limpieza

Los objetivos de la prelimpieza son:

- Eliminar gruesos y cuerpos extraños, estos son desechados.
- Separar granos de cáscaras que se hayan desprendido.
- Separar finos y tierra.
- Preparar para secar el grano para que ingrese con la humedad adecuada a preparación, idealmente 9,5% de humedad relativa (HR).

Existe un silo que actúa como buffer al inicio del proceso. Se envían granos desde las celdas hacia dicho buffer, se espera que lleguen a 10,5% de humedad, es responsabilidad del área que provee la semilla alimentar a la planta de proceso con este nivel de humedad. El proceso varía dependiendo cada planta, en la Línea 2 se realiza de la siguiente manera:

- Caída al **cernidor**. Equipo rotativo que remueve cuerpos extraños y extragruesos.
- **Zaranda**. Separa finos y gruesos de los granos.
- **Multiaspirador**. Remueve finos y cáscara de los granos

Los procesos anteriores son muy importantes ya que de no realizarlos se corre riesgo de incendios en la secadora.

Nota: cáscara, tierras y todo el material aspirado se envía por tubo hacia un silo donde se destina a la fabricación de pellets de cáscara de soja (pecaso). Mientras que los extragruesos son descartados.

3 Secado

Se realiza para bajar la humedad relativa a idealmente a 9,5% (depende de la humedad a la que se haya recibido el grano). Si se ingresa a 10,5% funcionaría adecuadamente. En la secadora se realiza aspiración para extraer aún más finos.

Utiliza dos quemadores de gas. Estos pueden ser reemplazados aire precalentado por los gases de salida de la caldera en un intercambiador, haciendo más económico el proceso. Pero esto es un proceso para analizar de manera independiente.

Nota: Físicamente la prelimpieza y el secado se realizan frente al edificio de preparación. Una vez que pasa a preparación ya no se descarta nada de la semilla.

4 Tempering

El proceso llamado Tempering permite homogenizar la humedad de todos los granos antes de ingresar al proceso.

Al someter el grano a un proceso de calentamiento durante el secado y posterior enfriamiento, este proceso dará lugar a la expansión y posterior contracción del mismo, para posibilitar la homogeneización del contenido de humedad del mismo, será necesario mantenerlo almacenado en lo que denominamos la etapa de atemperado, durante esta etapa cuya duración se aconseja no sea inferior a 48 hs. además de lograrse la uniformación de la humedad, se produce la separación de la cáscara, la cual terminará de materializarse luego del quebrado y consecuente disminución del tamaño de la partícula.

Debería durar al menos 48hs, pero añade mucho tiempo a la producción por lo cual por general es decisión de la jefatura de Producción el tiempo a emplear en realizar el tempering.

El Tempering actúa como buffer entre las áreas de prelimpieza y preparación.

A la salida se incluye un imán para eliminar posibles materiales ferromagnéticos del proceso (tuercas, tornillos, otros…).

5 Pesaje

Se encuentra en el edificio de preparación. Permite conocer la cantidad de grano a procesar, la cual podrá ser ajustada de acuerdo con la calidad del grano y otras intimidades del proceso.

En los gráficos siguientes se muestran los flujogramas de proceso de prelimpieza y secado de Línea 2.

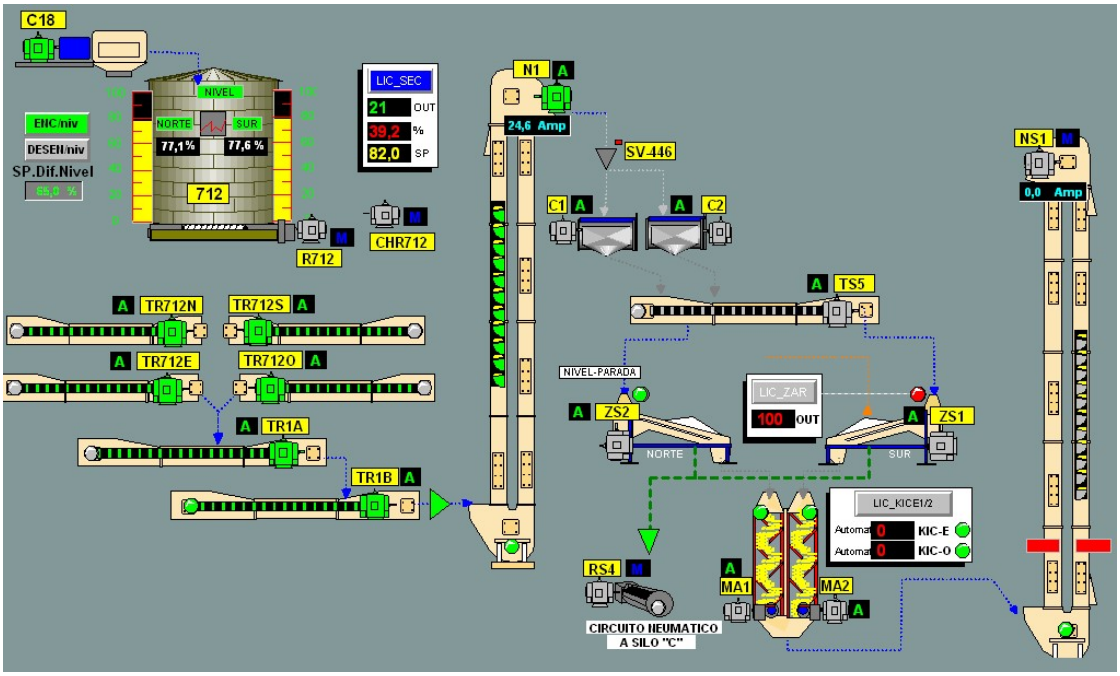


Figura 2-2: Flujograma prelimpieza Línea 2 (AUTINO, 2010)

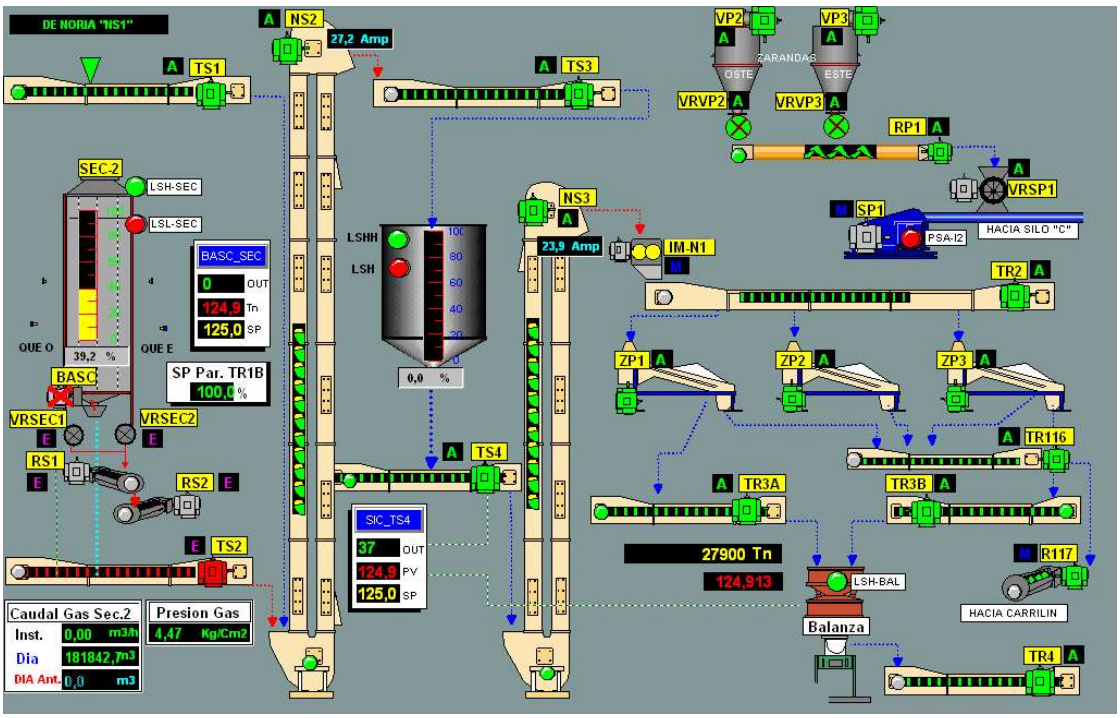


Figura 2-3: Flujograma Secadora y Limpieza Línea 2 (AUTINO, 2010)

Los nombres de los transportes a cadenas llevan el prefijo TR (R por redler) o TS (S por secadora) y las norias llevan el prefijo N o NS (S por secadora).

El silo 712 es el silo diario de producción posee cinco descargas: una central y cuatro en los extremos. Se juntan por los transportes a cadena TR712 N/S/E/O hacia el TR1 A y de allí al TR1 B. La noria N1 eleva el material hasta los cernidores. De allí el TS5 mueve hacia las zarandas y multiaspirador. La noria NS1 eleva hacia el TS1. El TS1 lleva el material a la secadora, donde a la salida es tomado por el TS2. La noria NS2 eleva hacia el TS3 para volcar el material en el silo de tempering. Del fondo del silo de tempering el TS4 lleva los granos hacia la noria NS3 donde finalmente el TR2 hace ingresar a la preparación.

6 Limpieza

Esta etapa es más específica que la pre-limpieza. Utiliza distintos equipos que permiten separar y recuperar granos para enviarlos a la preparación, entre ellos:

Multiaspiradores: al igual que en la prelimpieza remueve finos y cáscara de los granos

Zarandas: que separan según tres niveles: gruesos, granos y finos. En esta etapa no se descartan gruesos y finos ya que son utilizados posteriormente.

Los **gruesos** son cuerpos de diámetro mayor a 10-12 mm. Se almacenan para ser utilizados en la elaboración de pellets de cáscara de soja. Ejemplo: vainas de semilla de soja.

Los **finos** son cuerpos de diámetro menor a 4 mm. Son enviados al cocinador junto con el germen de los granos por su contenido de proteína.

7 Triturado o quebrado

En este punto comienza lo que se denomina **preparación**. Esto es así ya que se “prepara” el material para realizar la extracción del aceite.

El proceso consiste en el partido del grano en 6-8 pedazos. En este se separa el germen de la cáscara. Se utilizan rolos dentados que giran en sentidos opuestos y a velocidad diferencial. Se realiza en dos etapas: en la primera un par de rolos quiebran en mitades y en la segunda otro par quiebra en sextos u octavos. Estos equipos se denominan molinos quebradores. Estos equipos funcionan rayando las partículas filo contra filo.

Menor cantidad de quebrado afectará la cantidad de aceite que podrá extraerse por tonelada molida. Quebrados más grandes requieren mayor consumo energético del quebrador, genera más polvillo y láminas muy chicas que complican el trabajo del extractor.

Con respecto a la humedad, si es superior a 12% tiende a apelmazarse más que a quebrarse. Valores menores al 10% aumentan la cantidad de finos.

El material quebrado facilita la tarea del cocinador (mayor superficie de contacto).

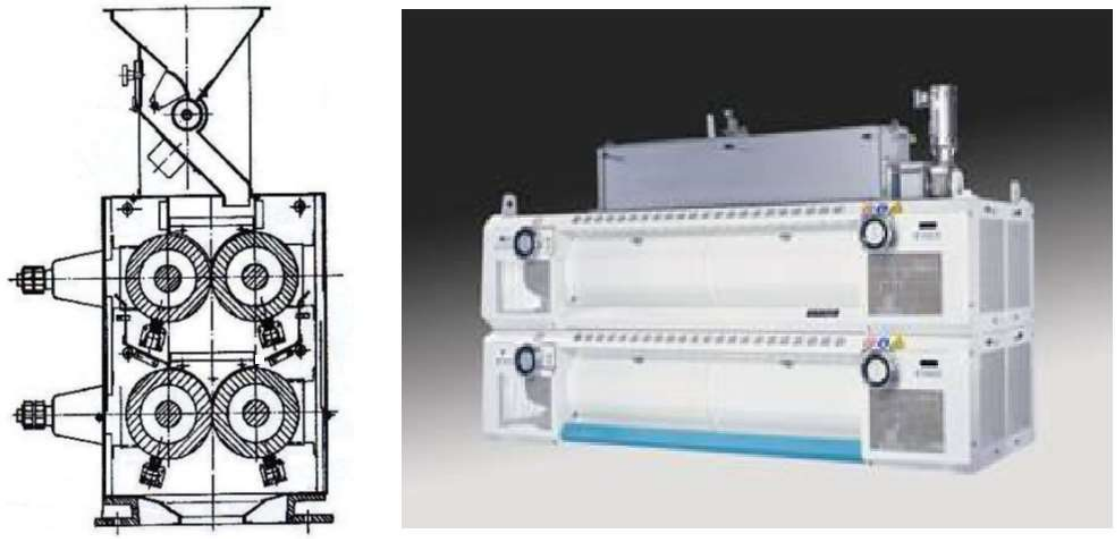


Figura 2-4: Corte e imagen molino quebrador (AUTINO, 2010)

8 Descascarado

En este proceso por medio de aire en contracorriente se separa la cáscara del germen. La cáscara representa el 6% del grano aproximadamente y es mucho más liviana, dicho de otra manera, tiene menor peso específico.

Este proceso puede ser considerado crítico ya que a mayor cantidad de cáscara que no puede ser removida menor será el porcentaje de proteína en el producto final, afecta principalmente a las harinas HIPRO (*high protein* - alta proteína), que es el problema sobre el cual nosotros queremos actuar en este proyecto. Otro tema importante es que la cáscara vaya a ser procesada como aceite tampoco es deseado ya que su contenido de materia grasa es despreciable y hacerla pasar por todo el proceso de extracción hace el proceso poco eficiente.

Asimismo, si la aspiración es muy fuerte, corro el riesgo de aumentar la materia grasa en pellets, se pierde producción de aceite, al arrastrar partes de la pepa con la cáscara, lo cual hace perder eficiencia en ambos procesos, el de producción de aceite y el de producción de pellets de cáscara.

A mejor separación entre cáscara y germen mejor será la eficiencia de la línea. Además, mejor será la capacidad de extracción, el producto será de mayor valor agregado y los equipos requerirán menos mantenimiento ya que la cáscara es abrasiva.

A la salida de los aspiradores se encuentran ciclones que reducen la velocidad con la que sale la cáscara para evitar su dispersión.

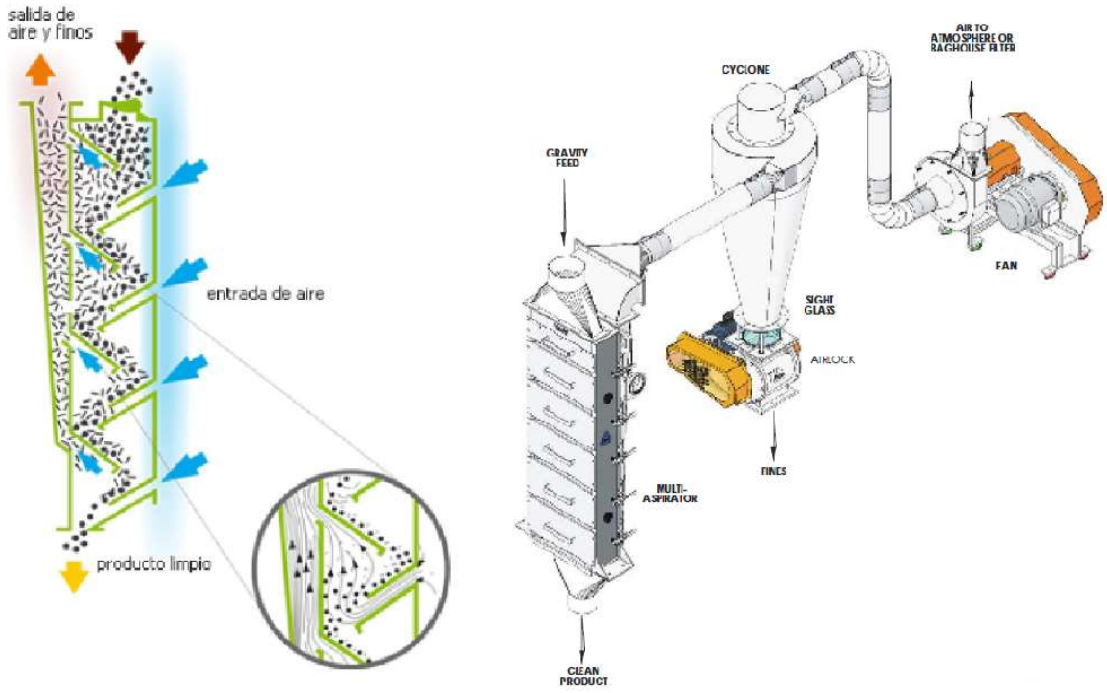


Figura 2-5: Multiaspirador, separación de cascara y finos. (AUTINO, 2010)

La cascara separada sigue un proceso de separación para la recuperación de la materia grasa que pudo haber sido arrastrada en el proceso de aspiración.

El producto limpio sigue a la próxima etapa de acondicionado.

9 Cocinado (o acondicionado)

Después del quebrado, debemos intentar darle a la semilla un tratamiento que le otorgue mayor plasticidad, para facilitar la tarea de laminado. Tiene por finalidad lograr que el aceite sea más fácil de extraer de la pepa de soja. Al calentarse, las paredes celulares se debilitan y se vuelven más permeables.

El estado de plasticidad se logra calentando la semilla con temperaturas entre 55º y 72ºC.

Obviamente también son importantes los valores de humedad que tenga al final del acondicionado. Para esto ya se mencionó que la entrada de producto debe ser homogénea. En el caso que resulte necesario, durante el proceso de acondicionado se

puede llegar a realizar una corrección del contenido de humedad. Se calienta el germen mediante transmisión de calor indirecta, entregada por vapor que proviene de las calderas.

Se añaden los finos extraídos por las zarandas en preparación.

Seca el grano en 0,5% humedad relativa.

El tiempo promedio entre el ingreso y salida de los granos es de unos 20 minutos (Acondicionador horizontal).

Existen además acondicionadores verticales y acondicionadores de bandejas verticales, siendo los primeros los más eficientes de los tres desarrollados.



Figura 2-6: Acondicionador horizontal. (AUTINO, 2010)

10 Laminado

Es la última etapa y es la más delicada de la preparación en producción de soja. Si todas las etapas anteriores fueron realizadas medianamente dentro de los parámetros establecidos, es de esperar conseguir con el laminado, copos de un grosor uniforme que ronden los 0,25 a 0,40 mm de espesor. Esta variación dependerá de diversas circunstancias, como por ejemplo si se trabaja con expanders, o las láminas van directo a extracción o si se trabaja en mix de lámina y expandido.

Para cualquiera de los casos, otro elemento que determinará la calidad del laminado es la capacidad del Extractor en cuanto a tiempo de extracción.

En un nuestro caso Línea 2 trabaja con expanders y tenemos un espesor de lámina de 0,38 mm.

La necesidad de realizar los copos o láminas se debe a que de esta forma el solvente solo debe “viajar” dentro de la materia alrededor de 12 a 20 micrones. Además, al generar la lámina, se aplicaron presiones muy elevadas, que combinadas con el efecto de corte que produce el diferencial de velocidades entre rolos, da como resultado un adecuado nivel de desintegración de las paredes de las celdas que contienen el aceite.

La finalidad de realizar el laminado de los trozos de granos es fundamentalmente aumentar la superficie de ese producto, para que pueda ser lavado con mayor facilidad por la miscela (mezcla de aceite + solvente) en la extracción.

Esta nueva conformación en placas muy delgadas, hace también que la distancia que tenga que recorrer el solvente para llegar al interior de la partícula o, el aceite para salir hacia la superficie, sea mucho menor. Basta comparar la relación entre área y volumen, antes y después de la operación de laminado.

En Línea 2 los laminadores utilizan rodillos lisos. Espesor de salida 0,38mm. Densidad = 0,3 ton/m^3

El resultado son laminillas de forma similar al cereal de maíz. Se les denomina *flakes*.

Menor espesor permite extraer más aceite de las láminas ya que rompe más células pero dificulta el percolamiento del solvente. Más espesor limita la cantidad de aceite que puede extraerse.

Los rolos de los laminadores se buscan que giren a distintas velocidades (1:1,5 o 1:2) para que la lámina tenga esfuerzo de corte.

Es importante cuidar ciertos aspectos de los laminadores para operar con un buen desempeño:

- Asegurar que el flujo de material se distribuya uniformemente. El centro de los rolos suele desgastarse más rápidamente que los extremos. Esto se debe a que el centro tiende a agrupar materiales pesados y los extremos atraen material liviano.
- Optimizar las dimensiones para minimizar la deflexión. Un rollo demasiado largo o bien de poco diámetro favorece la deflexión, lo que lleva a un laminado de espesor muy variable.
- Cuidar la temperatura. La fricción, el material ingresado y el motor del equipo generan calor que se transmite a los rolos, el material que sale.

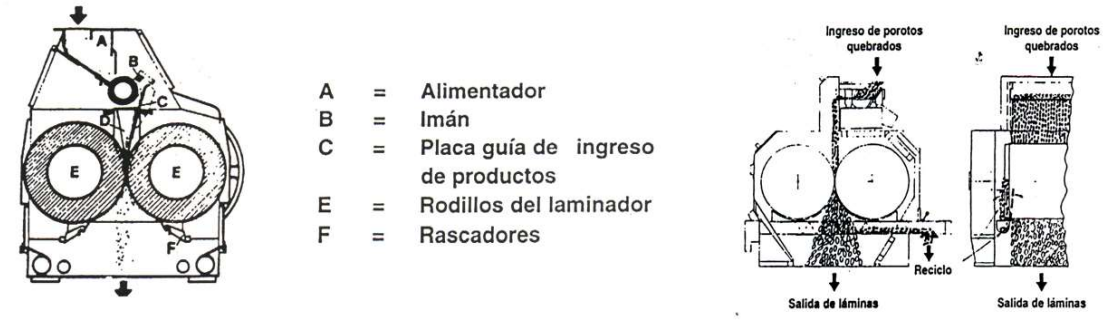


Figura 2-7: Corte típico de un laminador. (AUTINO, 2010)

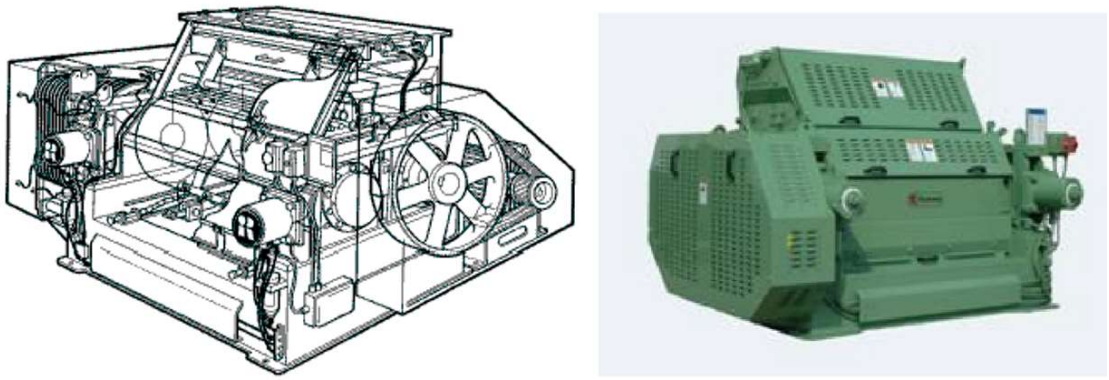


Figura 2-8: Laminador. (AUTINO, 2010)

11 Expandido

Se realiza en los expanders. Aumentan la productividad de la planta en un 30%. El proceso consiste en formar material expandido de forma cilíndrica a partir de los flakes, con una cierta porosidad. Esta modificación mejora el posterior proceso de extracción ya que facilita la permeabilidad del solvente y el escurrido del mismo.

El material expandido se genera a través de un sinfín va reduciendo el volumen para luego hacer pasar las láminas a presión por una matriz (extrusión).

Densidad a la salida del expander = 0,55-0,6 ton/m^3

Temperatura de salida del equipo T_{salida} = 110°C

El proceso se realiza elevando la temperatura y humedad mediante vapor.

El balance económico de añadir expanders al proceso es entre negativo y neutro.

Esta es una operación optativa en todo el proceso de preparación, o sea que puede no existir. Como objetivos o consideraciones para tener en cuenta al tomar la decisión de agregarlo a un proceso o no, vamos a puntualizar las razones más valederas que justifican su utilización:

- Aumento del peso específico de las láminas
- Mayor percolabilidad de la masa expandida
- Incremento de la velocidad de extracción
- Posibilidad de producir láminas de mayor espesor



Figura 2-9: Expander. (CARLETTI, Junio 2009)



Figura 2-10: Material expandido (CARLETTI, Junio 2009)



Figura 2-11: Laminado y Expandido de Soja (CARLETTI, Junio 2009)

12 Secador enfriador de expandido

Hace circular aire de abajo hacia arriba, atravesando el material expandido, el cual se encuentra aproximadamente a T=110°C.

Reduce la temperatura y humedad del material expandido a 60°C y 9,5-10% respectivamente.

La justificación de este secado y enfriado se debe a que en condiciones normales, el punto de ebullición del hexano es cercano a 65°C y si el material expandido no se enfría produciría una evaporación del solvente que presurizaría el extractor. Además, el alto porcentaje de humedad entorpece el proceso de extracción.

Este es un equipo similar al que vamos a optimizar en este análisis.

13 Extracción por solvente

Consta de cuatro etapas: inmersión, difusión, filtrado y percolación. (AUTINO, Agosto 2016)

1. **Inmersión**: Introducción de un sólido en un líquido.
2. **Difusión**: (también difusión molecular) es un proceso físico irreversible, en el que partículas materiales se introducen en un medio que inicialmente estaba ausente, aumentando la entropía (Desorden molecular) del sistema conjunto formado por las partículas difundidas o soluto y el medio donde se difunden o disuelven.

Normalmente los procesos de difusión están sujetos a la Ley de Fick. La membrana permeable puede permitir el paso de partículas y disolvente siempre a favor del gradiente de concentración. La difusión, proceso que no requiere aporte energético, es frecuente como forma de intercambio celular.

3. **Filtrado**: Penetrar un líquido a través de un sólido.
4. **Percolación**: Pasar un líquido a través de espacios “libres” entre partículas y capilares sin atravesar las paredes limites que los conforman.

En PGSM se utiliza un extractor de la firma DE SMET modelo LM.

Por un lado, se riega con hexano y por el otro se hace pasar grano expandido. A la salida del proceso se obtiene miscela (aceite + hexano) y harina mezclada con hexano. La producción de harinas será tratada más adelante, por ahora me enfoco en producción de aceite.

El solvente actúa de dos maneras:

- Toma contacto con el aceite en la superficie de las láminas → es una fase muy rápida (1 y 2).
- Rompe las celdillas, capta el aceite dentro de ellas y sale a la superficie → es una fase más lenta. Debe darse el tiempo necesario para que el solvente se difunda, obtenga el aceite y luego se filtre hacia la superficie (1, 2, 3 y 4).

Aparece aquí la importancia de preparar correctamente el material: si se lamina muy grueso se dificulta la extracción superficial ya que se reduce la superficie de contacto y además se disminuiría la rotura con la que las células entran al proceso y si se lamina muy fino se dificulta el drenaje del aceite. Deberá buscarse el espesor ideal de lámina que equilibre extracción con drenaje.

Por lo tanto, si el solvente tiene o no tiene el tiempo suficiente para hacer una extracción adecuada el proceso se vuelve ineficiente.

La extracción se realiza a 260 Torr, es decir a una presión inferior a la atmosférica, la cual evita la propagación del hexano fuera del extractor. Recordemos que el solvente es peligroso y caro, y en el caso de pérdidas podemos estar hablando de accidentes muy graves. Por lo que el tratamiento de este es un tema para tratar de manera individual ya que nos llevaría otro proyecto hablar al respecto.

Tiempo de contacto: El proceso de extracción puede tener lugar desde todas las posiciones de cada partícula de la capa de material. El tiempo de contacto es el tiempo en que la lámina es impregnada y lavada por miscela y no solamente el tiempo en que permanece en el extractor.

Es muy importante inundar el material en solvente o miscela siempre y cuando sea posible, en cada etapa del proceso extractivo con la finalidad de maximizar el tiempo de contacto. Con 0,38mm. de espesor el equilibrio se alcanza en 5 min de tiempo de contacto.

La extracción, según el extractor en la empresa, consta de once etapas sucesivas en las cuales el grano expandido es rociado con el solvente solamente en la primera etapa, luego se bombea la miscela en las etapas sucesivas hasta sacar en la última etapa la solución con la menor concentración posible de hexano dentro del extractor. Al final del extractor se da un tiempo para permitir el escurrimiento del hexano de la harina.

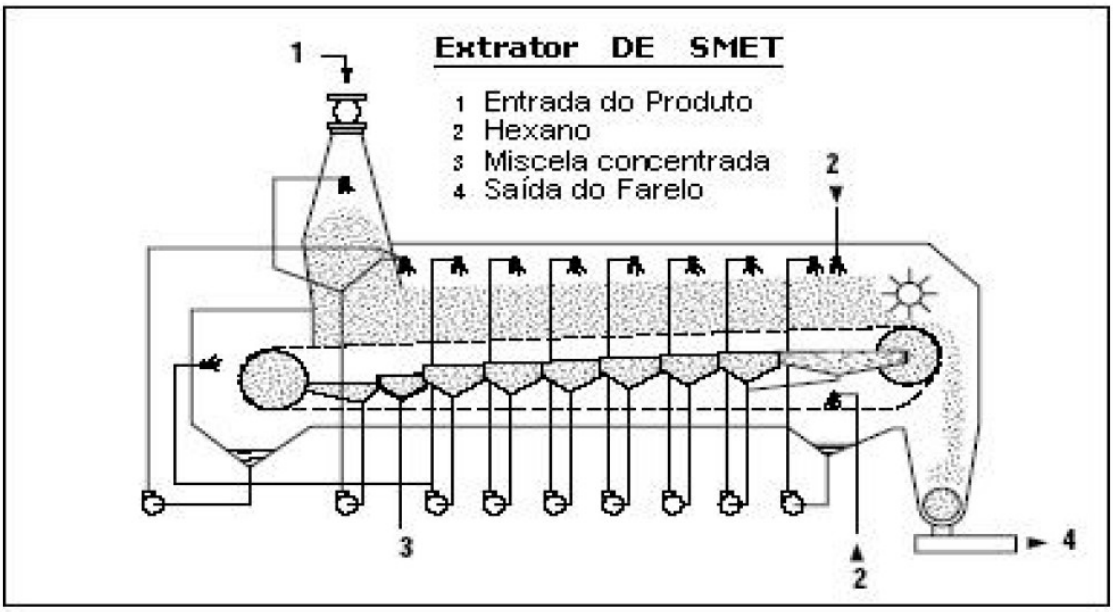


Figura 2-12: Croquis Extractor marca De Smet (AUTINO, 2010)

14 Destilación de miscela

Destilación: es la operación de separar las distintas sustancias que componen una mezcla líquida mediante vaporización y condensación selectivas. Dichas sustancias, que pueden ser componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados, se separan aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada una de ellas, ya que el punto de ebullición es una propiedad intensiva de cada sustancia, es decir, no varía en función de la masa o el volumen, aunque sí en función de la presión.

La composición inicial de la miscela es 25% aceite y 75% hexano aproximadamente. A la salida del proceso la concentración de hexano deberá ser inferior al 0,04%, debe superar el flash point.

La miscela recorre una serie de dispositivos (economizadores, vaporizadores y terminadores) los cuales tienen la función de remover el hexano por evaporación. Aprovechan el bajo punto de ebullición del hexano (64°C a p=1atm) en comparación con el aceite. El proceso se realiza en depresión para evitar que la temperatura del aceite supere los 105°C. A modo práctico: mientras más se calienta el aceite más se va degradando químicamente, entonces quiero remover el hexano, pero sin sobrecalentar el aceite.

El resultado de la destilación es el ACEITE CRUDO.

Las distintas etapas de la destilación también son un tema interesante pero que no trataremos en este proyecto.

15 Proceso de Producción de Harina de Soja

Una vez realizada la extracción por hexano, lo que queda del grano expandido tiene un color blanco y ya se le ha extraído la mayor cantidad de aceite posible. La harina contiene un 25% de hexano que debe recuperarse antes de avanzar en el proceso.

Hay un KPI (Key Performance Indicator), indicador clave de rendimiento, que mide la cantidad de aceite presente en la harina, el valor objetivo actual es de 0,55%.

16 Desolventizado y Tostado (DT)

Este equipo es un intercambiador de calor que aprovecha la volatilidad del hexano. Además “cocina” la harina para volverla apta para la digestión de los animales, dicho de otra manera, **elimina la urea**.

Es un sistema vertical de distintos niveles donde va cayendo la harina y es calentada con vapor directo (en contracorriente) e indirecto (calentado la superficie de los niveles). Cada nivel cuenta con una paleta que va midiendo el nivel de harina y posibilita el desplazamiento sucesivo entre niveles.

En el ingreso el porcentaje de hexano retenido en la harina es del 26%. En la salida inferior se obtienen los restos del grano expandido con muy bajos niveles de hexano (300 ppm). Asimismo, se encuentra un Punto Crítico de Control (PCC) de la planta, que es la temperatura de salida: mayor a 95°C y se busca que sea menor a 110° C. El objetivo es eliminar la urea de la harina para facilitar la digestión en los animales.

El vapor indirecto, como mantiene su composición al no tomar contacto con la harina, puede ser utilizado para precalentar otros procesos dentro de la planta de extracción.

Vapor directo

El vapor directo empleado en el DT toma contacto con la harina y arrastra una proporción de estas al salir por la parte superior. Por lo tanto, en la salida superior tendremos una mezcla entre vapor, hexano y finos de harina.

La remoción de los finos será necesaria para la recuperación posterior del hexano. Dicha función es el objetivo del ítem 29.

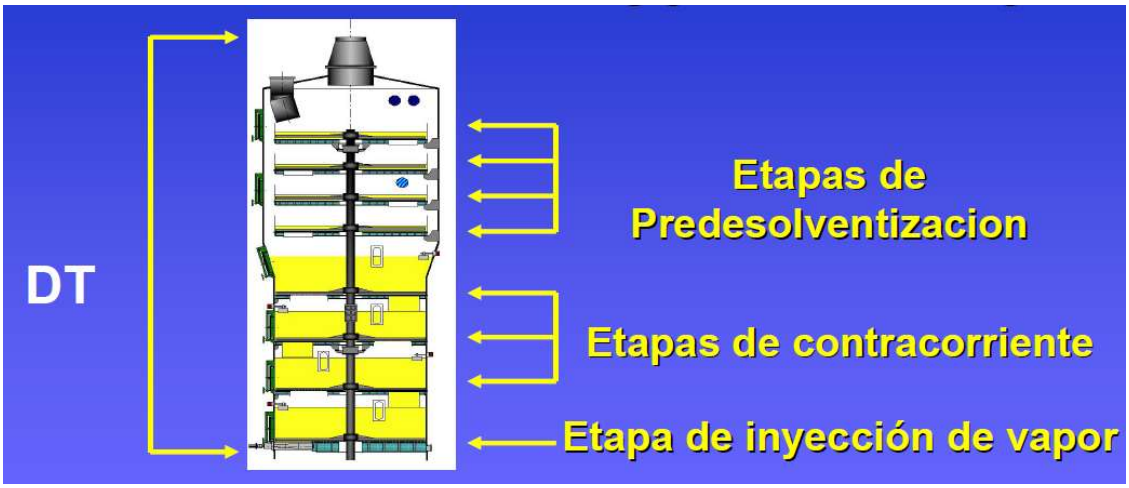


Figura 2-13: Desolventizador Tostador (DEMARCO, Agosto 2016)

17 Secado de harinas

La harina a la salida de la extracción se envía de nuevo al edificio de preparación donde es secado con aire a apropiadamente 10°C mayor a la temperatura ambiente.

Se trata de que la humedad se mantenga en valores aptos. Si es muy baja hay riesgo de incendio y explosiones. Si es alta hay riesgo de deterioro de la harina. Y en este proyecto analizamos el tema de bajar la humedad dentro de las posibilidades para alcanzar los valores de exigencia de proteína del mercado. Este ítem será tratado de manera ampliada en el capítulo 3.

18 Molienda

Se utiliza molienda por martillo. Es una máquina que realiza movimiento giratorio y golpea al material cuando ingresa. Es importante que el peso de cada uno de los martillos sea el mismo. La presencia de harina apelmazada enviada a la celda hace que exista focos calientes y se produzca un rápido deterioro de esta.

19 Almacenamiento

A la salida de la molienda va directo a las celdas de almacenamiento a la espera de su embarque.

Capítulo 3

Secado y Enfriado de Harinas

Antes de entrar en el análisis y descripción de este proceso surge una pregunta inocente pero muy importante: ¿Por qué secamos? Básicamente los motivos son dos: Económico y la preparación para su almacenamiento sin riesgos.

Beneficio económico (CARLETTI, Junio 2009)

Esta razón es muy simple, debemos secar ya que existen normas de comercialización que nos obligan a estar por debajo de ciertos límites de humedad, de lo contrario existen penalidades o inclusive la mercadería puede ser rechazada. Esto ocasiona perjuicios económicos muy grandes.

No obstante, debemos evaluar hasta “cuánto” secamos ya que esa misma normativa nos permite “vender” una cierta cantidad de agua a valores de harina y, por consiguiente, no debemos bajar esos índices para no perder esta oportunidad.

También, referente a este tema, entra en juego el valor mínimo de proteína establecido para la comercialización de harinas de A.P. (alta proteína). Cuando este valor no se alcanza fácilmente, se apela a realizar un secado más estricto, de forma tal que, al sacar el porcentaje de proteína sobre una harina con menor contenido de humedad, este valor aumenta.

Vamos a detallar a continuación los valores de composición de los productos finales de harina de alta proteína (HIPRO) y harina de baja proteína (LOWPRO).

Harina HIPRO	
Proteína	Desde 45,6%
Humedad	Hasta 12%
Grasa	1,5%

Harina LOWPRO	
Proteína	44%
Humedad	12%
Grasa	2%

Y en este cuadro detallamos los descuentos que se realizan sobre el producto final en los casos de no alcanzar los indicadores.

% de Proteína	Descuento
46,5 - 46	1% cada % o fracción
46 - 45,5	2% cada % o fracción
Menos de 45,5	3% o rechazo del lote

Almacenaje sin riesgo

Para abordar este tema previamente debemos definir algunas propiedades del aire:

a) Humedad relativa: Es la relación entre la masa de agua (vapor) que contiene determinada masa de aire y la que podría contener si estuviese saturada a la misma temperatura.

b) Humedad absoluta: Es la relación que existe entre la masa de agua (vapor) que contiene la unidad de masa de aire seco.

Se ha comprobado que para que las harinas o granos no permitan el desarrollo de microorganismos cuando están almacenados deben tener, o generar en el aire intergranular, una humedad relativa de ~ 70%.

Por otro lado, sabemos que existe para cada producto o grano una humedad de equilibrio con respecto a la humedad relativa del aire. Podemos conseguir gráficos donde hallaremos estas curvas de “equilibrio” para distintos productos.

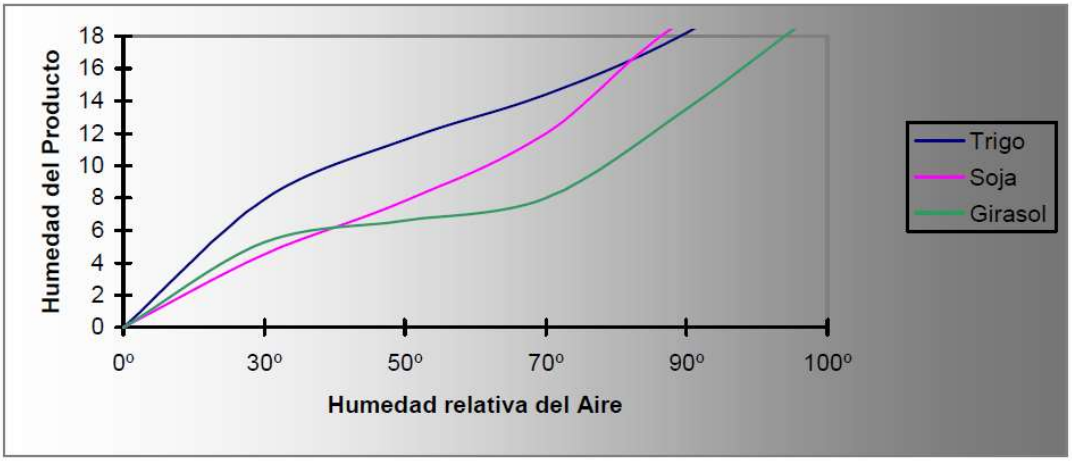


Figura 3-1: Curvas de equilibrio de humedad. (CARLETTI, Junio 2009)

Estas curvas nos están dando los valores para los cuales el producto no realiza intercambio de humedad con el aire, o sea que no existe ni desorción (migración del agua desde el producto al aire) ni absorción (humectación del producto por el agua contenida en el aire).

Podemos decir que:

Cuando Pva > Pv la harina se humectará (absorción).

Cuando Pv > Pva la harina se secará.

Cuando Pv = Pva está en equilibrio.

Donde: Pva: Presión de vapor de agua en el sólido.

Pv: Presión parcial del vapor en el aire.

Además de saber que se debe respetar una humedad relativa en el aire intergranular, vamos a ver que debemos considerar el efecto de la temperatura.

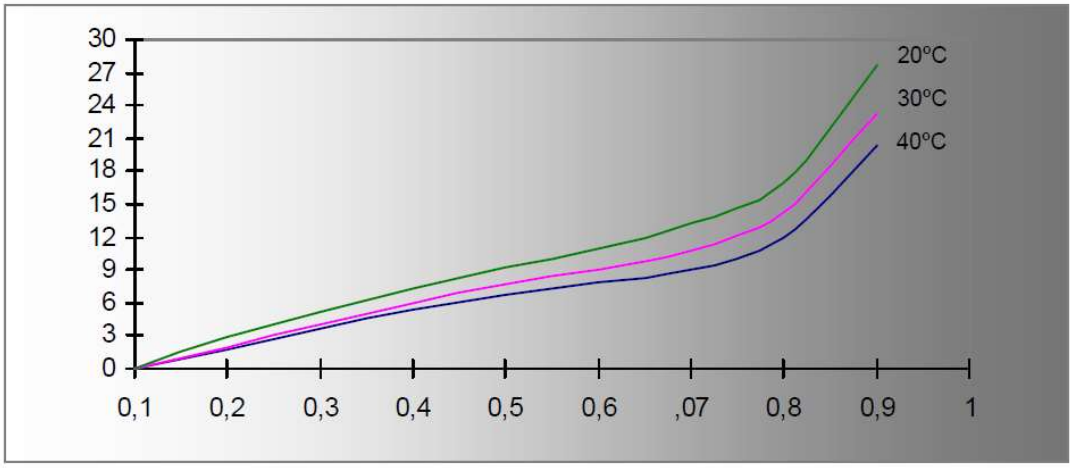


Figura 3-2: Curvas de equilibrio de humedad a diferentes temperaturas
(CARLETTI, Junio 2009)

Como vemos en el gráfico si seguimos considerando una “seguridad microbiana” de 70% de HR vemos que a menor temperatura podemos tener una mayor humedad del grano, en equilibrio.

Esto explica entonces que, además de secar, es importante para el almacenaje bajar la temperatura de las harinas.

Conceptos generales de secado

Llamamos Secado a la separación de un líquido del sólido a secar por evaporación.

Es la acción conjunta de dos procesos básicos:

a) Transmisión de calor
b) Transferencia de masa

Transmisión de calor porque debemos calentar el producto para que de esa forma aumente la Pva, presión de vapor en el sólido y, además, debemos calentar el aire para que, así, disminuya su humedad relativa y se transforma en más higroscópica.

La transferencia de masa en forma de líquido o vapor, dentro del sólido desde el núcleo hasta la superficie de las partículas o granos, luego en forma de vapor, se desprende de esta superficie expuesta y se transfiere al aire intergranular de secado.

Balance de energía

Para saber cuánto es el calor necesario debemos hacer un balance. Para el caso más general que nos ocupa, o sea, el secado de harina de soja a la salida del toster tenemos:

$$\boldsymbol{a)\ q_1 = m_h \times C_{ph} \times \Delta t}$$

Donde: m_h = masa de producto en Kg/h

C_{ph} = calor específico de la harina (0,42) $\frac{Kcal}{Kg.°C}$

Δt = diferencia de temperatura del producto desde la salida del toster (95/105ºC) y la temperatura final. En ºC.

q_1 = calor interno de la harina en Kcal/h

$$\boldsymbol{b)\ q_2 = \Delta Hd \times 540}$$

Donde q_2 = calor de evaporación en Kcal/h

540 $\frac{Kcal}{Kg.°C}$ = calor necesario para evaporar 1 Kg de agua

ΔHd = cantidad de agua que debemos evaporar

Siguiendo con el caso de la harina de soja consideramos: humedad de salida del DT de 19% y pretendemos una humedad final de 12%.

Tenemos:

Sobre 100 kg 81Kg MS ---------- 81%
19Kg H2O ---------- 19%

Resultan 92 kg 81Kg MS ---------- 88%
11Kg H2O ---------- 12%

$$\Delta Hd = 19\,Kg - 11\,Kg = 8\,Kg$$

Este simple balance de masa debemos hacerlo para el total de la masa de producto que procesamos por hora: En Kg/h.

$$\boldsymbol{c)\ q_3 = m_A \times C_{pA} \times \Delta t}$$

Donde m_A = masa de aire que vamos a utilizar para el secado, Kg/h

C_{pA} = calor específico del aire (0,25) $\frac{Kcal}{Kg.°C}$

Δt = diferencia de temperatura del aire entre la salida del mismo y la entrada (generalmente a temperatura ambiente, ºC).

q_3 = calor para calentar el aire en Kcal/h

$$\boldsymbol{d)\ q_4 = q_2 + q_3 - q_1}$$

Donde q_4 = calor que debemos aportar Kcal/h

Como vemos, para calcular el calor que debemos aportar, tenemos todos los parámetros conocidos, salvo la cantidad de aire que vamos a utilizar. Este valor va a depender del tipo de secador que estamos utilizando y de la calidad del aire de ingreso (temperatura y humedad relativa). Para esto es muy importante el conocimiento del comportamiento de aire, su composición según distintas temperaturas, etc.

Es de mucha utilidad el manejo del gráfico psicrométrico.

La cantidad de aire que utilicemos también va a depender del tipo de secador que estemos estudiando.

Esto nos va a fijar, en definitiva, que cantidad de agua podemos llevar por cada Kg o m3 de aire de secado empleado.

Como dijimos, el secado es la suma de dos procesos, transmisión de calor y transmisión de masa, en ambos casos es muy importante la superficie de intercambio.

Respecto al calor, está expresado en la ecuación de transmisión por conversión:

$$\boldsymbol{Q = A \times U \times \Delta t_m}$$

Pueden darse varias situaciones:

- Transmisión de una fuente de calor al aire a utilizar para secado.
- Transmisión de una fuente para calentar directamente la harina.
- Transmisión entre aire caliente a harina.
- Transmisión de la harina al aire de enfriamiento.

La transferencia del agua se realiza a través de la superficie de las partículas hacia donde emigró la humedad desde el núcleo para ser llevada por el aire de secado. Cuanto mayor sea la superficie, mayor será el intercambio y tanto mejor cuanto mayor sea el contacto entre el aire y la superficie.

Según este concepto se puede hacer una clasificación de los tipos de secadores:

Tipos de lechos sólidos:

- Estático
- Móvil
- Fluidificado
- Diluido

Tipos de flujos:

- Corrientes paralelas (Co-corriente o Contra-corriente)
- Flujos cruzados

Otra clasificación importante de los secadores es según que el proceso sea:

- Discontinuo, o por batch
- Continuo

Sobre estos últimos vamos a analizar nuestro caso.

Tipos de Secadores (CARLETTI, Junio 2009)

1) Rotativos

- Con calefacción mediante tubos con circulación de vapor indirecto. Estos tubos de vapor cumplen la doble función de calefaccionar la harina y también el aire de secado.
- Con inyección de aire caliente o directamente utilizando gases de combustión.
- Puede ser utilizado como enfriador, en este caso también se utilizan tubos, pero con circulación de agua fría.
- También como enfriador solamente con circulación de aire ambiente

2) Verticales de columna

En estos, el tipo de flujo es cruzado y el contacto aire – sólido es del tipo lecho móvil.

Pueden ser con utilización o no de calefacción del aire empleado, dependiendo del material a procesar y de los resultados que se pretende obtener.

O sea que se lo puede considerar: secador, secador / enfriador o enfriador, según que distribución de aire tengamos.

3) Horizontales

Igual que los anteriores son del tipo de lecho estático / móvil, además son de flujo cruzado.

Este flujo de aire puede ser aspirado o en algunos casos, con aire insuflado.

Pueden ser la totalidad con aire caliente (calentamiento que se logra con aerotermos, intercambiadores de calor de tubos aletados con circulación de vapor), también pueden ser combinados, realizando el secado con aire caliente los primeros tramos y luego una zona final con aire ambiente para completar el secado y enfriar, o trabajar totalmente con aire frío para enfriado, aunque también produce secado.

Son los más apropiados cuando se debe secar / enfriar masa expandida, granulado o peleteado ya que al no tener movimiento la masa no se produce rotura de los colets. Por esta razón, es decir, por ser estático no tiene un contacto aire / harina de lo más adecuado, por tal razón no son tan eficientes (en cuanto al aire que debemos emplear y a la saturación del mismo) como son los rotativos o cualquier otro tipo que tenga lecho fluidizado.

4) De platos verticales con inyección de aire DC

Son del tipo de lecho fluidizado con flujo cruzado.

Se puede inyectar aire caliente o también puede ser con aire frío para trabajar como enfriador. Generalmente es combinado, es decir, pisos de secado con aire calentado y piso final con aire frío.

Suelen construirse como un solo equipo junto con el desolventizador (DT), aprovechando la estructura, el eje de paletas y el mando; de esta forma evitamos un transporte del DT al secador, pero se transforma en un equipo de alto riesgo trabajando dentro del sector de extracción.

Sistema Clásico

El sistema que con más frecuencia se adopta para el secado / enfriado de harina de soja a la salida del tostador es el de **Secador / Enfriador Horizontal.**

Esto es debido a que se trata de una instalación muy sencilla, muy confiable, de bajo mantenimiento y, comparativamente, una de las de más bajo consumo de energía eléctrica y vapor.

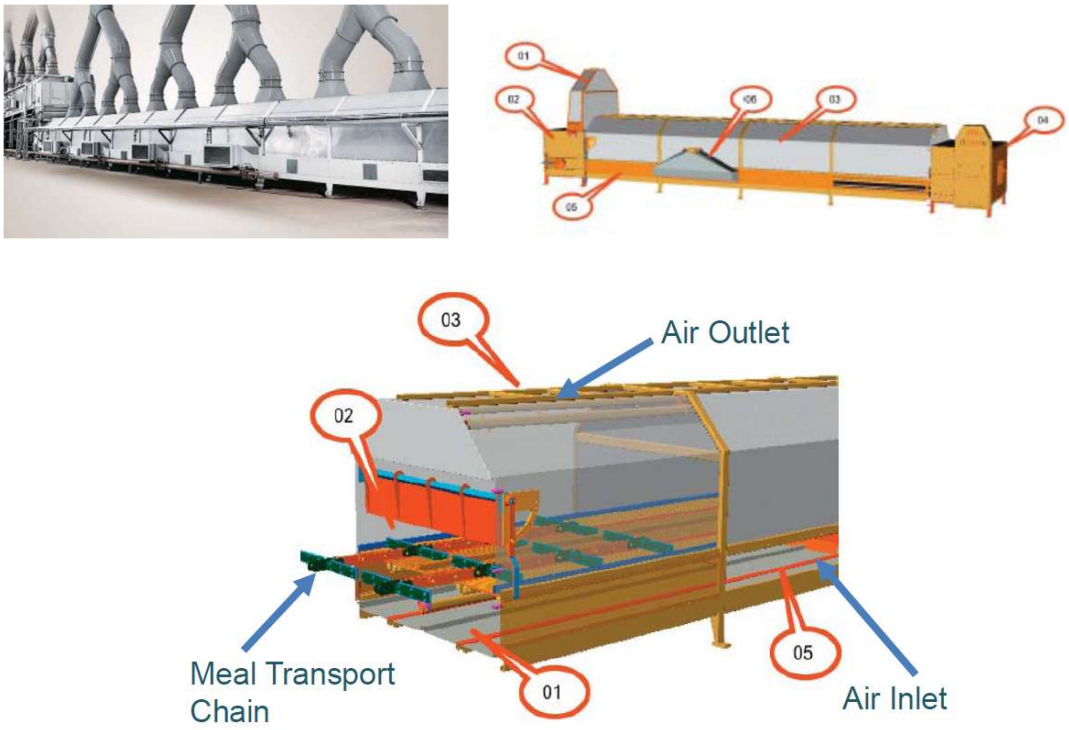


Figura 3-3: Imágenes de secador enfriador . (AUTINO, 2010)

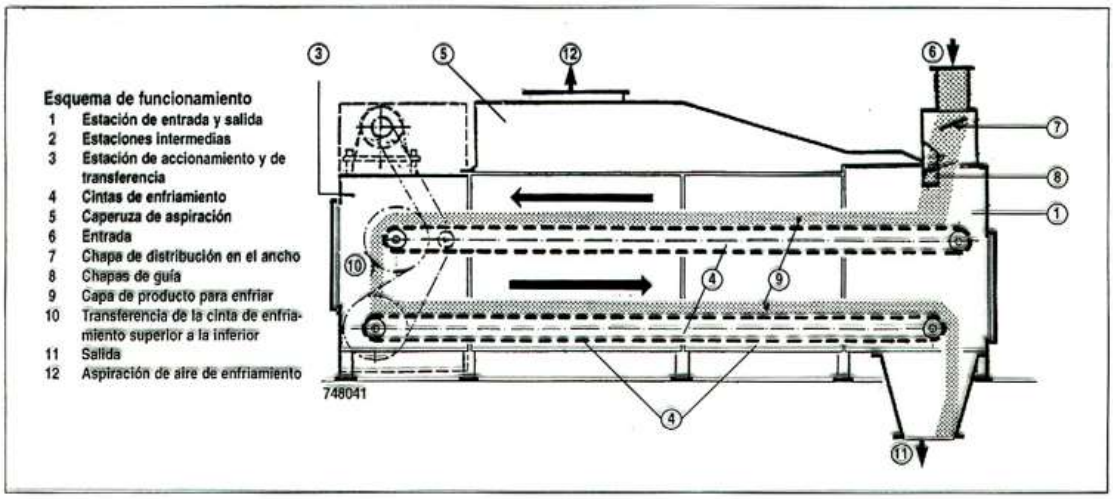


Figura 3-4: Imágenes de secador enfriador (AUTINO, 2010)

Capítulo 4

Estudio realizado sobre Secador Enfriador

En este capítulo vamos a enfocarnos en el análisis del secado de un secador enfriador horizontal marca Allocco Modelo 2 – 7 – 2700 – 400 para proponer una acción para poder bajar el porcentaje de humedad de la harina de soja en una de las líneas de una planta de proceso de extracción por solvente de capacidad 3200 tn/día.

1 Condiciones iniciales para el análisis del proyecto.

Datos del equipo a optimizar:

Secador – Enfriador de harina de doble piso marca Allocco perteneciente a la empresa Bunge Argentina de PGSM – Línea 2

Ancho:	2,7m
Longitud útil:	9 módulos dobles x 2,42 m =43,56 m
Altura del manto de trabajo promedio:	0,40 m
Volumen total:	47,045 m3
Aspiración:	7 ventiladores
Potencia unitaria instalada /Rpm:	50 HP / 1480 rpm
Aerotermos de 75 tubos:	16 x 250.000 Kcal/h.

Datos de línea de producción Línea 2

Características de semilla

Materia Grasa MG 21,00 %

Humedad Hd 10,00 %

Contenido de Cáscara 7,00 %

Luego del proceso de descascarado, se deja una semilla con el 0.8 % de cáscara.

Características de harina a la salida del DT

Humedad 17,00 %

Temperatura 105 °C

Características de harina a la entrada del Secador – Enfriador

Humedad 16,00 %

Temperatura 90 °C

Características de harina a la salida del Secador – Enfriador (actual)

Humedad 12,00 %

Temperatura 30 °C (**)

Producciones promedio (base semilla) 3.200 tn / día = 134.000 kg / hs

Condiciones del aire de entrada

Temperatura ambiente (promedio estimado): 20 °C

(*) Dato obtenido como conclusión de los cálculos realizados para la obtención del caudal y la potencia de los ventiladores

(**) Valor estimado como promedio anual.

En el siguiente gráfico podemos observar el esquema actual del secador enfriador, con sus respectivas aspiraciones.



Figura 4-1: Esquema actual del secador enfriador

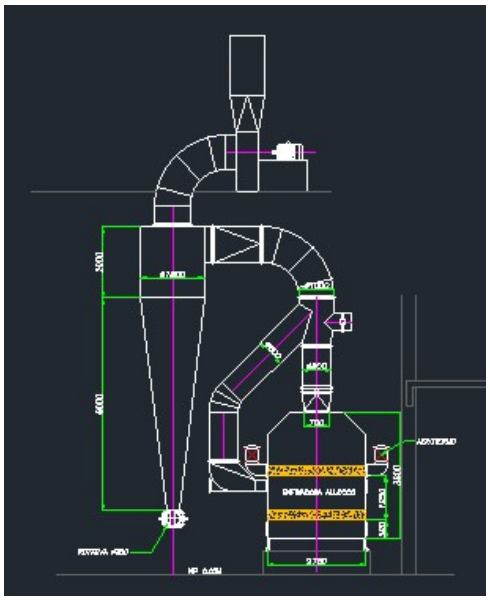


Figura 4-2: Corte del secador enfriador

2 Balance de masas de la línea de proceso.

Procedemos a realizar el balance de masas de la línea de producción desde el ingreso de la soja hasta la harina que necesitamos **secar.**

Utilizaremos la siguiente notación:

MG = (materia grasa)

MS = (material seco)

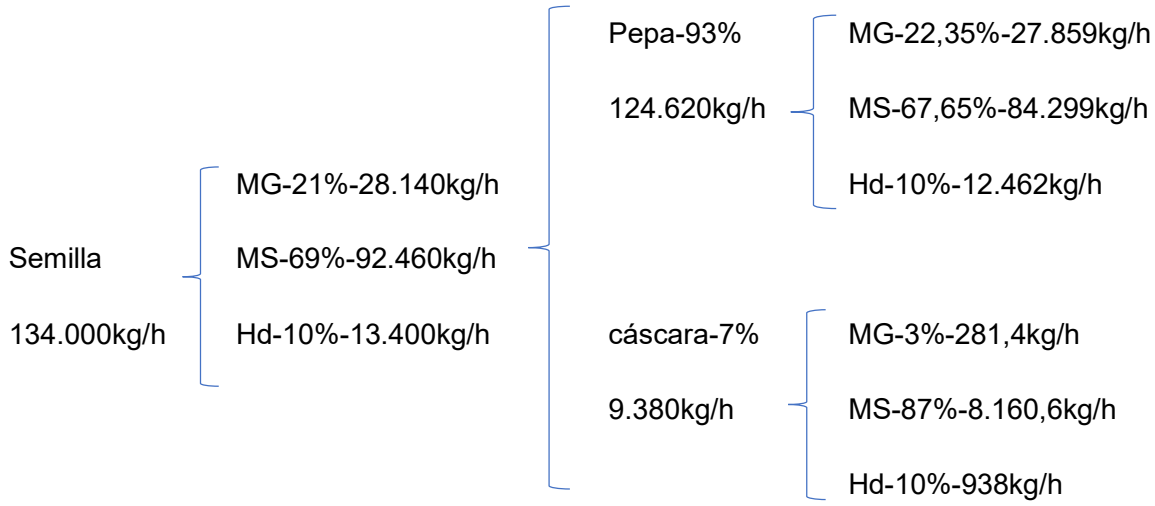
Hd = (humedad)

T = (temperatura)

Ca = (cáscara)

Balance de masa actual con los datos conocidos

El análisis del balance de masas lo empezamos en el proceso de pesaje de ingreso a la planta considerando una humedad promedio de 10%.



Durante el proceso de descascarado se extrae el 6,2%, con lo cual queda el 0,8% en semilla (dato provisto).

134.000 x 0.062 = 8.308 kg de cáscara extraída

9.380 – 8.308 = 1.072 kg de cáscara residual

O sea que continúan en el proceso de Preparación , a los **molinos quebradores** :

124.620kg/h de pepa + 1.072 kg/h de cáscara residual = 125.692 kg/h

- A quebrado 125.692kg/h
  - MG-21%-27.891kg/h
  - MS-69%-85.232kg/h
  - Hd-10%-12.569kg/h
- Pepa 124.620kg/h
  - MG-22,35%-27.858,6kg/h
  - MS-67,65%-84.299,4kg/h
  - Hd-10%-12.462kg/h
- Cáscara 1.072kg/h
  - MG-3%-32,2kg/h
  - MS-87%-932,6kg/h
  - Hd-10%-107,2kg/h

Siguiendo el proceso analizamos el material que sigue el camino del sólido después de la **Extracción por solvente** donde se separó el aceite (materia grasa).

A la salida del DT, con 17% Hd y 1% (valor estimado) de MG tenemos:

Harina a la salida del DT

- Harina 103.941 kg/h
  - MG-1,00%-1.039 kg/h
  - MS-82%-85.232 kg/h
  - Hd-17%-17.670 kg/h

Según datos suministrados por la planta de procesamiento la temperatura de salida del DT es de 105ºC.

Al salir de este equipo hay una pérdida de calor importante, en donde *flashea* humedad y baja la temperatura.

Según los datos suministrados, llega al Secador-Enfriador a ≈90ºC.

Veremos entonces cuanto es el agua que evapora:

$$q_{evap} = 103.941\ kg/h\ \times\ 0{,}42\frac{Kcal}{kg.°C}\ \times\ (105°C - 90°C)$$

Por otro lado:

$$q_{evap} = \Delta Hd\ \times\ 540\ \frac{Kcal}{kg}$$

Igualando ambas tenemos:

$$\Delta Hd\ = \frac{103.941\ kg/h\ \times 0{,}42\frac{Kcal}{kg.°C} \times 15°C}{540\ \frac{Kcal}{kg}} =\ 1.212\frac{kg}{h}\,de\ agua$$

Entonces resulta que a la entrada del secador enfriador tenemos:

103.941 kg/h – 1.212 kg/h = 102.729 kg/h

Harina

102.729 kg/h

- MG-1,02%-1.039 kg/h
- MS-82,96%-85.232 kg/h
- Hd-16,02%-17.670 kg/h – 1.212 kg/h = 16.458 kg/h

Según datos suministrados, a la salida del Secador Enfriador, tenemos 12% de humedad.

Entonces:

98.035 kg/h
- MG-1,02%-1.039 kg/h
- MS-86,94%-85.232 kg/h
- Hd-12%-11.764 kg/h

La diferencia de humedad en kg/hs de agua es:

ΔHd = 16.458 kg/h - 11.764 kg/h = 4.694 kg/h

Haremos ahora un balance de energía, y podremos obtener aproximadamente, los caudales de los ventiladores.

3 Balance de energía

Seguimos con el análisis del balance de energía entre las diferentes partes y el calor aportado:

$$q_1 = 102.729\ kg/h\ \times\ 0{,}42\frac{Kcal}{kg.°C}\ \times\ (90°C - 30°C) = 2.588.770\frac{Kcal}{h}$$

$$q_2 = \Delta Hd\ \times CLV = 4.694\frac{kg}{h} \times\ 540\ \frac{kcal}{kg} = 2.534.760\ kcal/kg$$

$$q_3 = Q \times \rho \times C_p \times \Delta t = \left(60 \times 7 \times V\frac{m^3}{\min}\right) \times 1{,}28\ kg/m^3 \times\ 0{,}25\frac{Kcal}{kg.°C}\ \times (60°C - 20°C)$$

$$q_3 = 5.376\ V\frac{Kcal}{h}$$

$$q_4 = n° \times q_{aer} = 16 \times\ 250.000\ \frac{kcal}{h} = 4.000.000\ \frac{kcal}{h}$$

Para que el sistema tenga equilibrio térmico, debe ser:

$$\boldsymbol{q_1 + q_4 = q_2 + q_3}$$

$$6.588.770 = 2.534.760 + 5.376\ V$$

$$V = \frac{6.588.770 - 2.534.760}{5.376} = 754\ \frac{m^3}{min}$$

$$V_t = 7 \times 754\ \frac{m^3}{min} \times 60 = 316.680 \frac{m3}{h}$$

Si dijimos que

$$\Delta Hd\ = 4.694\ \text{kg/h} = 4.694.000\ \text{gr/h}$$

Entonces tenemos que la cantidad de agua absorbida por m3 de aire forzada por los ventiladores es :

$$a = \frac{\Delta Hd}{V_t}\ = \frac{4.694.000\ \frac{gr}{h}}{316.680\ \frac{m^3}{h}} = 14{,}8 \frac{gr_{agua}}{m^3_{aire}}$$

Ahora vamos a obtener el caudal de los ventiladores a traves de la potencia absorbida.

$$N = \frac{Q \times h}{6356 \times \eta} = 54\ HP$$

Donde:

N = potencia absorbida en HP

Q = caudal en $ft^3/\min \cong 750\ \frac{m^3}{min} = 26.480\ \frac{ft^3}{min}$

h= presión en inch WC = 230mmca = 9.1/6 inch WC

η = 0,7 (adoptamos como valor normal para ventiladores)

Estos datos nos llevan a pensar que se trata de un ventilador Ciarrapico modelo

AK SASE 36 ½, que según nos informan los fabricantes era un ventilador usualmente seleccionado para equipos de este tipo. A continuación su curva:

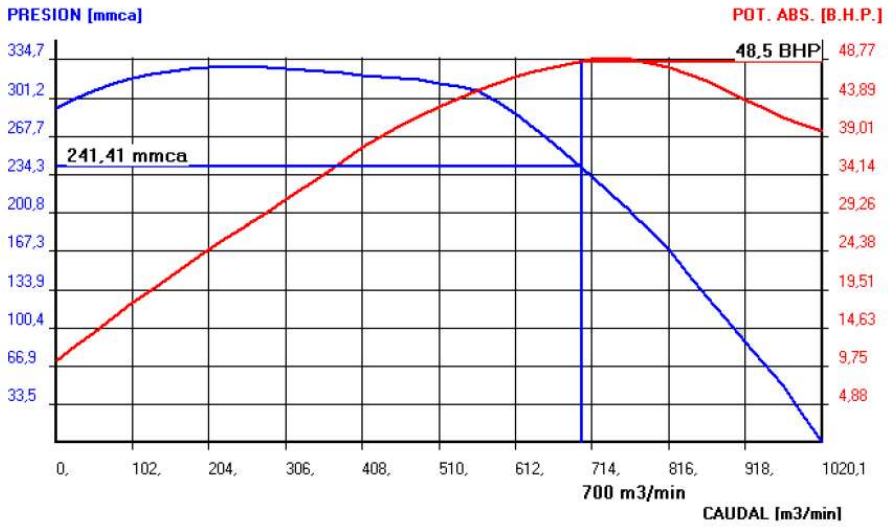


Figura 4-3: Curva Ventilador Ciarrapico AK SASE 36

Sabiendo que tiene instalado un motor de 50 HP, se puede deducir de la gráfica, que el caudal debe ser aprox. 650 m3/mín, consumiendo aproximadamente 40 HP.

Entonces calculamos ahora, lo que sería el caudal real.

$$V_t = 7 \times 650 \frac{m^3}{min} \times 60 = 273.000 \frac{m^3}{h}$$

Si dijimos que

$$\Delta Hd \ = 4.694 \text{ kg/h} = 4.694.000 \text{ gr/h}$$

Entonces:

$$a = \frac{\Delta Hd}{V_t} = \frac{4.694.000 \frac{gr}{h}}{273.000 \frac{m^3}{h}} = \mathbf{17,19} \frac{\boldsymbol{gr_{agua}}}{\boldsymbol{m^3_{aire}}}$$

Este valor, que es mayor al obtenido anteriormente, se acerca más a los valores típicos para estos equipos. Según información empírica que nos informa el fabricante de los equipos.

4 Cálculo del tiempo de permanencia dentro del equipo

Ahora contianuamos con el tiempo de permanencia dentro del equipo, o sea el tiempo de secado.

Comenzamos con el volumen del manto de harina:

$$V = b \times l_{mod} \times n_{mod} \times h_{manto}$$

$$V = 2{,}7m \times 2{,}42m \times (9 \times 2) \times 0{,}4m$$

$$V = 47{,}045\ m^3$$

Su peso específico:

$$\rho = 0{,}5\ \frac{tn}{m^3}$$

Entonces la capacidad del equipo es:

$$C = V \times \rho = 47{,}045\ m^3 \times\ 0{,}5\ \frac{tn}{m^3} = 23{,}52\ tn$$

Según lo visto en el balance de masa, la cantidad de harina a la entrada del equipo es:

$$Q = 102.729\ \frac{kg}{h}$$

$$Q = 1{,}712\ \frac{tn}{min}$$

Entonces resulta q el tiempo de secado es:

$$t = \frac{C}{Q} = \frac{23{,}52\ tn}{1{,}712\ \frac{tn}{min}} = 13{,}74\ min$$

Una aclaracion importante que podemos notar es que para aumentar la cantidad de agua que se pretende extraer, o sea ΔHd, solo es necesario aumentar el aporte de energía. Esto es si fríamente analizamos las formulas del balance de energía:

$q_1 + q_4 = q_2 + q_3$

$q_2 = \Delta Hd \times CLV$

$\Delta Hd = \frac{q_1 + q_4 - q_3}{CLV}$

Es más, matemáticamente, inclusive, sería conveniente utilizar menor cantidad de aire, o sea, disminuir q3. Obviamente, esto, en la realidad, no es así porque el mismo aire oficia de transito de la humedad. Por esta razón es que analizamos el tiempo de secado, o de residencia y la cantidad de agua que puede absorber cada m3 de aire.

Es que ambos valores están íntimamente relacionados, y también están relacionados al entorno de humedad en que se está trabajando. Por supuesto que el aire puede absorber mayores cantidades de agua, cuando estamos trabajando en rangos altos de humedad. Para trabajar por debajo del 12%, debemos resignar algunos puntos de eficiencia.

Actualmente tenemos, para llegar al 12% de humedad:

t = 13,74 mín. – 18 módulos

$$a = \frac{\Delta Hd}{V_t} = \frac{4.694.000 \frac{gr}{h}}{273.000 \frac{m^3}{h}} = \mathbf{17,19} \frac{\boldsymbol{gr_{agua}}}{\boldsymbol{m^3_{aire}}}$$

$$e = \frac{a}{t} = \frac{17{,}19 \frac{gr_{agua}}{m^3_{aire}}}{13{,}74\ min} = \mathbf{1,25} \frac{\boldsymbol{gr_{agua}}}{\boldsymbol{m^3_{aire\ x\ min}}}$$

5 Propuestas para la optimización de secado

Por lo expuesto, para mejorar el secado, debemos aumentar el calor aportado, y también incrementar la cantidad de aire para llevar la mayor cantidad de agua posible.

Cabe aclarar que la propuesta principal para mejorar el secado en plantas industriales en el reemplazo de este modelo de equipos por Secador Enfriador de platos verticales con inyección de aire DC (Dryer Cooler) que son mucho mas eficientes pero para lo cual la inversion es muy importante ya que mas allá del costo del equipamiento hay que cambiar todo el layout de la planta de procesamiento.

Vamos a avanzar con el análisis de tres situaciones y decidiremos luego del análisis por la mejor de las opciones.

Propuesta a:

Es esta proponemos agregar 2 aerotermos y un sistema de aspiración. Serían 18 aerotermos y 8 sistemas de aspiración. Siempre considerando iguales a los existentes.

Haciendo un balance de energía en estas condiciones tenemos:

$$q_1 = 102.729\ kg/h\ \times\ 0{,}42\frac{Kcal}{kg.°C}\ \times\ (90°C - 30°C) = 2.588.770\frac{Kcal}{h}$$

$$q_2 = \Delta Hd\ \times CLV = \Delta Hd \times\ 540\ \frac{kcal}{kg} = 540\ \Delta Hd$$

$$q_3 = Q \times \rho \times C_p \times \Delta t = \left(60 \times 8 \times 650\frac{m^3}{\min}\right) \times 1{,}28\ \frac{kg}{m^3} \times\ 0{,}25\frac{Kcal}{kg.°C}\ \times (62°C - 20°C)$$

$$q_3 = 4.193.280\frac{Kcal}{h}$$

Suponemos que al agregar 2 aerotermos más, la temperatura promedio del aire de salida, aumenta aproximadamente 2ºC.

$$q_4 = n° \times q_{aer} = 18 \times\ 250.000\ \frac{kcal}{h} = 4.500.000\ \frac{kcal}{h}$$

Para que el sistema tenga equilibrio térmico, debe ser:

$q_1 + q_4 = q_2 + q_3$

$$\Delta Hd = \frac{q_1 + q_4 - q_3}{540} = \frac{7.088.770\ \frac{kcal}{h} - 4.193.280\ \frac{kcal}{h}}{540} = 5.362\ \frac{kg}{h}$$

Volviendo al balance de masa, con este valor de ΔHd tenemos:

97.367 kg/h

- MG-1.039 kg/h – 1,06%
- MS-85.232 kg/h – 87,54%
- Hd-16.458 kg/h – 5.362 kg/h = 11.096 kg/h resulta **11,40%**

Estamos bajando casi un 0,6% con solo 2 aerotermos y un sistema de aspiración más.

La realidad seguramente no va a ser tan lineal. En estas condiciones:

$$a = \frac{\Delta Hd}{V_t} = \frac{5.731.000\ \frac{gr}{h}}{650\ \frac{m^3}{min} \times 8 \times 60} = \mathbf{18,37\ \frac{gr_{agua}}{m^3_{aire}}}$$

O sea que para llegar a bajar este 0,6% de humedad, tendríamos:

t = 13,74 mín. – 18 módulos

$$e = \frac{a}{t} = \frac{18,37\ \frac{gr_{agua}}{m^3_{aire}}}{13,74\ min} = \mathbf{1,34\ \frac{gr_{agua}}{m^3_{aire\ x\ min}}}$$

Como vemos estaríamos aumentando la eficiencia de “e” de 1,25 a 1,34 con pocos cambios, y aun estando en la zona más difícil que es la de bajar del 12% de humedad.

Propuesta b)

En esta propuesta se sugiere adicionar 2 cuerpos de módulos dobles, un sistema de aspiracion y 4 aerotermos, a los efectos de aumentar el tiempo de secado y la energía aportada. En ese caso, haciendo los mismos pasos anteriores tendríamos:

$$q_1 = 102.729\ kg/h\ \times\ 0{,}42\frac{Kcal}{kg.°C}\ \times\ (90°C - 30°C) = 2.588.770\frac{Kcal}{h}$$

$$q_2 = \Delta Hd\ \times CLV = \Delta Hd \times\ 540\ \frac{kcal}{kg} = 540\ \Delta Hd$$

$$q_3 = Q \times \rho \times C_p \times \Delta t = \left(60 \times 8 \times 650\frac{m^3}{\min}\right) \times 1{,}28\ \frac{kg}{m^3} \times\ 0{,}25\frac{Kcal}{kg.°C}\ \times (64°C - 20°C)$$

$$q_3 = 4.392.960\frac{kcal}{h}$$

Suponemos que al agregar 4 aerotermos mas, la temperatura promedio del aire de salida, aumenta aproximadamente 4ºC.

$$q_4 = n° \times q_{ae}\ = 20 \times\ 250.000\ \frac{kcal}{h} = 5.000.000\ \frac{kcal}{h}$$

Para que el sistema tenga equilibrio térmico, debe ser:

$$q_1 + q_4 = q_2 + q_3$$

$$\Delta Hd = \frac{q_1 + q_4 - q_3}{540} = \frac{7.588.770\ \frac{kcal}{h} - 4.392.960\ \frac{kcal}{h}}{540} = 5.918\ \frac{kg}{h}$$

Volviendo al balance de masa, con este valor de ΔHd tenemos:

96.811 kg/h
- MG-1.039 kg/h – 1,07%
- MS-85.232 kg/h – 88,04%
- Hd-16.458 kg/h – 5.918 kg/h = 10.540 kg/h resulta **10,89%**

Para 10,89 % de humedad:

t= 16,78 mín

$$a = \frac{\Delta Hd}{V_t} = \frac{5.918.000\ \frac{gr}{h}}{650\ \frac{m^3}{min} \times 8 \times 60} = \mathbf{18,97}\ \frac{\boldsymbol{gr_{agua}}}{\boldsymbol{m^3_{aire}}}$$

Resulta:

$$e = \frac{a}{t} = \frac{18,97\ \frac{gr_{agua}}{m^3_{aire}}}{16,78\ min} = \mathbf{1,13}\ \frac{\boldsymbol{gr_{agua}}}{\boldsymbol{m^3_{aire\ x\ min}}}$$

Parece más razonable, que el valor de la propuesta a) , sin embargo la eficiencia baja.

Propuesta c)

Como alternativa, haremos el desarrollo para el agregado de solo 1 cuerpo de modulo doble, y solo dos aerotermos más.

$$q_1 = 102.729\ kg/h\ \times\ 0{,}42\frac{Kcal}{kg.°C}\ \times\ (90°C - 30°C) = 2.588.770\frac{Kcal}{h}$$

$$q_2 = \Delta Hd\ \times CLV = \Delta Hd \times\ 540\ \frac{kcal}{kg} = 540\ \Delta Hd$$

$$q_3 = Q \times \rho \times C_p \times \Delta t = \left(60 \times 8 \times 650\frac{m^3}{\min}\right) \times 1{,}28\ \frac{kg}{m^3} \times\ 0{,}25\frac{Kcal}{kg.°C}\ \times (62°C - 20°C)$$

$$q_3 = 4.193.280\frac{kcal}{h}$$

$$q_4 = n° \times q_{aer} = 18 \times\ 250.000\ \frac{kcal}{h} = 4.500.000\ \frac{kcal}{h}$$

Para que el sistema tenga equilibrio térmico, debe ser:

$$q_1 + q_4 = q_2 + q_3$$

$$\Delta Hd = \frac{q_1 + q_4 - q_3}{540} = \frac{7.088.770\ \frac{kcal}{h} - 4.193.280\ \frac{kcal}{h}}{540} = 5.362\ \frac{kg}{h}$$

Volviendo al balance de masa, con este valor de ΔHd tenemos:

97.367 kg/h

- MG-1.039 kg/h – 1,06%
- MS-85.232 kg/h – 87,54%
- Hd-16.458 kg/h – 5.362 kg/h = 11.096 kg/h resulta **11,40%**

En estas condiciones:

$$a = \frac{\Delta Hd}{V_t} = \frac{5.362.000\ \frac{gr}{h}}{650\ \frac{m^3}{min} \times 8 \times 60} = \mathbf{17,18}\ \frac{\boldsymbol{gr_{agua}}}{\boldsymbol{m^3_{aire}}}$$

t = 15,25 mín. – 20 módulos

$$a = \mathbf{17,18}\ \frac{\boldsymbol{gr_{agua}}}{\boldsymbol{m^3_{aire}}}$$

Resulta:

$$e = \frac{a}{t} = \frac{17{,}18\ \frac{gr_{agua}}{m^3_{aire}}}{15{,}25\ min} = \mathbf{1,13}\ \frac{\boldsymbol{gr_{agua}}}{\boldsymbol{m^3_{aire\ x\ min}}}$$

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

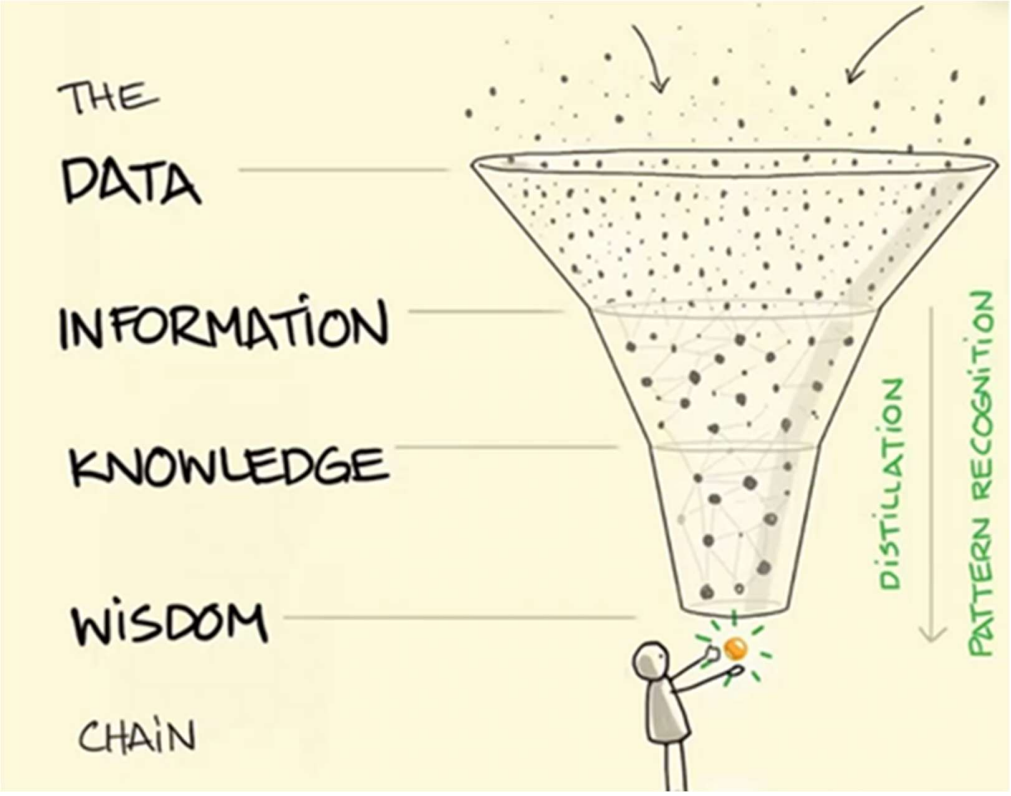
Seguramente se va a lograr una mejora para cualquiera de las propuestas. Lo que sucede, es que en el caso a), la mejora puede ser tan pequeña, que no se aprecie, o se confunda con los errores de medición. Obviamente, y lo denota el valor “e”, mejoraríamos con la opción c). Pero sin lugar a dudas, la que nos puede brindar posibilidades de asegurar esta mejora de 1%, es la opción b).

Por lo que si tenemos que definir con cuales de las opciones tenemos que avanzar definitivamente es con la alternativa b) ya que con esta logramos el objetivo principal que es reducir el porcentaje de humedad en harina.

Nos cabe aclarar, como ya lo comentamos, que la mejor de las alternativas sería optar por un cambio de tecnologia e instalar un equipo de platos verticales con inyección de aire (DC), explicado en pagina 49, pero para ellos estamos hablando de una inversión cercana a los 10 millones de dólares, en cambio las propuestas analizadas comprenden una inversión no mayor a 200 mil dólares, el cual es un monto que cualquiera de las empresas que estan en el mercado podría afrontar.

Recomendaciones

En la vida laboral, llevamos trabajado muchos años y aprendimos muchas cosas técnicas, morales y las más importantes son esas que te llegan a tocar tu forma de encarar las diferentes oportunidades que te da la vida.
Hay una frase de Seneca muy famosa que dice *“la suerte es donde confluyen la preparacion y la oportunidad”.* Hay que prepararse, porque el que se prepara y se forma es capaz de percibir mucho mejor las oportunidades.
Uno se cruza con muchas personas muy capaces y algunas tienen la capacidad de compartir y enseñarte mucho más de lo que creemos.
A nivel profesional, siempre que hagamos algo *“debemos aprender”*, esa es la gran diferencia para que el día de mañana lo podamos hacer “valer”.
Y queremos dejar un mensaje más.



En cualquiera de las partes de este grafico es donde tenemos la responsabilidad de actuar nosotros, hoy en día todos tenemos la posibilidad de tener acceso a mucha información, esta en las manos de las personas preparadas aportar sus conocimientos y sabiduría para poder sumar en la cadena de valor que elijamos.

Bibliografía

ASAGA. (Noviembre 2014 – Tomo XXIV – Vol. 3 – Año 24). Contenido de proteínas de la semilla de soja. *Revista Tecnica A&G N° 96 - ACEITES & GRASAS* .

ASAGA. (Noviembre 2019 – Tomo XXIX – Vol. 4 – Año 29). Proteína en la harina de Soja. *Revista Tecnica A&G N° 117* .

AUTINO, H. (2003). *Curso de principios básicos del Proceso de Extracción por Solvente.* Rio Cuarto.

AUTINO, H. (2010). Curso ampliado de Crushing de Soja . *Empresa Bunge Argentina .*

AUTINO, H. (Agosto 2016). Curso avanzado sobre Cushing de Semillas Oleaginosas. *Fundamentos de la Extraccion por Solvente.*

CAPURRO, I. C. (Junio 2009). Curso avanzado sobre Cushing de Semillas Oleaginosas. *Semillas Oleaginosas Tradicionales.*

CARLETTI, I. M. (Junio 2009). Curso avanzado sobre Cushing de Semillas Oleaginosas. *Conceptos Básicos Sobre el Secado y Enfriado de Harinas.* Rosario.

DEMARCO, A. (Agosto 2016). Curso avanzado sobre Cushing de Semillas Oleaginosas 9° Edicion. *Tecnología de Desolventización y Secado / Enfriado de Harinas.*

Anexo A: Planos Secador Enfriador Allocco

Plano n°1: Croquis Secador Enfriador Allocco

Plano n°2: Conjunto Secador Enfriador Allocco existente

Plano n°3: Conjunto Secador Enfriador Allocco Mejora propuesta

Plano N°4 Conjunto modulo motriz Secador Allocco

Plano N°5 Conjunto mando motriz Secador Allocco

Plano N°6 Eje motriz Secador Allocco

Plano N°7 Conjunto modulo tensor Secador Allocco

Plano N°8 Regulación de manto Secador Allocco

Plano N°9 Típico de cadena de arrastre Secador Allocco

Plano N°10 Cortina inferior Secador Allocco

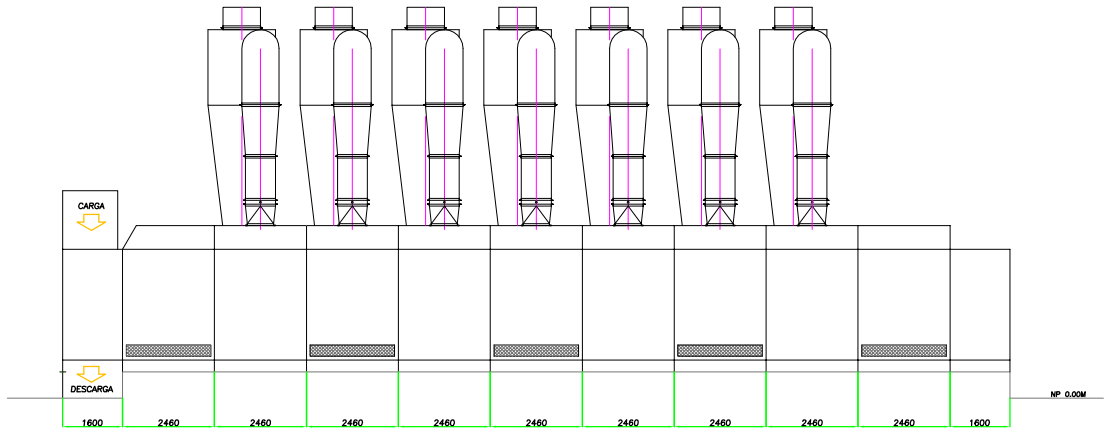
Plano N°11 Cortina superior Secador Allocco

Plano N°12 Ventilador Secador Allocco

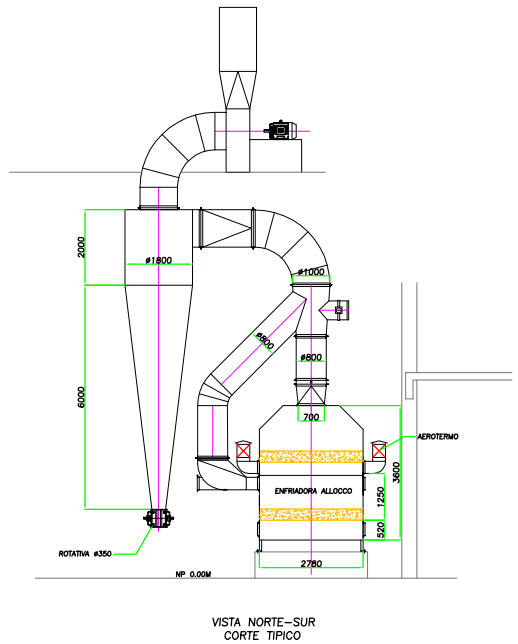
Plano n°13: Módulo de Aerotermo

Plano n°14: Válvula Rotativa Secador Allocco

Plano n°15: Ciclón Secador Allocco

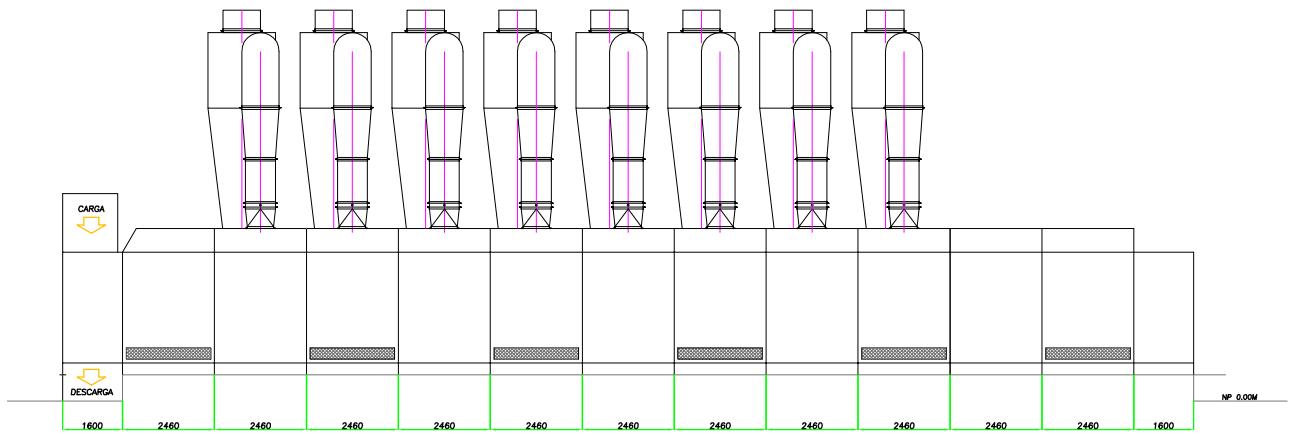


VISTA ELEVACION OESTE–ESTE

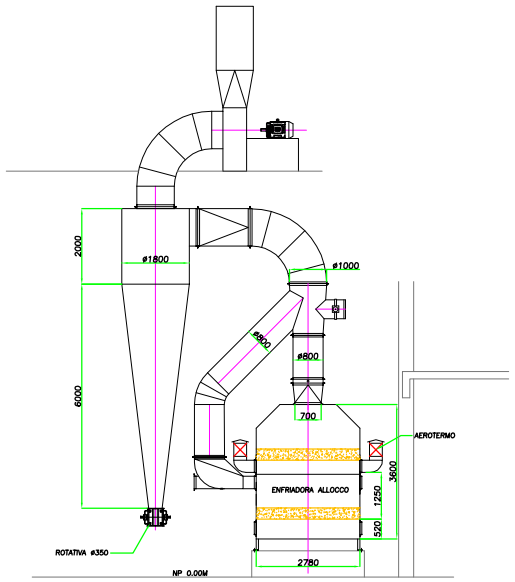


VISTA NORTE–SUR
CORTE TIPICO

ENFRIADORA DE HARINA ALLOCCO (Existente)



VISTA ELEVACION OESTE–ESTE



VISTA NORTE–SUR
CORTE TIPICO

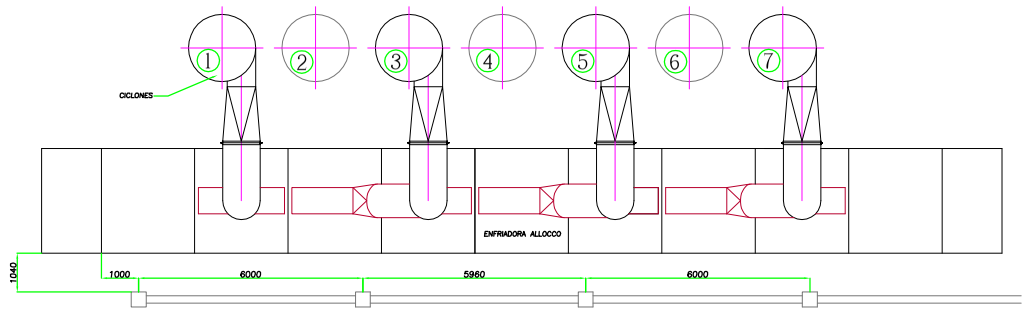
ENFRIADORA DE HARINA ALLOCCO (Modificado)

					FECHA	NOMBRE
				DIBUJO	20.06.23	FCR
				REVISO	20.06.23	AL
				APROBO	20.06.23	.

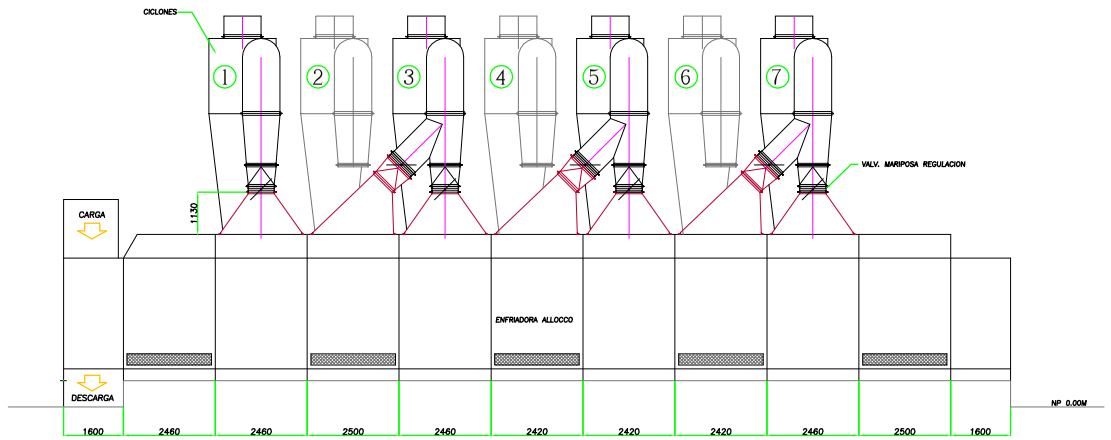
PLANO_N°01
MODIFICACION_PROPUESTA

ESCALA

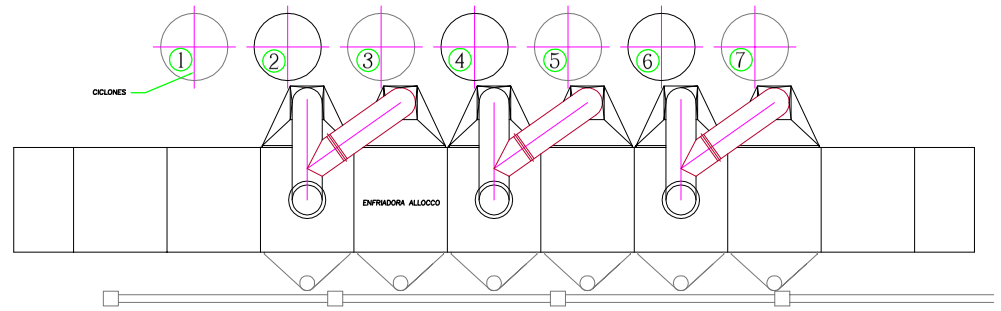
Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE	ARCHIVO: .



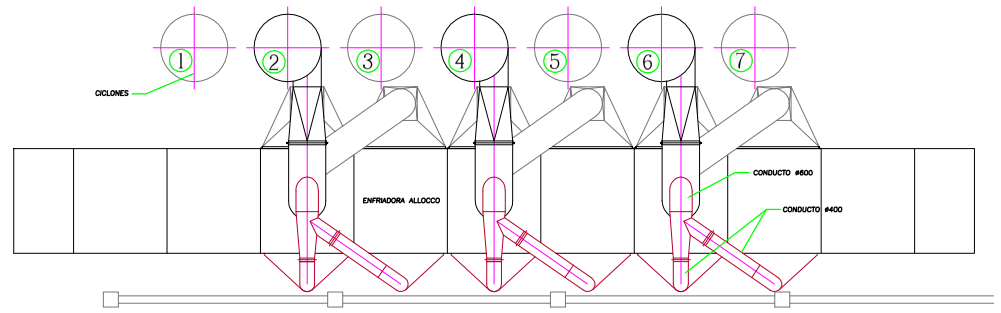
ASPIRACION CICLONES 1–3–5–7 A PISO SUPERIOR
VISTA EN PLANTA



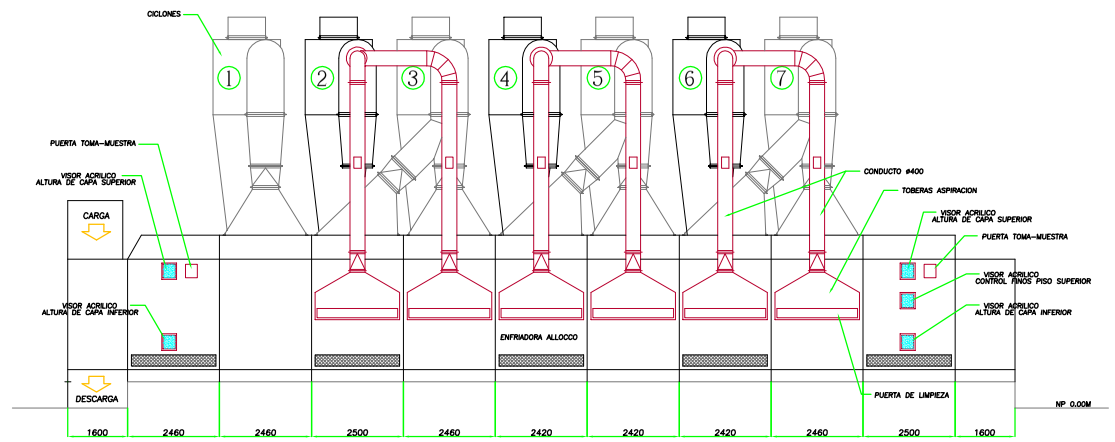
ASPIRACION CICLONES 1–3–5–7 A PISO SUPERIOR
VISTA ELEVACION OESTE–ESTE



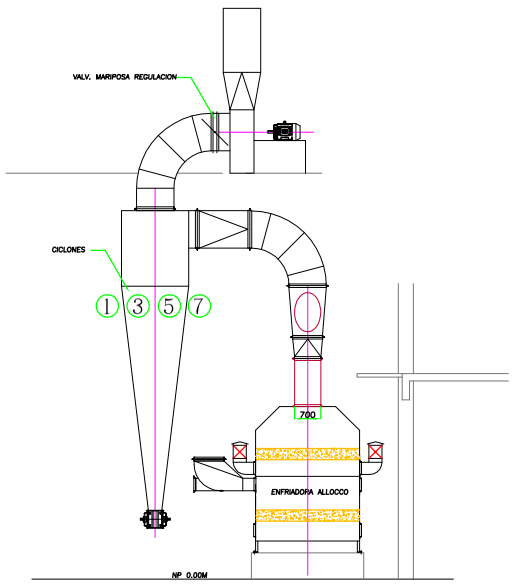
ASPIRACION CICLONES 2–4–6 A PISO INFERIOR LATERAL ESTE
VISTA EN PLANTA



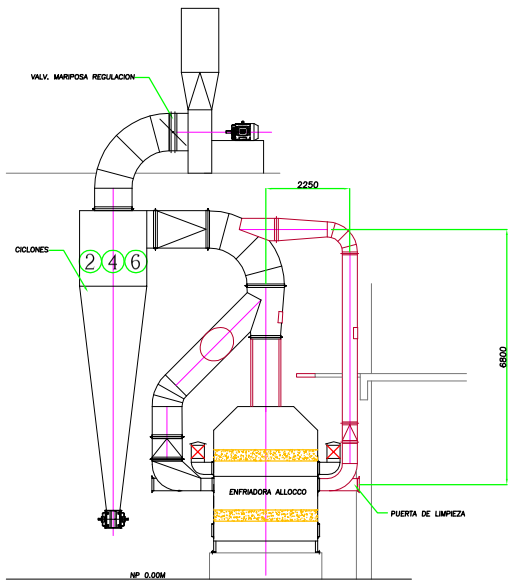
ASPIRACION CICLONES 2–4–6 A PISO INFERIOR LATERAL OESTE
VISTA EN PLANTA



ASPIRACION CICLONES 2–4–6 A PISO INFERIOR LATERAL OESTE
VISTA ELEVACION OESTE–ESTE



ASPIRACION CICLONES 1–3–5–7 A PISO SUPERIOR
VISTA ELEVACION NORTE–SUR



ASPIRACION CICLONES 2–4–6 A PISO INFERIOR LATERAL ESTE Y OESTE
VISTA ELEVACION NORTE–SUR

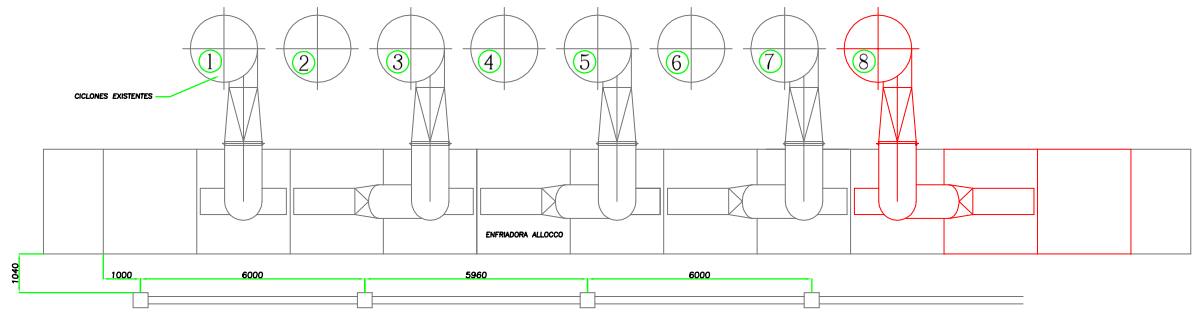
					FECHA	NOMBRE
				DIBUJO	20.06.23	FCR
				REVISO	20.06.23	AL
				APROBO	20.06.23	.

PLANO_N°02
SECADOR_EXISTENTE

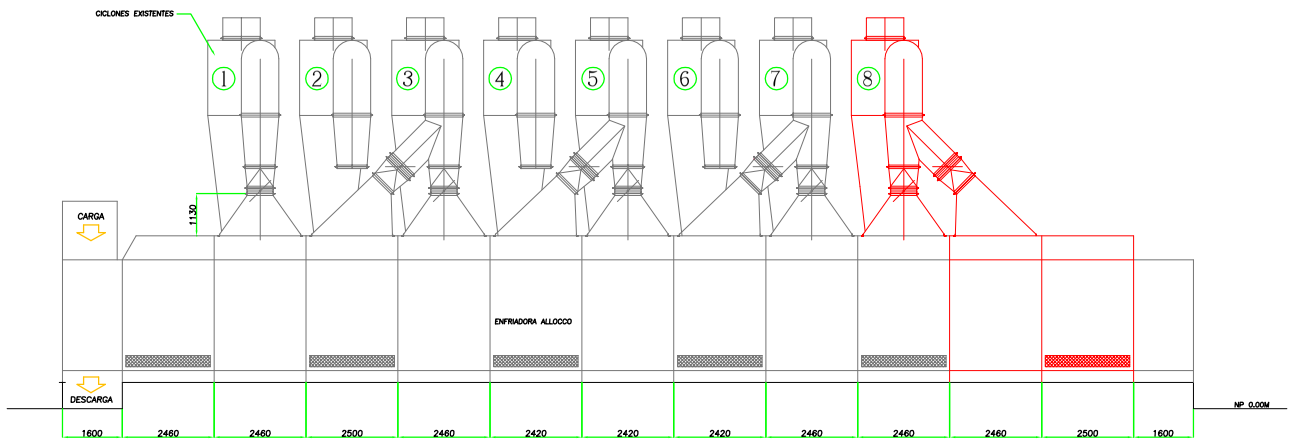
ESCALA

Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE

ARCHIVO: .



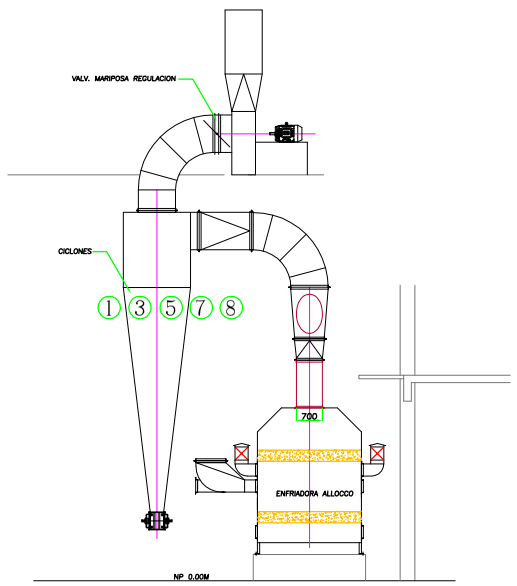
ASPIRACION CICLONES 1–3–5–7–8 A PISO SUPERIOR
VISTA EN PLANTA



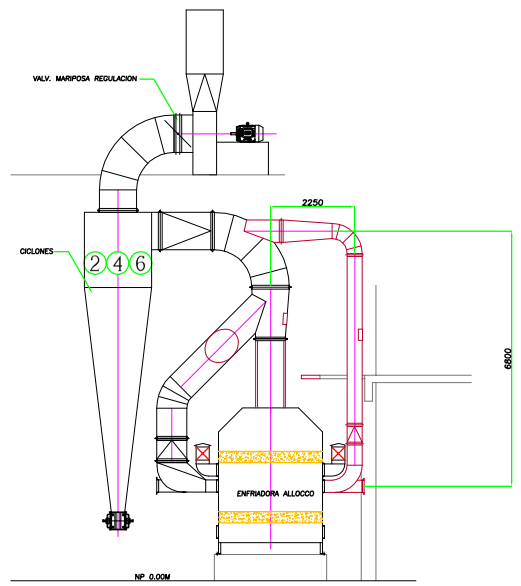
ASPIRACION CICLONES 1–3–5–7–8 A PISO SUPERIOR
VISTA ELEVACION OESTE–ESTE

NUEVO

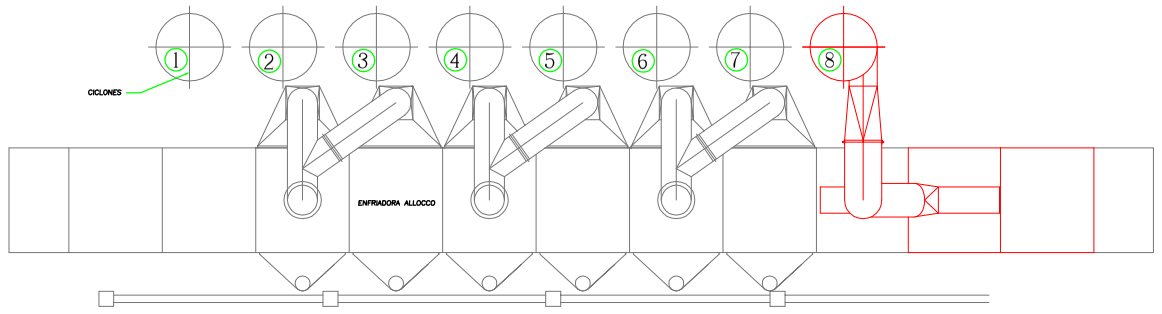
EXISTENTE



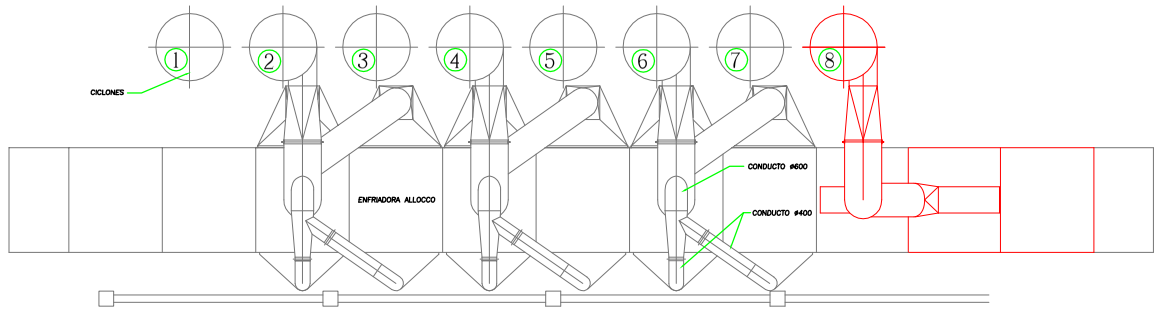
ASPIRACION CICLONES 1–3–5–7–8 A PISO SUPERIOR
VISTA ELEVACION NORTE–SUR



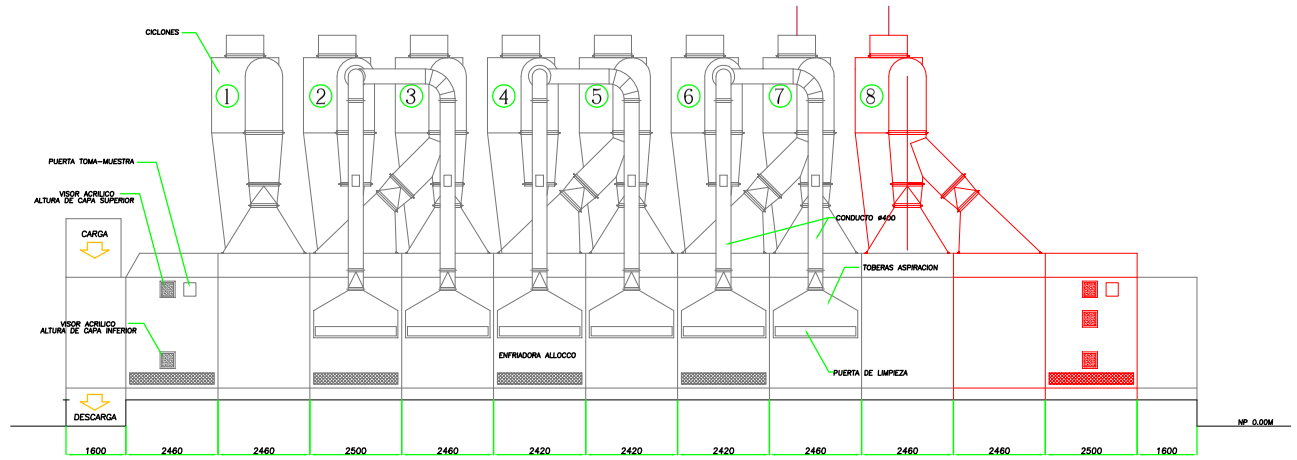
ASPIRACION CICLONES 2–4–6 A PISO INFERIOR LATERAL ESTE Y OESTE
VISTA ELEVACION NORTE–SUR



ASPIRACION CICLONES 2–4–6 A PISO INFERIOR LATERAL ESTE
VISTA EN PLANTA



ASPIRACION CICLONES 2–4–6 A PISO INFERIOR LATERAL OESTE
VISTA EN PLANTA



ASPIRACION CICLONES 2–4–6 A PISO INFERIOR LATERAL OESTE
VISTA ELEVACION OESTE–ESTE

NUEVO

EXISTENTE

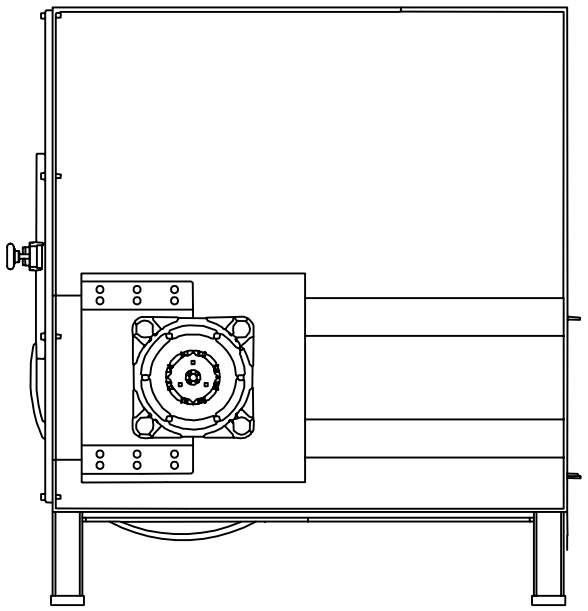
					FECHA	NOMBRE
				DIBUJO	20.06.23	FCR
				REVISO	20.06.23	AL
				APROBO	20.06.23	.

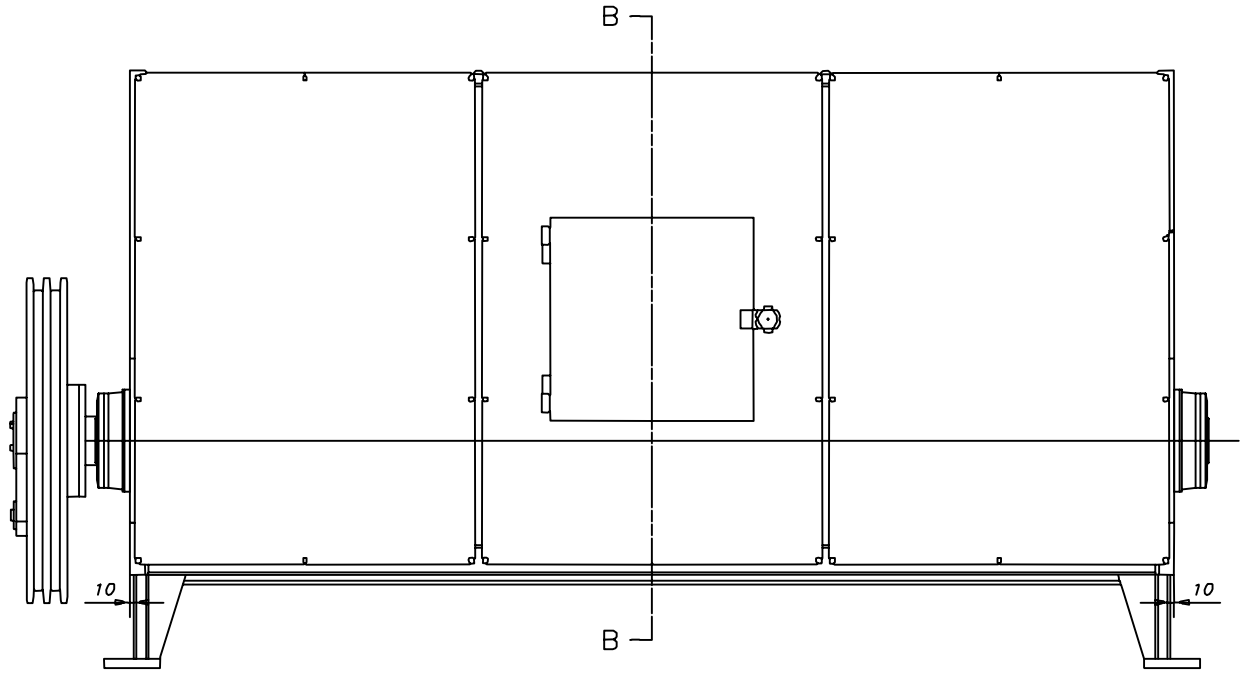
PLANO_N°03
MEJORA_PROPUESTA

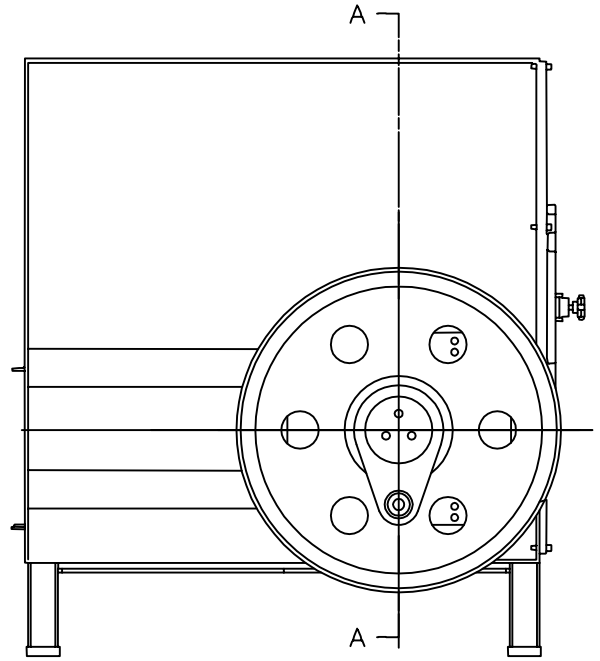
ESCALA

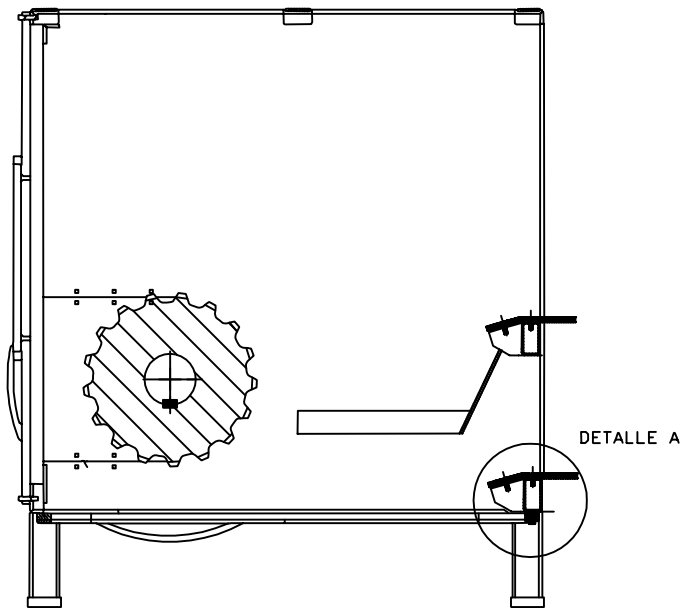
Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE

ARCHIVO: .

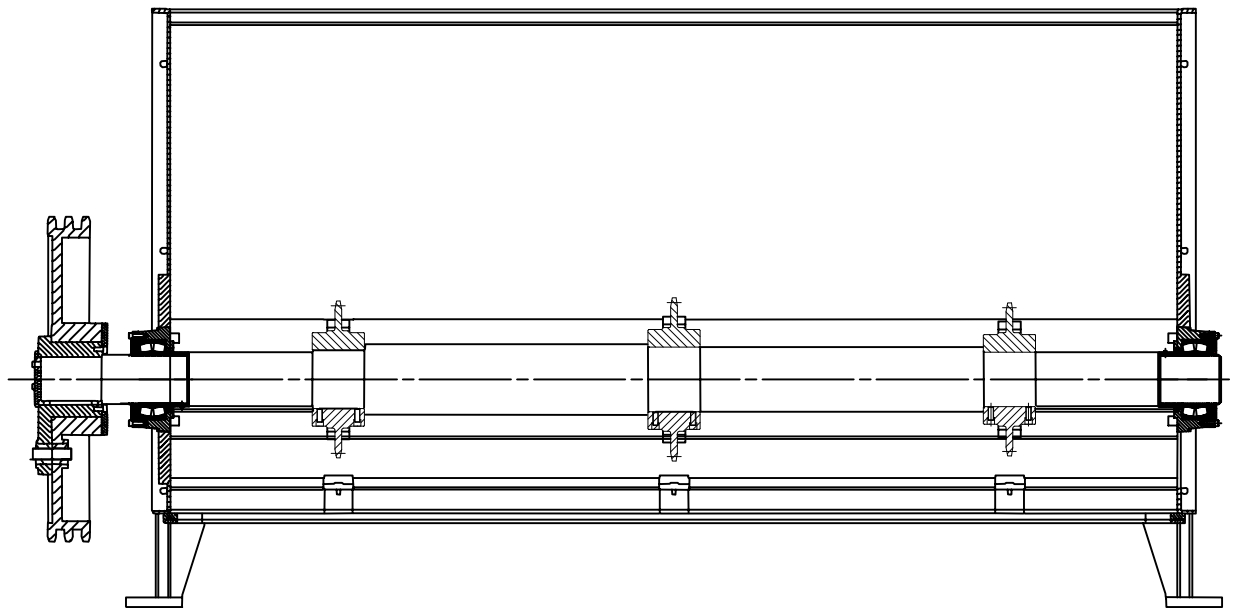




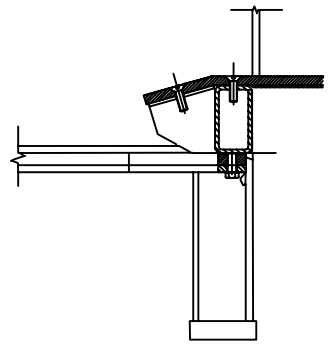




SECCION B-B

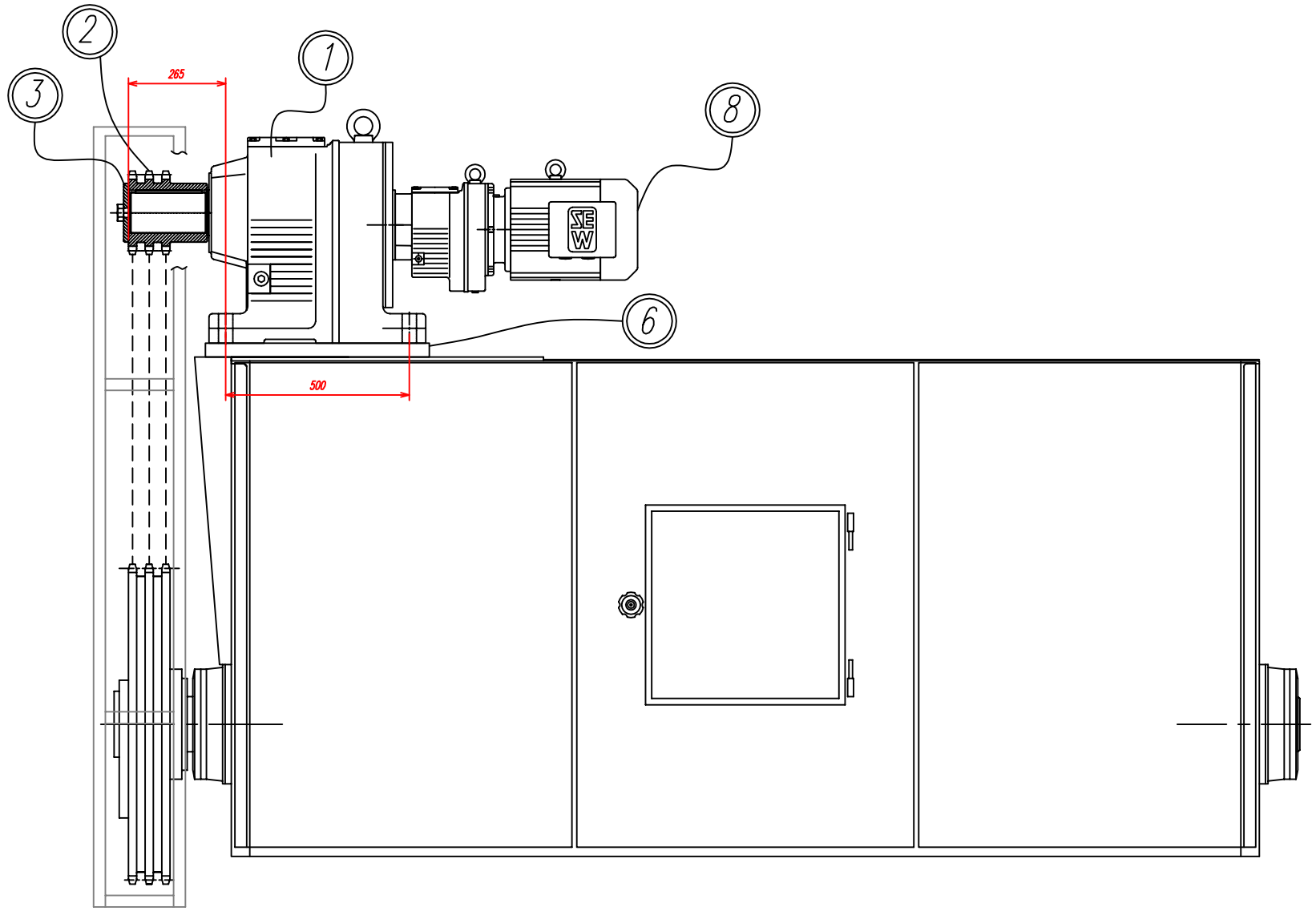


SECCION A-A



DETALLE A

								FECHA	NOMBRE	PLANO_N°04 CONJ_CABEZAL_MOTRIZ
							DIBUJO	20.06.23	AL	
							REVISO	20.06.23	FCR	
							APROBO	20.06.23	.	
										ESCALA
										PLANO: .
Nº		DETALLE		FECHA	NOMBRE	ARCHIVO: ARCHIVO				



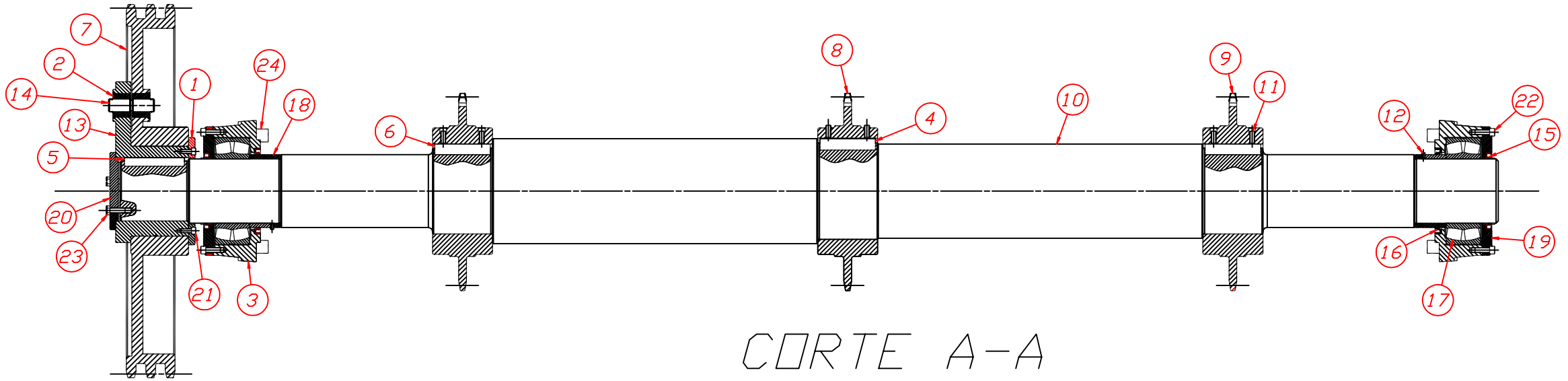
It	Nombre	Cant.	Pieza	Observ.
8	Motor Eléctrico IP55, 4 KW X 1500RPM B5	1		
7	Conjunto tensor	1		
6	Placa base de mando	1		
5	Cadena triple hilera ASA 120-3			5m
4	Cubrecadena	1		
3	Tapa piñon	1		
2	Piñon motriz	1		
1	Reductor SEW R147R87GAM112 M4 I: 280	1		

		FECHA	NOMBRE
DIBUJO		20.06.23	FCR
REVISO		20.06.23	AL
APROBO		20.06.23	.

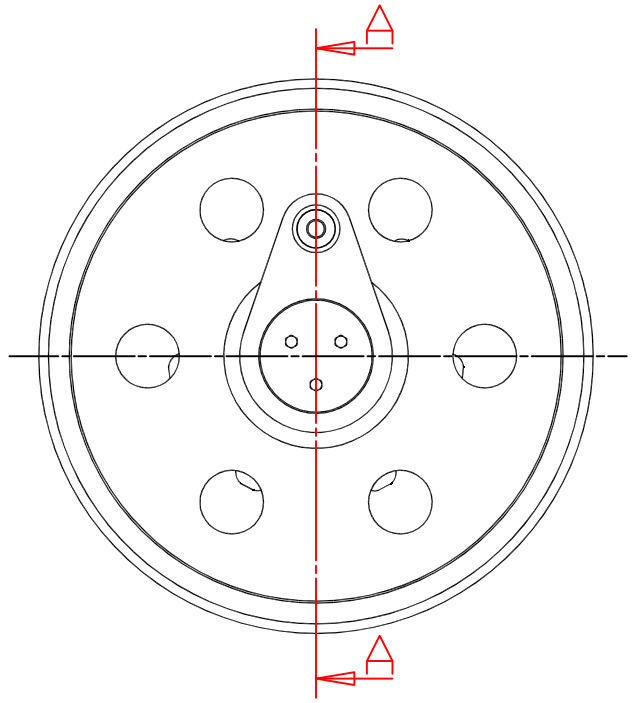
Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE
			ARCHIVO: ARCHIVO

PLANO_N°5
CONJUNTO_CABEZAL_MOTRIZ

ESCALA



CORTE A-A



24	Tornillo Exag. M30 x 70 G 5	8		
23	Tornillo Exag. M12 x 35	3		
22	Tornillo Allem M12 x 35 mm	12		
21	Tornillo Allem M10 x25 mm	6		
20	Tapa	1		SAE 1020
19	Tapa	2		SAE 120
18	Suplemento	2		SAE 1020
17	Rodamiento Rotula 23130 cc/w33	2		
16	Reten 2616 Ba 170 x 200 x 15	2		
15	Reten 2153 Aa 150 x 180 x 13	2		
14	Perno Fusible	1		SAE 1045
13	Manchon Portafusible	1		SAE 1020
12	Gusano M8 x 15	6		
11	Gusano M12 x 25 14.9	12		
10	Eje Motriz	1		SAE 4140
9	Corona Lateral	2		SAE 0022
8	Corona Central	1		SAE 0022
7	Corona	1		SAE 1020
6	Chaveta 45 x 130 x 25	2		SAE 1045
5	Chaveta 140 x 36 x 20	1		SAE 1050
4	Chaveta 130 x 50 x 27	1		SAE 1050
3	Caja Rodamiento	2		ASTM 6545
2	Buje Porta Fusible	2		ACERO BOR
1	Anillo Tapa	1		SAE 1050
It	Nombre	Can	Pieza	Material

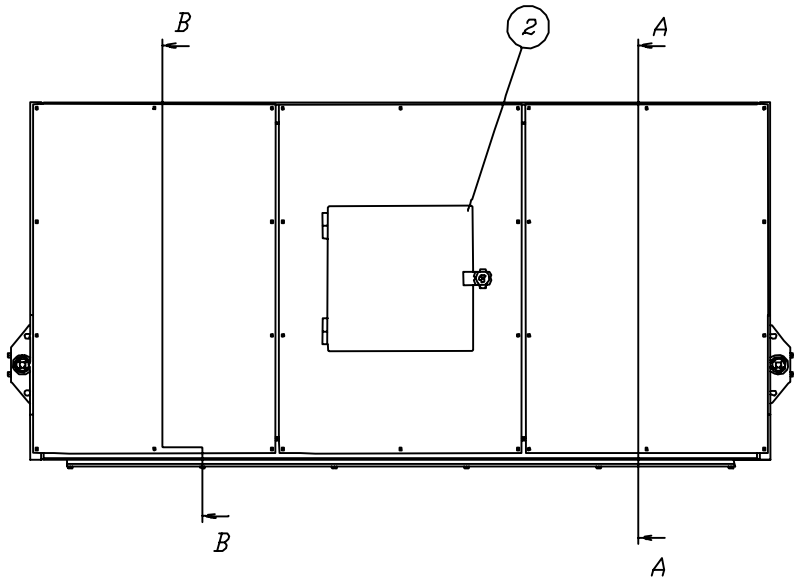
	FECHA	NOMBRE
DIBUJO	20.06.23	FCR
REVISO	20.06.23	AL
APROBO	20.06.23	.

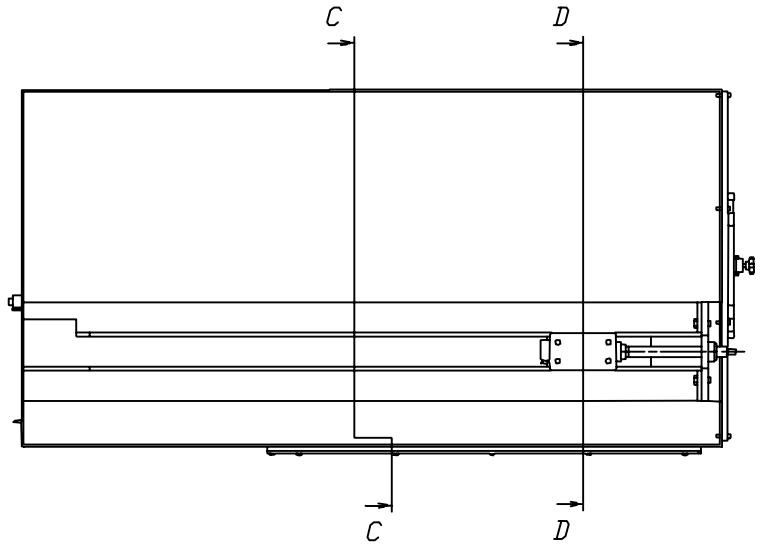
PLANO_N°6
EJE_MOTRIZ

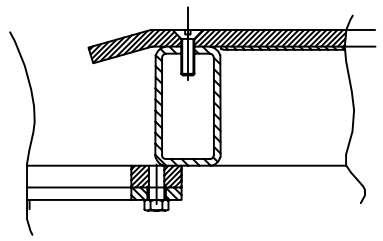
ESCALA

Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE

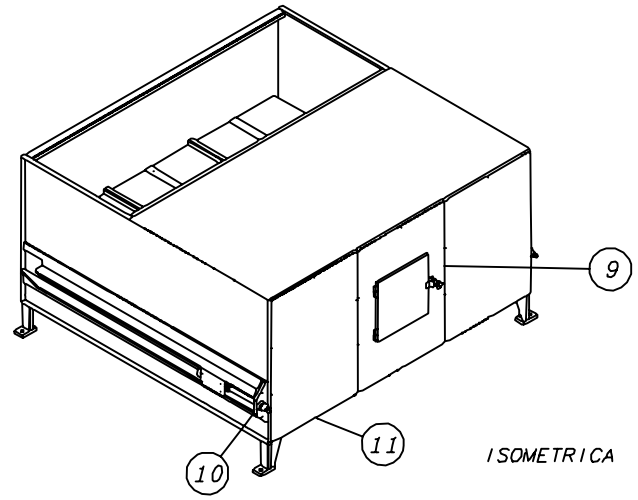
ARCHIVO: ARCHIVO



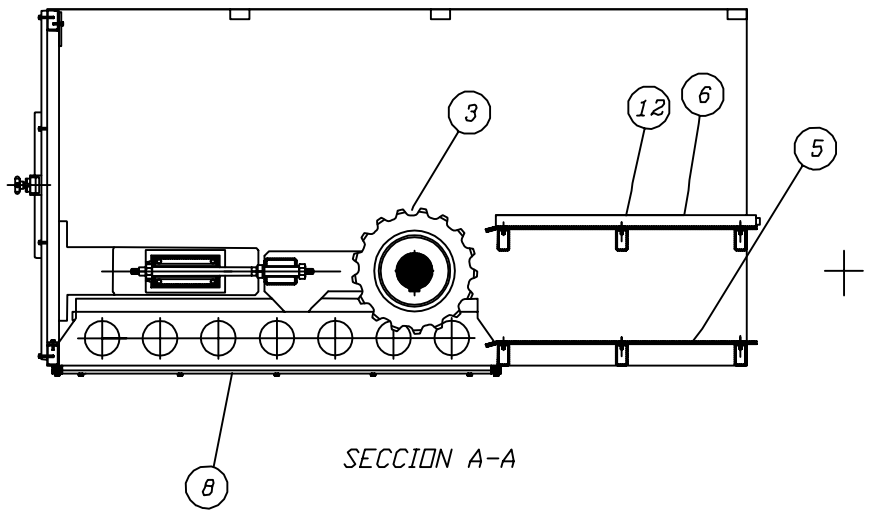




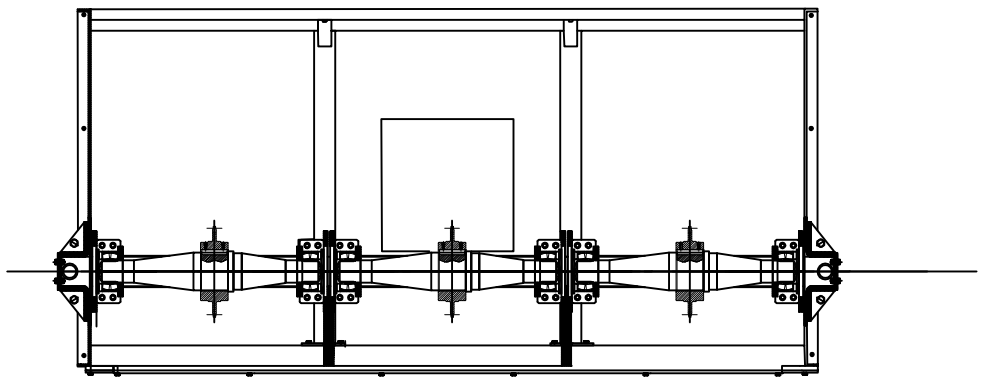
DETALLE A



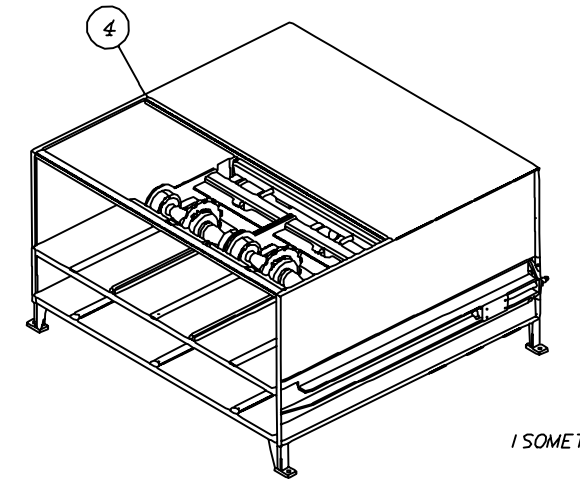
ISOMETRICA



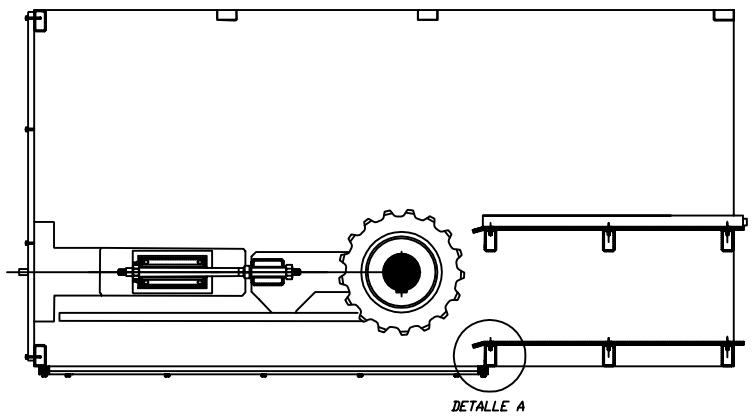
SECCION A-A



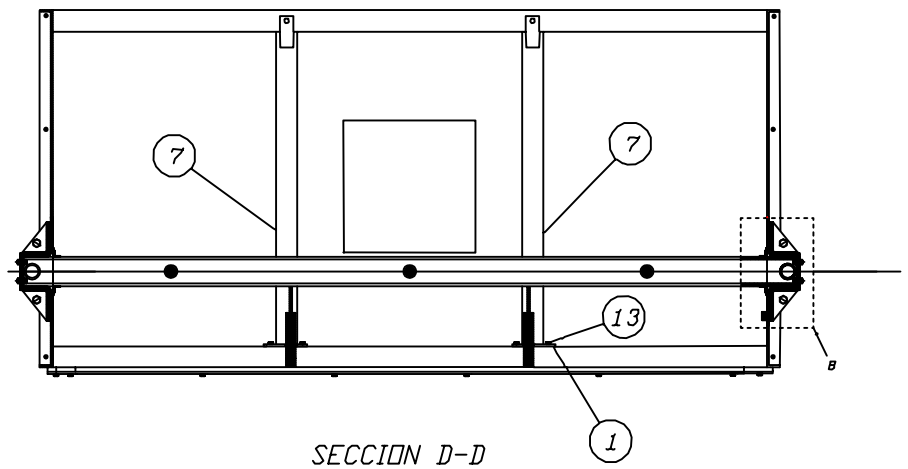
SECCION C-C



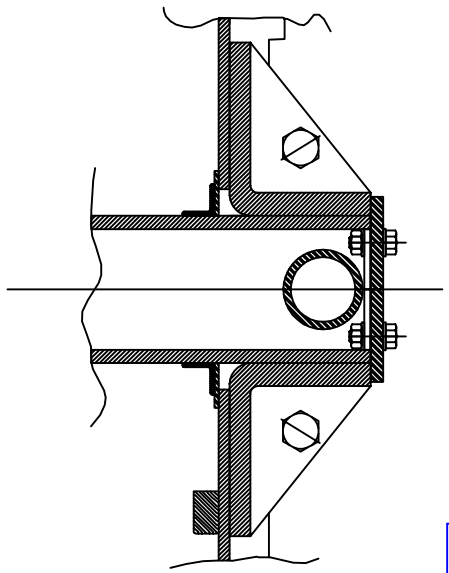
ISOMETRICA



SECCION B-B

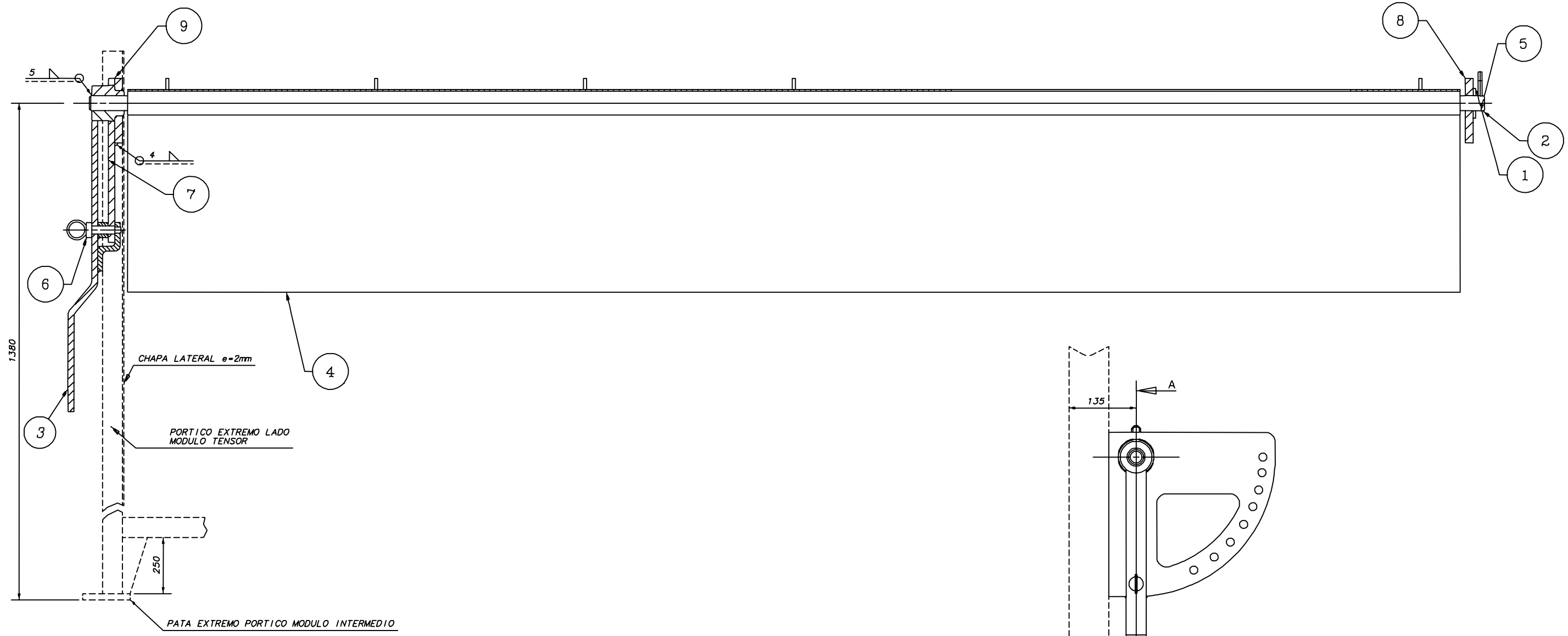


SECCION D-D



DETALLE B
ESC. : 1.2

							FECHA	NOMBRE	PLANO_N°07 CONJ_CABEZAL_TENSOR
						DIBUJO	20.06.23	AL	
						REVISO	20.06.23	FCR	
						APROBO	20.06.23	.	
									ESCALA
									PLANO: .
Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE		ARCHIVO: ARCHIVO				



3-SECCION A-A

2-ALZADA

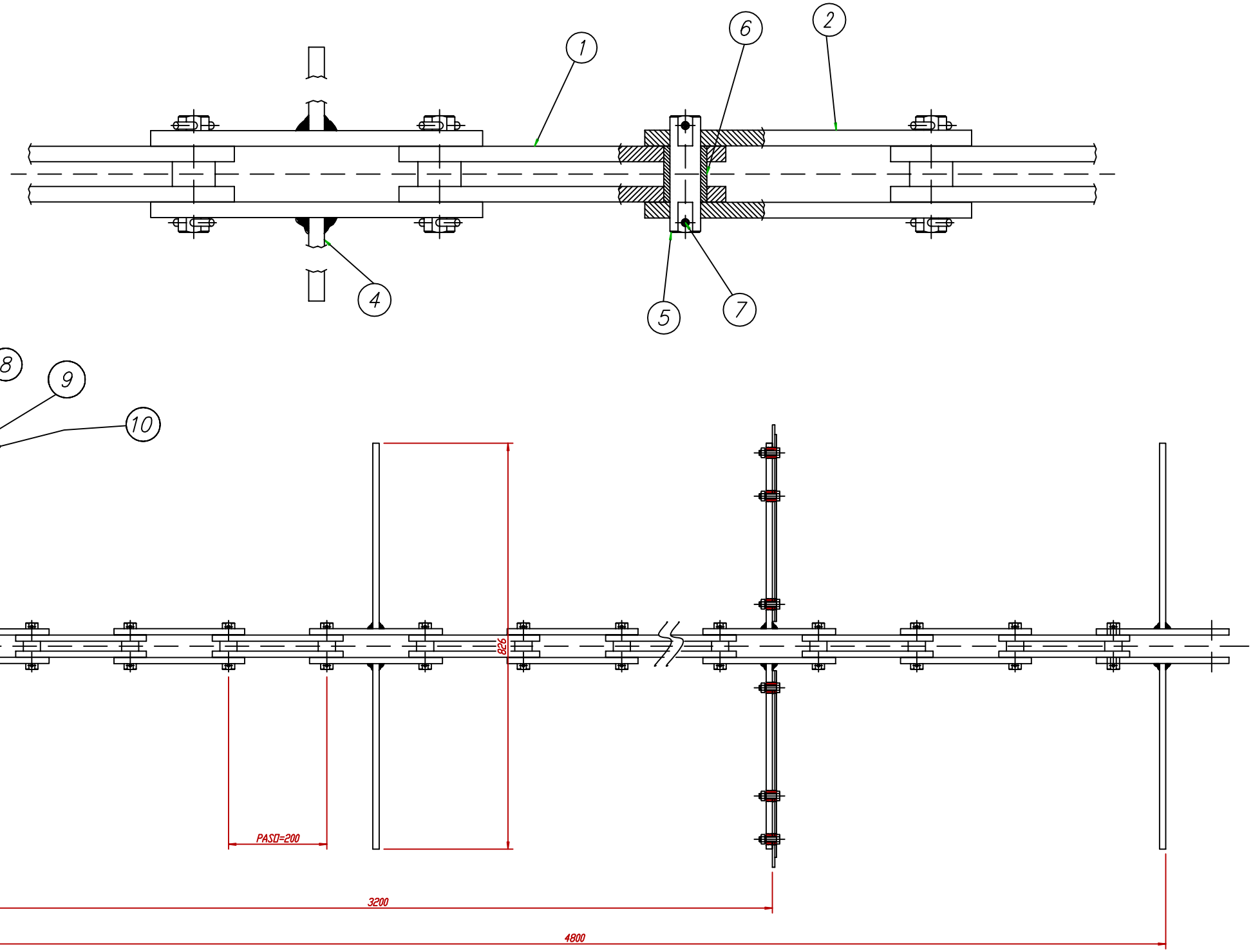
8	Tapa Lateral	1		AISI 304		PART
9	Tapa Lateral	1		AISI 304		PART
7	Posicionador de Pantalla	1		SAE 1020		PART
6	Perno Traba	1		SAE 1050		PART
5	Pasador Aleta 8 x 70 mm	1				PART
4	Pantalla	1		AISI 304		PART
3	Manija	1		SAE 1020		PART
2	Eje	1		SAE 1020		PART
1	Arandela Plana 1 1/4"	1				PART
It	Nombre	Can	Pieza	Material	Rev	Tipo

					FECHA	NOMBRE
				DIBUJO	20.06.23	FCR
				REVISO	20.06.23	AL
				APROBO	20.06.23	.

PLANO_N°08
REGULACION_MANTO

ESCALA

Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE	ARCHIVO: ARCHIVO



POS.	DENOMINACION	CANT.	MATERIAL	CODIGO	OBSERVACIONES
12	ARAND. GROWER	6	GRADO 5		Ø10
11	TUERCA	6	GRADO 5		M10
10	TORN. CAB. HEX.	6	GRADO 5		M10x35
9	RESPALDO	2	SAE 1020		
8	GOMA	2	GOMA TELADA		
7	TRABA	48	AISI 304		
6	BUJE	24	SAE 1212		
5	PERNO	24	SAE 4140		
4	ESLABON ARRASTRE	10	SAE 1045		
3	ESL. ARRASTRE	2	SAE 1045		PERFORADO
2	ESLABON EXTERIOR	12	SAE 1045		
1	ESLABON INTERIOR	24	SAE 1045		

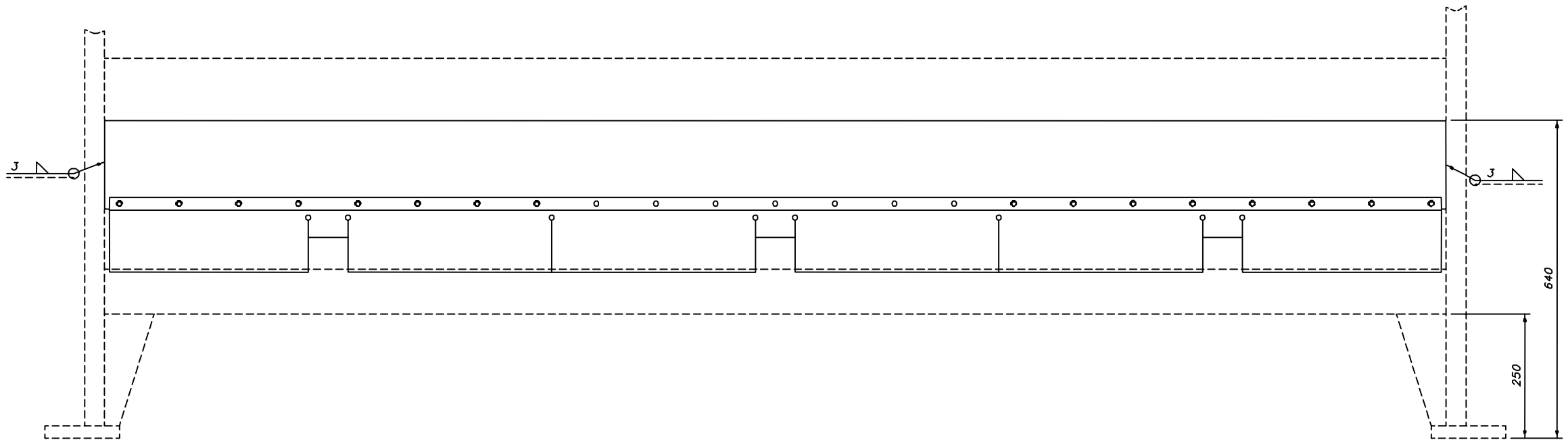
					FECHA	NOMBRE
				DIBUJO	20.06.23	FCR
				REVISO	20.06.23	AL
				APROBO	20.06.23	.

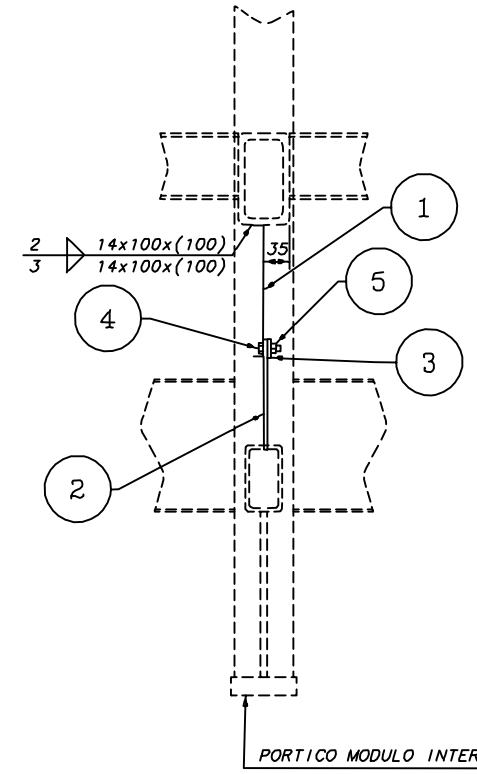
PLANO_N°09
CADENA_ARRASTRE

ESCALA

Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE
			ARCHIVO: ARCHIVO

CIRCULACION DEL MATERIAL





NOTA:
- LAS CANTIDADES INDICADAS CORRESPONDEN A UN PORTICO

It	Nombre	Can	Pieza	Material	Rev	Tipo
5	Tuerca M8 (AISI)	23				PART
4	Tornillo Exg M8 x 25 (AISI 304)	23				PART
3	Mordaza Larga	1		SAE 1020		PART
2	Goma p/cortina Retorno	1				PART
1	Cortina de Retorno	1		SAE 1020		PART

OBSERVACIONES:

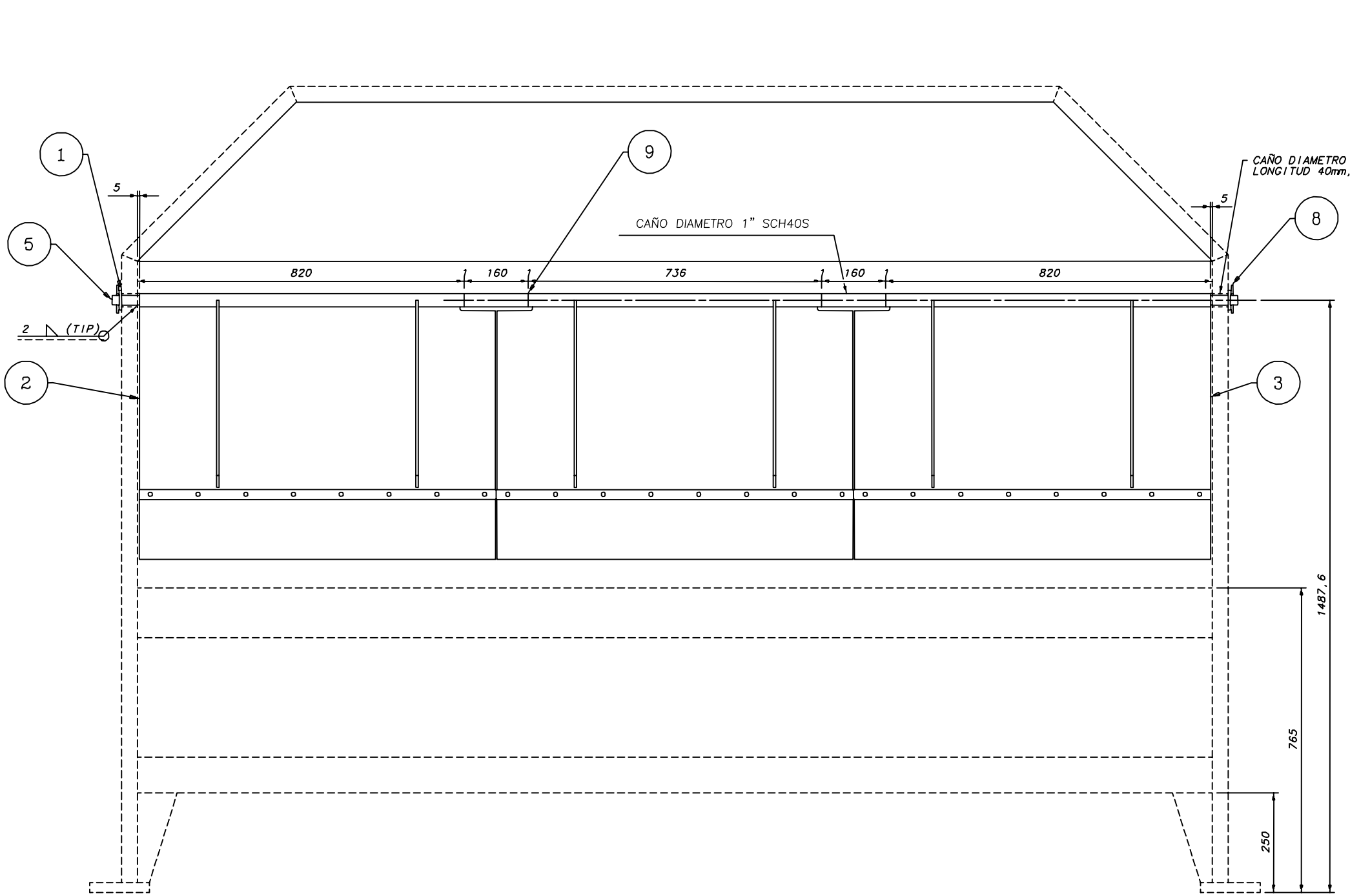
					FECHA	NOMBRE
				DIBUJO		
				REVISO		
				APROBO		
Nº				ARCHIVO:		

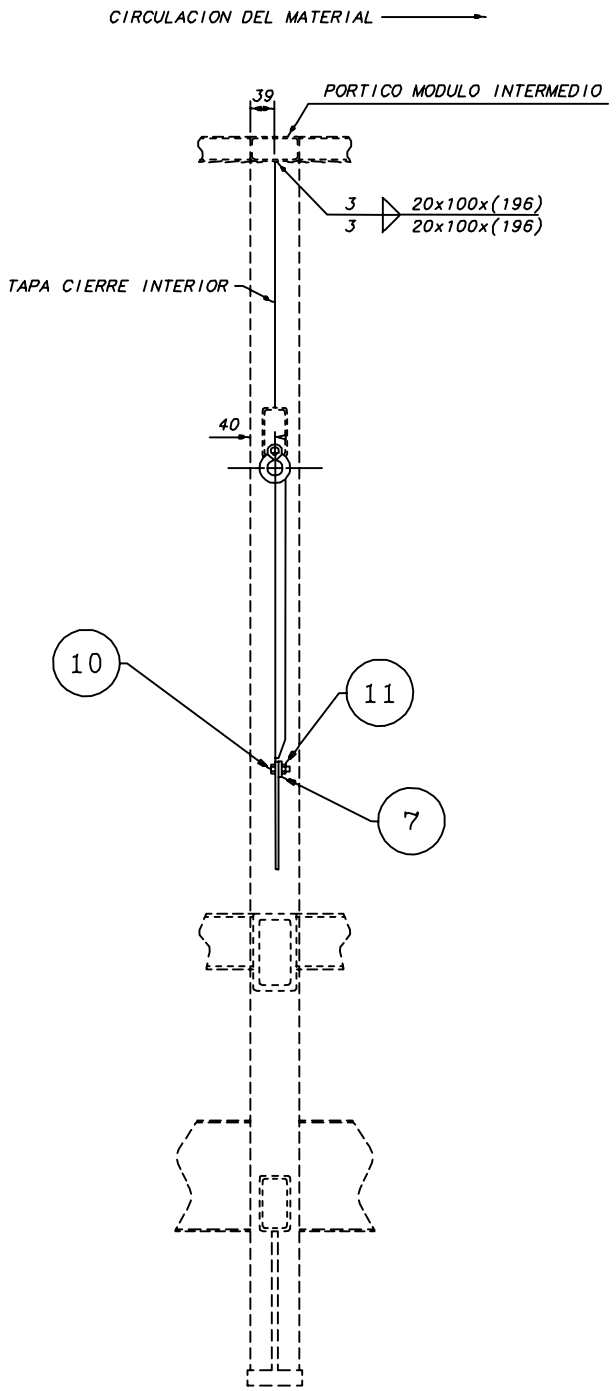
DENOMINACION:

PLANO_N°10

PLANO:

ESCALA 1:150





11	Tuerca M8 (AISI)	24				PART
10	Tornillo Exg. M8 x 25 (AISI 304)	24				PART
9	Soporte	2		AISI 304		PART
8	Pasador Aleta 5 x 55 mm	2				PART
7	Mordaza Corta	3		SAE 1020		PART
6	Goma p/cortina Manto	3				PART
5	Eje	1		SAE 1020		PART
4	Cortina Intermedia	1		AISI 304		PART
3	Cortina (Simetrica)	1		AISI 304		PART
2	Cortina	1		AISI 304		PART
1	Arandela Plana 1 1/8"	2				PART
It	Nombre	Can	Pieza	Material	Rev	Tipo

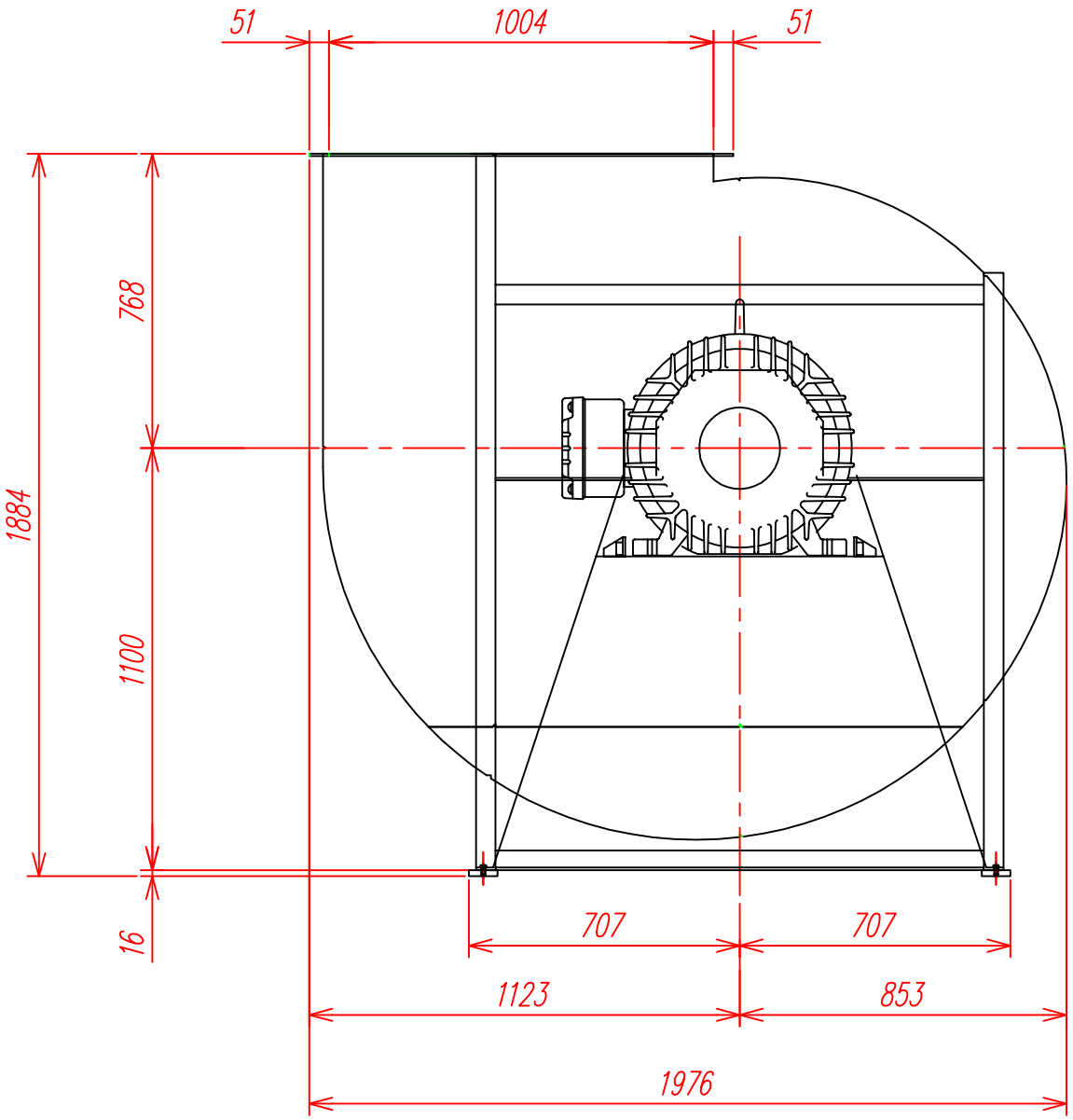
					FECHA	NOMBRE
				DIBUJO	20.06.23	AL
				REVISO	20.06.23	FCR
				APROBO	20.06.23	.

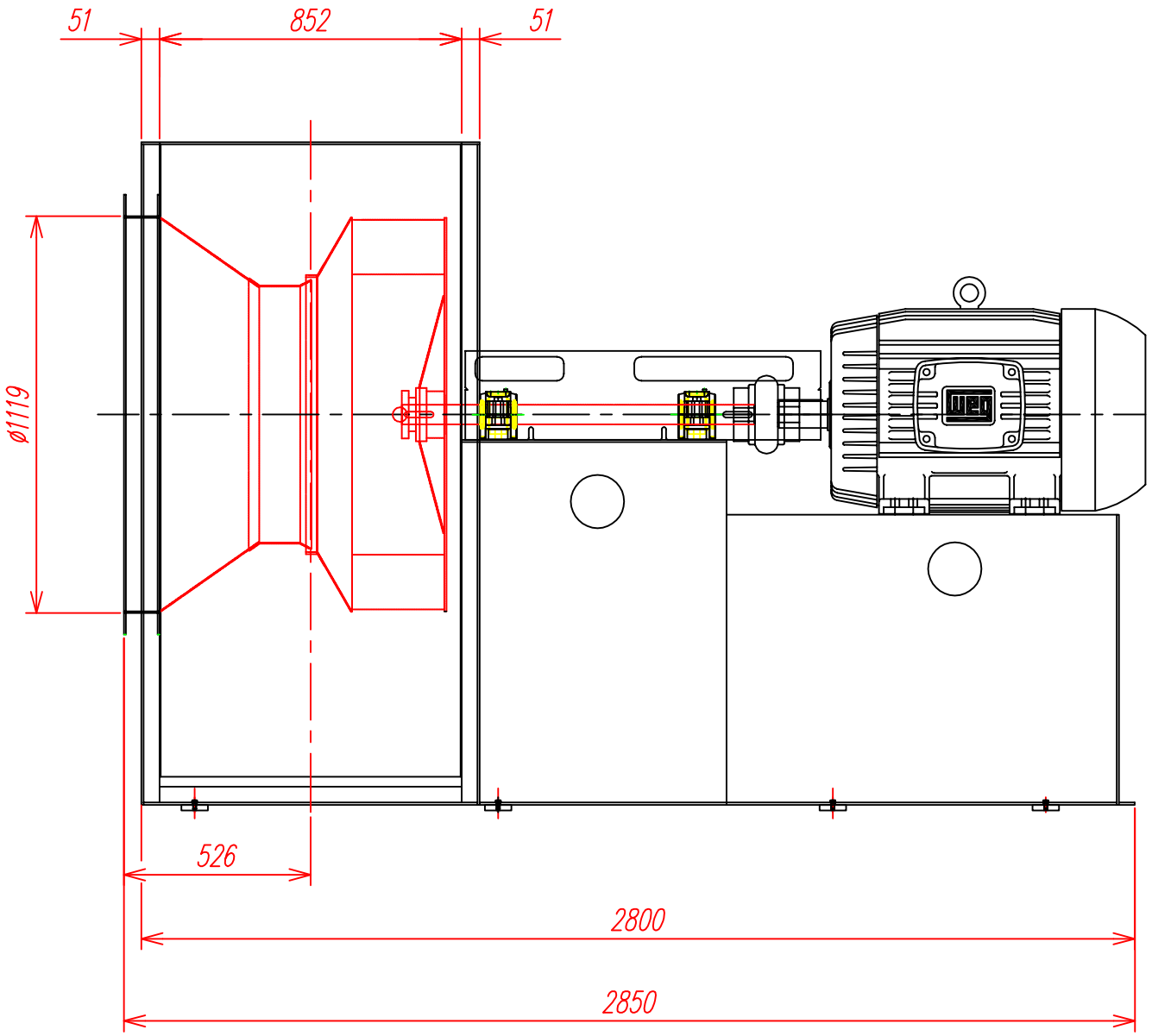
PLANO_N°11
CORTINA_SUPERIOR

ESCALA

Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE

ARCHIVO: .





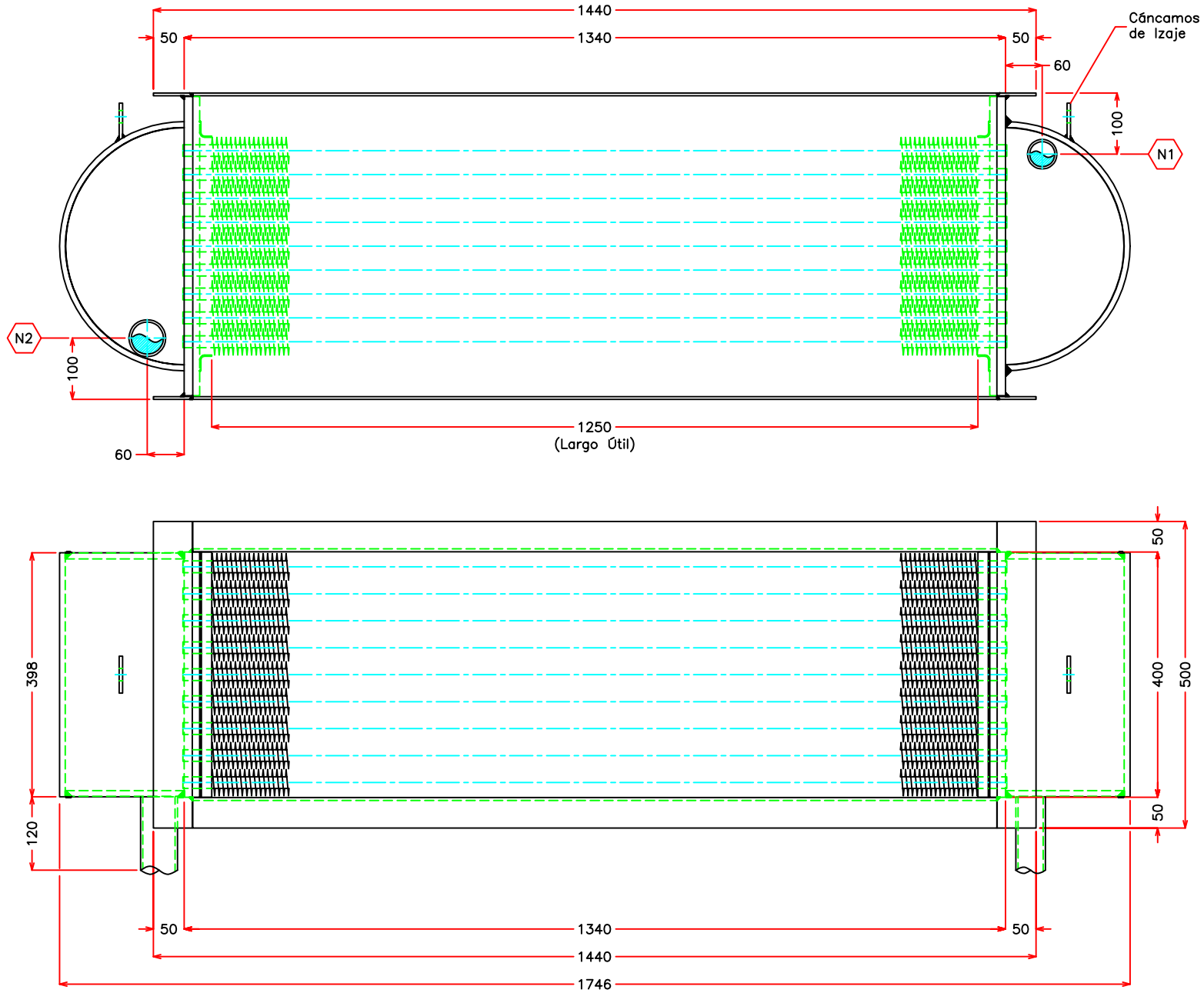
PESO VENTILADOR 2000 Kg.

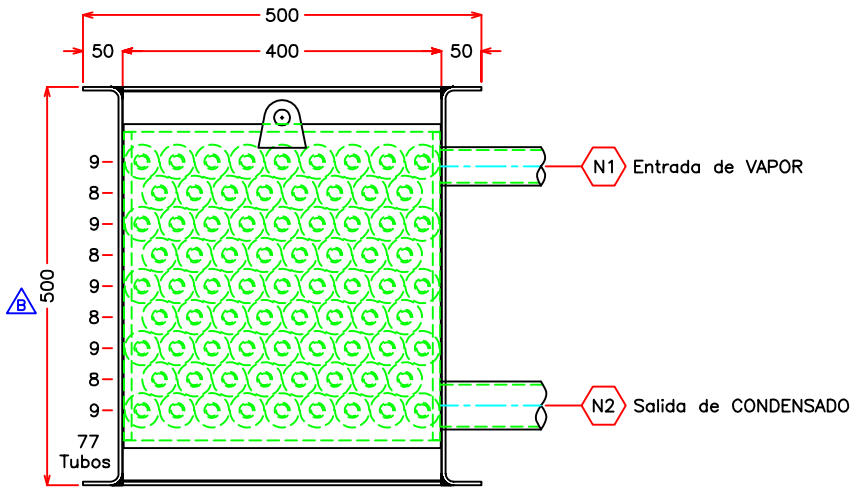
					FECHA	NOMBRE
				DIBUJO	20.06.23	AL
				REVISO	20.06.23	FCR
				APROBO	20.06.23	.

PLANO_N°12
VENTILADOR_DIMENSIONAL

ESCALA

Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE	ARCHIVO: .





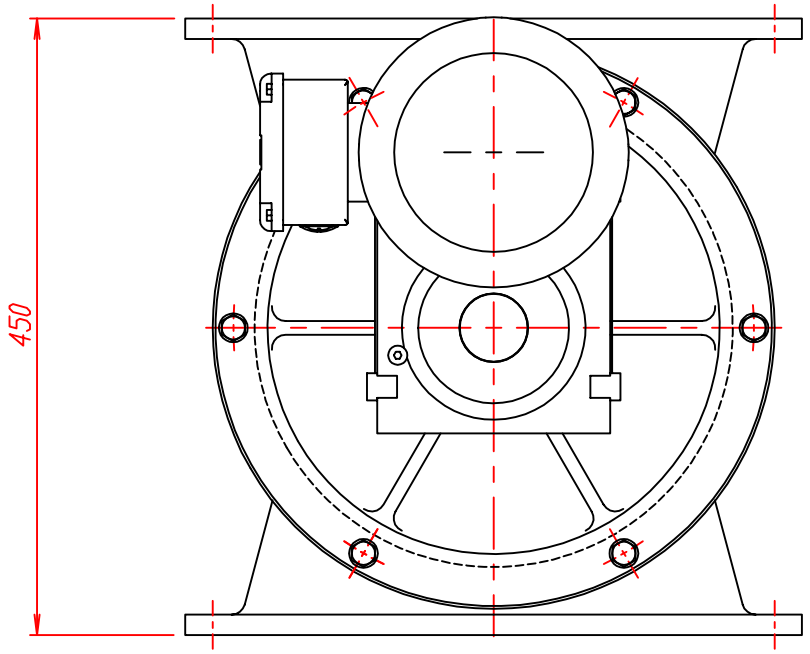
CANTIDAD 77 TUBOS

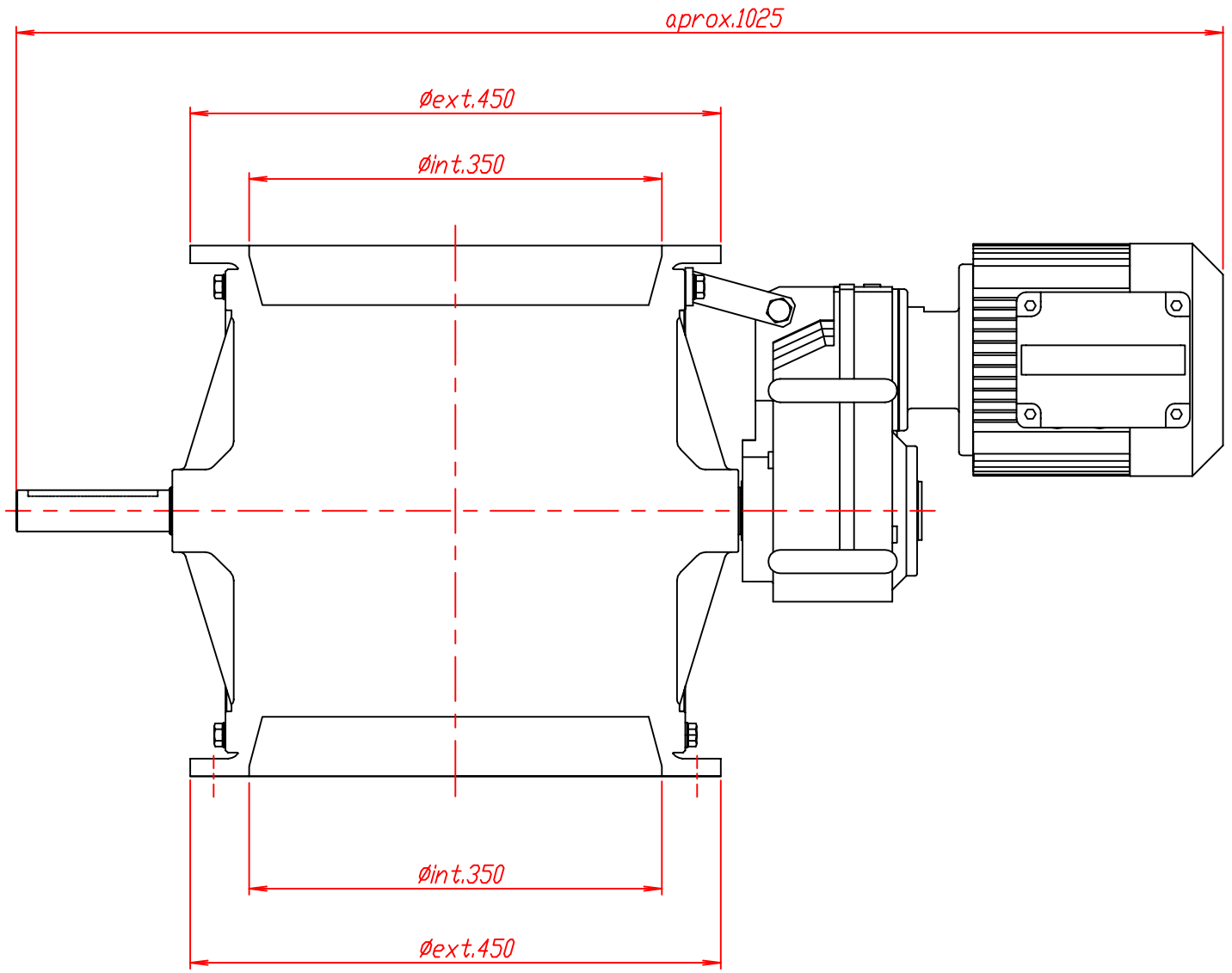
TUBOS: Ac. Carbono ø3/4"(19.05mm)x 2.11mm (s/costura)

					FECHA	NOMBRE
				DIBUJO	20.06.23	FCR
				REVISO	20.06.23	AL
				APROBO	20.06.23	.
Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE	ARCHIVO: .		

PLANO_N°13
AEROTERMO

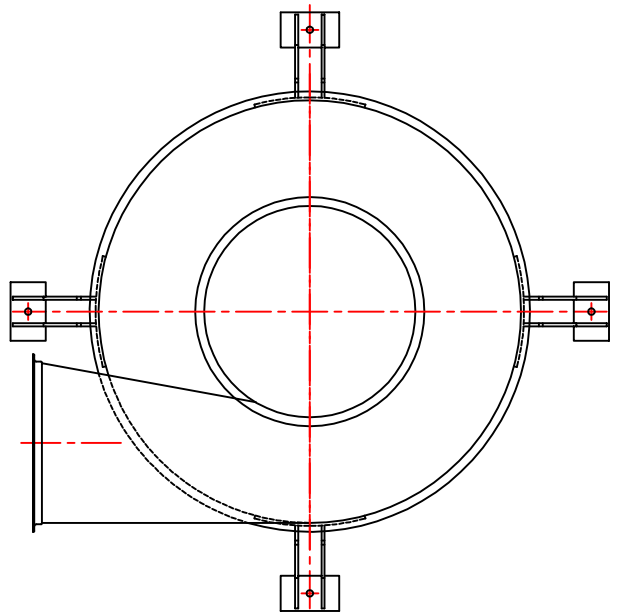
ESCALA

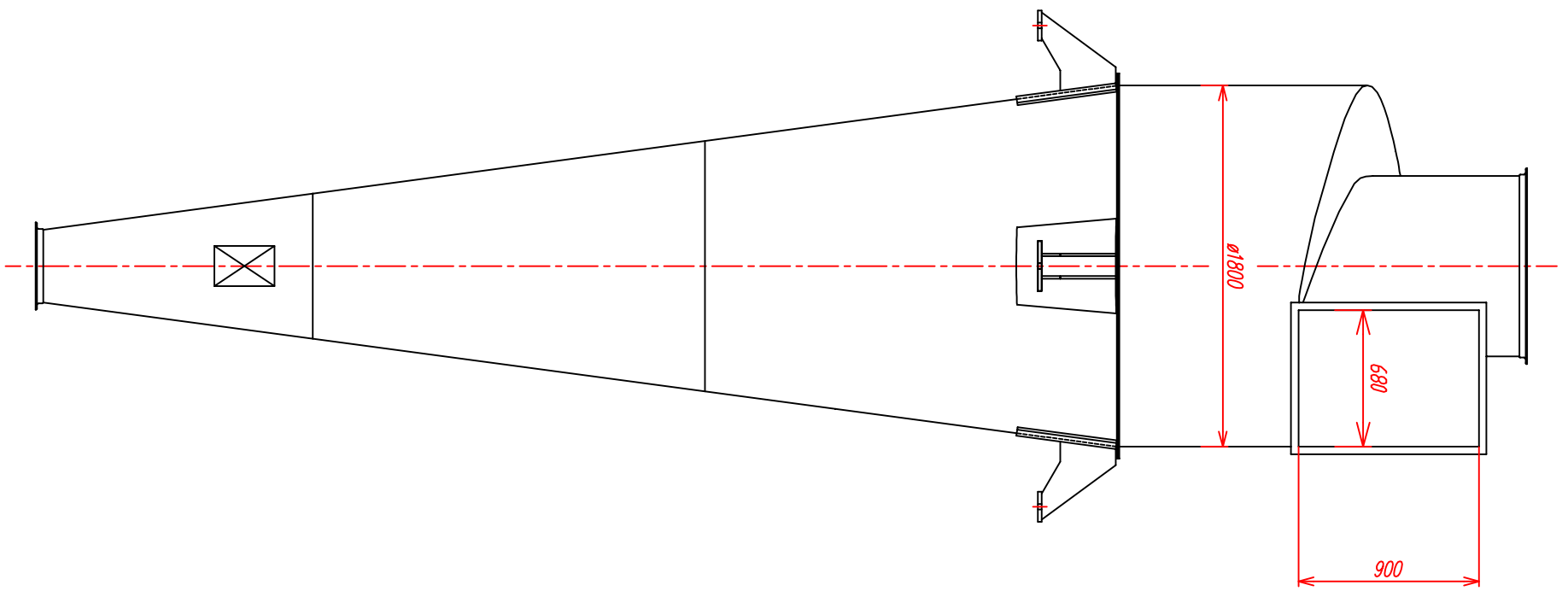




PESO VALVULA ROTATIVA 100 Kg.

					FECHA	NOMBRE	PLANO_N°14 VALVULA_ROTATIVA
				DIBUJO	20.06.23	FCR	
				REVISO	20.06.23	AL	
				APROBO	20.06.23	.	
							ESCALA
Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE	ARCHIVO: .			





					FECHA	NOMBRE	PLANO_N°15 CICLON_ø1800
				DIBUJO	20.06.23	FCR	
				REVISO	20.06.23	AL	
				APROBO	20.06.23	.	
							ESCALA
Nº	DETALLE	FECHA	NOMBRE	ARCHIVO: .			