



Optimización del Proceso de Secado en la Producción de Cuero Vacuno

Federico Oscar Rey

Roberto Ariel Maxit

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

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

Ingeniero Mecánico

Director/a:

Ing. Juan Sismondi – Ing. Pedro Sismondi – Ing. Guillermo Rodríguez

A nuestras familias

Este proyecto es dedicado a nuestras familias, gracias a su apoyo incondicional, por darnos las enseñanzas y fuerzas necesarias para afrontar este largo camino que finalmente dio su fruto. Además, por darnos la oportunidad de poder estudiar esta hermosa carrera.

Agradecimientos

Gracias a nuestras familias por apoyarnos en cada decisión y proyecto, por permitirnos cumplir el deseo de estudiar y lograr un objetivo. No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado del recorrido se ha vuelto más sencillo y alegre. Les agradecemos, y hacemos presente nuestro gran afecto hacia ustedes.

Gracias a la universidad, y a los profesores por habernos permitido formarnos, por ayudarnos en cada paso, por estar en cada detalle y momento, fueron los grandes responsables de que pudiéramos lograr este difícil camino hasta el objetivo de llegar a la meta. Por sus enseñanzas y consejos que nos permiten desarrollarnos como profesionales, muchas gracias.

Resumen

El objetivo de nuestro cliente es optimizar y automatizar todas las operaciones que sean posibles para la elaboración de sus productos. El principal problema que atacamos en este proyecto es el secado del cuero ya que notamos que es el cuello de botella actual de la línea de producción porque depende de las condiciones climáticas ya que, actualmente, se realiza estaqueando las pieles en marcos de madera mediante clavos y secándolas al sol los días propicios y, algunas veces, utilizando fuego de leña vegetal para aumentar la rapidez de secado.

Desventajas del proceso actual y problemas descritos por dueños del establecimiento:

- Retrasos en la producción por demoras en el secado de los cueros.
- Operación lenta y poco ergonómica para los operarios ya que deben estaquear mediante clavos y martillos.
- Variabilidad de tiempos de secado y calidad del producto de acuerdo a las condiciones climáticas: Se necesitan de 2 a 3 horas en verano un día soleado de temperaturas altas y humedad relativa ambiente baja. Pero se necesitan hasta 6 horas al sol en invierno con humedad relativa media o alta, ayudándolos con fuego de leña. Se necesita de todo el día, cuando el cielo se presenta nublado. No se puede realizar con lluvia y/o humedad relativa del 100%.
- Se necesita gran espacio y lugares poco húmedos a cielo abierto.
- Se debe controlar cada cierto período de tiempo el estado del cuero para que no se pase ni se “queme”.

Para resolver estas desventajas se plantearon los objetivos y propósitos de mejorar la productividad, logrando reducir los tiempos de operación, siempre con la premisa de una buena calidad del producto final, manteniendo condiciones apropiadas tanto físicas como químicas del cuero (Resistencias al desgaste, elongación, humedad final, etc.), y finalmente establecer un proceso estándar independiente de las condiciones climáticas.

De esta manera se diseñó una estación de secado que consiste en una cámara de secado por convección forzada, calentador de aire y un espacio de enmarcado de cinco cueros por tanda. Esto mejora la productividad del proceso, pasando de una producción de 20 cueros por semana a 50 cueros por semana con un consumo aproximado de 4,7 kg de

pellets de madera por hora. La estación de secado queda contenida en un espacio de la planta de 3 metros de ancho, 6 metros de largo y 4,5 metros de alto.

Palabras clave: secado, cuero, vacuno, curtido, marroquinería, manufactura, procesos.

Abstract

The objective of our client is to optimize and automate all the operations that are possible for the elaboration of their products. The main problem that we tackle in this project is the drying process of the leather since we noticed that it is the current bottleneck of the production line because it depends on the weather conditions. Currently it is done by staking the leather on wooden frames using nails and drying them under the sun on favorable days and, sometimes, using vegetable fire to increase the speed of drying.

Disadvantages of the current process and problems described by owners of the establishment:

- Delays in production due to delays in drying the hides.
- Slow and not very ergonomic operation for the operators since they must stake using nails and hammers.
- Variability of drying times and product quality according to weather conditions: 2 to 3 hours are needed in summer, a sunny day with high temperatures and low relative humidity. But they need up to 6 hours in the sun in winter with medium or high relative humidity, helping them with a wood fire. It takes all day, when the sky is cloudy. It cannot be done with rain and/or relative humidity of 100%.
- A large space is needed and places with little humidity in the open air.
- The condition of the leather must be checked every certain period so that it does not fade or “burn”.

To solve these disadvantages, the objectives and purposes of improving productivity were raised, managing to reduce operating times, always with the premise of a good quality of

the final product, maintaining appropriate physical and chemical conditions of the leather (wear resistance, elongation, final humidity, etc.), and finally establish a standard process independent of climatic conditions.

In this way, a drying station was designed that consists of a forced convection drying chamber, an air heater and a framing space for five hides per batch. This improves the productivity of the process, going from a production of 20 hides per week to 50 hides per week with an approximate consumption of 4.7 kg of wooden pellets per hour. The drying station is contained in a space on the floor that is 3 meters wide, 6 meters long and 4.5 meters high.

Keywords: drying, leather, cow, tanning, leather goods, manufacturing, processes.

Contenido

Agradecimientos	3
Resumen	4
Abstract.....	5
Contenido	7
Introducción	10
1. Marco teórico	12
1.1 La piel	13
1.2 Clases de pieles	14
1.3 Curtido	15
1.3.1 Clases de curtido	15
1.4 Proceso de curtido.....	16
1.4.1 Faena, cuereado.....	16
1.4.2 Lavado y descarné.....	17
1.4.3 Salado y secado (para almacenado)	17
1.4.4 Encalado / Pelambre.....	18
1.4.5 Desencalado / Purgado	18
1.4.6 Curtido al tanino.....	19
1.4.7 Secado.....	20
1.4.8 Engrase	20
1.4.9 Sobado / prensado.....	20
1.5 Secado del cuero.....	20
1.5.1 Factores que influyen en el secado	22
1.5.2 Modificaciones del cuero durante el secado	22
1.5.3 Tipos de secado.....	24
2. Desarrollo del proyecto.....	29
2.1 Definición del problema	29
2.2 Parámetros y limitaciones	29
2.2.1 Tipo de curtido	29
2.2.2 Productividad actual vs proyectada	29
2.2.3 Condiciones climáticas de Concordia	30
2.2.4 Especificación del cuero	30
2.2.5 Dimensionamiento de la cámara	31
2.3 Cálculos.....	32
2.3.1 Coeficiente de transferencia de calor	32
2.3.2 Cinética del secado del cuero.....	34
2.3.3 Calor necesario para el Secado.....	40
2.3.4 Calentador de aire de procesos.....	41
2.3.5 Cálculo de intercambiador de calor en la zona Radiante	43
2.3.7 Temperatura de pared del hogar.....	50

2.3.8 Cálculo de intercambiador de zona de convección	57
2.3.9 Calor cedido por las paredes de la cámara	69
2.3.10 Calor cedido por el calentador de aire.....	71
2.3.11 Calor cedido por la chimenea	73
2.3.12 Balance de Energía y rendimiento del intercambiador	77
3. Colector solar	80
3.1 Parámetros de diseño	80
3.2 Coeficiente global de pérdidas	83
3.2.1 Cálculo del <i>USUP</i> para el nuevo valor:	84
3.2.2 Cálculo de coeficiente de pérdidas del fondo <i>UFONDO</i>	85
3.2.3 Cálculo de coeficiente de pérdidas por los lados <i>ULADOS</i>	85
3.2.4 Cálculo el coeficiente global de pérdidas <i>UL</i>	85
3.3 Cálculo de la eficiencia de la placa	86
3.3.1 Cálculo de factor de eficiencia del colector <i>F'</i>	86
3.3.2 Cálculo del factor de eficiencia del colector <i>F'</i>	87
3.3.3 Cálculo de la eficiencia del colector	88
3.4 Consumo de pellets con colector solar.....	90
3.5 Componentes colector solar	91
3.5.1 Cubierta transparente	91
3.5.2 Placa Captadora	91
3.5.3 Aislamiento	92
3.5.4 Carcasa	92
3.6 Análisis de costos	93
4. Diseño	95
4.1 Marcos de secado	95
4.2 Cámara de secado	96
4.3 Estructura del secador.....	96
4.4 Equipo calentador de aire.....	98
4.5 Conducción de aire caliente a la cámara	98
4.6 Componente eléctricos y de control	98
4.7 Alimentador de Pellets.....	99
4.8 Selección del ventilador centrífugo.....	101
4.8.1 Cálculo de pérdida de carga	101
5. Conclusiones y recomendaciones	103
5.1 Conclusiones	103
5.2 Recomendaciones	104
6. Bibliografía	105
Anexos	107
Anexo A: Carta psicrométrica del aire	107
Anexo B: Propiedades del aire de 1 atm	108
Anexo C: Cálculos teóricos del aire y gases generados	109
Anexo D: Longitud media del haz L.....	110
Anexo E: Gráfico emisividad vs temperatura	111
Anexo F: Factores de visión para dos cilindros concéntricos.....	112

Anexo G: Propiedades de materiales aislantes.....	113
Anexo H: Aislante cerámico ASTS	113
Anexo I: Correlaciones empíricas para el número de Nusselt	114
Anexo J: Factor de proporcionalidad de irradiación solar en plano inclinado	115
Anexo K: Diagrama de Moody.....	116
Anexo L: Ventiladores centrífugos Soler & Palau	117
Anexo M: Curvas características de ventiladores SP.....	118
Anexo N: Proceso de curtido vegetal Paiz actual.....	119
Anexo Ñ: Datos meteorológicos INTA Concordia 2018.....	121
Anexo O: Transmisor de temperatura y humedad.....	122

Introducción

El secado es algo más que la simple eliminación de la humedad para permitir la utilización práctica del cuero, pues también contribuye a la producción de las reacciones químicas que intervienen en la fabricación del cuero, por lo que constituye uno de los pasos más importantes en el proceso de curtido y determina en gran medida la calidad final del mismo.

Como objetivos principales en el desarrollo de este proyecto son:

- Mejorar la productividad en el proceso de curtido de cueros, aumentar la producción de la empresa en un factor aproximado de 2,5 veces el volumen actual.
- Igualar o mejorar la calidad del cuero terminado.
- Disminuir los tiempos de secado y de la operación previa de enmarcado del cuero si el método de secado lo requiere.
- Lograr un proceso estandarizado, evitando cualquier desviación en las operaciones involucradas.
- Ser de bajo costo en comparación con secadores industriales existentes; ya que estos son utilizados para grandes volúmenes, al contrario de la capacidad máxima que puede producir el cliente. Diseñar un dispositivo o método confiable y seguro.
- Bajos requerimientos de mantenimiento.

Todos estos objetivos planteados se buscan cumplir teniendo en cuentas las condiciones que se describen a continuación:

- Espacio físico disponible: Dado por el espacio disponible en la planta 3000 mm x 6000 mm.
- Condiciones ergonómicas de trabajo: Esfuerzos y posturas que deba realizar el operario en las operaciones involucradas.
- Condiciones climáticas: Nos determinan las variables climáticas promedio en la zona de producción.
- Objetivo productivo: Se requiere secar 50 cueros por semana

- Complejidad operativa del proceso de secado: Teniendo en cuenta que hablamos de un proceso tradicional y muy antiguo, en el que, por lo general, los operarios conocen el oficio, podría presentarse dificultades importantes si el dispositivo o proceso exige un elevado nivel de capacitación o complejidad tecnológica
- Tecnologías de secado a utilizar: No es posible utilizar vapor, gas, ni ningún fluido a presión. Esto se debe a que la planta se encuentra ubicada en una zona residencial y no cuentan con habilitación correspondiente
- Condiciones ambientales: No es posible utilizar productos químicos, tóxicos o nocivos para el medio ambiente y/o personas.

El significado de este estudio pretende solventar todos los desvíos que ocurren en el proceso actual de secado, independientemente de las condiciones ambientales presentes; aumentando la producción, lo cual se traduce en un mayor beneficio para nuestro cliente.

1.Marco teórico

El origen de la industria del curtido de cueros se remonta a la antigüedad. Desde épocas remotas el hombre utilizó las pieles de diversos animales para ocuparlas en satisfacer las necesidades básicas, como abrigo y protección, siendo éstas probablemente la primera materia prima e industria desarrollada por el ser humano.

El cuero y las pieles constituyeron la primera vestimenta humana en los climas fríos. También se utilizaron para la confección de los escudos y diferentes elementos de protección y ataque para las batallas. Los primitivos habitantes, se limitaban a despellejar los animales para luego descarnar las pieles, y untarlas con grasa para una mejor conservación y resistir la humedad logrando que tenga flexibilidad y suavidad. Luego se incorporó el ahumado de las pieles como método de conservación complementario. Con el desarrollo de las civilizaciones se perfeccionaron técnicas, y se produjeron diferentes recetas con diferentes productos de origen vegetal; sales minerales y también con productos de origen animal.

Con la utilización experimental de sustancias vegetales, rápidamente se puso en evidencia el poder de los extractos vegetales como conservantes de pieles. A consecuencia de esto, el hombre inició en diferentes zonas y culturas del mundo el desarrollo de la industria del curtido de pieles en base a la utilización de la sustancia denominada tanino (Curtido vegetal). Los métodos empleados en la antigüedad se fueron variando y mejorando a través del tiempo lográndose así abreviar el tiempo de curtido y mejorar las calidades finales resultantes.

A mediados del siglo 20 con el desarrollo tecnológico y la industrialización, se comenzaron a aplicar los procedimientos llamados al cromo. Los avances científicos, sumados a la aplicación de estrategias de aprovechamiento integral en las producciones animales fomentaron un amplio y variado comercio de pieles y cueros. Las pieles y su industria pronto pasaron a tener un valor simbólico además de utilitario, ocupando un lugar importante en accesorios de decoración, dando cierto status de riquezas, prestigio y poder a sus poseedores. La diversidad de las pieles animales, más el ingenio del hombre para la elaboración de productos han desarrollado un abanico de posibilidades de

utilización de este recurso que se renueva y se diversifica con producciones animales alternativas y emergentes, como el caso de la acuicultura.

1.1 La piel

La piel es la estructura externa del cuerpo de los animales. Es una sustancia cubierta con pelo o lana y está formada por varias capas superpuestas. Esta envoltura externa ejerce una acción protectora, pero al mismo tiempo también cumple las funciones de:

- Regular la temperatura del cuerpo del animal.
- Eliminar sustancias de desecho.
- Albergar órganos sensoriales que faciliten las sensaciones térmicas y táctiles.
- Proteger al cuerpo de las bacterias y microorganismos.

La piel se compone de tres capas denominadas: epidermis a la capa superficial, dermis a la zona media *(es la capa de mayor tamaño y se compone de un gran número de filamentos cruzados responsables de la resistencia y solidez de la piel. Es sin dudas la capa más importante a los efectos del curtido)* e hipodermis a la capa inferior que llega a la unión con la carne. Figura 1-1. Poseen características particulares cada una de ellas, aunque estrechamente relacionadas. Normalmente son ricas en fibras de colágeno, y podemos encontrar en su composición: pigmentos; venas; arterias muy finas, terminaciones nerviosas y glándulas. La composición y organización celular en la piel puede variar mucho entre diferentes especies, y también entre las diferentes zonas de la piel de un mismo animal.

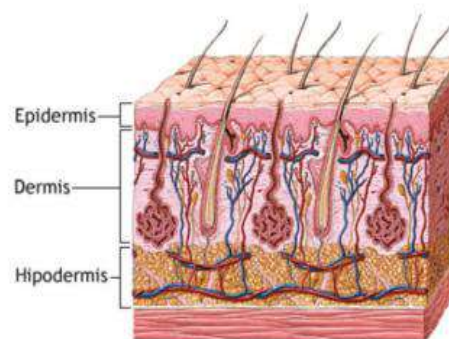


Figura 1-1: Estructura general de la piel [1]

1.2 Clases de pieles

Probablemente todas las pieles de especies de animales son aptas para algún tipo de curtido y su posterior utilización para diferentes confecciones. El rendimiento y los costos involucrados en el procesamiento sumado a las políticas de conservación de especies darán la pauta de posibilidad y viabilidad.

Podemos clasificar gruesamente a las pieles como sigue:

- Con pelo: La mayoría de los mamíferos que según su especie posee características únicas en su pelaje. Pueden ser curtidas con pelo o pasar por un proceso previo de pelado antes. Existe una variedad tan amplia como especies de animales (vacunas; ovinas; equinas; conejos; zorros; nutrias; visones, etc.), sin embargo, las más explotadas pertenecen a las directamente producidas para consumo de su carne. El 70 % de la producción mundial de cueros pertenece al ganado vacuno.
- Con escamas: Especies de peces y también diferentes reptiles, generalmente son descamados previo al curtido, para permitir un correcto ingreso del material curtiente. Las pieles curtidas de reptiles y de pescados se caracterizan por presentar una alta resistencia y un aspecto original. Existen en el mercado ciertos cueros de las patas de aves de porte grande como ñandúes o avestruces, las cuales entran en esta categoría, dadas las características particulares de estos tejidos.
- Desnudas: Existen peces con piel sin escamas o desnuda, a veces denominados peces “de cuero”, referidos generalmente a especies de silúricos, anguilas, etc.
- Otros: tiburones; rayas; esturiones, aunque siendo sin escamas, poseen una textura áspera con características únicas y diferentes a los peces de cuero. La característica de impermeabilidad que proveen las hace requeridas para determinados productos como botas, etc. Las aves poseen plumaje que la diferencia de otros tipos de pieles, pero no son curtidas generalmente, aunque el proceso se puede realizar.

1.3 Curtido

Es un proceso que permite conservar; dar color; elasticidad y resistencia a la piel extraída de un animal faenado, convirtiéndola en cuero, o suela. Al preparar la piel se tiene en cuenta las propiedades de las moléculas de colágeno, que absorben fácilmente el agua y ligan las distintas sustancias del tratamiento dado. Existen diferentes sustancias denominadas curtientes, es decir que poseen propiedades para ser absorbidas por las pieles y transformarlas posteriormente en cuero.

El proceso del curtido se verifica en dos fases: en la primera se produce el fenómeno físico de la absorción y penetración de la materia curtiente por los poros, y en la segunda se realiza la combinación de ésta con las sustancias proteicas que constituyen la piel, formando compuestos complejos hacia las capas interiores de la misma, hasta que ésta quede completamente combinada.

La piel puede ser curtida conservando el pelo (producción de pieles, o peletería), o sin él, extrayéndolo mediante métodos físicos o químicos en una fase previa al curtido y produciendo el cuero como producto final. Las variables a controlar durante el proceso de curtido son las siguientes: el pH; la temperatura; tiempos de exposición a los agentes curtientes; concentraciones; el color; el olor; control de hinchazón al tacto; turgencia; grado de atravesamiento por corte transversal, etc.

1.3.1 Clases de curtido

- Vegetal: Tradicional en muchas culturas desde la antigüedad, utilizado corteza y follaje de diferentes árboles, desarrollado con experimentación en base a recursos naturales de cada región y pieles de los animales de consumo local tradicional. El curtido vegetal tiñe las pieles naturalmente con los taninos aportados por las cortezas, siendo de tonalidades diferentes entre rojos; ocre y amarillentos. Con tecnología moderna se logró la extracción y purificación de estos compuestos, industrializando en distintos grados su utilización.
- Mineral: Con inicios antiguos por los romanos y posiblemente los egipcios con la sal alumbre, o sal de aluminio, su desarrollado masivo fue en el siglo pasado, basándose en sales purificadas como el Cromo, Potasio, Aluminio, y otras. Los

curtidos al cromo abarcan el 80 % de la producción mundial de cueros, debido a una serie de beneficios que tiene sobre el curtido vegetal, aunque también posee un potencial tóxico para el hombre y para el medio ambiente donde suelen verse los residuos.

- **Animal:** En algunas culturas antiguas técnica desarrollada cocinando la piel en agua con partes del mismo animal faenado o de otros, generalmente su cerebro, rico en ácidos grasos. Esta técnica es combinada con un ahumado de las pieles dando el color y textura característica de la gamuza natural.
- **Otros:** Podemos también nombrar técnicas utilizadas con químicos, que producen un curado o curtido de las pieles mediante diferentes productos como alcoholes (Formol y otros) combinado con glicerinas o aceites, generalmente usado en métodos de taxidermia de algunos animales, también el ahumado de las pieles para su conservación, etc.

1.4 Proceso de curtido

Pasos básicos para el curtido de pieles:

- Faena del animal, descuero, almacenaje apropiado o traslado
- Lavado, descarte en detalle
- Salado/Secado (Opcional para postergar proceso)
- Encalado (Hidratación previa si ha sido secado)
- Desencalado/Pelambre
- Curtido/Recurtido
- Secado
- Aceitado o engrase
- Sobado/Rebajado

1.4.1 Faena, cuereado

Las pieles deben ser tratadas de manera cuidadosa, para evitar cortes indeseados que pueden provocar la inutilización de los cueros. Un buen descuero inicial favorecerá los procedimientos posteriores. Un buen filetero (en el caso de los pescados), no dejará abundantes restos de carne ni cortes indeseados en la piel. Un correcto almacenaje en

frío evitará el inicio rápido de la actividad enzimática sobre las pieles. Se deberá planificar el almacenamiento o traslado.

1.4.2 Lavado y descarne

La piel se raspa sobre caballetes especiales con cuchillos sin filo, arqueados, o en máquinas y con materiales y métodos apropiados. Las pieles son descarnadas del lado interno de la piel (lado de la carne), sin llegar a dañarla, y con abundante agua. Con la experiencia se facilitan y agilizan los procesos que inicialmente pueden resultar en daños a la piel o demandas extra de tiempo

Deben sacarse la mayoría de restos de carne; sangre; grasa o tejidos conjuntivos con abundante agua, puesto que en caso contrario pueden favorecer el desarrollo bacteriano. Las pieles con pelos pueden pelarse mecánicamente (Pelambre) según el objetivo de producto final o también ser sometidas a baños posteriores para favorecer el desprendimiento del pelaje.

Las pieles de peces pueden descamarse manualmente raspando a contra piel o dejar este paso para más adelante. En algunos pescados puede ser una tarea manual simple y en otros requerir la adición de productos químicos.

1.4.3 Salado y secado (para almacenado)

Este paso se utiliza generalmente con la finalidad de acopio y conservación de las pieles para su posterior curtido de manera simultánea. Probablemente la sal común predominante en zonas costeras, utilizada para la conservación de múltiples productos, favoreció la fase de secado inicial dando una dirección al proceso de curtido en general.

Se abren bien las pieles y se aplica una capa homogénea de cloruro de sodio o sal común en su parte interna hasta cubrir la superficie. Se recomienda sal marina o sal sin yodo, a fin de evitar algún tinte o mancha producida sobre la piel, y de granos homogéneos, ni muy gruesa ni muy fina para lograr una penetración pareja. Pueden dejarse en pilas con capas de sal intermedias por 48/72 hs., (en pieles muy gruesas pueden ser mucho mayor el tiempo) luego se estiran, escurriendo bien el agua desprendida y se dejan secar bien.

Las pieles deben someterse a un correcto almacenaje, los tiempos de conservación por salado varían entre 6 meses a un año en lugares frescos.

El período de secado varía con las condiciones climáticas, es importante lograr secado no muy rápido ni muy lento. Para continuar con el proceso de curtido, las pieles secas deben hidratarse bien mediante inmersiones y lavados abundantes en agua durante 48 hs o más. En la rehidratación o reverdecimiento se pueden aplicar aditivos al agua, cambios de temperatura, agitación, según sea la naturaleza de las pieles.

1.4.4 Encalado / Pelambre

Las pieles para producción de cuero, una vez lavadas y descarnadas, se someten al depilado, sea por medio de raspado; o bien sumergiéndola en un baño de cal u otro medio como los sulfuros alcalinos (sulfuro de sodio). Esto permite principalmente eliminar las grasas naturales de la estructura de la piel produciendo el aflojamiento del pelaje o de las escamas, y favoreciendo el posterior desprendimiento de éstos.

También se produce un engrosamiento del espesor de la piel, al ensancharse las fibras de colágeno, permitiendo así crear un entramado más abundante y apropiado para el posterior ingreso del curtiente.

Se prepara una solución con cal viva y agua que puede variar en concentración de acuerdo al grosor de las pieles (2- 10 %) con un volumen adecuado para sumergir las pieles. La cal debe desactivarse o “apagarse”, dejándola reposar previamente algunas horas (12-24) para evitar una incidencia muy agresiva que puede producir quemaduras en zonas de la piel. Se mantienen en solución de 48 a 72 hs o más, revolviéndolas periódicamente y evaluando su condición.

1.4.5 Desencalado / Purgado

Es de gran importancia este paso para lograr inactivar la alcalinidad provocada por la cal, y permitir la correcta reacción química posterior de los curtientes en las pieles. Esto se logra con abundante lavado, y dejado en remojo por 24/36 hs. (Puede agregarse algún producto que provea de acidez para neutralizar más rápido, ácido fórmico, sales de amonio, fermentos naturales, vinagres, etc.) Provoca la disminución parcial del

engrosamiento y se logra culminar el descamado y/o la eliminación completa del pelaje de manera manual, pero con mayor facilidad.

Se suele realizar un segundo descarne para garantizar la calidad necesaria para el siguiente paso, aquí la piel cambió y favorece el desprendimiento de grasas y tejidos remanentes no deseados. Las pieles bien purgadas deben perder la turgencia adquirida con el encalado, quedando ligeras y suaves al manejo. En estas condiciones quedan listas para el curtido.

1.4.6 Curtido al tanino

Se prepara una solución en la cual se agrega tanino purificado en polvo al agua, también puede usarse la corteza de los árboles seleccionados directamente, machacada y seca. Se mezcla bien la solución y sumergen completamente las pieles.

Puede variar su concentración de acuerdo con las pieles objeto a curtir, y con el período que se mantendrán en el proceso. Generalmente se aplica un peso similar de corteza al peso de las pieles, o el tanino purificado en cantidades menores (dependiendo de su calidad entre 1- 3 % en la solución).

La aplicación de los taninos en el curtido suele ser en 2 fases, incorporando una concentración suave para una primera etapa (de duración variable, 10 -20 % del tiempo total de curtido) y un refuerzo importante luego, duplicando o triplicando la concentración inicial. Algunos taninos proveen la acidez apropiada, otros (como el de quebracho) poseen baja acidez, por lo que suele agregarse agentes acidificantes para mantener el pH cercano a 5 durante el curtido.

El tiempo de curtido varía de acuerdo con el grosor de las pieles a curtir, las más finas como las de pescados o víboras, pueden tardar 3-4 días, mientras que pieles muy gruesas (yacaré o ganado) pueden demandar 8 o 10 días (o inclusive más).

Las pieles deben ser removidas diariamente para permitir un ingreso homogéneo del agente curtidor.

1.4.7 Secado

Las pieles sacadas y bien enjuagadas desde la fase de curtido, se cuelgan en un secadero, que debe ser un lugar templado y con buena circulación de aire, pero no excesiva, pues un secado rápido da cueros quebradizos, y si es muy lento puede haber enmohecimiento.

El desarrollo del proceso de secado del cuero se ve en la sección **1.5**

1.4.8 Engrase

Luego del período de secado o durante, es donde se realizan aplicaciones de diferentes agentes como grasas o aceites que facilitarán la tarea de ablande y dotarán de flexibilidad al producto, permitiendo su futura manipulación. El proceso de engrase también involucra el aporte de fragancias y suavidad al producto.

1.4.9 Sobado / prensado

El sobado permite ablandar y flexibilizar el cuero, y puede realizarse de manera manual o con diferentes maquinarias dependiendo del grosor y tamaño de los cueros. El sobado y la observación del curtidor determinarán la necesidad o no de engrases adicionales, raspados o lijados para minimizar el grosor, etc. Representa la tarea culminante donde se empieza a definir o evaluar la calidad y se pueden agregar otros agentes del acabado para terminaciones deseadas.

1.5 Secado del cuero

El secado es algo más que la simple eliminación de la humedad para permitir la utilización práctica del cuero, pues también contribuye a la producción de las reacciones químicas que intervienen en la fabricación del cuero, por lo que constituye uno de los pasos más importantes en la calidad del cuero.

En la actualidad, debido a la necesidad de una producción de alta velocidad y la utilización de materiales más exóticos, el secado y la naturaleza de los métodos que se emplean han adquirido una enorme importancia.

En relación al agua que contiene el cuero se puede decir que se encuentra unida a él de cuatro formas distintas desde el punto de vista físico:

Absorbida molecularmente:

Esta agua se encuentra unida al colágeno a través de puentes de hidrógeno en diferentes puntos y proporciones diferenciándose los siguientes:

- 1-2% de agua (0.01-0.02 g agua/g colágeno) Enlazada dentro de la triple hélice del colágeno a través de tres puentes de hidrógeno que se establecen con los grupos hidroxilo (OH^-) de la hidroxiprolina. Esta agua está unida a la molécula de la proteína, permaneciendo dentro de ella aún en condiciones estándar de secado, con temperaturas de 105°C . Esta agua no se congela.
- 6,5 % de agua (0.07 g agua/g colágeno) Enlazada al colágeno por dos puentes de hidrógeno. Esta agua tampoco se congela.
- 6,5-20 % de agua (0.07-0.25 g agua/g colágeno) Enlazada a la proteína del colágeno a través de dos puentes de hidrógeno. Esta agua se congela por debajo de los -93°C .

Enlazada molecularmente: Está agua también se encuentra unida a la proteína del colágeno, en los grupos funcionales de las cadenas laterales y en los enlaces peptídicos a través de un puente de hidrógeno. El agua unida así se congela a -7°C . Su cantidad se estima en 20-30 % (0.25-0.50 g agua/g colágeno).

Atrapada en los espacios capilares: A un contenido de humedad entre 30,40-55 % los espacios interfibrilares están llenos con agua débilmente unida.

Agua libre (incluyendo la que está en los capilares): Como agua libre puede considerarse tanto el agua atrapada en los espacios capilares mencionada anteriormente, como, la que sin estar en los capilares sigue estando en el cuero. El agua libre puede decirse que se encuentra en el cuero enlazada muy débilmente en una cantidad de 30-66.66 % (0.50-2.0 g agua/g colágeno) de la cual la que no se encuentra en los capilares y queda comprendida entre 55-66.66 %, puede eliminarse fácilmente por medios mecánicos.

1.5.1 Factores que influyen en el secado

Sustrato cuero

- Cuanto mayor es el espesor más lento es el secado.

Temperatura

Sabemos que el cuero es el resultado del entrelazamiento de millares de grupos de fibras que tanto en su interior como en el exterior tienen agua por lo tanto es fácil imaginar que algo irá a ocurrir cuando evaporemos el agua.

- Evaporando el agua superficial se sucederá una acomodación en los grupos de fibras en el espacio dejado por el agua.
- Evaporando el agua de los capilares ocurrirá una retracción fibrilar resultando un cuero rígido en ciertas áreas.
- Cueros curtidos al cromo: 60-90°C (Rango de temperatura recomendado)
- Cueros curtidos al tanino: 35-65°C (Rango de temperatura recomendado)

1.5.2 Modificaciones del cuero durante el secado

Durante el secado se producen cambios físicos y químicos como la reducción del contenido de humedad del cuero y la contracción de su superficie. Además de esto, también se suceden como mencionábamos anteriormente migraciones de las materias solubles, se modifica el punto isoelectrico del cuero y se forman diversos tipos de enlaces entre fibras y productos.

- Reducción del contenido de agua: El contenido de agua de un material húmedo se puede expresar sobre el peso real que es la suma de la materia seca más el agua. En las operaciones de secado como el material pierde agua el peso del total varía y no es un valor adecuado para basar en él el cálculo. Como base constante, para el cálculo del contenido de humedad debe tomarse la cantidad de materia seca, la cual es siempre la misma durante toda la operación de secado y nos permitirá realizar cálculos más simples y efectivos.
- Contracción de la superficie: Al secar el cuero al aire colgado libremente se produce contracción de la superficie, se encoge, se arquea, se endurece y queda

con el poro basto. Para que el cuero quede plano, tenga una flor lisa y el poro fino debe secarse pegado a una placa plana.

La contracción depende de la tensión superficial que tiende a reducir la superficie libre de agua, al secar se cierran los capilares y al acercarse las fibras se producen enlaces químicos. La piel está llena de canales capilares llenos de agua. Un cuero al secarse tira, se tensiona, si está muy húmedo, se seca muy rápido y está muy estirado llega a fractura en una zona de menor resistencia, como puede ser una cicatriz.

En la contracción del cuero durante el secado influyen el recurtido y el engrase, así como el método de secado utilizado y la tensión a que se somete al cuero.

- Migraciones de las sustancias solubles: Para eliminar el agua del interior del cuero esta debe salir a la superficie externa y cuando llega allí el agua se transforma en vapor, pero no los sólidos que pueda contener, por lo que durante el secado puede aumentar la concentración de sólidos en la zona superficial.

Si el secado es muy lento los sólidos pueden volver a penetrar hacia el interior del cuero por difusión. Si el secado es muy rápido, y como el proceso de difusión es lento, los sólidos quedan depositados en las zonas superficiales del cuero.

- Modificaciones del punto isoeléctrico: En el cuero curtido con sales de cromo catiónicas la sal de cromo coordinada con la proteína tiene una doble carga positiva y existe un grupo sulfato iónico que la compensa.

Durante el secado se elimina agua, aumentará la concentración de iones sulfato en la solución y llegará un momento en que los iones sulfato se coordinarán con los átomos de cromo, como el nuevo complejo formado tiene carga nula, el punto isoeléctrico del cuero curtido al cromo seco será inferior al del cuero curtido al cromo húmedo.

Esta disminución del punto isoeléctrico durante el secado puede aprovecharse para obtener teñidos atravesados utilizando colorantes ácidos o directos, que penetrarán más. Al remojar un cuero curtido al cromo, que previamente se había secado, el tacto que adquiere no es el mismo que tenía el cuero al cromo húmedo. Ello indica que las reacciones que ocurren durante el secado sólo son parcialmente reversibles. Además de los grupos sulfatos pueden

coordinarse con los átomos de cromo otras sustancias tales como las grasas y recurientes.

- Formación de varios tipos de enlaces químicos: Durante el secado y a causa de la eliminación de agua, las fibras se acercan entre sí y los grupos iónicos de carga contraria de la propia fibra se puede acercar suficientemente entre sí para formar enlaces electrovalentes que en estado sólido son muy estables.

En el secado los grupos reactivos iónicos de las moléculas de grasa, recurientes Y colorantes pueden formar enlaces electrostáticos con los grupos iónicos de la piel. La acción entre los grupos iónicos tiene lugar a distancias relativamente grandes.

La contracción y endurecimiento que experimenta el cuero durante el secado se deben a la formación de diversos tipos de enlace y a la eliminación de agua que actúa como lubricante. Si se logra disminuir la cohesión entre las diversas fibras por interposición de productos recurientes y grasas se obtendrá un cuero más blando. Si secamos muy rápido y se forman muchos enlaces, hay mucha contracción no queda plano, queda grueso. Muchos de los enlaces no son reversibles.

1.5.3 Tipos de secado

- Secado al aire y colgado, es uno de los sistemas más fácil y económicos. Este tipo de secado depende del clima de la zona y estación del año. Se reduce la superficie de la piel 5-10%
- Cámara de secado, recintos cerrados por donde se hace la circulación forzada del aire caliente, regulándose la temperatura y la humedad. La primera se controla mediante un termostato y existe una válvula de vapor que regula la cantidad de vapor que llega al calefactor. La segunda se controla con un higrómetro y se regula según la recirculación de aire.

- Túnel de secado, consta de varias secciones independientes llamadas celdas o cámaras en las cuales se puede determinar independientemente la temperatura y la humedad del cuero. Figura 1-5-3.1.

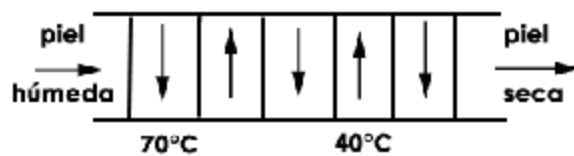


Figura 1-5-3.1: Diagrama túnel de secado [3]

- Secadero de Pinzas, Se pinzan las pieles sobre placas perforadas. Si se desean pieles blandas deben secarse previamente al aire, acondicionar a una humedad del orden del 20-22% y ablandarse. Si tienen demasiada humedad al pinzar quedarán acartonadas. Una vez pinzadas se ponen en una cámara de secado con calefacción y recirculación de aire. Hay otros sistemas basados en el pinzado. En uno de ellos, los marcos se tensan y destensan de manera automática. Las pieles quedan muy planas.
- Secadero Pasting, Consiste en un túnel, pero las pieles en vez de colgarse se pegan a placas usando adhesivos. Las placas pueden ser de vidrio, hierro esmaltado, madera tratada, material plástico como resinas epoxi, acero inoxidable. Todos los materiales tienen sus ventajas e inconvenientes. Los adhesivos se pueden aplicar sobre la placa o sobre el cuero. El cuero debe estar pegado mientras está húmedo, pero que al secar la flor no quede pegada a la placa. Cuanto más grueso sea el cuero, más concentrado debe ser el adhesivo. En el túnel circula aire caliente, el calor viene por lado de carne y no del lado de la flor. El cuero queda totalmente plano. Tiempo de secado: 5-8 h. Es el sistema que da mayor superficie, frente al secado por colgado supone un aumento del orden del 5-10%.
- Toggling, consiste en el clavado del cuero en marcos metálicos de chapa perforada con ganchos especiales y secado controlado; en consecuencia, una unidad de toggling consiste en una cantidad de chapas perforadas colocadas en

un secador de temperatura y humedad controladas. El cuero se estira y se sujeta mediante un número de abrazaderas (ganchos especiales o toggles) que se enganchan en las chapas. Tiene la ventaja de permitir el secado de grandes cantidades de cuero en un espacio relativamente pequeño. La desventaja es que resulta difícil mantener y controlar condiciones de temperatura y humedad constantes.

- Placas Secotherm, se pega el cuero a ambas caras de unas placas metálicas, en general de acero inoxidable, aluminio o cobre, dentro de las que circula un líquido caliente, normalmente agua.

Es un sistema más económico que el pasting porque se pueden comprar las placas que se quiera. Las placas suelen ir fijas para poder pegar bien las pieles. La piel se pega con adhesivo por el lado flor y a veces hay unas pinzas para asegurar que se aguante.

El calor va de adentro hacia afuera y no como en el pasting que va de afuera hacia adentro, con lo cual en el sistema secotherm la piel queda menos compacta. Se usan a temperaturas entre 80-90°C por lo que se recomienda para cueros al cromo bien curtidos, recurtidos y engrasados y nunca para cueros al vegetal.

- Secado al vacío, Consta de una plataforma lisa de acero inoxidable con orificios y una cubierta que puede tapar en forma de bisagra o subiendo y bajando.

Lleva incorporado una bomba de agua que suele ser de anillo hidráulico para reducir la presión (hacer el vacío)

- La placa inferior es calefactora y comunica por conducción la temperatura necesaria para evaporar el agua de la piel. El cuero previamente alisado es colocado con el lado flor sobre la superficie de la placa (sin formar arrugas). La placa se calienta entre 50°C para cuero vegetal y 85°C para cuero cromo. En el cabezal se pone un filtro o bien una red metálica de malla fina que presiona el cuero al cerrar y para que el vapor de agua pase hacia la cámara de vacío principal en que hay un condensador que transforma el vapor en agua líquida. Luego, se cierra en forma hermética y se produce el vacío que provoca en breves minutos la evaporación del agua que contiene el cuero. Como la flor va apoyada en la placa calefactora y se seca primero, sale el vapor de agua por el lado carne. Figura 1-5-3.2



Figura 1-5-3.2: Diagrama túnel de secado [3]

No es conveniente realizar el secado total ya que al secarse primero la flor se perdería conductividad y se alargaría mucho el tiempo de secado. Además, se aumentaría el riesgo, ya existente, de migración de productos como grasas, recurtientes, colorantes, etc. Normalmente se usa como pre-secado. Este sistema no requiere adhesivos lo cual es muy importante para cueros que se acaban con plena flor ya que no quedarán residuos del pegamento. Se puede regular la temperatura de la placa, el tiempo de secado, la presión del aire y la presión sobre el cuero. A menor temperatura de la placa, mayor tiempo de secado.

- Por radiación lámparas infrarrojo. El secadero puede funcionar con lámparas, mediante electricidad, proporcionando calor seco o con placas, mediante gas propano o butano proporcionando calor húmedo. La principal aplicación está en el secado que sigue a las capas de acabado. Se instala fundamentalmente en los túneles de secado de máquinas de acabado y se logra mediante lámparas de infrarrojo
- Por radiación alta frecuencia. Se coloca el cuero entre dos placas cargadas. Se crea un campo eléctrico, la materia se polariza y los dipolos orientados crean un campo opuesto al existente entre las placas. Si se usa corriente alterna la polaridad de E varía y las moléculas se ordenan hacia ambos lados alternativamente.

Los electrodos van recubiertos de teflón y refrigerados para que no se calientes. Las máquinas son lentas, entre 1-10 m/min porque se necesita mucha energía. El cuero se seca de adentro hacia afuera, no superficialmente porque el calor se transmite por el campo eléctrico creado dentro del cuero. Tiene la ventaja que las zonas más húmedas absorben más energía que las más secas y se logra una mayor igualación del contenido de humedad. Se usa para secar por ejemplo pieles

que vienen del vacío. Sirve más que nada para igualar la humedad. Luego ya pasa al ablandado.

El contenido desarrollado este capítulo fue obtenido de la bibliografía [1, 2, 3, 4].

2.Desarrollo del proyecto

2.1 Definición del problema

En la actualidad nuestro cliente realiza el secado de cuero de manera austera, enmarcando los cueros en unos marcos de madera y dejando secar al aire libre, dependiendo de las condiciones climáticas de cada día.

La productividad de esta etapa del proceso es muy baja, por lo que se propone diseñar una cámara de secado que acelere esta operación, mejorando la productividad y teniendo en cuenta todas las limitaciones presentes, desde el espacio disponible hasta el tipo de tecnología que es posible utilizar por nuestro cliente. Ver análisis del proceso actual en Anexo N.

2.2 Parámetros y limitaciones

2.2.1 Tipo de curtido

El tipo de curtido que realiza nuestro cliente es el curtido vegetal, más específicamente al tanino.

Los taninos son sustancias orgánicas que reaccionan con las proteínas del colágeno, es decir, los taninos se unen a las moléculas de colágeno de las pieles animales uniéndose entre sí, aportando gran resistencia a la piel.

2.2.2 Productividad actual vs proyectada

Como mencionamos antes la productividad actual de la operación de secado es muy baja y se busca mejorar.

- Productividad actual: 20 cueros por semana - 4 cueros/día
- Productividad proyectada: 50 cueros/semana - 10 cueros/días - 5 cueros en 4,5 horas
- Enmarcado: 30 min para 5 cueros.

2.2.3 Condiciones climáticas de Concordia

La base de operaciones se encuentra en la ciudad de Concordia, Entre Ríos.

- Temperatura media promedio: 18,7 C°
- Temperatura máxima promedio: 24,8 C°
- Temperatura mínima promedio: 12,8 C°
- Humedad relativa: 75,2%
- Presión atmosférica: 1006 hPa

Datos recogidos de *"INTA Concordia. 50 años Estación Agrometeorológica"*. 2018. [11].
Ver Anexo Ñ.

2.2.4 Especificación del cuero

Del análisis de las muestras de cuero se pudieron obtener los siguientes resultados:

- Espesor del cuero promedio: 3,1 mm
- Peso promedio del cuero mojado: 5,8 Kg
- Peso promedio del cuero en equilibrio con humedad ambiente: 2,8 Kg
- Dimensión del cuero; tiene una forma irregular, por lo que realizando una aproximación y considerándolo "rectangular": Área promedio: 3,2 m² (área rectangular - 15%). Figura 2-2-4.

El cuero terminado debe poseer las siguientes propiedades:

- Tensión admisible del cuero terminado: 150 kgf/cm² a 200 kgf/cm²
- Elongación porcentual a la rotura por tracción: 50% a 60%
- Resistencia al desgarre: 15 kgf/cm a 20 kgf/cm
- Resistencia de la flor: 20kgf a 40 kgf
- Humedad del cuero: 15% a 20%
- Porosidad: 0,42 cm³/g
- Contracción durante el secado: <20%

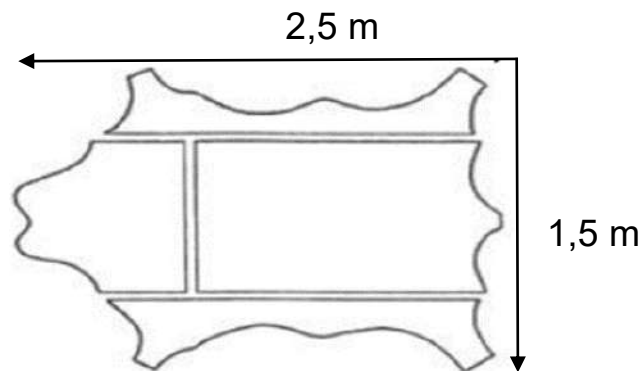


Figura 2-2-4: Dimensiones del cuero vacuno [4]

Considerando que se debe secar 5 cueros a la vez dentro de la cámara, tenemos:

- Peso total húmedo: $5 \times 5,8 \text{ kg} = 29 \text{ Kg}$
- Total, a secar: $3 \text{ kg} \times 5 = 15 \text{ Kg}$ de agua
- Si esperamos secarlo en 4,5 horas tenemos:
- Capacidad de evaporación: $15 \text{ Kg}/4,5\text{hs} = 3,35 \text{ Kg H}_2\text{O}/ \text{ Horas.}$

2.2.5 Dimensionamiento de la cámara

Teniendo en cuenta una de las condiciones límites que es el espacio y, teniendo en cuenta el tamaño de los cueros, determinamos las dimensiones del recinto:

- Altura de la cámara: 2,5 m
- Largo de la cámara: 2 m
- Ancho interno de la cámara: 0,6 m

El espacio entre cada subcámara se determina iterando valores con hojas de cálculo hasta llegar a un valor coeficiente de convección que permite la transferencia de calor necesaria para evaporar el agua en el tiempo determinado.

2.3 Cálculos

2.3.1 Coeficiente de transferencia de calor

Dadas las condiciones de ingreso de aire a la cámara de secado, calcularemos el coeficiente de transferencia por convección.

El aire ambiente se calentará hasta la temperatura de 65°C a una Hr 11% aproximada.

Considerando que la única transferencia de calor será aire-cuero húmedo y suponiendo que el aire se satura de humedad en el recorrido dentro de la cámara, podemos obtener de la carta psicrométrica la temperatura de bulbo húmedo, que será la temperatura de salida del aire; 27°C. Anexo A.

Las propiedades del fluido en el flujo interno suelen evaluarse en la temperatura media del fluido con respecto a la masa, la cual es el promedio aritmético de las temperaturas medias en la admisión y la salida; es decir, ecuación (2.1) [5],

$$T_m = \frac{(T_e + T_s)}{2} \quad (2.1)$$

De esta manera tenemos:

$$T_m = \frac{(65 + 27)}{2} = 46 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

Suposiciones:

- Existen condiciones estacionarias de operación.
- Los efectos de la radiación son despreciables.
- El aire es un gas ideal.

Las propiedades k , m , C_p y Pr de los gases ideales son independientes de la presión. Las propiedades del aire a la temperatura media se observan en el Anexo B.

De esta manera podemos calcular el coeficiente de transferencia de calor del fluido en el sistema, siendo este por convección interna forzada.

Evaluaremos si el flujo dentro de nuestro sistema es laminar o turbulento. El flujo de fluidos sigue líneas de corriente y, como consecuencia, es laminar a velocidades bajas,

pero se vuelve turbulento conforme se incrementa la velocidad más allá de un valor crítico. La mayor parte de los flujos en tubos que se encuentran en la práctica son turbulentos.

Para el flujo por tubos no circulares, el número de Reynolds, así como el número de Nusselt y el factor de fricción se basan en el diámetro hidráulico, ecuación (2.2) [5],

$$D_h = \frac{2 \times a \times b}{a + b} \quad (2.2)$$

Si tenemos en cuenta que el ancho “a” de cada subcámara es 0,036 m y el largo de la cámara “b” es 1,65 m, entonces:

$$D_h = \frac{2 \times 0,036 \times 1,65}{0,036 + 1,65} = 0,07046 \text{ m} \quad (2.2)$$

Sabiendo el diámetro hidráulico, la velocidad y la viscosidad cinemática, obtenemos el número de Reynolds. Ecuación (2.3) [5]

$$Re = \frac{V \times D_h}{\nu} \quad (2.3)$$

$$e = \frac{1,18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,07046 \text{ m}}{0,0000175 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4751,19 \quad (2.3)$$

Para los tubos lisos, el factor de fricción en el flujo turbulento se puede determinar a partir de la primera ecuación de Petukhov explícita [Petukhov (1970)], dada como Tubos lisos; ecuación (2.4) [5],

$$f = (0.790 \times \ln \ln Re - 1.64)^{-2} \quad 3\,000 < Re < 5 \times 10^6 \quad (2.4)$$

$$f = (0.790 \times \ln \ln 4751,19 - 1.64)^{-2} = 0,03923 \quad (2.4)$$

El número de Nusselt en el flujo turbulento está relacionado con el factor de fricción a través de la analogía de Chilton-Colburn, expresada como; ecuación (2.5) [5]

$$Nu = 0.125 \times f \times Re \times Pr^{\frac{1}{3}} \quad (2.5)$$

$$Nu = 0.125 \times 0.03923 \times 4751,19 \times 0,7241^{\frac{1}{3}} = 20,93 \quad (2.5)$$

Una vez que se cuenta con el factor de fricción, se puede usar esta ecuación de manera conveniente con el fin de evaluar el número de Nusselt tanto para los tubos lisos como para los ásperos.

Conociendo el número de Nusselt, y la conductividad térmica del aire; podemos obtener el coeficiente de transferencia de calor, ecuación (2.6) [5],

$$Nu = \frac{h \times D_h}{k} \Rightarrow h = \frac{k \times Nu}{D_h} \quad (2.6)$$

$$h = \frac{0.02699 \times 20,93}{0.07046} = 8,02 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \quad (2.6)$$

2.3.2 Cinética del secado del cuero

Cuando se expone un sólido húmedo a una corriente de aire no saturado que se encuentra a temperatura más elevada que el sólido, se producen tres fenómenos de transporte que son en parte semejantes a los descritos al tratar el termómetro húmedo:

- Transmisión de calor desde el aire a la superficie del sólido
- Transferencia del vapor de agua situado en la capa saturada próxima a la interfase gas-sólido húmedo hacia el aire y evaporación de nuevas porciones de agua en la interfase líquido-gas (que inicialmente estará en la superficie externa del sólido).
- Transporte de agua líquida desde el interior del sólido hacia la interfase líquido-gas para reponer el agua evaporada.

La velocidad de secado depende de las propiedades del aire utilizado y del contenido en humedad del sólido. Generalmente durante el secado cambian las propiedades del aire, aumentando su humedad y disminuyendo su temperatura, lo que modifica las fuerzas impulsoras para la transferencia de materia y la transmisión de calor. Si el caudal de aire es muy elevado en proporción a la masa de sólido puede admitirse que sus propiedades no se modifican sustancialmente durante el proceso. En este caso se dice que el secado tiene lugar en condiciones de secado constantes. Esto puede lograrse en ensayos de laboratorio para determinar la cinética, pero se da rara vez en secaderos industriales.

La velocidad de secado puede obtenerse determinando el contenido de humedad libre en función del tiempo para un aire con una cierta temperatura y contenido de humedad. La

humedad libre del sólido puede determinarse de varios modos, aunque es muy frecuente llevarlo a cabo por pesada. Sea W_T la humedad total del sólido y $W_L = W_T - W_E$ la humedad libre. En un ensayo de secado en condiciones constantes se obtienen curvas W_T-t y W_L-t como las mostradas en la Figura 2.3.2. En los dos casos, prescindiendo de un pequeño tramo inicial, 0, que corresponde a la adaptación de la muestra a las condiciones de temperatura y humedad del aire, aparecen dos tramos, I y II. El tramo I es recto y llega hasta una humedad (total o libre) crítica, W_c para un tiempo correspondiente t_c . El tramo II tiene lugar para tiempos mayores que t_c y presenta una curva de pendiente decreciente, que tiende a un valor asintótico, W_E en el caso de la curva W_T-t y 0 para la curva W_L-t . La pendiente de cualquiera de las dos curvas (son iguales para un valor dado de t), cambiada de signo representa la velocidad de secado, $-dW_L/dt$. En el tramo I la velocidad de secado es constante (no confundir con las condiciones de secado constantes, que se dan en ambos periodos); en el periodo II la velocidad es decreciente, e inferior a la del periodo I. [2]

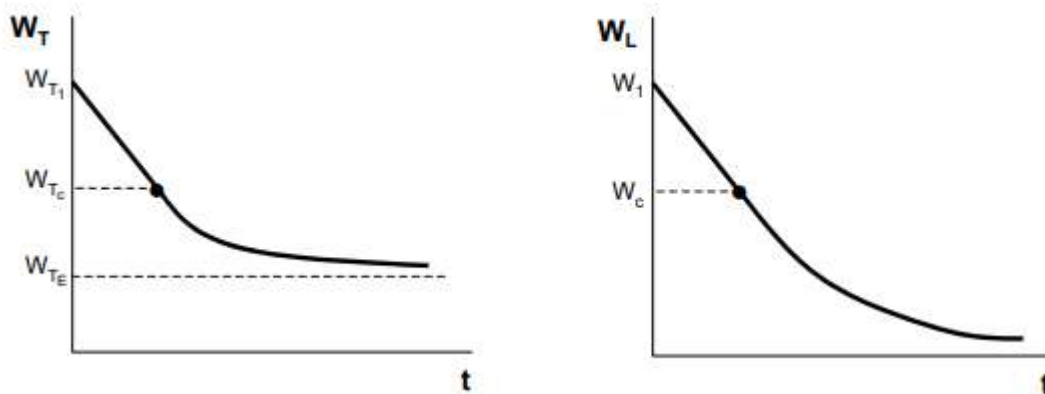


Figura 2-3-2: Curvas de secado [2]

A continuación, nos basamos en los estudios realizados por GERLA, P., ZECCHI B, [6].

Para la formulación de los modelos se planteó la ecuación que considera la velocidad de secado constante y se determinó el valor de la humedad a partir del cual el proceso deja el período de velocidad constante para pasar al período de velocidad decreciente.

Para el período de velocidad de secado constante, la ecuación (2.7) que describe la variación de la humedad promedio del sólido en base seca ($\bar{X}$) con el tiempo de secado (θ) resulta:

$$\frac{\partial \bar{X}}{\partial \theta} = \frac{h \times (t - t_s)}{\lambda \times \rho_{ss} \times e} = K \quad (2.7)$$

Siendo K la velocidad de secado constante (kg agua/min.kg de sólido seco), h el coeficiente de transferencia de calor, t la temperatura del aire, t_s la temperatura de la superficie, ρ_{ss} la densidad del sólido seco, e el espesor del sólido y λ el calor latente de vaporización. De esta ecuación surge que el modelo propuesto para la variación de la humedad con el tiempo en este período de secado es:

$$\bar{X} = K \times \theta + X_0 \quad (2.8)$$

donde X_0 es la humedad inicial del sólido (en base seca), la que se consideró uniformemente distribuida en toda la masa del cuero al inicio del proceso.

Los parámetros del Modelo 1 que se determinaron por ajuste de la ecuación (2.8) con los datos experimentales en este período de secado son K y X_0 .

Para el período de velocidad de secado decreciente se formuló en modelo lineal, para la variación de la humedad promedio del sólido en base seca ($\bar{X}$) con el tiempo de secado (θ), según; ecuación 2.9

$$\frac{\partial \bar{X}}{\partial \theta} = -K_1 \times (\bar{X} - X_e) \quad \text{para } \bar{X} \geq X_c ; \theta \geq \theta_c \quad (2.9)$$

donde X_e es la humedad de equilibrio del sólido y X_c es la humedad crítica o sea el valor de la humedad promedio del sólido cuando finaliza el período de secado a velocidad constante y comienza el período de velocidad decreciente. El tiempo al cual se alcanza este valor de la humedad se denomina tiempo crítico (θ_c):

La constante de secado K_1 es la pendiente de la curva de velocidad de secado decreciente, incluye diferentes propiedades y características del sólido y del sistema, y está dada por la ecuación (2.10);

$$K_1 = \frac{K}{(X_c - X_e)} = \frac{h \times (t - t_s)}{\lambda \times \rho_{ss} \times e \times (X_c - X_e)} \quad (2.10)$$

El valor de la humedad crítica queda determinado por la intersección de las curvas de velocidad de secado constante y decreciente, y se obtuvo del mejor ajuste de los modelos para ambos períodos de secado con los datos experimentales correspondientes.

El modelo que permite estimar la variación de la humedad promedio del sólido en base seca, $(\bar{X})$, en función del tiempo de secado obtenido resolviendo la ecuación (2.9) para el período de velocidad decreciente lineal resulta:

$$\frac{X - X_e}{X_c - X_e} = e^{[-K_1 \times \frac{(\theta - \theta_e)}{(X_c - X_e)}]} \quad (2.11)$$

Los parámetros del que se determinaron por ajuste de la ecuación (2.11) con los datos experimentales en este período de secado son K_1 y la humedad de equilibrio, X_e .

Los valores arrojados se observan en Tabla 2-1, Tabla 2-2 y Grafico 2-1.

A través de este modelo podemos ver el tiempo de secado de cada cuero dentro de cada sub cámara.

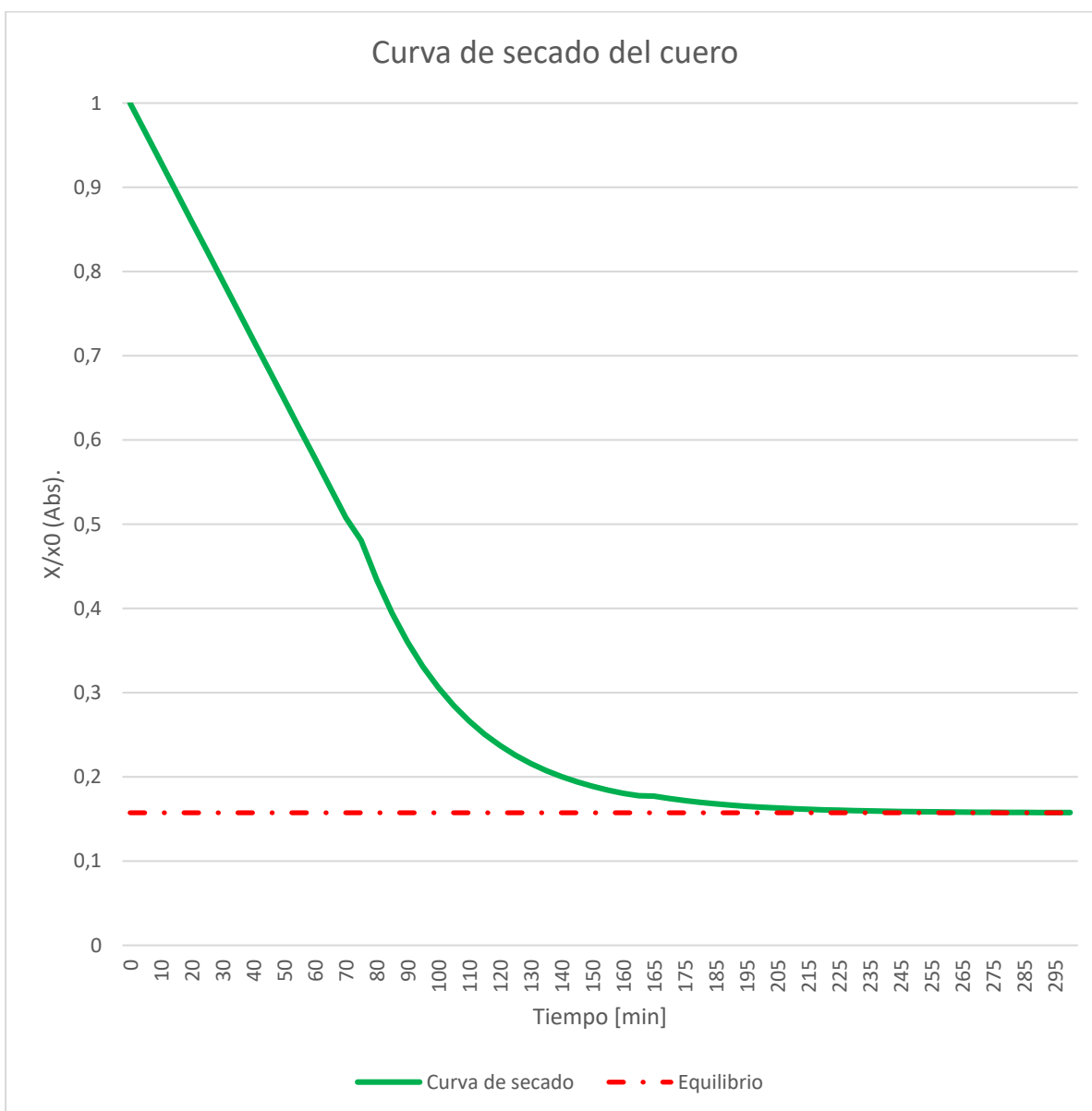
Tiempo de secado aproximado **270 min - 4 Hs y 30 min** logrando un 16% de humedad en base seca.

Tabla 2-1: Variables para el cálculo del modelo.

Variables	Valores	Unidad
Largo de cuero	1,3	<i>m</i>
Ancho de cuero	2,5	<i>m</i>
Espesor de cuero	0,003	<i>m</i>
Peso SECO	2,24	<i>kg</i>
Densidad	230	$\frac{kg}{m^3}$
Calor latente evaporación agua	2370060	$\frac{W \times seg}{Kg}$
Diámetro hidráulico	0,07046	<i>m</i>
Viscosidad cinemática	0,0000175	m^2/s
Número de Prandtl	0,7241	
Velocidad aire por subcámara	1,18	<i>m/s</i>
Número Reynolds	4751,194713	
Número de Nusselt	18,24356311	
Coeficiente de convección h	8,02	$\frac{W}{m^2 \times ^\circ C}$
Temperatura cuero	27	$^\circ C$
Temperatura aire	65	$^\circ C$
Temperatura película	46	$^\circ C$
Humedad de equilibrio X_e	0,25	$\frac{Kg\ H_2O}{Kg\ sol\ sec}$
Humedad crítica X_c	0,85	$\frac{Kg\ H_2O}{Kg\ sol\ sec}$
Humedad inicial X_0	1,589	$\frac{Kg\ H_2O}{Kg\ sol\ sec}$

Tabla 2-2: Constante del modelo

Constante del modelo	Valores	Unidad
Periodo de velocidad de secado ctte K (2.7)	0,011175478	$\frac{Kg\ H_2O}{Seg \times Kg\ sol\ sec}$
Período de velocidad de secado decreciente K_1 (2.10)	0,01863	$\frac{Kg\ H_2O}{Seg \times Kg\ sol\ sec}$

Gráfico 2-1: Curva de secado

2.3.3 Calor necesario para el Secado

El caudal en cada subcámara es, ecuación (2.12)

$$Fm_c = A \times V \quad (2.12)$$

$$Fm_c = (0,036 \times 1,65) \times 1,18 = 0,07 \frac{m^3}{s} \quad (2.12)$$

El caudal necesario de ingreso a la cámara, ecuación (2.13)

$$Fm_t = Fm_c \times 5 \quad (2.13)$$

$$Fm_t = 0,07 \times 5 = 0,35 \frac{m^3}{s} \quad (2.13)$$

Calor necesario para elevar la temperatura del aire de 20°C a 65 °C

De carta psicométrica obtenemos el valor entalpía del aire húmedo para cada temperatura. Anexo A.

A través de la ecuación (2.14) [5], obtenemos el calor necesario, m_a es el flujo másico calculado multiplicando caudal por el volumen específico del aire $0,97 \frac{Kg}{m^3}$.

$$Q = m_a \times (h_f - h_e) \quad (2.14)$$

$$Q = 0,3395 \times (94 - 46) = 16,296 \text{ Kj/s} \quad (2.14)$$

Al espacio donde se instalará el secador de cueros, no es posible llegar con gas natural de red y se prefiere utilizar como combustible alguno de tipo vegetal, como carbón, pellets u otros derivados sólidos de la biomasa.

En este caso optamos por pellets vegetales comerciales, ya que presentan un costo comparativo con el carbón vegetal menor, existe la posibilidad de conseguirlos en el mercado a granel y son fáciles de almacenar.

De las propiedades de los pellets, nos interesa principalmente la cantidad de energía que es posible extraer de este material. Investigamos el proceso de combustión y el poder calorífico. Anexo C

Calculamos la cantidad de pellets si toda la energía contenida en los pellets se transfiriera al aire. Iniciando con el poder calorífico de los pellets; $PCI_{ppellets} = 19230 \frac{KJ}{Kg}$

Cantidad de pellets (si toda la energía de los pellets se transfiriera al aire), ecuación (2.15)

$$Masa\ de\ Pellets = \frac{Q}{PCI} \quad (2.15)$$

$$Masa\ de\ Pellets = \frac{16,296}{19230} = 0,000847\ Kg/s = 3\ kg\ pellets/h \quad (2.15)$$

Pero cabe aclarar que esto no se cumple estrictamente, ya que debemos calentar el aire con algún tipo de dispositivo intercambiador de calor.

2.3.4 Calentador de aire de procesos

Tipos de calentadores:

- Calentadores de fuego directo: Con quemadores de hidrocarburos, gas o líquido.

Figura 2-3-4.1

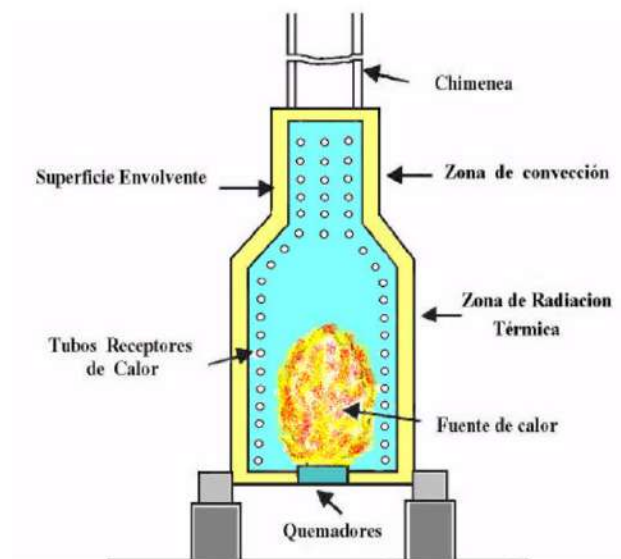
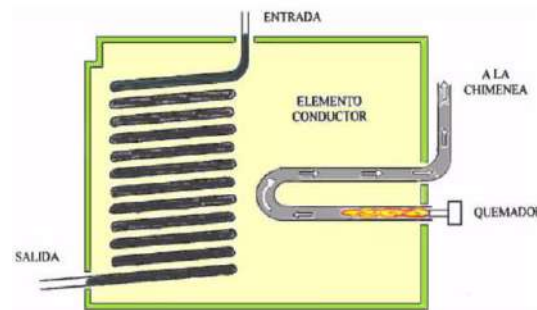


Figura 2-3-4.1: Quemadores de fuego directo

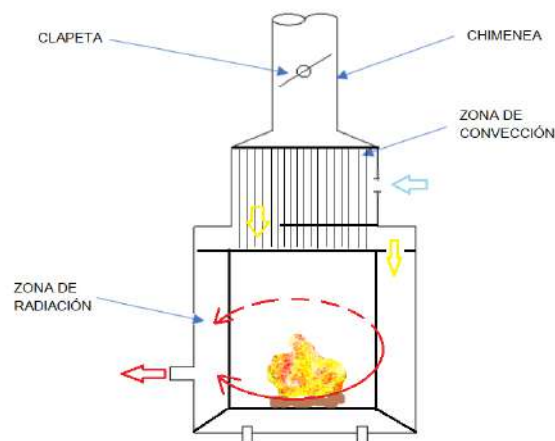
- Calentadores de fuego indirecto: Quemadores de hidrocarburos gas o líquidos.

Figura 2-3-4.2

**Figura 2-3-4.2:** Quemadores de fuego indirecto

Para nuestro caso, decidimos diseñar un calentador de fuego directo sin tubos radiantes, que consta de un hogar cilíndrico donde se ubica la cama de pellets en el centro. Por el exterior del hogar se coloca otro cilindro de mayor diámetro formando una sección anular por donde circula el aire a calentar, esta zona estará dominada por la transferencia de calor por radiación. En la parte superior se ubicará un intercambiador de tubo y coraza para aprovechar el calor de los gases de escape. Esta zona, en cambio, estará dominada por la transferencia de calor por convección. El aire frío ingresará en la parte superior de la zona de convección y saldrá del calentador por la parte inferior de la zona de radiante.

Figura 2-3-4.3

**Figura 2-3-4.3:** Esquema Calentador

El método de cálculo para el consumo de pellets que se necesitará para calentar el aire hasta la temperatura requerida se puede resumir mediante la siguiente figura 2-3-4.4



Figura 2-3-4.4: Método cálculo para consumo de pellets

Se plantearon todas las relaciones y parámetros necesarios en una hoja de cálculo para luego iterar valores verificando el balance de energía hasta aproximar la temperatura de salida de aire a la salida del intercambiador y el consumo de pellets que se requiere.

2.3.5 Cálculo de intercambiador de calor en la zona Radiante

El hogar consta de un espacio cilíndrico de 0,5 m de diámetro expuesto a la llama y a los gases de la combustión. Un espacio anular de 0,7 m de diámetro externo que rodea completamente al hogar. Estos dos espacios se encuentran separados por chapa de 3,2 mm de espesor.

En la zona radiante, el aire, sale del banco de tubos y entra por la parte superior posterior de la zona anular. Transita alrededor del hogar y sale por la parte inferior anterior. Es decir, el aire recorre todo el espacio anular y recibe el calor entregado por radiación de las llamas a la pared de chapa del hogar.

Los gases de la combustión salen expulsados por la parte superior del hogar y van al banco de tubos. Figura 2-3-5.1

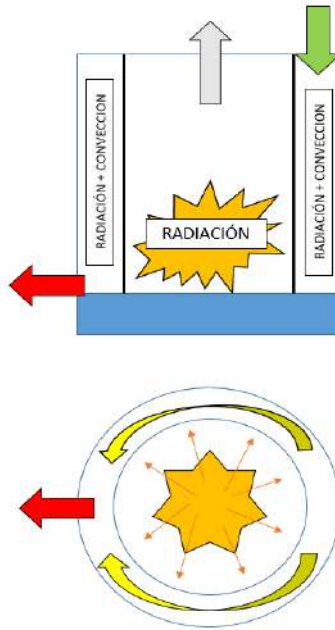


Figura 2-3-5.1: Esquema Calentador zona radiante

Para evaluar la radiación que recibe la pared interna del hogar expuesta a la llama directa, utilizaremos el modelo de llama sólida. Figura 2-3-5.2

Las suposiciones para aplicarlo son:

- El fuego del hogar puede representarse como un cuerpo sólido de geometría simple (cilindro).
- La radiación térmica es emitida desde su superficie.
- Los gases no visibles no emiten radiación significativa.

La intensidad de la radiación térmica de la llama a un objeto fuera de la envolvente para condiciones sin viento se calcula como ecuación (2.16) [8],

$$\dot{q}'' = E \times F_{1-2} \quad (2.16)$$

Donde:

$$\dot{q}'' = \text{Transferencia de calor por radiación} \left(\frac{KW}{m^2} \right)$$

$$E = \text{Poder calorífica de la superficie de la llama} \left(\frac{KW}{m^2} \right)$$

$$F_{1-2} = \text{Factor de configuración}$$

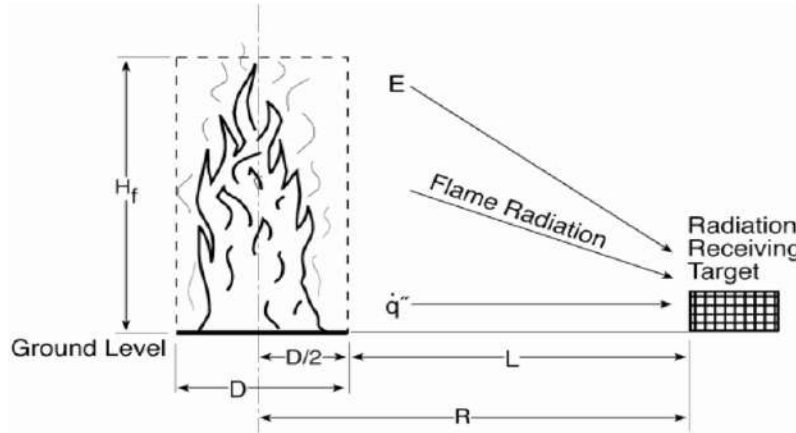


Figura 2-3-5.2: Radiación de la superficie de la llama [8]

La potencia emisiva es la potencia radiactiva total saliendo de la superficie del fuego por unidad de área, según la ley de Stefan. Ecuación (2.17) [5],

$$E = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (2.17)$$

Donde:

ε = Emisivilidad de la llama

E = Poder calorífica de la superficie de la llama $\left(\frac{KW}{m^2} \right)$

σ = Constante Stefan – Boltzmann = $5,67 \times 10^{-11} \frac{KW}{m^2 \times K^4}$

T = Temperatura de la llama

Como para calcular esta ecuación necesitamos saber la temperatura y la emisividad del fuego, pero por las variaciones del flujo turbulento mezclado, esto es muy complejo de determinar. Para eso, utilizaremos una correlación propuesta por Beyler [8]. Se supone que la llama es un cuerpo negro, la radiación térmica se emite de manera homogénea y se puede modelar como un cuerpo cilíndrico.

Mediante la ecuación (2.18) [8] podemos hallar un valor promedio de la potencia emisiva de la llama.

$$E = 58 \times 10^{-0,00823 \times D} \quad (2.18)$$

Donde:

$D = \text{Diametro de la llama (m)}$

$E = \text{Poder calorífica de la superficie de la llama } \left(\frac{KW}{m^2}\right)$

El factor de configuración o factor de visión es un factor geométrico que representa la fracción de radiación que deja la superficie e impacta sobre otra directamente.

El factor de configuración es una función de la posición, altura de llama y diámetro del fuego. Figura 2-3-5.3

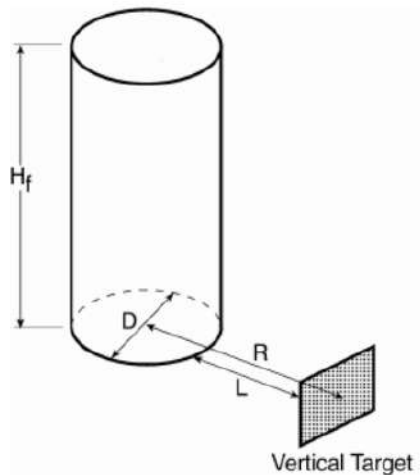


Figura 2-3-5.3: Factor de configuración [8]

La altura de la llama, puede determinarse usando la correlación propuesta por Heskestad, ecuación (2.19) [8],

$$H_f = 0,235 \times \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1,02 \times D \quad (2.19)$$

Donde:

$H_f =$ Altura de la llama (m)

$\dot{Q} =$ Poder calorífica de la superficie de la llama (KW)

$D =$ Diametro de la llama (m)

Consideramos que el HRR (kW) es la cantidad teórica de calor que puede entregar la llama del pellet, o su poder calorífico inferior multiplicado por el flujo másico de pellets que se está consumiendo.

Para objetos orientados verticalmente a la altura de la llama, bajo condiciones sin viento, el factor de configuración se puede calcular según la fórmula propuesta por Beyler, 2002 [7]. Ecuación (2.19),

$$F_{1-2,H} = \left(\frac{\frac{(B-\frac{1}{S})}{\pi \times \sqrt{B^2-1}} \times \sqrt{\frac{(B+1) \times (S-1)}{(B-1) \times (S+1)}}}{\frac{(A-\frac{1}{S})}{\pi \times \sqrt{A^2-1}} \times \sqrt{\frac{(A+1) \times (S-1)}{(A-1) \times (S+1)}}} \right) \quad (2.19)$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \times S}; B = \frac{1 + S^2}{2 \times S}$$

$$S = \frac{2 \times L}{D}; h = \frac{2 \times H_f}{D}$$

Donde:

$H_f =$ Altura de la llama (m)

$L =$ Distancia entre el centro de la llama y el objeto (m)

$D =$ Diametro de la llama (m)

Utilizando hojas de cálculo obtenemos los siguientes resultados, Tabla 2-3

Tabla 2-3: Resultados

Variable	Simbología	Valor	Unidad
PCI pellets	PCI	19230	$\frac{Kj}{Kg}$
Masa de pellets	F_m	0,0011	$\frac{Kg}{s}$
Diámetro de cama de pellets	D_{cp}	0,400	m
Potencia emisiva	E	57,954	$\frac{KW}{m^2}$
Altura de llama	H_f	0,389	m
Distancia entre centro de la llama a la pared del cilindro	L_r	0,250	m
Coeficiente factor de visión	h	1,943	
Coeficiente factor de visión	S	1,250	
Coeficiente factor de visión	A	2,535	
Coeficiente factor de visión	B	1,025	
Factor de visión	F_{1-2}	0,709	
Flujo de calor incidente sobre la superficie, por m^2	q''	41092,23	$\frac{W}{m^2}$
Superficie	Área	0,7854	m^2

Se tiene en cuenta solamente la fracción de radiación incidente sobre la superficie cilíndrica y no sobre la base ni la tapa superior, ya que este porcentaje de la energía se evalúa como pérdidas por la base y calor de los gases de combustión utilizados en la sección de convección respectivamente.

Los resultados obtenidos con este modelo son mayores al PCI de los pellets, con lo que decidimos descartarlos.

Utilizando el modelo de fuente puntual podemos obtener un resultado más aproximado. Ecuación (2.20) [8],

$$\dot{q}'' = \frac{X_r \times \dot{Q}}{4 \times \pi \times R^2} \quad (2.20)$$

Donde:

$\dot{q}'' = \text{Transferencia de calor por radiación } \left(\frac{KW}{m^2}\right)$

$\dot{Q} = \text{Poder calorífica de la superficie de la llama (KW)}$

$R = \text{Distancia radial entre el centro de la llama y el borde del objeto (m)}$

$X_r = \text{Fracción total de energía irradiada}$

Teniendo en cuenta que la fracción total de energía irradiada sobre la superficie cilíndrica es aproximadamente 0,67 para este caso, ya que no tenemos en cuenta la base ni la tapa superior tenemos:

$$\text{Calor entregado a la superficie cilíndrica} \rightarrow Q_{\text{llama}} = 14172,51 \text{ W}$$

- Temperatura de llama

Para hallar la temperatura de la llama tenemos en cuenta que el calor total de la combustión puede expresarse como la ecuación (2.21) [13],

$$Q_T = Q_{\text{aire}} + PCI = G_0 * C_{pgc} * \Delta T \quad (2.21)$$

$$Q_{\text{aire}} = A_{\text{real}} * C_{\text{paire}} * \Delta T \quad (2.22)$$

La diferencia de temperatura se calcula con respecto a la temperatura ambiente y el caudal de gases de combustión se obtiene de la tabla del análisis de la combustión del pellet. Anexo C

Despejando de la ecuación Qt la temperatura de llama obtenemos su valor. Tabla 2.4

Tabla 2.4: Temperatura de llama

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Caudal de aire real	C_{real}	7.03	$\frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ Comb}}$
Calor esp. Aire	cp_{aire}	1007	$\frac{J}{Kg \times K}$
Temperatura ambiente	$T_{\text{aire entr.}}$	291.7	K
Q AIRE	Q_{aire}	132381.227	J

Tabla 2.4: Continuación

Variables	Simbología	Valor	Unidad
QTOTAL (QAIRE + PCI)	Q_{tge}	19362.381	$\frac{KJ}{Kg Comb}$
Caudal gases de comb.	G_0	8.824	$\frac{Kg aire}{Kg Comb}$
Cp gases comb.	cp_{gc}	1128.6	$\frac{J}{Kg \times K}$
Temperatura de llama	T_{llama}	1652.55	K

2.3.7 Temperatura de pared del hogar

Los gases producto de la combustión como lo son el CO₂ y el vapor de H₂O participan en el proceso de radiación por absorción y emisión a temperaturas elevadas como en el interior del horno. En este caso, están presentes en cantidades considerables y deben tomarse en consideración. Estos gases coexisten con otros gases como N₂ y el O₂, pero este solo emite radiación a temperaturas muy elevadas cuando se ionizan.

Para calcular la emisividad de los gases en mezclas de H₂O y CO₂, utilizamos la siguiente ecuación (2.23) [5],

$$\varepsilon_g = \varepsilon_c + \varepsilon_w - \Delta\varepsilon = C_c \times \varepsilon_{c,1 atm} + C_w \times \varepsilon_{w, 1 atm} - \Delta\varepsilon \quad (2.23)$$

Donde;

$$\Delta\varepsilon = \text{Factor de corrección de la emisividad}$$

Es necesario definir la longitud media del haz L como lo describe el libro [5], la cual es la longitud media que un haz de radiación emitida recorre en el gas antes de alcanzar una superficie límite. Para hallar el valor de este parámetro se propone una correlación que representa al radio de un hemisferio equivalente. Anexo D, Anexo E, Anexo F

La absorptividad de una mezcla que contiene ambos gases, para la radiación emitida por una fuente a una temperatura dada se puede determinar como la ecuación (2.24) [5],

$$\alpha_g = \alpha_c + \alpha_w - \Delta\alpha \quad (2.24)$$

Las superficies del horno no pueden considerarse negras, y generalmente tienen un valor de entre 0,7 a 0,85. Por esto se recomienda usar la siguiente relación para el cálculo de la transferencia de calor por radiación. Ecuación (2.25) [5],

$$\dot{Q}_{neta,gris} = \frac{\varepsilon_s + 1}{2} \times \dot{Q}_{neta,negra} = \frac{\varepsilon_s + 1}{2} \times A_s \times \sigma \times (\varepsilon_g \times T_g^4 - \alpha_g \times T_s^4) \quad (2.25)$$

Haremos una aproximación de la temperatura de la pared del hogar teniendo en cuenta que la energía que transferirá al aire exterior por convección y radiación debe ser aproximadamente igual a la energía entregada por la llama $Q_{llama} = 14200 \text{ W}$.

Empezamos analizando la radiación de los gases de la combustión proponiendo temperaturas iniciales de 1200 K para los gases de combustión y 600 K para la pared. Iterando valores hasta obtener Q_{llama} , llegamos a un valor final de 1250 K para los gases de combustión y 490 K para la pared. El cálculo se realizó como se expone a continuación:

De la tabla de análisis de los gases tenemos la composición de la mezcla de gases, el proceso se realiza a presión atmosférica. Suponemos que la mezcla de gases se puede tratar como gases ideales, la emisividad que se determine es un promedio de la radiación emitida hacia todas las superficies del recinto.

Aplicando las fórmulas anteriormente expuestas, obtenemos los siguientes resultados, Tabla 2.5, Tabla 2.6

Tabla 2.5: Temperatura de la pared del hogar

Variable	Simbología	Valor	Unidad
Temperatura gases combustión	T	1250	K
Proporción de CO ₂ en volumen	$CO_2 \%$	0,175	
Proporción de H ₂ O en volumen	$H_2O \%$	0,127	
presión atm	p	1	Atm
presión parcial	pCO_2	0,17483	Atm
presión parcial	pH_2O	0,126735	Atm
Diámetro del horno	D	0,5	m

Tabla 2.5: Continuación

Variable	Simbología	Valor	Unidad
Altura del horno	A_{horno}	0,5	m
Área sup. cilíndrica	A_{cil}	0,7854	m^2
Área tapa	A_{tapa}	0,19634	m^2
Longitud media del haz	L_{mh}	0,3	m
Valores de ref para gráfico	$L_{mh} \times pCO_2$	0,17202	$ft \times Atm$
	$L_{mh} \times pH_2O$	0,12471	$ft \times Atm$
Emisividad CO2	ε_1	0,09	
Emisividad H2O	ε_2	0,06	
Factor de corrección	FC_1	0,29674	
Factor de corrección	FC_2	0,42027	
Corrección emisividad	$\Delta\varepsilon$	0,002	
Emisividad total de los gases	ε_g	0,148	

Tabla 2.6: Temperatura de la pared del hogar

Variable	Simbología	Valor	Unidad
Temperatura de la pared	T_{pared}	490	K
Valores de referencia para gráfico	$L_{mh} \times pCO_2$	0,22119	$ft \times Atm$
	$L_{mh} \times pH_2O$	0,16035	$ft \times Atm$
Emisividad CO2	ε_3	0,17	
Emisividad CO2	ε_4	0,17	
Absortividad H2O	α_3	0,31247	
Absortividad H2O	α_4	0,31247	
Factor de corrección	FC_3	0,38154	
Factor de corrección	FC_4	0,42027	
Corrección de emisividad	$\Delta\varepsilon$	0	
Absortividad de los gases	α_g	0,62495	
Constante de Stefan-Boltzman	σ	5,67E-08	$\frac{W}{m^2 \times K^4}$

Finalmente, obtenemos el valor de transferencia de calor por radiación hacia las paredes del horno. Tabla 2.7

Tabla 2.7: Transferencia de calor por radiación a las paredes.

Variables	Valor	Unidad
Q_{base}	3621,58	W
Q_{cil}	14486,34	W
$Q_{Intercam}$	3759,30	W
Q_{Total}	21867,23	W

Vemos que la cantidad de calor transferido a la pared cilíndrica es aproximadamente igual al obtenido con el cálculo de radiación desde una fuente puntual. Que el valor tomado para el intercambiador de la parte convectiva (ver la otra sección) es similar al obtenido para la tapa y la base.

Verificación del calor total:

El caudal másico de combustible que verifica estos cálculos es 0,011 kg/s de pellets.

Entonces el calor que aporta entrega una energía dada por la ecuación (2.26) [13],

$$Q_{comb} = F_{mp} * PCI \quad (2.26)$$

$$Q_{comb} = 0,0011 * 19230 = 21153 \, W \quad (2.26)$$

Resultado similar al obtenido anteriormente.

El aire a calentar pasará por la sección anular que rodea al hogar y se calentará hasta la temperatura deseada. Este valor de temperatura es el que predomina a la hora de calcular y diseñar el calentador. Para obtenerlo fue necesario iterar con valores de consumo de pellets y recalcular varias veces hasta obtener el valor requerido.

En esta sección anular se observan fenómenos de transferencia de calor por radiación y convección simultáneos.

Volviendo a las fórmulas de transferencia de calor por radiación, necesitamos obtener el factor de visión para dos cilindros concéntricos, según Anexo F.

Consiste en una corona circular concéntrica de diámetro interior y exterior, el diámetro hidráulico se obtiene, ecuación (2.27)

$$D_h = \frac{4 \times A_c}{P} = \frac{\frac{4 \times \pi \times (D_e^2 - D_i^2)}{4}}{\pi \times (D_e + D_i)} = D_e - D_i \quad (2.27)$$

Existe una correlación para el flujo en el espacio anular entre dos tubos concéntricos, de esta manera el Re y Nu se calculan, ecuación (2.28) [5],

$$Nu = \frac{h \times D_{eq}}{k} \quad (2.28)$$

Donde:

D_{eq} = es el diametro equivalente para la tranferencia de calor.

Correlación de Prandlt, ecuación (2,29) [5],

$$Nu = \frac{\frac{f}{2} \times Re \times Pr}{1 + 8,7 \times \frac{1}{2} \times \frac{f^2}{2} \times (Pr - 1)} \quad (2.29)$$

Donde:

$$f = (3,64 \times Re - 3,28)^{-2}$$

$$\text{Validez: } Pr > 5; Re > 10^4$$

Correlación de Hausen, ecuación (2.30) [5],

$$Nu = 0,116 \times \left[Re^{\frac{2}{3}} - 125 \right] \times Pr^{\frac{1}{3}} \times \left[1 + \left(\frac{D_h}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \times \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)^{0,14} \quad (2.30)$$

$$\text{Validez: } 0,6 < Pr < 500; 2300 < Re < 10^6$$

La diferencia de temperatura apropiada para el flujo interno, es la diferencia logarítmica de temperatura ΔT_{ln} , ecuación (2.31) [5],

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_s - T_e) - (T_s - T_i)}{\ln \ln \frac{(T_s - T_e)}{(T_s - T_i)}} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_i}{\ln \ln \frac{(\Delta T_e)}{(\Delta T_i)}} \quad (2.31)$$

De la misma manera que para un intercambiador de tubo y coraza simple, la temperatura de salida del aire se puede calcular como, ecuación (2.32) [5],

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \times e^{\left(\pm \frac{A_s \times h}{\dot{m} \times c_p}\right)} \quad (2.32)$$

Finalmente se obtiene, Tabla 2.8 y Tabla 2.9

Tabla 2.8: Datos obtenidos

Datos	Valor	Unidad
Dh	0,20	
V	3,7345	$\frac{m}{s}$
v	1,75E-05	$\frac{m^2}{s}$
Re	4.27E+04	
Pr	0,724	
Nu	166,299	

Tabla 2.9: Datos obtenidos

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Temperatura aire entrada	T_i	303,92	K
Temperatura de la superficie	T_s	490,00	K
Diámetro externo	D_{ext}	0,70	m
Diámetro interno	D_i	0,50	m
Altura	L	0,50	m
Viscosidad aire	μ_a	1,94E-05	$\frac{kg}{m \times s}$
Viscosidad aire pared	μ_{ap}	2,93E-05	$\frac{kg}{m \times s}$
Densidad	ρ	1,10	$\frac{kg}{m^3}$

Tabla 2.9: Continuación

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Calor específico	cp	1007,00	$\frac{J}{Kg \times K}$
Conductividad	k	0,27	$\frac{W}{m \times K}$
Masa de aire	F_m	0,34	$\frac{Kg}{s}$
Caudal de aire	F_v	0,37	$\frac{m^3}{s}$
Área de paso aire en anillo	A_{anillo}	0,10	m^2
Área superficie intercambiador	$A_{cilindro}$	0,79	m^2
D equivalente sección anular	D_{eq}	0,48	m
Coefficiente de convección	h	93,54	$\frac{W}{m^2 \times K}$
Temperatura de salida	T_e	339,90	K
Temperatura media	T_m	321,91	K
Calor entregado al aire Conv.	Q_{conv}	12302,08	W
Factor de visión F2-1	F_{1-2}	0,57	
Factor de visión F12	F_{1-2}	0,8	
Cte Stephan Boltzman	s	5,67E-08	$\frac{W}{m^2 \times K^4}$
coeficiente de emisión	ε	0,8	
Flujo calor por radiación 1-2	q_{1-2}	2614,91	$\frac{W}{m^2}$
Calor por radiación al cilindro exterior	Q_{1-2}	1806,57	W
Temperatura media superficie externa	T_2	404,31	K

La suma de Q_{12} y Q_{conv} resulta 14108 W lo cual es un valor muy próximo a 14172.51 W cantidad de calor calculado en modelo de llama, el cual es entregado a la superficie cilíndrica del hogar.

La temperatura de salida será aproximadamente **339,9 K o 66,7 °C**.

2.3.8 Cálculo de intercambiador de zona de convección

El intercambiador de calor de tubos utiliza los gases calientes generados por la combustión para transferir calor al aire frío de entrada. Figura 2-3-8.1

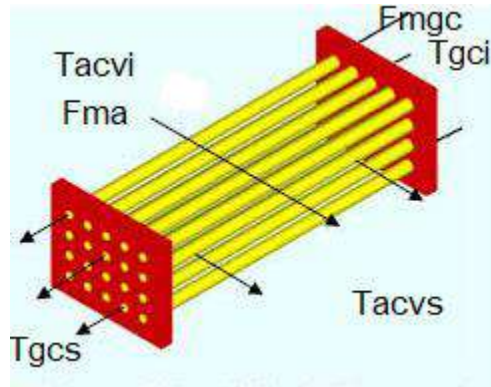


Figura 2-3-8.1: Esquema intercambiador, flujo de aire por tubos [6]

- Método de la efectividad NTU

Como no conocemos las temperaturas de entrada y salida de los gases de combustión, no podríamos comenzar el análisis con el método de LMTD. El método NTU se basa en la definición del número adimensional E efectividad de transferencia de calor. Ecuación (2.33) [5],

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{Q_{m\acute{a}x}} = \frac{\text{Razón de la transferencia de calor real}}{\text{Razón máxima posible de la transferencia de calor}} \quad (2.33)$$

Se puede determinar con base en un balance de energía en los fluidos caliente y frío. Ecuación (2.34) [5],

$$\dot{Q} = C_c \times (T_{c, \text{sal}} - T_{c, \text{ent}}) = C_h \times (T_{h, \text{ent}} - T_{h, \text{sal}}) \quad (2.34)$$

Donde C_c y C_h son las razones de capacidad calorífica de los fluidos frío y caliente.

La máxima transferencia de calor se da cuando la diferencia de temperaturas es máxima, ecuación (2.35) [5],

$$\Delta T = T_{gci} - T_{acvi} \quad (2.35)$$

Cuando el fluido frío se calienta hasta la temperatura de entrada del caliente o el fluido caliente se enfría hasta la temperatura de entrada del frío. Estas condiciones no se alcanzarán en simultáneo excepto que las capacidades caloríficas sean iguales.

La razón máxima posible de transferencia de calor está dada por la ecuación (2.36) [5]

$$\dot{Q} = C_{min} \times (T_{h, ent} - T_{c, ent}) \quad (2.36)$$

Por lo tanto, nos permitirá conocer las temperaturas de salida de los fluidos.

El número NTU se llama número de unidades de transferencia y se expresa como, ecuación (2.37) [5],

$$NTU = \frac{U \times A_s}{C_{min}} = \frac{U \times A_s}{(\dot{m} \times c_p)_{min}} \quad (2.37)$$

Donde U es el coeficiente de transferencia de calor total y A_s es el área superficial de transferencia del intercambiador. Para iguales valores de U y C_{min} , NTU es una medida del área superficial de transferencia de calor.

Otro número adimensional es la relación de capacidades, ecuación (2.38) [5],

$$c = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (2.38)$$

La efectividad de un intercambiador de calor es una función de NTU y c. Para los del tipo tubo y coraza, como en este caso, Figura 2-3-8.2.

Conocemos únicamente temperatura del aire de entrada, flujo másico de aire a calentar y flujo másico de gases de combustión.

Del análisis de los gases de combustión del pellet, obtenemos el flujo másico de los gases de combustión (Anexo C).

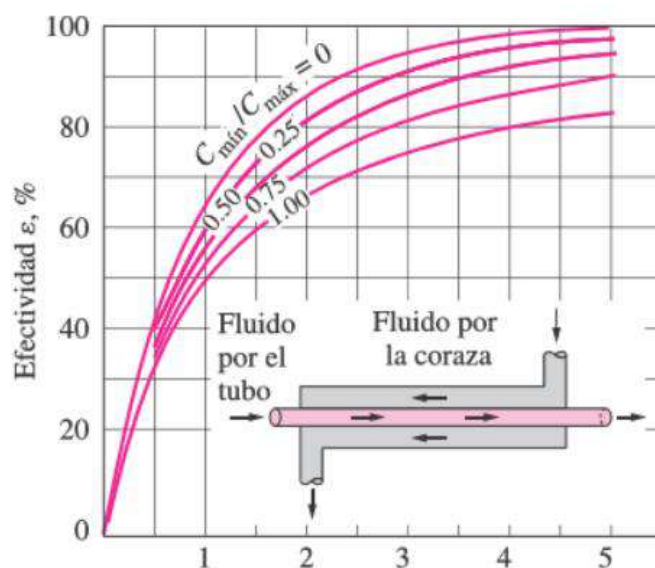


Figura 2-3-8.2: Efectividad de un intercambiador [5]

Se supone transferencia de masa y energía en estado estacionario y tanto el aire como los gases de combustión son gases ideales. Aproximando la temperatura de los gases de combustión según el análisis de la llama y realizando iteraciones con el cálculo de transferencia de calor en la zona radiante llegamos a los siguientes resultados; Tabla 2.10

Tabla 2.10: Método de efectividad NTU

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Calor específico	cp_{aire}	1007	$\frac{J}{Kg \times K}$
Flujo másico aire	$\dot{m}_{aire}$	0,3395	$\frac{Kg}{s}$
Temperatura entrada aire	$T_{Ent\ aire}$	291,7	K
Temperatura salida aire	$T_{Sal\ aire}$	308	K
Calor específico gases combustión	$cp_{gases\ comb}$	1128,6	$\frac{J}{Kg \times K}$
Masa de gases húmedos por kg de comb.	$m_{g\ humedos}$	8,824	$\frac{kg\ gh}{kg\ com}$

Tabla 2.10: Continuación

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Vol. normal de gases hum. por kg de comb.	$vg_{humedos}$	6,706	$\frac{Nm^3 gh}{kg com}$
Flujo másico de pellets	$m_{pellets}$	0,0011	$\frac{Kg}{s}$
Flujo másico de gases de combustión	$fm_{gases comb}$	0,00971	$\frac{Kg}{s}$
Flujo volumétrico de gases húmedos	$fv_{gases hum}$	0,00738	$\frac{Kg}{s}$
Temperatura de entrada gases húmedos	$T_{ent gh}$	673	K
Razón de capacidad de fluido frío	C_1	341,88	$\frac{J}{s \times K}$
Razón de capacidad de fluido caliente	C_2	10,95	$\frac{J}{s \times K}$
Calor máximo teórico de transferencia NTU	Q_{max}	4177,01	$\frac{J}{s}$
Temperatura de salida de aire máxima	$T_{sal amax}$	303,92	K
Razón de capacidades	c	0,032	
Número de unidades NTU	NTU	3	
Coef. de transf. de calor del intercambiador	UA	32,86	$\frac{J}{s \times K}$
Eficiencia NTU	e	0,9	
Calor real transferido	Q_{real}	3759,30	$\frac{J}{s}$
Temp. de salida de los gases de combustión	$T_{sal g comb}$	329,83	K

Para el diseño de intercambiador, realizamos un análisis de la disposición de los tubos y la transferencia de calor entre estos. Figura 2-3-8.3

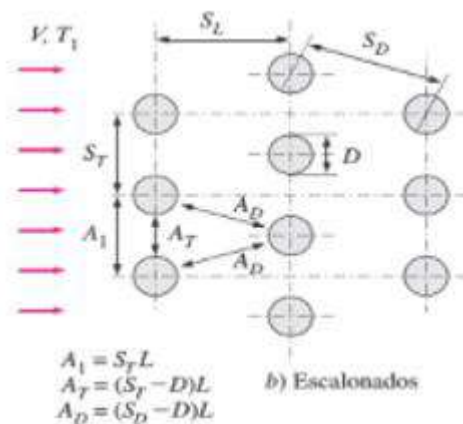


Figura 2-3-8.3: Disposición de los tubos [5]

Los bancos de tubos suelen disponerse alineados o intercalados. En este caso, decidimos ponerlos intercalados porque resultó en un mayor coeficiente de transferencia de calor.

El área de paso del fluido que se aproxima a través del área A_1 pasa por el área A_T y por el área $2A_D$ conforme se desarrolla alrededor del tubo de la fila siguiente. Si $2A_D > A_T$, todavía la velocidad máxima ocurre en A_T entre los tubos y la relación V_{max} es según ecuación (2.40) [5],

$$V_{max} = \frac{S_t}{S_t - D} \times D \quad (2.40)$$

Pero si $2A_D < A_T$ (si $2(S_D - D) < (S_T - D)$), se tendrá velocidad máxima en las secciones transversales diagonales y, en este caso, la velocidad máxima queda según ecuación (2.41) [5],

$$V_{max} = \frac{S_t}{2 \times (S_t - D)} \times V \quad (2.41)$$

El número de Nusselt promedio se calcula con la relación propuesta por Zukauskas, ecuación (2.42) [5],

$$Nu_D = \frac{h \times D}{k} = C \times Re_D^m \times Pr^n \times \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{0.25} \quad (2.42)$$

Donde las constantes C , m y n dependen del número de Reynolds.

Para evaluar las propiedades del aire se evalúan a la temperatura media.

Para el aire frío que pasa por la coraza, lado externo de los tubos tenemos los siguientes valores, Tabla 2.11

Tabla 2.11: Datos obtenidos

Variables		Valor	Unidad	
Geométricas	S_L	0,050	m	
	S_T	0,050	m	
	S_D	0,056	m	
	D	0,031	m	
	L_1	1,00	m	
	A_1	0,05	m^2	
	A_T	0,019	m^2	
	A_D	0,025	m^2	
Estado y propiedades	T_{acve}	291,70	K	Temperatura entrada
	T_{acvs}	303,92	K	Temperatura salida aire
	T_{gce}	673,00	K	Temperatura de gases de escape
	T_m	297,81	K	Temperatura media aire
	F_{ma}	0,3395	$\frac{kg}{s}$	Flujo másico aire
	F_{va}	0,41	$\frac{m^3}{s}$	Flujo volumétrico aire
	V_1	5,34	$\frac{m}{s}$	Velocidad del aire
	V_{MAX}	14,05	$\frac{m}{s}$	Velocidad máxima del aire

Tabla 2.11: Continuación

Variables		Valor	Unidad	Comentario
Estado y propiedades	$k @T_s$	0,02	$\frac{W}{m \times K}$	Coeficiente de conducción aire
	$r @T_m$	1,20	$\frac{kg}{m^3}$	Densidad aire
	$n @T_m$	1,66E-05	$\frac{m^3}{s}$	Viscosidad cinemática, Anexo B
Adimensional	Re_D	26312,9	-	Nro. De Reynolds
	$Pr @T_m$	0,73	-	Anexo B
	$Prs @T_s$	0,69	-	Anexo B
	Nu_D	36,64	-	Zukauskas
	F	0,99		Zukauskas
	NU_D, L_M	36,27		Zukauskas

Tabla 2.12: Resultados obtenidos.

Variables	Valor	Unidad	Comentario
h_{ext}	26.91	$\frac{W}{m^2 \times K}$	Coeficiente de transferencia de calor por convección exterior
N	38	u	Cantidad de tubos
A_{Total}	3.70	m^2	Área de transferencia

Podemos hacer el siguiente análisis de transferencia de calor entre el fluido caliente de los gases de combustión que pasa por el interior de los tubos y el fluido frío del aire a calentar.

Si tomamos cada uno de los tubos, por separado podemos entender el comportamiento como un intercambiador de calor de tubo y coraza simple a contraflujo. Figura 2-3-8.4

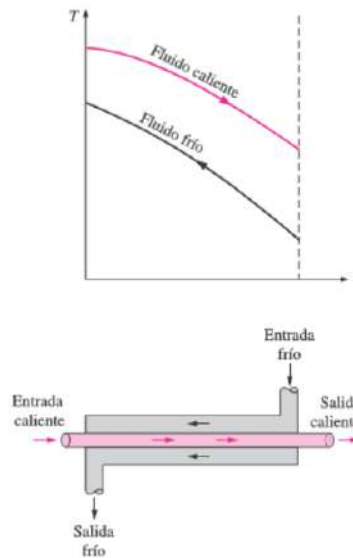


Figura 2-3-8.4: Intercambiador de calor tubo y coraza [5]

La transferencia de calor se va a dar desde el interior hacia el exterior del tubo y la resistencia a la transferencia de calor se puede expresar como, la ecuación (2.43) [5]; Figura 2-3-8.5.

$$R = R_i + R_{pared} + R_o = \frac{1}{h_i \times A_i} + \frac{\ln \ln \frac{D_o}{D_i}}{2 \times \pi \times k \times L} + \frac{1}{h_o \times A_o} \quad (2.43)$$

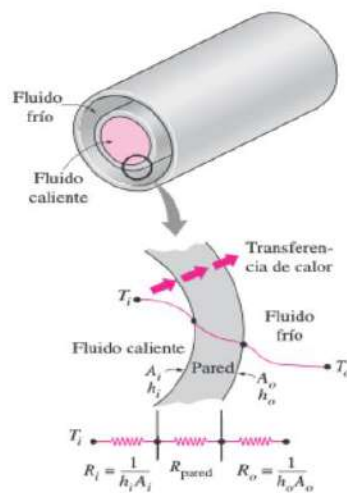


Figura 2-3-8.5: Resistencia a la transferencia de calor [5]

En donde intervienen los coeficientes de convección interior y exterior del tubo, los diámetros internos y externos, el área de transferencia y el coeficiente de conducción del material (acero inoxidable), siendo L el espesor de la pared del tubo.

A su vez, la transferencia de calor por convección + conducción se puede expresar de forma general, ecuación (2.44) [5],

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = U \times A \times \Delta T = U_i \times A_i \times \Delta T = U_o \times A_o \times \Delta T \quad (2.44)$$

Los coeficientes para el fluido externo los hallamos en la sección anterior. Para el caso del fluido caliente por el interior de los tubos, tenemos las temperaturas de entrada y salida necesarias halladas con el método de la efectividad NTU. De esta manera, lo que nos queda es hallar el coeficiente de transferencia de calor para el interior del tubo. Sabemos que el número de Nusselt se define como la ecuación (2.6)

Para flujos turbulentos se tiene en cuenta el factor de fricción en el interior del tubo, y mediante la relación de Chilton-Colburn, el número de Nusselt se expresa como la ecuación (2.5). Igualando estas ecuaciones y despejando h , obtenemos el valor de coeficiente de convección en el interior del tubo. Tabla 2.13, Tabla 2.14

Tabla 2.13: Cálculo Nusselt interior

Variables	Valor	Unidad
V	0,25719	$\frac{m}{s}$
$v(@1atm)$	4,90E-05	$\frac{m^2}{s}$
d	0,025	m
Re	5,25E+03	
Pr	0,68	
k_{gases}	4,00E-02	$\frac{W}{K \times m}$
Nu	7,50	
f	1,30E-02	

Tabla 2.14: Resultados obtenidos.

Variable	Valor	Unidad	Comentario
T_{gci}	673,00	K	Temperatura de entrada de gases de combustión
T_{gcs}	303,92	K	Temperatura de salida de gases de combustion
cp	1128,6	$\frac{J}{kg \times K}$	Calor específico de los gases
f_m	0,00971	$\frac{kg}{s}$	Flujo másico de los gases de c
k_{gases}	4,00E-02	$\frac{W}{K \times m}$	Coef. de conducción
$k_{Acero\ inox}$	13	$\frac{W}{K \times m}$	Coef. de conducción
d	0,025	m	Diámetro interno
r_1	0,0155	m	Radio externo
r_2	0,0125	m	Radio interno
L	1	m	Altura de los tubos
A_{dint}	0,000755	m^2	Area interna
h_{int}	1,20E+01	$\frac{W}{m^2 \times K}$	Coeficiente de convección

Por último, verificamos el Factor UA necesario para que se cumplan las condiciones impuestas por el método de la efectividad NTU.

Para esto, aplicamos el método LMTD ya que tenemos las condiciones de entrada y salida de ambos fluidos.

Para un intercambiador de calor a contraflujo, la LMTD se define como, la ecuación (2.45), Figura 2-3-8.6 [5],

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (2.45)$$

Y la transferencia de calor total en el intercambiador se puede expresar como, ecuación (2.46)

$$\dot{Q} = U \times A \times \Delta T_{ml} \quad (2.46)$$

Entonces, teniendo todos los datos hallados anteriormente, el factor U se puede expresar según ecuación (2.47)

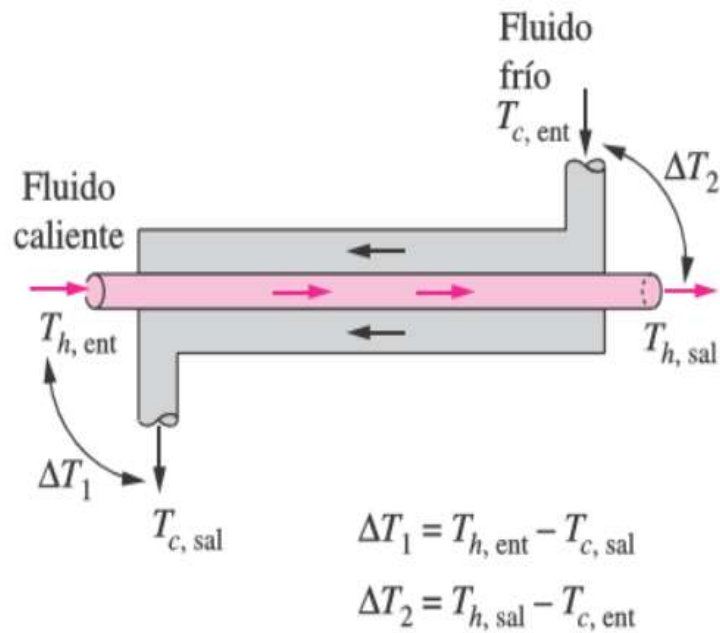


Figura 2-3-8.6: Esquema de intercambiador [5]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_A} + \frac{r_i \times \ln \ln \frac{r_0}{r_i}}{K_m} + \frac{r_i}{h_A \times r_0} + R_{fA} + R_{fh}} \quad (2.47)$$

Donde R_{fA} y R_{fh} son factores asociados a resistencia al flujo de calor por características superficiales de los tubos, como rugosidad, incrustaciones y suciedad, a continuación, se ven las Tabla 2.15 y Tabla 2.16

Tabla 2.15: Cálculo del factor U

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Coeficiente convección exterior de los tubos	h_{ext}	26,91	$\frac{W}{m^2 \times K}$
Coeficiente convección interior de los tubos	h_{int}	1,20E+01	$\frac{W}{m^2 \times K}$
Radio interno de los tubos	r_1	0,0155	m
Radio externo de los tubos	r_2	0,0125	m
Coeficiente conducción de los tubos	$k_{Acero\ inox}$	13	$\frac{W}{m \times K}$
Factor de superficie interno	R_{fA}	0,00176	$\frac{m^2 \times K}{W}$
Factor de superficie externo	R_{fh}	0,0018	$\frac{m^2 \times K}{W}$
Factor de transferencia	U	6,950	$\frac{W}{m^2 \times K}$
Factor de transferencia en el área de intercambio	UA	2,57E+01	$\frac{W}{K}$

Tabla 2.16: Verificación

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Temperatura de aire de entrada	T_{acve}	291,7	K
Temperatura de aire salida	T_{acvs}	303,92	K
Temperatura de gases combustión entrada	T_{gce}	673	K
Temperatura de gases de combustión salida	T_{gcs}	329,83	K
LMTD	$LMTD$	145,79	K
Flujo calor total intercambiador	Q^*	3752,27	W

Comparando el resultado obtenido, es muy aproximado al obtenido con el método de efectividad NTU y podemos decir que el intercambiador de calor definido de esta manera

verifica la transferencia de calor buscada para la zona de convección del calentador de aire.

Cabe aclarar que este desarrollo se hizo teniendo en cuenta e iterando conjuntamente con los cálculos de la zona radiante del calentador de aire, hallada anteriormente.

2.3.9 Calor cedido por las paredes de la cámara

La cámara de secado se espera que esté a 65 °C como máximo. Parte del calor necesario para secar los cueros se transferirá a la atmósfera por la superficie externa de la cámara.

Teniendo en cuenta que, para disminuir pérdidas por calor dentro de la cámara, se colocará un aislante, calculamos las pérdidas a través de las paredes (Figura 2-3-9.1) seleccionando el de menor coeficiente de transferencia de calor y que se puede conseguir comercialmente. Ecuación (2.48)

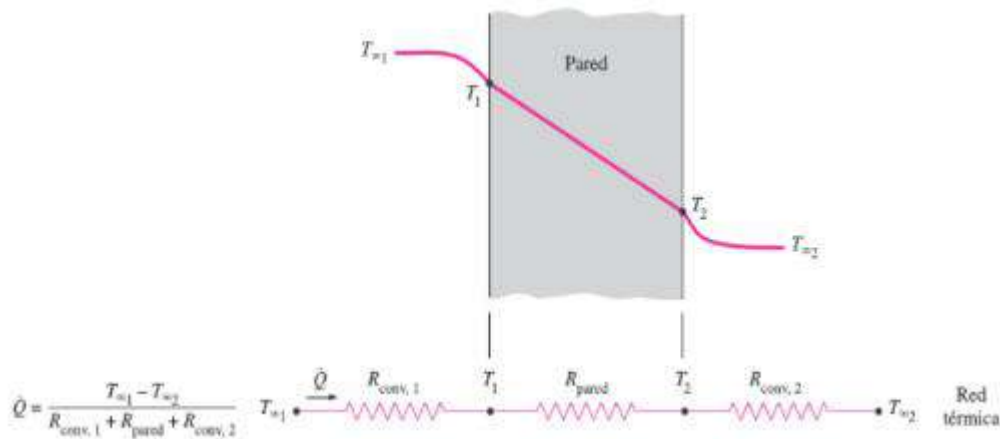


Figura 2-3-9.1: Pérdida de calor en las paredes. [5]

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{pared} + R_{conv,2} = \frac{1}{h_1 \times A} + \frac{1}{k \times A} + \frac{1}{h_2 \times A} \quad (2.48)$$

A través de la ecuación (2.49), obtenemos la diferencia de temperatura.

$$\Delta T = \dot{Q} \times R_{total} \quad (2.49)$$

Aislante seleccionado: Poliuretano expandido. Conductividad térmica $k = 0,023 \frac{W}{m \times K}$

Anexo G.

El cálculo para la transferencia de calor por las paredes de la cámara, comienza calculando el coeficiente de convección para el exterior. Para el interior utilizamos el calculado anteriormente en la cinética de secado del cuero. Ecuación (2.6)

El número de Reynolds para fluidos sobre una placa plana se puede determinar a partir de la ecuación (2.50)

$$Nu = \frac{h \times L}{k} = (0,037 \times Re_L^{0,8} - 871) \times Pr^{\frac{1}{3}} \quad (2.50)$$

$$Validez \rightarrow 0,6 \leq Pr \leq 60 ; 5 \times 10^5 \leq Re_L \leq 10^7$$

A continuación, obtenemos el cálculo de Nusselt, tabla 2.17

Tabla 2.17: Cálculo de Nusselt

Variables	Valor	Unidad
$T_{pelicula}$	295	$^{\circ}C$
V	2	$\frac{m}{s}$
$v_{(1atm)}$	1,50E-05	$\frac{m^2}{s}$
L_1	3	m
Re	1,33E+05	
Pr	0.7378	
k	2,50E-02	$\frac{W}{^{\circ}C \times m}$
Nu	2,19E+02	

Despreciando elementos estructurales y chapas metálicas de pequeños espesores, el cálculo de pérdida de calor a través de las paredes de la cámara resulta. Tabla 2.18.

Tabla 2.18: Cálculo de pérdida de calor a través de las paredes

Variable	Valor	Unidad
$T_{\text{Cámara}}$	338	K
T_{ext}	291,7	K
h_{cc}	8,02	$\frac{W}{^{\circ}C \times m^2}$
k_{aislante}	0,023	$\frac{W}{^{\circ}C \times m}$
Espesor aislante	0,05	m
h_2	1,83E+00	$\frac{W}{^{\circ}C \times m^2}$
LARGO Cámara	2	m
ALTO Cámara	2,5	m
ANCHO Cámara	1	m
ALTURA DIFUSOR	0,35	m
A_{lateral}	5	m^2
A_{superior}	10	m^2
A_{frontal}	2	m^2
A_{difusor}	1,575	m^2
A_{total}	18,575	m^2
R_{total}	1,53E-01	
Q^*	302	W
T_2	294	$^{\circ}C$

2.3.10 Calor cedido por el calentador de aire

De manera similar calculamos las pérdidas de calor en el calentador de aire. Ecuación (2.48).

Esta vez, por tratarse de altas temperaturas, seleccionamos una manta cerámica como aislante, anexo H. Los espesores comerciales son de 12,5 mm a 50 mm. Seleccionamos 2x50 mm o sea 0,1 m de aislamiento. Se calcula la pérdida de calor a través de las paredes, por un lado, de la sección radiante y, por otro, la sección de convección despreciando pérdidas de calor por la chimenea que se calcula en el ítem siguiente.

Los coeficientes de convección tanto interior como exterior se calculan de manera similar.

Anexo H, tabla 2.19.

Tabla 2.19: Cálculo Nusselt exterior

Variables	Valor	Unidad
V	1	$\frac{m}{s}$
$v_{(@1atm)}$	1,85E-05	$\frac{m^2}{s}$
D	0.8	m
Re	5,41E+04	
Pr	0.728	
k	0,025	$\frac{W}{K \times m}$
Nu	23,1	

Finalmente, en la tabla 2.20 podemos ver los resultados obtenidos

Tabla 2.20: Cálculo de perdida de calor en cámara

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Temp. Pared exterior zona radiante	T_{pared}	404,30	K
Temp. Media zona convección	T_m	501,40	
Temperatura exterior	T_{ext}	291,70	K
Coef conveccion aire exterior	h	0,72	$\frac{W}{K \times m^2}$
Coef conducción aislante	k	0,12	$\frac{W}{K \times m}$
Espesor aislante	e	0,10	m

Tabla 2.20: Continuación

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Coeficiente convección interior zona convección	h_2	93,54	$\frac{W}{K \times m^2}$
Altura zona radiante	L_1	0,50	m
Altura zona convección	L_2	1,00	m
Diámetro zona radiante	D_1	0,70	m
Diámetro zona convección	D_2	0,50	m
Área zona radiante	A_1	1,10	m^2
Área zona convección	A_2	1,57	m^2
Resistencia zona radiante	R_1	1,70	
Calor perdido zona radiante	Q_1	72,65	W
Resistencia zona convección	R_2	1,33	
Calor perdido zona convección	Q_2	247,06	W
Calor cedido al ambiente en intercambiador total	Q_{total}	319,71	W

2.3.11 Calor cedido por la chimenea

Una forma de calcular las pérdidas de calor por chimenea es teniendo en cuenta el caudal de gases de combustión calientes que se escapan a la atmósfera a temperatura $T > T_{ambiente}$.

La temperatura de llama se puede calcular teniendo en cuenta el calor entregado por la masa de pellets. Ecuación (2.51)

$$Q_{pch} [J/kg \text{ comb}] = F_{mgc} * C_{pgc} * (T_{llama} - T_{ambiente}) \quad (2.51)$$

De la tabla 2.21 de análisis de gases de combustión de los pellets ya citada, obtenemos el caudal de gases con 30% de aire en exceso.

Tabla 2.21: Cálculo de pérdida de calor por chimenea

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Cantidad de combustible	F_m	0,0011	$\frac{kg}{s}$
Caudal gases de comb	F_{mgc}	8,824	$\frac{kg \text{ gases}}{kg \text{ comb}}$
Cp gases comb	C_{pgc}	1128,6	$\frac{J}{kg \times K}$
Temperatura de llama	T_{llama}	1652,55	K
Calor total extraído del comb	Q_{comb}	21153,00	W
Calor perdido por chimenea por kg comb	Q_p/kg	379727,76	$\frac{J}{kg \text{ comb}}$
Calor perdido por chimenea	Q_p	417,7	W

- Por conductos de distribución de aire.

En principio, tendríamos 2 tramos de conductos:

- Del colector solar al calentador de aire.
- Del calentador de aire a la cámara de secado.

Tramo A: Se tiene en cuenta la temperatura de salida del colector solar. Tabla 2.22, tabla 2.23.

Tabla 2.22: Cálculo de Nusselt exterior

Variables	Valor	Unidad
V	2	$\frac{m}{s}$
$v_{(@1atm)}$	1,85E-05	$\frac{m^2}{s}$
D	0,2	m
Re	1,08E+05	
Pr	0,7309	
k	2,50E-02	$\frac{W}{^{\circ}C \times m}$
Nu	3,27E+01	

Tabla 2.23: Cálculo de Nusselt interior

Variables	Valor	Unidad
V	2,25	$\frac{m}{s}$
$v_{(@1atm)}$	1,90E-05	$\frac{m^2}{s}$
D	0,2	m
Re	1,18E+05	
Pr	0,7282	
f	0,015	
k	2,63E-02	$\frac{W}{^{\circ}C \times m}$
Nu	2,00E+02	

Finalmente utilizando las ecuaciones (2.32), (2.45) y (2.46), tenemos la Tabla 2.23

Tabla 2.24: Resultados obtenidos tramo A

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Temperatura de salida aire colector solar	T_i	303	K
Temperatura de superficie	T_s	291,7	K
Calor específico del aire	cp	1007	$\frac{J}{kg \times K}$
Flujo másico del aire	F_m	0,3395	$\frac{kg}{s}$
Coeficiente de conductividad aislante	k	0,04	$\frac{W}{K \times m}$
Diámetro conducto	D	0,2	m
Radio del conducto	r_i	0,1	m
Radio del conducto + aislante	r_2	0,15	m
Coeficiente de convección interior	h_i	2,63E+01	$\frac{W}{K \times m^2}$
Coeficiente de convección exterior	h_2	4,09E+00	$\frac{W}{K \times m^2}$
Largo del conducto	L	2	m
Área exterior del conducto	A	1,885	m^2
Coeficiente de resistencia de transferencia de calor total	R_{total}	1,56	$\frac{W}{K \times m^2}$
Temperatura a la salida del tubo	T_e	302,81	K
LMDT	DT_{ln}	-11,204	K
Calor cedido por el conducto A	Q_A	27,10	W

De manera similar obtenemos el tramo B, tabla 2.25,

Tabla 2.25: Resultados obtenidos tramo B

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Temperatura de salida aire calentador	T_i	340	K
Temperatura de superficie	T_s	296,7	K
Calor específico del aire	cp	1007	$\frac{J}{kg \times K}$
Densidad del aire	$r @ Tm$	1,2	$\frac{kg}{m^3}$
Flujo másico del aire	F_m	0,3395	$\frac{kg}{s}$
Coeficiente de conductividad aislante	k	0,04	$\frac{W}{K \times m}$
Diámetro conducto	D	0,2	m
Radio del conducto	r_i	0,1	m
Radio del conducto + aislante	r_2	0,15	m
Coeficiente de convección interior	h_i	1,01E+02	$\frac{W}{K \times m^2}$
Coeficiente de convección exterior	h_2	2,89	$\frac{W}{K \times m^2}$
Largo del conducto	L	0,5	m
Área exterior del conducto	A	1,885	m^2
Coeficiente de resistencia de transferencia de calor total	R_{total}	1,53	$\frac{W}{K \times m^2}$
Temperatura a la salida del tubo	T_e	339,66	K
LMDT	DT_{ln}	-43,1284	K
Calor cedido por el conducto B	Q_A	26,56	W

2.3.12 Balance de Energía y rendimiento del intercambiador

En esta sección calculamos el balance de energía y rendimiento del intercambiador, según tabla 2.26

Tabla 2.26: Balance de energía y rendimiento del intercambiador

Variables	Simbología	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Cantidad de pellets teórico	$F_{m\ teorico}$	0,00085	$\frac{kg}{s}$	3,09	$\frac{kg}{h}$
Cantidad de pellets calculado	$F_{m\ real}$	0,0011	$\frac{kg}{s}$	3,96	$\frac{kg}{h}$
Calor aportado por el combustible	$Q_{pellets}$	21153	W		
Calor intercambiador convección	$Q_{int\ conv}$	3759,30	W		
Calor por radiación	Q_{rad}	18107,92	W		
Calor cedido por chimenea	$Q_{chimenea}$	417,7	W		
Calor cedido por las paredes	Q_{pared}	319,71	W		
Calor teórico para calentar la masa de aire de 18,7°C a 67°C	$Q_{teorica}$	16512,64	W		
Calor real que debe aportar el combustible	Q_{real}	21867,23	W		
Rendimiento del calentador de aire	η	76%			
Calor para compensar las pérdidas de calor	$Q_{perdidas}$	918,0	W		
Calor necesario incluyendo pérdidas	Q_{Total}	22785.2	W	FLUJO MÁSCO DE PELLETS	
Flujo másico de pellets	$F_{m\ necesario}$	0.00119	$\frac{kg}{s}$	4.27	$\frac{kg}{h}$
				Rendimiento total	
				72%	

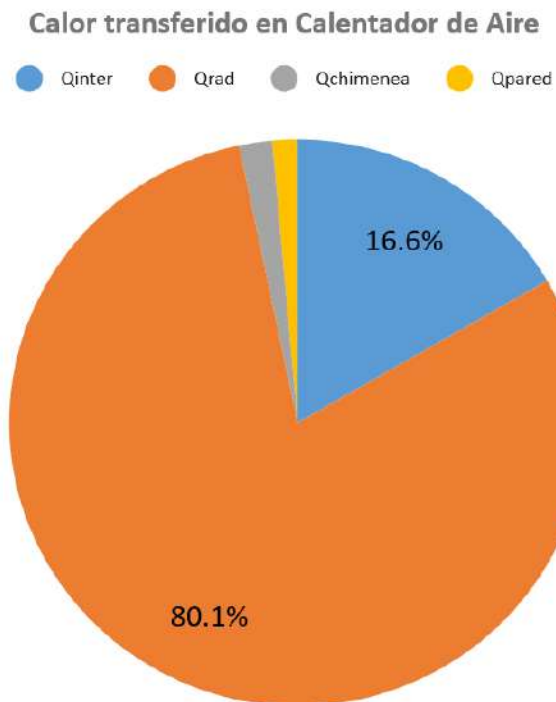


Figura 2-3-12: Calor transferido en el intercambiador.

$$Q_{PELLETS} = Q_{AIRE\ TEORICO} + Q_{PERDIDACH} + Q_{PERDIDACAL} + Q_{PERDIDA\ BASE\ CAL} + Q_{PERTUBERIAS} + Q_{PERCAMARA}$$

$$Q_{PELLETS} = 16512,64 + 417,7 + 319,71 + 3,621,58 + 52 + 302 = 22550W$$

Luego, la energía entregada por la combustión de los pellets debe aproximarse a 22550 W, Con el valor calculado anteriormente de 22785 W, levemente superior, dejamos un margen para cubrir pérdidas no tenidas en cuenta.

3. Colector solar

En este capítulo se desarrolla el cálculo de un captador solar plano es el tipo más habitual de colector solar. Es un dispositivo que sirve para aprovechar la energía de la radiación solar, transformándola en energía térmica de baja temperatura para usos domésticos o comerciales.

En busca de analizar si es conveniente para el sistema, y reducir el consumo de pellets en el intercambiador.

El colector está conformado como se muestra en la figura 3-1-1.

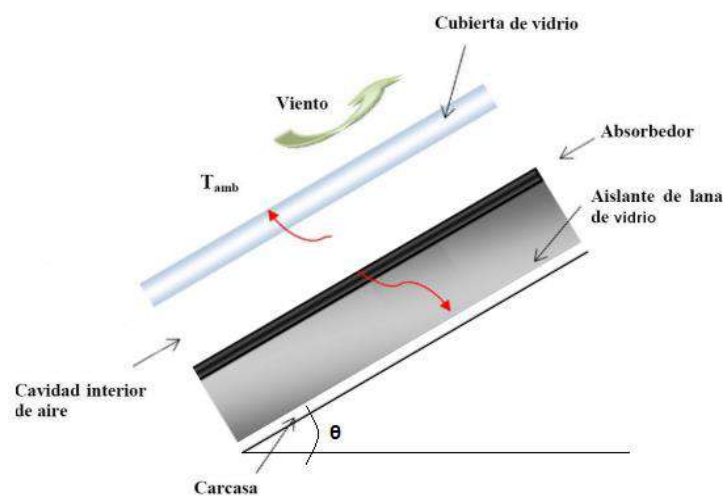


Figura 3-1-1: Colector solar

3.1 Parámetros de diseño

En la tabla 3.1, se detallan los parámetros de diseño.

Tabla 3.1: Parámetros

Variables	Simbología	Valor	Unidad
Longitud del colector	$L_{colector}$	6	m
Ancho del colector	$An_{colector}$	2	m
Altura del colector	$Al_{colector}$	0,1	m
Inclinación del colector	α	45	$^{\circ}$
Espesor de la lámina	δ	0,05	cm
Distancia entre placa y vidrio - l	l	0,045	m
Grosor del vidrio	esp	0,25	cm
Índice de refracción del vidrio	n_1	1,526	
Índice de refracción del aire	n_2	1	
Coeficiente de extinción del vidrio	K_{ex}	0,16	$\frac{1}{cm}$
Emitancia del vidrio	ϵ_v	0,88	
Emitancia de la placa	ϵ_p	0,95	
Flujo de aire - m	F_{ma}	0,3395	$\frac{Kg}{s}$
Conductividad térmica de la placa	K	50	$\frac{W}{m^2 \times K}$
Coef. de trans. calor fluido y placa	H_{fi}	4,74	$\frac{W}{m^2 \times K}$
Calor específico del aire	C_p	0,24	$\frac{Kcal}{kg \times K}$
Transmitancia del vidrio	τ	0,88	
Conductividad térmica del aislante	K_a	0,045	$\frac{W}{m \times K}$
Grosor del aislante - Za	Z_a	0,05	m
Temperatura del absorbente - 333 k	T_{abs}	60	$^{\circ}C$
Temperatura ambientes - 293 k	T_{amb}	20	$^{\circ}C$
Velocidad del viento	v	1,44	$\frac{m}{s}$
Valor de constante Stefan-boltzmann	σ	5,67E-08	$\frac{W}{m^2 \times K^4}$

En un colector solar plano, sólo una fracción de la radiación solar incidente ($H_T \cdot A_c$) es aprovechada en el medio del trabajo, ya que una parte se pierde hacia los alrededores por conducción, convección y radiación. Otra fracción se pierde por las características propias de transmisión de la cubierta y la placa de absorción ($\tau\alpha$), y una última es almacenada en el colector. Ecuación (2.52)

$$H_T \times A_c \times (\tau\alpha) = q_{util} \times q_{perd} \quad (2.52)$$

H_T : Área efectiva del colector útil

q_{util} : Calor útil transportado al fluido

q_{perd} : Distintas pérdidas que experimenta el colector

El objetivo del colector fototérmico es convertir la radiación solar incidente, en energía calorífica útil, ecuación (2.53)

$$Q_{util} = A_c \times [H_T \times (\tau\alpha) - U_L \times (T_p - T_a)] \quad (2.53)$$

A_c : Área del colector

H_T : Radiación solar sobre la superficie horizontal.

$\tau\alpha$: Producto transmitancia-absortancia

U_L : Coeficiente global de pérdidas del colector

T_p : Temperatura promedio de la placa del colector

T_a : Temperatura ambiental.

La eficiencia de un colector se define como la fracción de la radiación incidente sobre su superficie que puede ser aprovechada como calor útil, ecuación (2.54)

$$\eta_c = \frac{Q_{util}}{A_c \times H_T} \quad (2.54)$$

Se debe mencionar también que, para determinar el calor útil y la eficiencia del colector, es necesario calcular las pérdidas; dichas pérdidas se pueden expresar de la siguiente manera, ecuación (2.55)

$$Q_{perd.} = A_c \times U_L \times (T_p - T_a) \quad (2.55)$$

3.2 Coeficiente global de pérdidas

Asumimos la siguiente temperatura del vidrio, ecuación (2.56)

$$T_v = \frac{T_p - T_a}{2} \quad (2.56)$$

$$T_v = \frac{60 - 20}{2} = 40 \text{ } ^\circ\text{C} = 313 \text{ K} \quad (2.56)$$

Calculamos el coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la placa y el vidrio, ecuación (2.57)

$$hr_{p-v} = \frac{\sigma \times (T_p + T_a) \times (T_p^2 + T_v^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1} \quad (2.57)$$

$$hr_{p-v} = \frac{0,0000000567 \times (333 + 293) \times (333^2 + 313^2)}{\frac{1}{0,95} + \frac{1}{0,88} - 1} = 6,23 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.57)$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación entre el vidrio y el ambiente, ecuación (2.58)

$$hr_{v-a} = \epsilon_v \times \sigma \times (T_v + T_a) \times (T_a^2 + T_v^2) \quad (2.58)$$

$$hr_{v-a} = 0,88 \times 0,0000000567 \times (313 + 293) \times (293^2 + 313^2) = 5,55 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.58)$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección entre la placa y el vidrio, ecuación (2.59), (2.60), (2.61)

$$\underline{h}_{p-v} = 1,161 \times \frac{\Delta T^{0,31}}{l^{0,070}} \times e^{-0,00143305 \times T} \quad (2.59)$$

$$\Delta T = T_p - T_v \quad (2.60)$$

$$\Delta T = 333 - 313 = 20 \text{ K} \quad (2.60)$$

$$\underline{T} = \frac{T_p - T_v}{2} \quad (2.61)$$

$$\underline{T} = \frac{333 + 313}{2} = 323 \text{ K} \quad (2.61)$$

$$\underline{h}_{p-v} = 1,161 \times \frac{20^{0,31}}{0,045^{0,070}} \times e^{-0,00143305 \times 323} = 2,29 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.59)$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección entre el vidrio y el ambiente, ecuación (2.62)

$$\underline{h}_{v-a} = 5,7 + 3,8 \times v \quad (2.62)$$

$$\underline{h}_{v-a} = 5,7 + 3,8 \times 1,44 = 11,17 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.62)$$

Luego se calcula el coeficiente de transferencia de calor superior, ecuación (2.63)

$$U_{SUP} = \left(\frac{1}{hr_{p-v} + \underline{h}_{p-v}} + \frac{1}{hr_{v-a} + \underline{h}_{v-a}} \right)^{-1} \quad (2.63)$$

$$U_{SUP} = \left(\frac{1}{6,23 + 2,29} + \frac{1}{5,55 + 11,17} \right)^{-1} = 5,64 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.63)$$

Verificando la temperatura asumida para el vidrio (T_v), ecuación (2.64)

$$T_v = T_p - \frac{U_{SUP} \times (T_p - T_a)}{\underline{h}_{p-v} + hr_{p-v}} \quad (2.64)$$

$$T_v = 60 - \frac{5,64 \times (60 - 20)}{2,29 + 6,23} = 33,5 \text{ } ^\circ\text{C} = 306,6 \text{ K} \quad (2.64)$$

3.2.1 Cálculo del U_{SUP} para el nuevo valor:

$$hr_{p-v} = \frac{\sigma \times (T_p + T_a) \times (T_p^2 + T_v^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1} \quad (2.57)$$

$$hr_{p-v} = \frac{0,0000000567 \times (333 + 293) \times (333^2 + 306,65^2)}{\frac{1}{0,95} + \frac{1}{0,88} - 1} = 6,11 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.57)$$

$$hr_{v-a} = \epsilon v \times \sigma \times (T_v + T_a) \times (T_a^2 + T_v^2) \quad (2.58)$$

$$hr_{v-a} = 0,88 \times 0,0000000567 \times (313 + 293) \times (293^2 + 306,65^2) = 5,61 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.58)$$

$$\underline{h}_{p-v} = 1,161 \times \frac{\Delta T^{0,31}}{t^{0,070}} \times e^{-0,00143305 \times T} \quad (2.59)$$

$$\Delta T = T_p - T_v = 333 - 306,65 = 26,35 \text{ K} \quad (2.60)$$

$$\underline{T} = \frac{T_p - T_v}{2} = \frac{333 + 306,65}{2} = 319,82 \text{ K} \quad (2.61)$$

$$\underline{h}_{p-v} = 1,161 \times \frac{26,35^{0,31}}{0,045^{0,070}} \times e^{-0,00143305 \times 319,82} = 2,51 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.59)$$

$$U_{SUP} = \left(\frac{1}{hr_{p-v} + \underline{h}_{p-v}} + \frac{1}{hr_{v-a} + \underline{h}_{v-a}} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{6,11 + 2,51} + \frac{1}{5,61 + 11,17} \right)^{-1} = 5,7 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.63)$$

3.2.2 Cálculo de coeficiente de pérdidas del fondo U_{FONDO}

A través de la ecuación (2.65)

$$U_{FONDO} = \frac{Ka}{Za} = \frac{0,045}{0,05} = 0,9 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.65)$$

$Ka =$ Conductividad térmica del aislante lana de vidrio

$Za =$ Espesor del aislante lana de vidrio

3.2.3 Cálculo de coeficiente de pérdidas por los lados U_{LADOS}

A través de la ecuación (2.66), (2.67), (2.68)

$$U_{LADOS} = \frac{Ka \times A_l}{Za \times A_c} = \frac{0,045 \times 1,6}{0,05 \times 12} = 0,12 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.66)$$

$$A_l = \text{Área de los lados} = 2 \times A_1 + 2 \times A_2 = (2 \times 0,1 \times 2) + (2 \times 0,1 \times 6) = 1,6 \text{ m}^2 \quad (2.67)$$

$$A_c = \text{Área colector} = A \times L = 6 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 12 \text{ m}^2 \quad (2.68)$$

3.2.4 Calculo el coeficiente global de pérdidas U_L

Finalmente se calcula el coeficiente global de perdidas según ecuación (2.69)

$$U_L = U_{SUP} + U_{FONDO} + U_{LADOS} = 5,7 + 0,9 + 0,12 = 6,72 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.69)$$

3.3 Cálculo de la eficiencia de la placa

Calculamos m , ecuación (2.70)

$$m = \left(\frac{U_L}{K \times \delta} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{6,72}{50 \times 0,0005} \right)^{\frac{1}{2}} = 16,4 \text{ m}^{-1} \quad (2.70)$$

Diámetro hidráulico, ecuación (2.71)

$$a = \text{espesor de pasaje de aire} = 0,0445 \text{ m}$$

$$b = \text{ancho colector} = 2 \text{ m}$$

$$D_h = \frac{4 \times a \times b}{2 \times (a + b)} = \frac{4 \times 0,0445 \times 2}{2 \times (0,0445 + 2)} = 0,087 \text{ m} \quad (2.71)$$

Segundo término, ecuación (2.72)

$$\frac{m \times (W - D)}{2} = \text{se reemplaza el término } (W - D), \text{ por el } D_h \quad (2.71)$$

$$\frac{m \times D_h}{2} = \frac{16,4 \times 0,087}{2} = 0,7134 \quad (2.71)$$

Finalmente calculamos, ecuación (2.72)

$$F = \frac{\tanh\left(\frac{m \times D_h}{2}\right)}{\frac{m \times D_h}{2}} = \frac{\tanh(0,7134)}{0,7134} = 0,86 \quad (2.72)$$

3.3.1 Cálculo de factor de eficiencia del colector F'

Consideramos las propiedades del aire a la temperatura promedio del vidrio obtenido $T_v = 33,5 \text{ }^\circ\text{C}$, donde:

$$v = 0,00001608 \frac{m^2}{s}$$

$$\beta = \frac{1}{T_a} = \frac{1}{292} = 0,00342 \frac{1}{K}$$

$$k = 0,02588 \frac{W}{m \times K}$$

$$Pr = 0,7282$$

Según ecuación (2.73), (2.74), (2.75)

$$Gr = \frac{\beta \times g \times a^3 \times (T_s - T_a)}{v^2} = \frac{0,00342 \times 9,81 \times 0,0445^3 \times (333 - 292)}{0,00001608^2} = 10534814 \quad (2.73)$$

$$Gr \times Pr = 10534814 \times 0,7282 = 7671451 \quad (2.74)$$

$$Nu = 1 + 1,44 \times \left\{ 1 - \frac{1708 \times (\sin(1,8 \times \theta))}{Gr \times Pr \times \cos \theta} \right\} \times \left\{ 1 - \frac{1708}{Gr \times Pr \times \cos \theta} \right\} + \left\{ \left(\frac{Gr \times Pr \times \cos \theta}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right\} \quad (2.75)$$

$$Nu = 11,20$$

Finalmente obtenemos el coeficiente de transferencia de calor h, según ecuación (2.76)

$$h = \frac{Nu \times k}{a} = \frac{11,20 \times 0,02588}{0,0445} = 6,51 \frac{W}{m^2 \times K} \quad (2.76)$$

3.3.2 Calculo del factor de eficiencia del colector F'

Según ecuación (2.77)

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{D_h \times \left(\frac{1}{U_L \times D_h \times F} + \frac{1}{\pi \times h \times D_h} \right)} \quad (2.77)$$

$$F' = \frac{\frac{1}{6,72}}{0,087 \times \left(\frac{1}{6,72 \times 0,087 \times 0,86} + \frac{1}{\pi \times 6,51 \times 0,087} \right)} = 0,67 \quad (2.77)$$

Cálculo del factor de remoción de calor F_r , ecuación (2.78)

$$F_r = \frac{G \times C_p}{U_L} \times \left(1 - e^{-\frac{U_L \times F'}{G \times C_p}} \right) \quad (2.78)$$

$$F_r = \frac{0,028 \times 1007}{6,72} \times \left(1 - e^{-\frac{6,72 \times 0,67}{0,028 \times 1007}} \right) = 0,62 \quad (2.78)$$

Donde:

$$G = \frac{m}{A_c} = \frac{0,3395}{12} = 0,028 \frac{Kg}{m^2 \times s}$$

$$C_p = 1007 \frac{J}{Kg \times K}$$

3.3.3 Cálculo de la eficiencia del colector

Según ecuación (2.79), tenemos la absorción de parte de la placa.

$$\tau = \text{Transmitancia del vidrio} = 0,88$$

$$\rho_d = \text{Reflectancia difusa para la cubierta} = 0,16$$

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau \times \alpha}{1 - (1 - \alpha) \times \rho_d} = \frac{0,88 \times 0,95}{1 - (1 - 0,95) \times 0,16} = 0,84 \quad (2.79)$$

- Factor de corrección R

Basado “GUIA DEL RECURSO SOLAR; Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética” [12]

Para maximizar la producción energética anual, o en alguna temporada particular, es necesario conocer los valores de irradiación solar en diferentes inclinaciones y orientaciones del plano de interés. Para ello, es preciso llevar la irradiación media mensual del plano horizontal al plano inclinado.

Dicho proceso requiere varias transformaciones matemáticas. Si bien lo ideal es estimar la irradiación en el plano de interés en cada caso puntual, a los fines prácticos, para la mayoría de los casos, es suficiente con definir un factor de proporcionalidad promedio que permita estimar la irradiación solar en el plano inclinado a partir de la irradiación en plano horizontal.

El valor de este factor está dado por las tablas de transposición anexo J y permiten estimar los valores medios de irradiación solar para diferentes orientaciones e inclinaciones en todas las provincias del país de modo fácil y rápido. Las tablas cuentan con valores que representan el cociente entre la irradiación en el plano inclinado y la irradiación en el plano horizontal, por tanto, para conocer los valores de irradiación en la superficie inclinada, basta con multiplicar dichos coeficientes por la irradiación media mensual en el plano horizontal, para cada ubicación geográfica, orientación e inclinación.

Finalmente conociendo la radiación por mes y promedio sacamos el $Q_{\dot{util}}$ y la eficiencia η_c a través de las ecuaciones (2.80), (2.81). Los resultados se observan en la tabla 3.2

$$\eta_c = F_r \times (\tau\alpha) - F_r \times U_L \times \frac{(T_e \times T_a)}{H_T \times R} \quad (2.80)$$

$$Q_{\dot{util}} = A_c \times H_T \times R \times (\tau\alpha) - U_L \times A_c \times (T_e \times T_a) \quad (2.81)$$

$T_e =$ Temperatura de entrada del aire se considera 27°C

Tabla 3.2: Resultados del colector solar

MES	Radiación Ht [W/m2]	Factor de corrección R	Temp media [°C]	Qutil [W]	Eficiencia η	Ts [°C]
ENERO	661,0926	0,81	25,3	5260,6	51%	40,7
FEBRERO	569,4285	0,89	24,2	4882,7	50%	38,5
MARZO	491,6529	1,02	22,3	4676,0	48%	36,0
ABRIL	374,9895	1,2	18,7	3866,6	44%	30,0
MAYO	272,2146	1,43	15,5	2996,5	40%	24,3
JUNIO	222,216	1,57	12,6	2355,5	35%	19,5
JULIO	252,7707	1,51	12,5	2678,1	36%	20,4
AGOSTO	322,2132	1,29	14	3141,5	39%	23,2
SEPTIEMBRE	419,4327	1,08	15,7	3654,9	42%	26,4
OCTUBRE	522,2076	0,93	18,6	4218,0	45%	31,0
NOVIEMBRE	622,2048	0,83	21,1	4729,8	47%	35,0
DICIEMBRE	666,648	0,8	23,9	5125,9	50%	38,9
PROMEDIO	449,7559	1,11	18,7	4362,9	45%	31,5

Por último, buscamos la temperatura de salida promedio del aire, según ecuación (2.82)

$$T_s = T_e + \frac{Q_{\dot{util}}}{\dot{m} \times c_p} \quad (2.82)$$

$$T_s = 291,85 \text{ K} + \frac{3752,11 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{1222,2 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 0,24 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \times \text{K}}} = 304,6 \text{ K} = 31,5^\circ\text{C} \quad (2.82)$$

3.4 Consumo de pellets con colector solar

Haremos una comparación teniendo en cuenta las dos opciones, con colector solar y sin colector solar.

Para esto se tiene en cuenta que la temperatura de entrada del aire al calentador a pellets es igual a la temperatura de salida del colector solar. Las pérdidas de calor en los conductos son mínimas, pero se tiene en cuenta en el cálculo del flujo de pellets necesario. Tabla 3.3

Tabla 3.3: Resultados consumo pellets

Variables	Simbología	Valor	Unidad	Valor	Unidad
PCI pellets	PCI	19230	$\frac{kJ}{kg}$		
Flujo másico de aire	F_{ma}	0,3395	$\frac{kg}{s}$		
Calor específico del aire	C_p	1007	$\frac{J}{kg \times K}$		
Temperatura de salida del colector	T_{sc}	304	K		
Pérdidas de calor conducto TRAMO A	Q_A	-27,1	W		
Calor teórico pellets p/elevar Taire de 31 a 66 °C	Q_{pi}	11965,68	W		
Temperatura de salida del calentador	T_c	340	$^{\circ}C$		
Pérdida de calor conducto TRAMO B	Q_B	-26,56	W		
Rendimiento del Calentador a pellets	n_i	0,72			
Flujo másico de pellets con colector solar	F_{mpcc}	0,00087	$\frac{kg}{s}$	3.125	$\frac{kg}{h}$
Flujo másico de pellets sin colector solar	F_{mpsc}	0,001185	$\frac{kg}{s}$	4.266	$\frac{kg}{h}$
Ahorro de pellets	$Ahorro$	0,000317	$\frac{kg}{s}$		
Ahorro de pellets %	$Ahorro\%$	26.74%			

3.5 Componentes colector solar

3.5.1 Cubierta transparente

Es la encargada de producir el efecto invernadero, reducir las pérdidas por convección.

El efecto invernadero logrado por la cubierta consiste en que la radiación que ha atravesado la cubierta y llega a la placa captadora, una parte es reflejada hacia la cubierta transparente con una longitud de onda para la cual ésta es opaca, con lo que se consigue retener la radiación en el interior. Este efecto nos define las características de la cubierta:

- Alto coeficiente de transmisión de la radiación solar en la banda de 0.3 a 3 mm, el cual debe conservarse a lo largo de los años.
- Bajo coeficiente de transmisión para las ondas largas, superiores a 3m.
- Bajo coeficiente de conductividad térmica, que dificulta el paso de calor desde la superficie interior hacia la exterior, minimizando así las pérdidas.

El material que constituye la cubierta del colector es vidrio plano claro, ya que presenta buenas propiedades de resistencia a la degradación, una transmitancia aceptable y facilidad de manejo y adquisición.

Espesor 2,5 mm

Dimensiones del vidrio plano: 12 m²

3.5.2 Placa Captadora

Tiene por misión absorber de la forma más eficiente posible la radiación solar y transformarla en energía térmica utilizable mediante su transferencia al fluido caloportador.

La cara de la placa captadora que se expone al sol ha de estar protegida de los rayos solares por medio de:

- Pintura de color negro u oscuro que absorbe la radiación solar. Presenta el inconveniente de tener un coeficiente de emisión sensiblemente igual al de absorción, por lo que no es recomendable para altas temperaturas.

- Superficies selectivas. Posee un coeficiente de absorción de radiación solar alto y un bajo coeficiente de emisión. No existen materiales simples que tengan esta propiedad.

El material utilizado puede ser chapa de acero galvanizado pintado de negro de 0,5 mm de espesor.

3.5.3 Aislamiento

La placa captadora está protegida en su parte posterior y lateral por medio de un aislamiento para evitar las pérdidas térmicas hacia el exterior.

Las características de estos aislantes han de ser:

- Resistir altas temperaturas sin deteriorarse, lo que muchas veces se consigue colocando entre la placa y el aislante una capa reflectante, que impida que el aislante reciba directamente la radiación.
- Desprender pocos vapores al descomponerse por el calor y en caso de ocurrir que no se adhieran a la cubierta.
- No degradarse por el envejecimiento u otro fenómeno a la temperatura habitual de trabajo.
- Soportar la humedad que se pueda producir en el interior de los paneles sin perder sus cualidades.

Usaremos lana de vidrio, espesor: 5 cm inferior y lateral.

3.5.4 Carcasa

Es la encargada de proteger y soportar los elementos que constituyen el colector solar, además de servir de enlace con el edificio por medio de los soportes.

Debe cumplir los siguientes requisitos:

- Rigidez y resistencia estructural que asegure la estabilidad. Es de suma importancia ya que debe resistir la presión del viento.
- Resistencia de los elementos de fijación: mecánica para los esfuerzos a transmitir; y química para soportar la corrosión.
- Resistencia a la intemperie, a los efectos corrosivos de la atmósfera y a la inestabilidad química debido a las inclemencias del tiempo.

El material óptimo es lámina galvanizada calibre 18" (espesor =1.2mm), la cual, además de tener un costo moderado presenta mejores propiedades para ser trabajada (doblada y soldada). Altura de la carcasa: 100 mm

3.6 Análisis de costos

Considerando que las dimensiones son 2 m x 6 m x 0,1 m; calcularemos las necesidades de materiales. Tabla 3.4,

Tabla 3.4: Componentes del colector

Componentes	Materiales	Cantidad [M2]	Costo unidad [\$]	SUBTOTALES [\$]	SUBTOTALES [USD]
Carcaza	Lámina galvanizada calibre 18"	13,6	6584	89542,4	237,51
Aislante	Lana de vidrio 5 cm	13,6	1208	16428,8	43,58
Placa	Chapa galvanizada 0,5 mm	12	3120,8	37449,6	99,34
Placa	Pintura negra	2 L	2834	5668	15,03
Cubierta	Vidrio plano 2,5 mm	12	5400	64800	171,9
Accesorios	Accesorios, sellos, etc.			85555,52	226,9
			TOTAL	299444,32	794,28

Para el cálculo de mano de obra, suponemos que el valor es igual al 50% del costo de los materiales. Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Costo total colector solar.

COSTOS	[\$]	[USD]
Materiales	299444,32	794,28
Mano de obra	119777,728	317,71
TOTAL	419222,048	1111,99

A continuación, considerando los costos del colector solar tanto el costo inicial como costo de mantenimiento anual 10%, evaluaremos la relación costo/beneficio en un periodo establecido de 2 años el cual es nuestro horizonte, en la tabla 3.6 se observarán los resultados.

Tabla 3.6: Cálculo costo/beneficio

Opciones		Kg año	Costo Kg	Costo anual
Kg Pellets sin colector		9453,78	\$ 93,3	\$ 882037,67
Kg Pellets con colector		6907,68	\$ 93,3	\$ 644486,54
			Beneficio	\$ 237551,13
TASA DE DESCUENTO	42,87%			
	Inicio	Año 1	Año 2	Val. Presente
BENEFICIOS		\$237551,13	\$ 237551,13	\$ 282.649,93
COSTO	\$ 419222,1	\$ 41922,21	\$ 41922,21	\$ 328.342,64
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO				0,86084

Relación Beneficio/Costo < 1, lo cual la inversión del colector no es rentable.

El contenido desarrollado este capítulo fue obtenido de la bibliografía [9, 10, 11, 12].

4. Diseño

En este capítulo describiremos los componentes principales que conforman la estación de secado.

4.1 Marcos de secado

El marco es el elemento donde se sujetarán los cueros a través de pinzas dándole la tensión adecuada para evitar cualquier deformación y contracciones excesivas. Está constituido por dos partes, un marco interior móvil y otro marco exterior fijo, de dimensiones apropiadas para media vaqueta (mitad de cuero vacuno). El marco interior rota en la parte central hasta la posición horizontal, facilitando la operación de enmarcado del cuero. Ambas partes están constituidas por caño estructural rectangular soldado y además el marco interior móvil lleva una chapa perforada que posibilita el anclaje de las pinzas. Al estar en un ambiente húmedo y corrosivo todas las partes deberán estar completamente galvanizadas, **Figuras 4-1-1 y 4-1-2.**

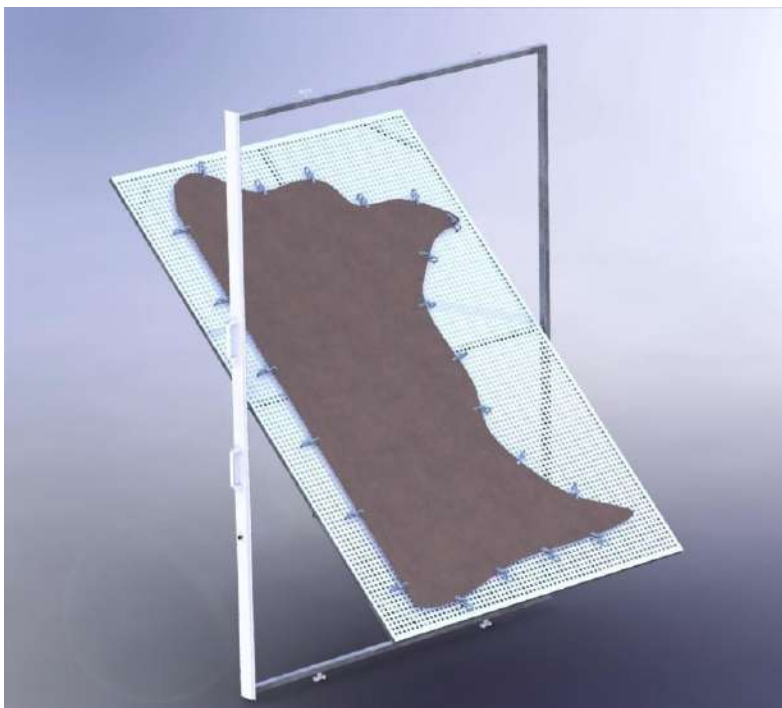


Figura 4-1-1: Marcos de secado

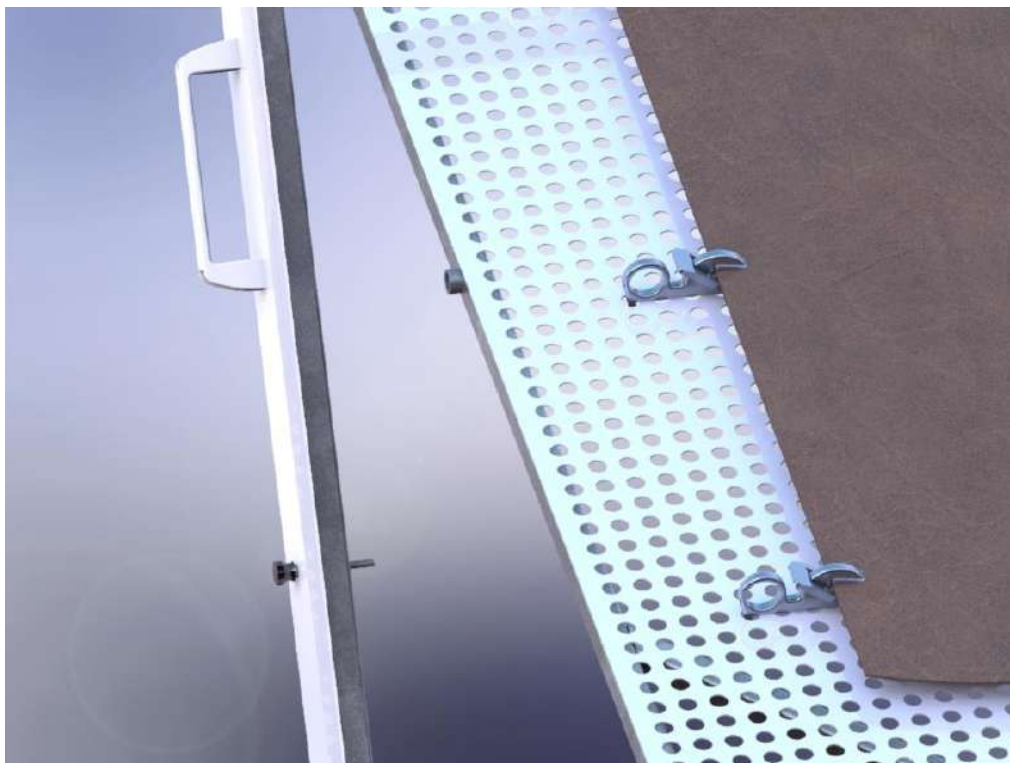


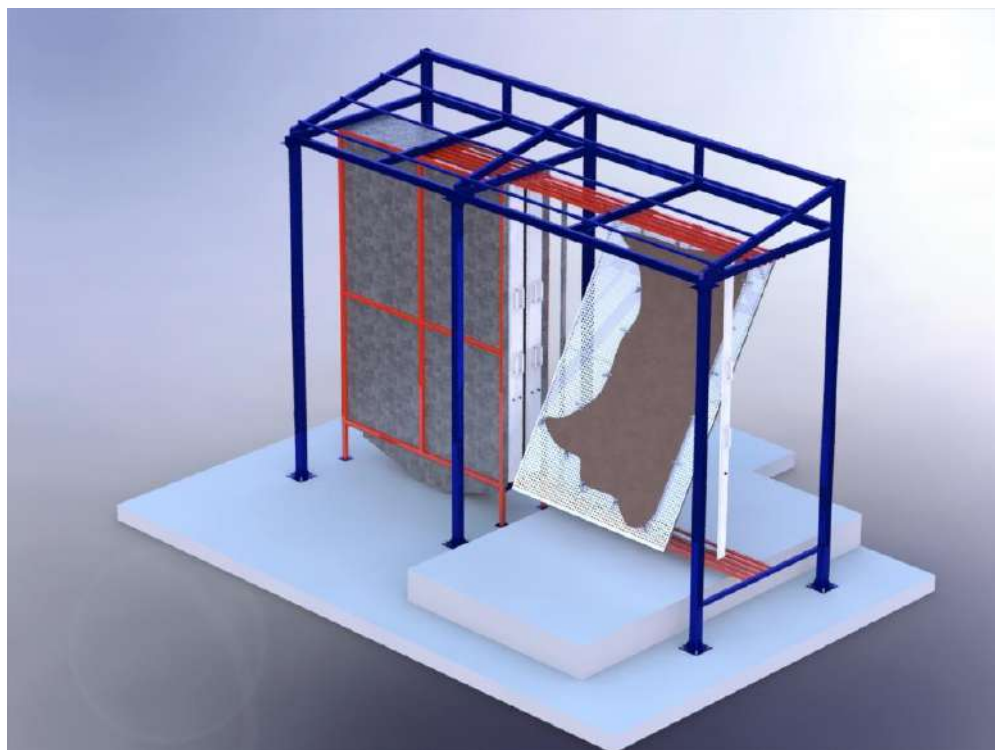
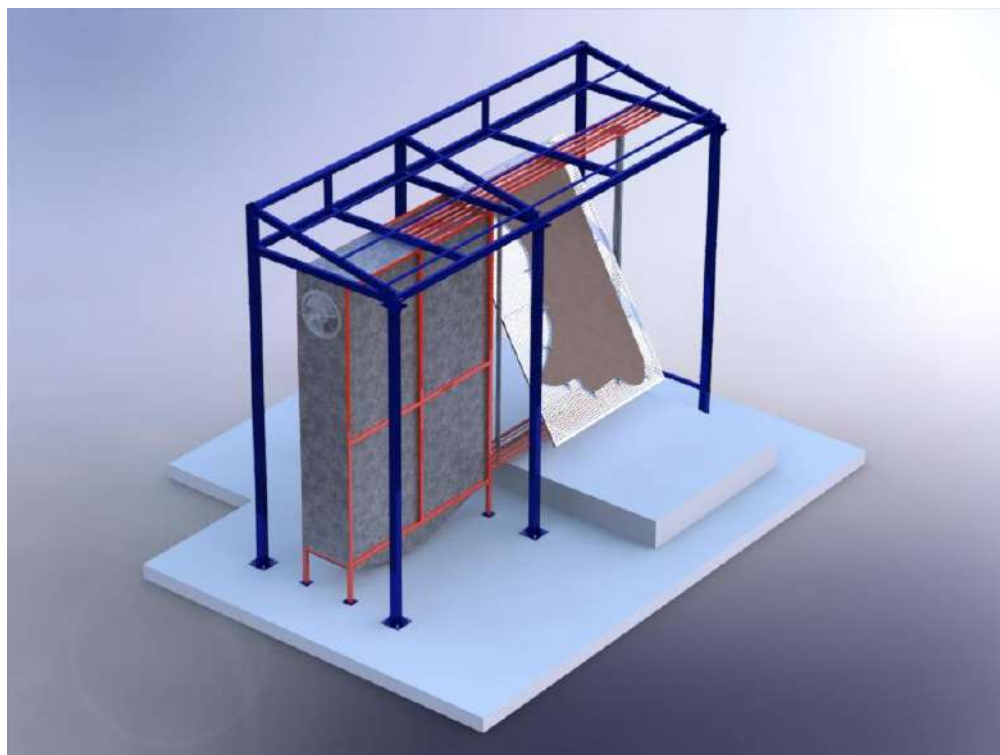
Figura 4-1-2: Detalle pinzas de toggling (sujeción).

4.2 Cámara de secado

La cámara es el recinto en donde se colocarán los marcos permitiendo secar hasta cinco medias vaquetas de cuero por vez. A través del ingreso de aire de secado por la parte inferior por medio de un difusor que distribuye el flujo hacia los marcos. Está construida por caños estructurales soldados, chapa galvanizada, y rieles por donde deslizan los marcos. Las dimensiones generales son 565 x 2875 x 1920 mm. **Figuras 4-2-1 y 4-2-2.**

4.3 Estructura del secador

La estructura del secador es el sostén de toda la cámara, rieles y marcos. Posibilita al operario trabajar resguardado bajo un espacio por fuera de la cámara al momento de enmarcar los cueros. Está constituida por caños estructurales, perfilería y chapa sinusoidal. Las dimensiones generales son 5000 x 4162 x 1740 mm. **4-2-1 y 4-2-2.**



Figuras 4-2-1 y 4-2-2: Cámara de secado y estructura

4.4 Equipo calentador de aire

El equipo calentador de aire, comúnmente llamado estufa, es el encargado de transferir la energía producida en la combustión de los pellets al aire, llevándolo a las condiciones de humedad y temperatura deseadas. Tiene la capacidad de calentar la masa de aire en la unidad de tiempo calculado en el capítulo 2. Está constituido por tres secciones: el hogar, un intercambiador de tubos y coraza y la chimenea. El hogar es la zona donde se produce la combustión de pellets y, rodeándolo, se diseñó una sección anular por donde el aire se calienta principalmente por radiación. Construida con chapa de acero especial para servicio a altas temperaturas bajo norma A/SA. El intercambiador de tubos y coraza, está constituido por cuarenta tubos de acero inoxidable rodeado de una coraza de chapa de acero inoxidable, los gases de la combustión fluyen por interior de los tubos y, el aire a calentar por el exterior. La chimenea tiene, en la parte inferior una sección cónica y en la parte superior cilíndrica y eleva los gases de combustión hasta una altura dónde puedan escapar fuera de la planta.

El aire entra por la parte superior del intercambiador de tubo y coraza para salir a través de la parte inferior del hogar y fluir hacia el ventilador. **Figura 4-4-1.**

4.5 Conducción de aire caliente a la cámara

La conducción de aire caliente del calentador de aire hacia la cámara se realiza a través de un ventilador de tipo centrífugo y conductos de chapa galvanizada. **Figura 4-5-1.**

4.6 Componente eléctricos y de control

Se colocarán dos transmisores de temperatura y humedad relativa al ingreso y salida de la cámara con posibilidad de configurar un ciclo de control del proceso de secado, midiendo condiciones de entrada y salida del aire. Ver Anexo O.

Se colocará un botón de parada de emergencia próximo a la posición de trabajo del operario. Además, las protecciones eléctricas del equipo se colocarán en un tablero eléctrico en la pared contigua a la estructura. **Figura 4-6-1.**

4.7 Alimentador de Pellets

Equipo opcional, se adquiriría un alimentador de tipo tornillo con tolva de pellets comercial para el caudal de combustible requerido. **Figura 4-7-1.**



Figura 4-4-1: Calentador de aire.

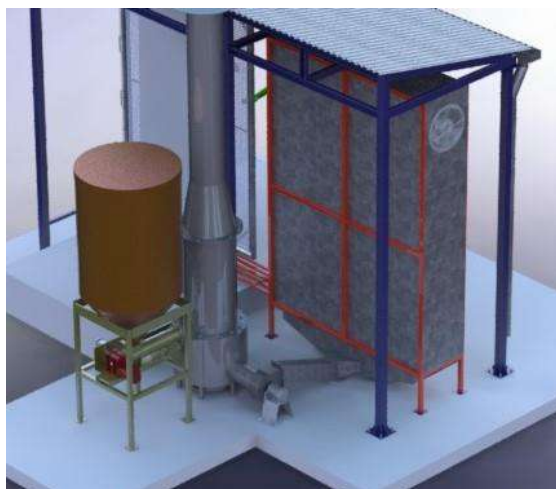


Figura 4-5-1: Conducción de aire y alimentador de pellets.

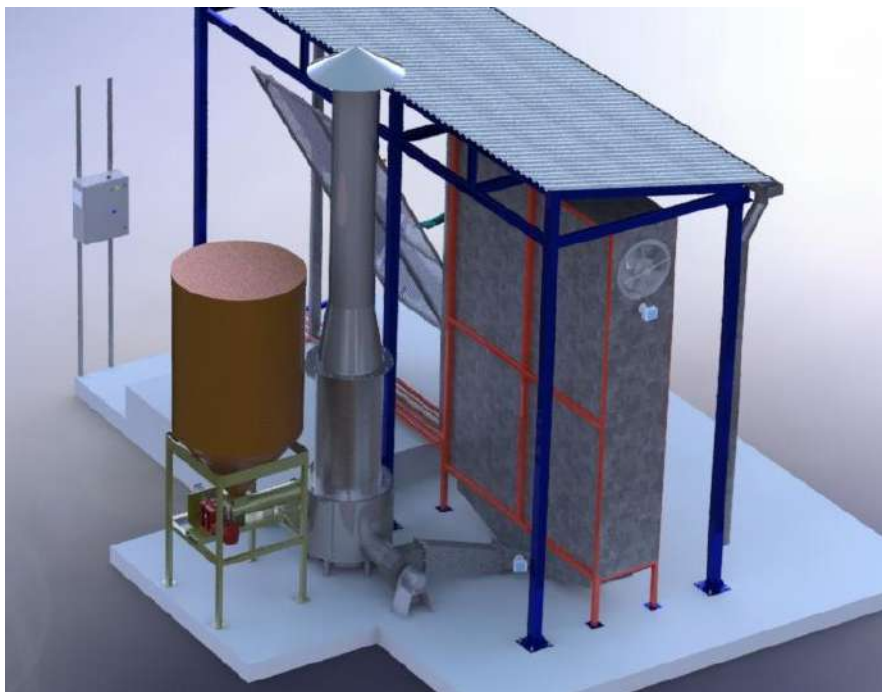


Figura 4-6-1: Componentes eléctricos y de control

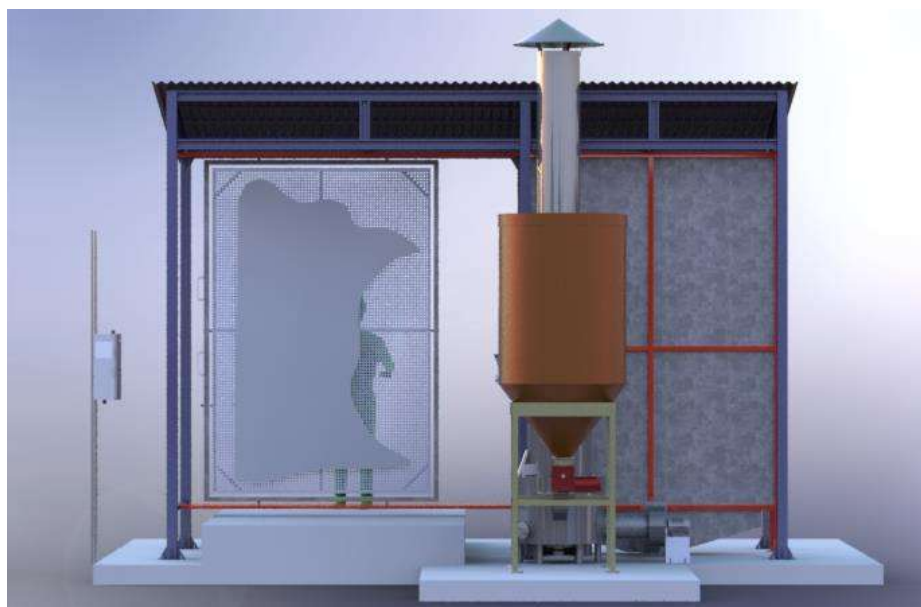


Figura 4-7-1: Vista trasera de la estación de secado

Todos los equipos tendrán aislamiento adecuado para disminuir las fugas de calor hacia el exterior.

4.8 Selección del ventilador centrífugo

En este apartado detallamos la selección del ventilador centrífugo que impulsará el aire caliente desde la salida del calentador de aire a la cámara de secado.

4.8.1 Cálculo de pérdida de carga

La pérdida de carga total es la resistencia al paso de aire que ofrecen los distintos componentes del circuito de aire y determina la potencia del ventilador necesaria para impulsar el caudal fluido requerido. En este caso, tenemos pérdida de carga en los conductos, difusor y cámara de secado.

Para el cálculo, utilizamos la ecuación (4.1) [5],

$$\Delta P = f * \rho * \frac{L}{D} * \frac{V_{prom}^2}{2} = K_i * \frac{V_{prom}^2}{2} \quad (4.1)$$

- ΔP : Pérdida de carga
- f : Factor de fricción
- ρ : Densidad del fluido
- L : Longitud de la tubería
- D : Diámetro de la tubería o diámetro equivalente o hidráulico
- V_{prom} : Velocidad promedio del fluido en la sección
- K_i : Coeficiente de pérdida de carga en accesorios
- Pérdida de carga en los conductos

Tabla 4-1: Pérdida de carga en ductos

Variable	Simbología	Valor	Unidad
Longitud	Lp	0,70	m
Diámetro equivalente	Dh	0,15	m
Velocidad promedio	Vprom	0,070	$\frac{m}{s}$
Número de Reynolds	Re	4200	
Factor de Fricción	f	0,014	
Densidad aire	ρ	1,06	kg/m ³
Pérdida de carga	P1	0,012303081	Pa

- Pérdida de carga en el difusor

Tabla 4-2: Pérdida de carga en el difusor

Variable	Simbología	Valor	Unidad
Longitud	Lp	2,50	m
Diámetro equivalente	Dh	0,15	m
Velocidad promedio	Vprom	0,070	m/s
Coef. Pérdidas en accesorios	Ki	0,12	
Densidad aire	ρ	1,06	kg/m ³
Pérdida de carga	P2	0,0439	Pa

- Pérdida de carga en la cámara de secado

Tabla 4-3: Pérdida de carga en la cámara de secado

Variable	Simbología	Valor	Unidad
Longitud	Lp	2,50	m
Diámetro equivalente	Dh	0,04	m
Velocidad promedio	Vprom	1,18	m/s
Número de Reynolds	Re	4751,19	
Factor de Fricción	f	0,015	
Densidad aire	ρ	1,06	kg/m ³
Pérdida de carga	P3	527,123	Pa

Este último cálculo se realizó en base a la distancia entre marcos y cueros, teniendo en cuenta la sección libre para el paso del aire entre estos para cada subcámara.

Entonces, la pérdida de carga total es de 527,7 Pa y el caudal necesario de aire es de 1440 m³/h, según lo calculado anteriormente.

Con estos valores calculados y teniendo en cuenta los datos de los Anexos L y M, seleccionamos el ventilador de tipo centrífugo de la compañía Soler & Palau modelo **CHMT/4-250/100**. Se puede verificar en la curva característica de este modelo que, para una pérdida de carga de 530 Pa, entrega un caudal aproximado de 1400 m³/h.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El objetivo principal abordado en este proyecto fue lograr mejorar la productividad del secado del cuero, a través de un dispositivo o mecanismo, teniendo presente las condiciones limitantes de la operación, como las condiciones finales deseadas del cuero, el acceso a fuente de energía, entre otras. Lo cual nos llevó a una gran investigación de las propiedades del cuero y su comportamiento durante el secado, así como los distintos dispositivos o formas que existen en el mercado actual.

Esta búsqueda nos permitió dar con un modelo analítico, el que, adaptándolo a las condiciones particulares del problema, nos permitió predecir y observar el comportamiento del secado del cuero corroborando las premisas de lograrlo en 4,5 horas a través de una cámara con ambiente controlado. Como resultado es posible secar 5 cueros de manera simultánea y elevar la producción de 20 a 50 cueros por semana trabajando un solo turno, sin parar bajo condiciones climáticas adversas, como humedad relativa muy alta o lluvia. La metodología de enmarcado de los cueros mejora en gran medida gracias al diseño del dispositivo y accesorios de sujeción, mejorando la ergonomía de las operaciones.

Otro desafío interesante fue el desarrollo de un sistema para lograr el ambiente controlado en la cámara, ya que las energías convencionales como el gas natural no era accesibles, esto nos llevó a un exhaustivo desarrollo de un intercambiador de calor alimentado de pellets de madera, asegurando las condiciones de entrada del aire a la cámara de secado ($65\text{ }^{\circ}\text{C} - 11\text{ \%Hr}$ aprox.). Finalmente analizamos una posibilidad de bajar el consumo de la masa de pellets, de 4,27 a 3,13 kg, a través de un colector solar que, luego de un estudio de costos, vimos que no era rentable en nuestro horizonte de 2 años.

Para culminar, vemos que los resultados arrojados en este proyecto optimizan las condiciones de secado bajo las condiciones límite impuestas, de esta manera logramos una solución accesible y que cumple con las premisas principales.

5.2 Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos y conclusiones dadas, queremos invitar al lector a reflexionar y profundizar el estudio para una producción mayor, abordando el modelo establecido y modificando las condiciones ambientales, además considerando que este estudio se realizó de forma analítica le sugerimos acompañarlo de una prueba empírica para las correcciones de los parámetros de servicio.

6. Bibliografía

- [1] PABLO CANDARLE. Curtido artesanal de pieles, Cenadac. Buenos Aires, 2019.
- [2] JOSE LUIS SOTELO SANCHO. Secado. Cartagena, 2002.
- [3] JOSEP MARIA MORERA. Química Técnica de Curtición, Escola Superior d'Adoberia d'Igualada. España, 2002
- [4] ADZET ADZET, JOSE MARIA. Química técnica de tenería Igualada, Capellades. Barcelona, 1985
- [5] YUNUS A. ÇENGEL. Transferencia de calor y masa, Tercera edición. University of Nevada. Reno, 2007.
- [6] GERLA, P., ZECCHI B. Modelos predictivos para el secado de cueros por distintas tecnologías. Ingeniería Química N° 43, Diciembre 2013, pp. 26 – 31, Montevideo, Uruguay.
- [7] BEYLER, C.L., "Fire Hazard Calculations for Large Open Hydrogen Fires," Sección 3, capítulo 1. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Tercera Edición. Massachusetts, 2002
- [8] MARCHETTI, LAWRENCE J. Fire Dynamics Series: Estimating Fire Flame Height and Radiant Heat Flux From Fire. Fairfax, 2012.
- [9] JUAN CARLOS PAZ GUTIERREZ. Energía solar; Colectores solares planos. Tratamiento teórico-Vol 1. Ciudad Juárez, 2006.
- [10] ING. AMADOU KOULIBALY E ING. JUAN JOSÉ GONZÁLEZ BAYÓN Modelación de un colector solar para calentamiento de aire. La Habana, 2015
- [11] SERGIO RAMOS, ROBERTO DE RUYVER, NATALIA GATTINONI, RUBÉN GARIN, SERGIO GARRAN. Estación agrometeorológica del INTA Concordia - Serie de extensión N°16. Concordia, 2018
- [12] SUBSECRETARÍA DE ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA. Guía del recurso solar, Ciudad de Buenos Aires, 2019.

[13] ROJAS, G. Transferencia de Masa y Energía, Apuntes de cátedra. FCEIA, Universidad Nacional de Rosario. Rosario, 2018.

Anexos

Anexo A: Carta psicrométrica del aire



Toll Free: 1-866-4-VENMAR • Website: www.venmarces.com
 Head Office: 1502 D Quebec Avenue • Saskatoon, SK • Canada • S7K 1V7
 Applied Factory: 200 Carter • St-Léonard-d'Aston, QC • Canada • J0C 1M0

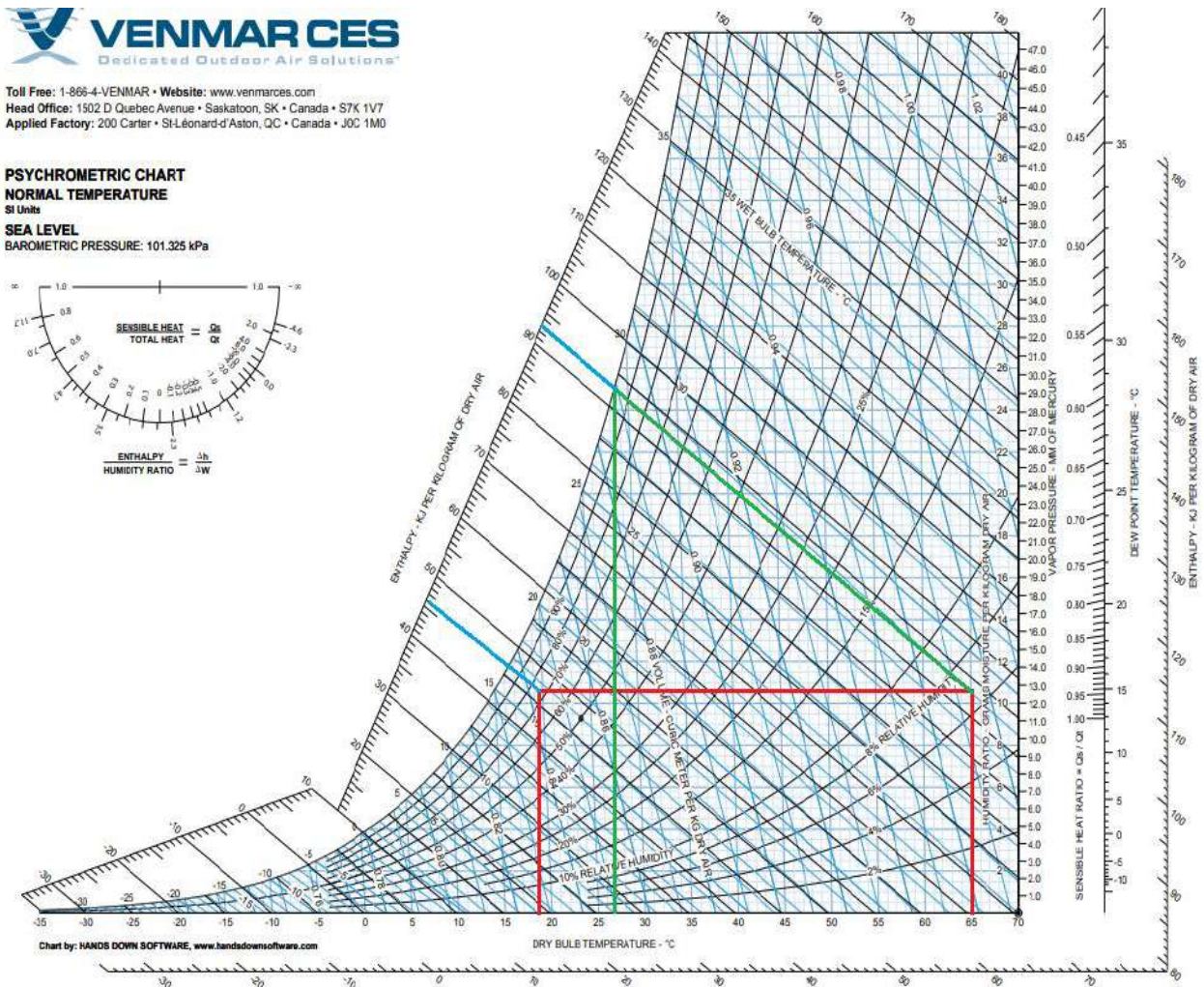
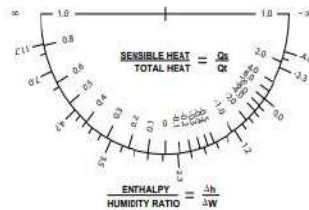
PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURE

SI Units

SEA LEVEL

BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



Fuente: Compañía Venmarces

Anexo B: Propiedades del aire de 1 atm

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202

Fuente: [5]

Anexo C: Cálculos teóricos del aire y gases generados

CÁLCULOS TEÓRICOS PARA EL AIRE Y LOS GASES GENERADOS:			
Composición elemental combustible			
Elemento	Símbolo	%m/m	
Carbono	C	0.5025	
Hidrógeno	H	0.0602	
Azufre	S	0.00016	
Nitrógeno	N	0.0007	
Oxígeno	O	0.43644	
Agua	H ₂ O	0.046	
Cenizas	A	0.0051	
Necesidades mínimas de comburente (estequiométrico)			
Masa oxígeno	simb	1.38532	kg O ₂ / kg comb
Volumen de oxígeno	simb	0.96972	Nm ³ O ₂ / kg comb
Masa aire seco	simb	5.97121	kg aire seco/ kg comb
Volumen de aire seco	simb	4.61810	Nm ³ aire seco/ kg comb
Masa de aire húmedo	simb	5.97133	kg aire húmedo/ kg comb
Volumen de aire húmedo	simb	4.61825	Nm ³ aire húmedo/ kg comb
Comburente real			
Volumen de aire real seco	simb	6.00496	Nm ³ aire seco/ kg comb
Vol. aire real húmedo	simb	6.00516	Nm ³ aire húmedo/ kg comb
Gases generados en la combustión completa (estequiométrica)			
Masa de CO ₂	simb	1.8425	kg CO ₂ / kg comb
Volumen de CO ₂	simb	0.9380	Nm ³ CO ₂ / kg comb
Masa de H ₂ O	simb	0.5418	kg H ₂ O kg comb
Volumen de H ₂ O	simb	0.6742	Nm ³ H ₂ O/ kg comb
Masa de SO ₂	simb	0.0003	kg SO ₂ / kg comb
Volumen de SO ₂	simb	0.0001	Nm ³ SO ₂ / kg comb
Masa de N ₂	simb	0.0007	kg N ₂ / kg comb
Volumen de N ₂	simb	0.0006	Nm ³ N ₂ / kg comb
Masa total de gases secos	simb	6.4428	kg gases secos / kg comb
Volumen total de gases secos	simb	4.5889	Nm ³ gases secos / kg comb
Masa total de gases húmedos	simb	7.0307	kg gases húmedos/ kg comb
Volumen total de gases húmedos	simb	5.3196	Nm ³ gases húmedos/ kg comb
Gases generados en la combustión con exceso de aire			
Masa total de gases secos	simb	8.236	kg gases secos / kg comb
Volumen total de gases secos	simb	5.976	Nm ³ gases secos / kg comb
Masa total de gases húmedos	simb	8.824	kg gases húmedos/ kg comb
Volumen total de gases húmedos	simb	6.706	Nm ³ gases húmedos/ kg comb

Calculado según metodología aplicada en el cursado de la materia “Transferencia de Masa y Energía” [13].

Anexo D: Longitud media del haz L

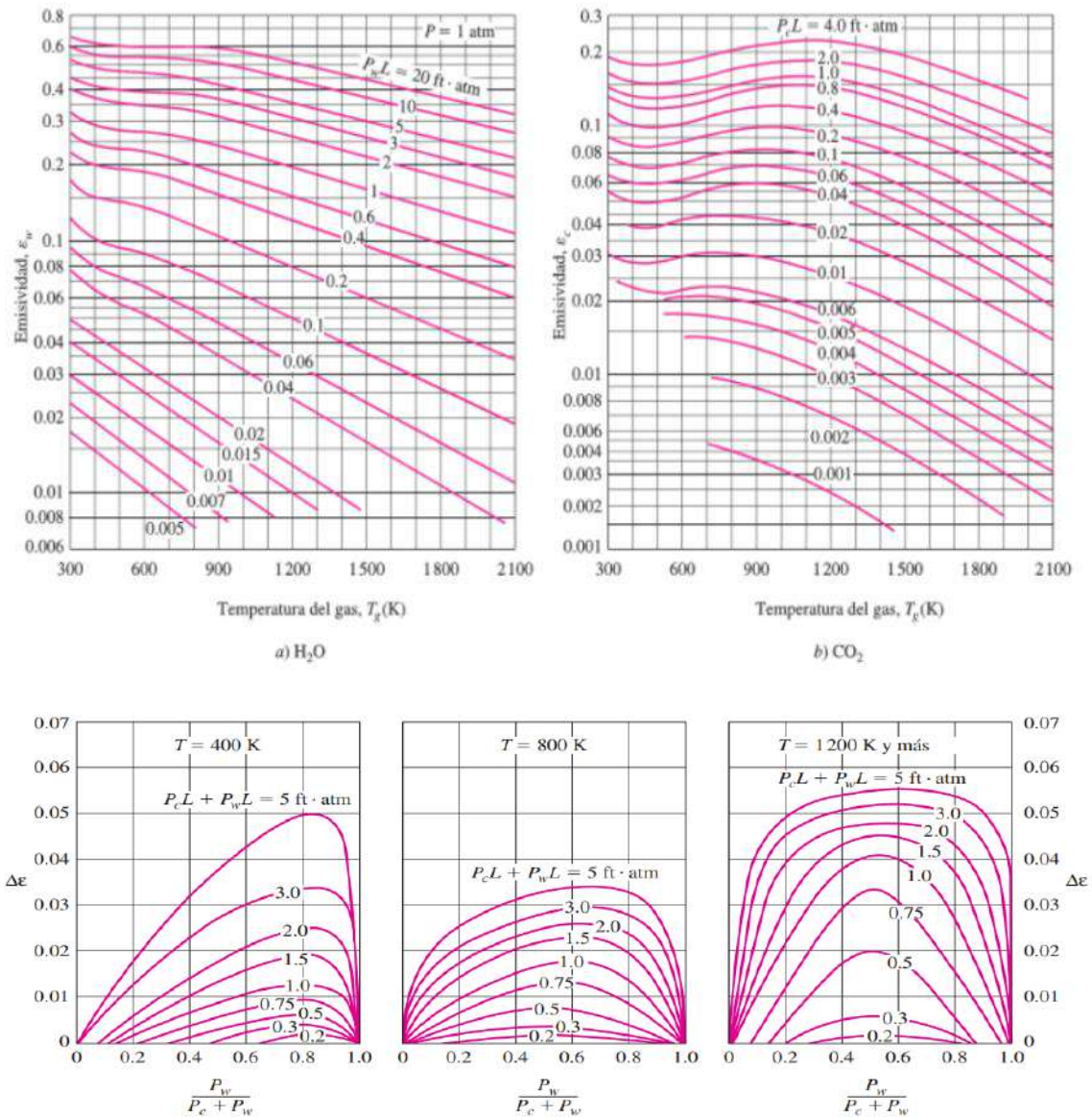
TABLA 13-4

Longitud media del haz L para varias formas del volumen de gas

Configuración geométrica del volumen de gas	L
Hemisferio de radio R irradiando hacia el centro de su base	R
Esfera de diámetro D irradiando hacia su superficie	$0.65D$
Cilindro circular infinito de diámetro D irradiando hacia la superficie curva	$0.95D$
Cilindro circular semiinfinito de diámetro D irradiando hacia su base	$0.65D$
Cilindro circular semiinfinito de diámetro D irradiando hacia el centro de su base	$0.90D$
Cilindro semicircular infinito de radio R irradiando hacia el centro de su base	$1.26R$
Cilindro circular de altura igual al diámetro D irradiando hacia toda la superficie	$0.60D$
Cilindro circular de altura igual al diámetro D irradiando hacia el centro de su base	$0.71D$
Losa infinita de espesor D irradiando hacia cualquiera de los dos planos que la limitan	$1.80D$
Cubo de longitud L por lado irradiando hacia cualquiera de las caras	$0.66L$
Forma arbitraria de volumen V y área superficial A_s irradiando hacia la superficie	$3.6V/A_s$

Fuente: [5]

Anexo E: Gráfico emisividad vs temperatura



Fuente: [5]

Anexo F: Factores de visión para dos cilindros concéntricos

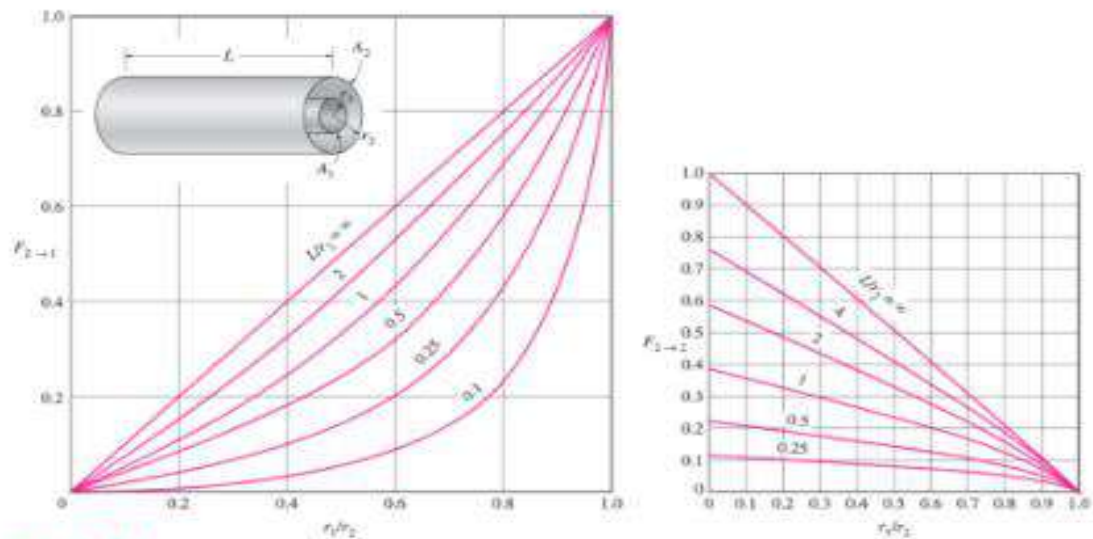


FIGURA 13-8

Factores de visión para dos cilindros concéntricos de longitud finita: a) del cilindro exterior hacia el interior; b) del cilindro exterior hacia sí mismo.

Fuente: [5]

Anexo G: Propiedades de materiales aislantes

TABLA A-6

Propiedades de materiales aislantes
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa)	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
procesada a partir de roca, escoria o vidrio)	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
Tablero y losa					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlite expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—

Fuente: [5]

Anexo H: Aislante cerámico ASTS

Productos > Aislaciones Térmicas > Calor > **Aislante Cerámico**

Aislaciones Térmicas

AISLANTE CERÁMICO

Densidades: 96, 110 y 128 Kg./m³

Espesores: 12,5 mm a 50 mm

Coefficiente de Conductividad: 0.033 a 0.038 kcal/mCh

Temperatura de trabajo: 0 a 1200°C

Usos: Aislamiento de superficie con temperaturas muy elevadas, relleno cortafuego de puertas o tabiques, relleno aislante de tanques u hornos, sellado de juntas o uniones de puertas cortafuego, aislación de alta temperatura con bajo espesor posible, etc.



Descripción

La Manta Cerámica es un aislante térmico fibroso libre de asbestos y resistente a elevadas temperaturas de hasta 1250°C, con un comportamiento ignífugo y cortafuego (F-15 a F-90), en una amplia gama de densidades y espesores.

Su presentación puede ser en:

- Mantas flexibles.

Fuente: empresa ASTS Thermal & Acoustic

Anexo I: Correlaciones empíricas para el número de Nusselt

TABLA 7-1

Correlaciones empíricas para el número de Nusselt promedio, para convección forzada sobre cilindros circulares y no circulares en flujo cruzado (tomado de Zukauskas, Ref. 14, y Jakob, 1949)

Sección transversal del cilindro	Fluido	Rango de Re	Número de Nusselt
Círculo 	Gas o líquido	0.4-4 4-40 40-4 000 4 000-40 000 40 000-400 000	$Nu = 0.989Re^{0.330} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.911Re^{0.385} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.683Re^{0.466} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.193Re^{0.618} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.027Re^{0.805} Pr^{1/3}$

Fuente: [5]

Anexo J: Factor de proporcionalidad de irradiación solar en plano inclinado



Presidencia de la Nación

ENTRE RÍOS

TABLA 1 - $R = R_H/R$ Latitud = 31°50'

Localidad : Paraná Ita

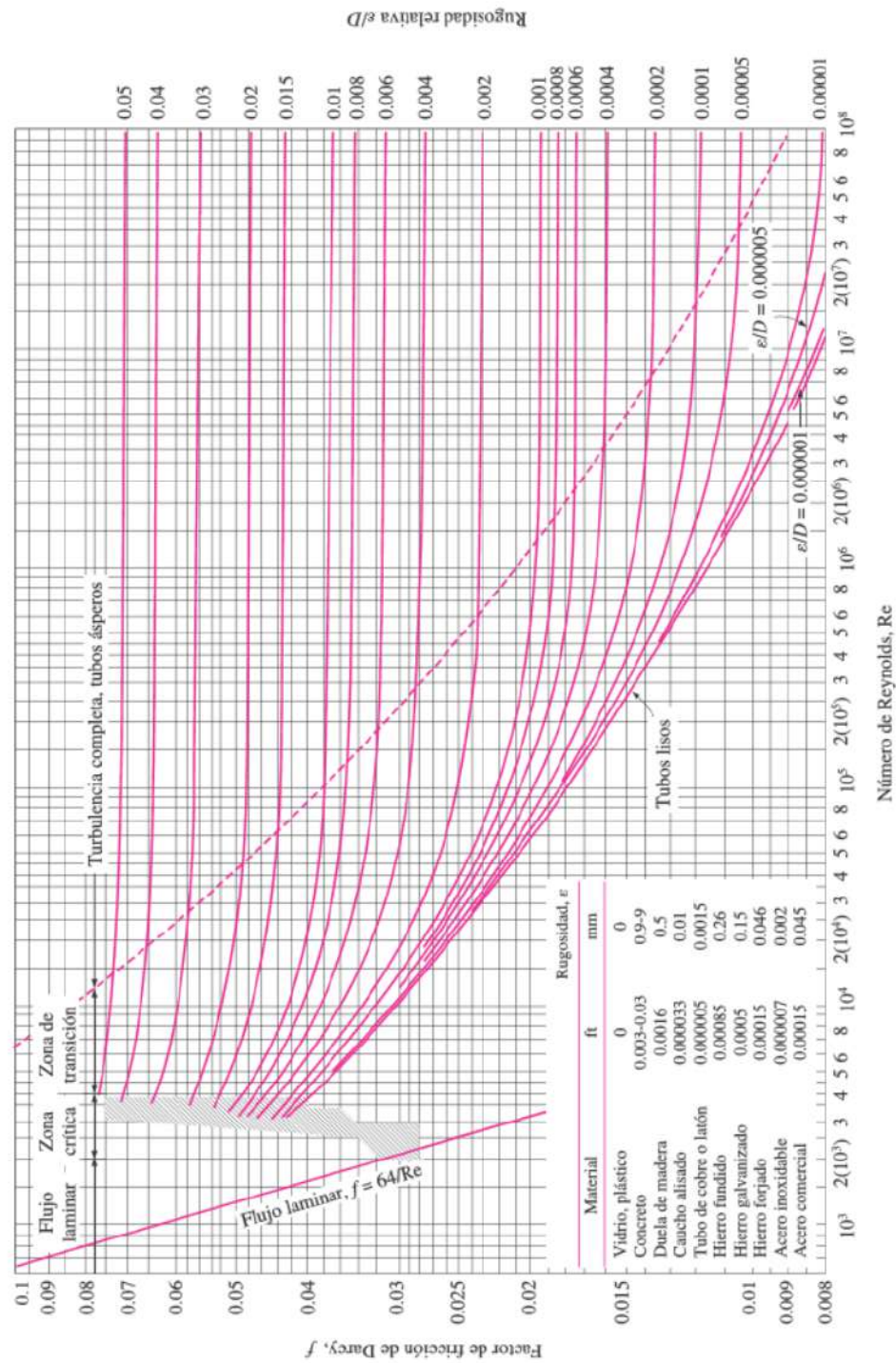
Provincia : Entre Ríos

Acimut = ±0°

β°	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
0	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99
5	1,00	1,00	1,02	1,04	1,07	1,09	1,08	1,05	1,02	1,01	1,00	0,99	1,03
10	0,99	1,01	1,04	1,08	1,14	1,17	1,16	1,11	1,05	1,02	0,99	0,98	1,06
15	0,98	1,01	1,05	1,12	1,20	1,26	1,23	1,15	1,07	1,02	0,98	0,97	1,09
20	0,96	1,00	1,06	1,15	1,26	1,33	1,30	1,20	1,09	1,02	0,97	0,95	1,11
25	0,94	0,99	1,06	1,17	1,31	1,40	1,36	1,23	1,10	1,01	0,95	0,93	1,12
30	0,91	0,97	1,06	1,19	1,35	1,45	1,41	1,26	1,10	1,00	0,93	0,90	1,13
35	0,89	0,95	1,05	1,20	1,39	1,50	1,45	1,28	1,10	0,98	0,90	0,87	1,13
40	0,85	0,92	1,04	1,21	1,41	1,54	1,48	1,29	1,09	0,96	0,87	0,84	1,12
45	0,81	0,89	1,02	1,20	1,43	1,57	1,51	1,29	1,08	0,93	0,83	0,80	1,11
50	0,77	0,86	0,99	1,19	1,44	1,59	1,52	1,29	1,06	0,89	0,79	0,75	1,10
55	0,73	0,82	0,96	1,18	1,44	1,60	1,53	1,28	1,03	0,86	0,75	0,71	1,07
60	0,68	0,77	0,92	1,15	1,43	1,60	1,52	1,26	1,00	0,82	0,70	0,66	1,04
65	0,63	0,73	0,88	1,12	1,41	1,59	1,51	1,24	0,97	0,77	0,66	0,61	1,01
70	0,58	0,68	0,84	1,09	1,38	1,57	1,49	1,21	0,92	0,72	0,61	0,56	0,97
75	0,53	0,63	0,79	1,04	1,35	1,54	1,45	1,17	0,88	0,67	0,55	0,51	0,93
80	0,48	0,57	0,74	0,99	1,30	1,50	1,41	1,12	0,83	0,62	0,50	0,46	0,88
85	0,43	0,52	0,68	0,94	1,25	1,45	1,36	1,07	0,77	0,56	0,45	0,41	0,82
90	0,38	0,46	0,62	0,88	1,20	1,39	1,30	1,01	0,71	0,50	0,40	0,36	0,77

Fuente: [12]

Anexo K: Diagrama de Moody

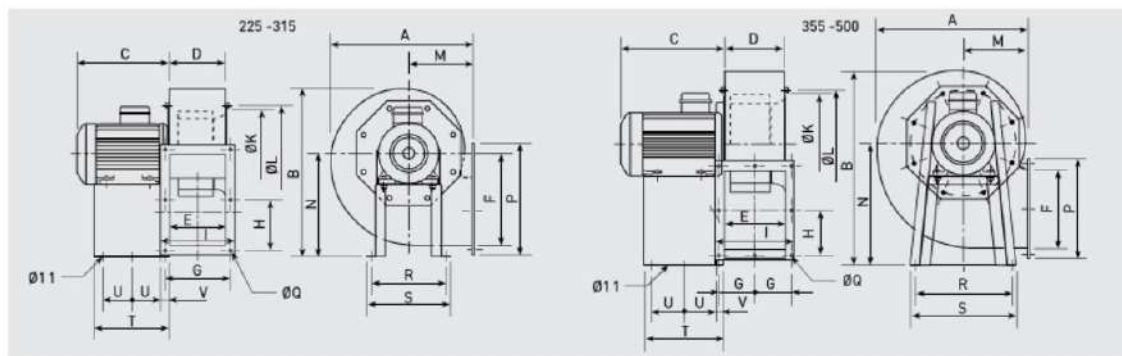


Fuente: [5]

Anexo L: Ventiladores centrífugos Soler & Palau

Modelo	Velocidad (r.p.m.)	Potencia útil (kW)	Intensidad máxima absorbida (A)		Caudal máximo (m³/h)	Nivel de presión sonora* (dB(A))	Peso (kg)
			230 V	400 V			
TRIFÁSICOS 4 POLOS							
CHMT/4-225/90-0,55	1430	0,55	2,4	1,4	2.600	71	34
CHMT/4-250/100-1,1	1390	1,1	4,7	2,7	3.600	72	39
CHMT/4-250/100-1,5	1400	1,5	6,6	3,8	3.900	73	41
CHMT/4-280/115-2,2	1400	2,2	9,5	5,5	5.050	75	64
CHMT/4-315/130-2,2	1400	2,2	9,5	5,5	5.450	72	70
CHMT/4-315/130-3	1400	3	13	7,5	6.400	75	75
CHMT/4-315/130-4	1420	4	–	9,5	7.100	78	80
CHMT/4-355/145-3	1400	3	13	7,5	6.200	75	77
CHMT/4-355/145-4	1420	4	–	9,5	7.700	78	82
CHMT/4-355/145-5,5	1440	5,5	–	12,5	9.300	81	105
CHMT/4-355/145-7,5	1445	7,5	–	16	10.700	83	113
CHMT/4-400/165-4	1420	4	–	9,5	7.200	77	97
CHMT/4-400/165-5,5	1440	5,5	–	12,5	8.300	80	120
CHMT/4-400/165-7,5	1445	7,5	–	16	10.460	83	128
CHMT/4-450/185-5,5	1470	5,5	–	12,9	7.560	83	130
CHMT/4-450/185-7,5	1470	7,5	–	16	9.900	86	138
CHMT/4-500/205-11	1467	11	–	23	11.250	87	163
CHMT/4-500/205-15	1470	15	–	31	15.930	89	180

DIMENSIONES (mm)

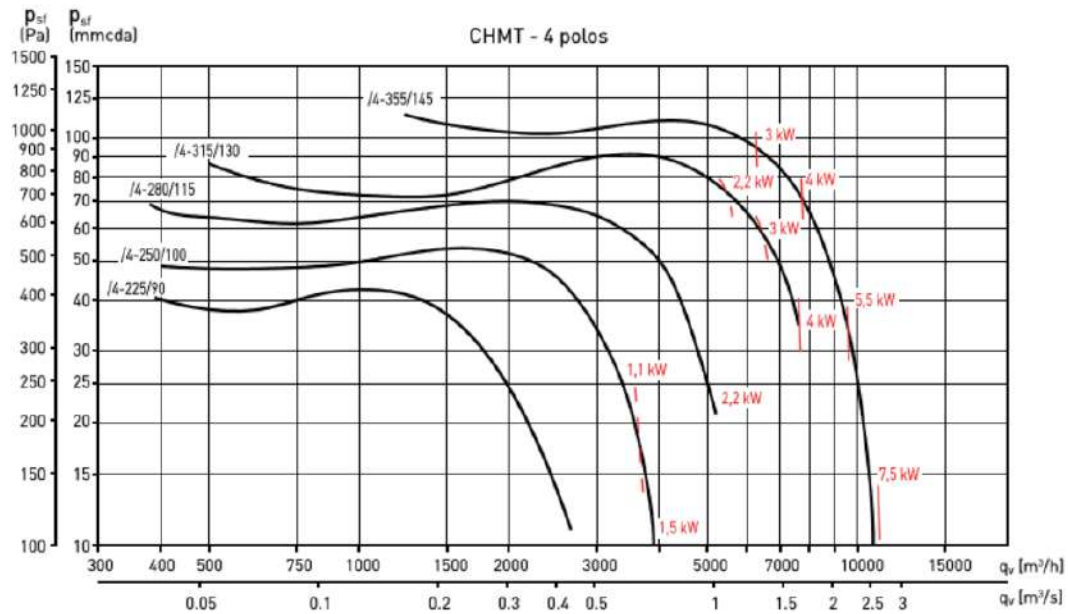


Modelo CHMT	A	B	C máx	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	V
225/90	386	452	240	144	140	216	180	128	203	234	256	181	280	279	10	220	250	200	3x50	29
250/100	427	503	290	168	165	250	205	145	228	252	282	197	310	313	10,5	228	260	225	3x74	27
280/115	467	547	320	183	180	300	220	170	243	292	320	215	340	363	10,5	245	275	240	2x95	27
315/130	525	630	340	203	200	320	240	180	263	325	354	238	390	383	11	322	352	230	2x140	20
355/145	566	707	435	231	227	280	133	159	291	365	394	250	445	343	11	420	450	333	2x136,5	30
400/165	628	792	435	254	249	320	150	185	334	410	438	270	495	404	11	402	438	327	2x133,5	30
450/185	709	898	391	288	284	360	164	202	368	463	485	302	560	444	11	502	538	340	2x140	30
500/205	795	984	526	319	315	450	182,5	250	409	513	535	345	610	544	11	613	653	435	2x187,5	30

Fuente: Soler & Palau

Anexo M: Curvas características de ventiladores SP

- q_v = Caudal en m^3/h y m^3/s .
- p_{st} = Presión estática en mmcd a y Pa.
- Aire seco normal a 20°C y 760 mmHg.
- Ensayos realizados de acuerdo a Norma ISO 5801 y AMCA 210-99.



Fuente: Soler & Palau

Anexo N: Proceso de curtido vegetal Paiz actual

OP.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	TIEMPO	OBSERVACIÓN
1	SELECCIÓN INSPECCIÓN DE PIEL CRUDA	La inspección de piel cruda consiste en, observar en qué condiciones se encuentra el producto antes de comenzar el proceso que conlleva el curtido de cuero	1-3 min	A media que inspeccionamos debemos tener en cuenta, que el cuero fue un animal y que debemos acondicionarlo y extraer partes que no se necesitan tales como: garras, cola, pesuñas y orejas.
2	DESCARNADO	Depuración del cuero	1-3 hs	Extraemos todo tipo de grasas y restos del cuero luego de ser carneado. (carnear : Sacrificar y descuartizar un animal para su consumo, acción realiza por experto en consumo de carne).
3	REMOJO/LAVADO	Acción realizada con el objetivo de eliminar todo tipo de impurezas	1-3 min	Tratamos de limpiar y eliminar todo tipo de sobra del proceso anterior acondicionando el cuero para el siguiente proceso.
4	CALERO	Remojo en piletas para supresión del pelo	5-7 días	En esta etapa, el cuero es tratado en un contenedor o pileta con agua y óxido de calcio (" cal " o " cal viva ") por varios días; de esa manera separamos el pelo de cuero.
5	EXTRACCION DE PELO	Supresión de pelo	15 min	El pelo se extrae fácilmente debido a la reacción química con la cal.
6	DESCALADO	Aseo del cuero	5-10 min	Es un proceso de enjuague rápido, acondicionando el cuero para el siguiente proceso.
7	PURGACION DEL CUERO	Detención de óxido de cálcico (cal o cal viva) en el cuero con afrecho	4-5 hs	Afrecho (es el término que se utiliza para denominar en forma genérica al salvado procedente de la molienda de los cereales cuya cáscara es desmenuzada en el mencionado proceso).
8	DESENGRASE/ LAVADO	Aseo del cuero	1-5min	Tratamos de eliminar todo tipo de impurezas de afrecho, con un enjuague acondicionando el cuero para poder continuar con el siguiente proceso.
9	PIQUELADO	Precurtido a fulón	3-4hs	Es el comienzo del tratamiento al cuero. En esta etapa observaremos que el cuero es introducido al fulón (máquina) previamente rellenado con agua y sal, dándole dada textura al cuero, acondicionándolo para el siguiente proceso.
10	ESCURRIDO	Punto oreado del cuero (se requiere utilización de dispositivo para secado)	3-5 hs	El objetivo del escurrido es llegar al punto oreado del cuero.

11	REBAJADO	Disminución de espesor y volumen del cuero	10min	En este proceso, el cuero está preparado, se encuentra en condiciones para darle volumen y espesor homogéneo al cuerpo, a través de una maquina destinada para el mismo. (Si el piquelado no se hiciera, este proceso no se puede llevar a cabo).
12	LAVADO	Aseo del cuero	1-5min	Tratamos de eliminar todo tipo de impurezas del rebajado, dejándolo limpio para el siguiente proceso.
13	CURTIDO	Curtido a tanino en fulón (fulón: cilindro rotativo similar a un lavarropas utilizado en curtiembres para distintos tratamientos de cuero)	12hs	Tanino: sustancia muy astringente, que se extrae de la corteza de algunos árboles, como el castaño o el roble, y se emplea principalmente en el curtido de pieles y en la elaboración de ciertos fármacos, ("en el vino tinto hay tanino"). En este proceso el cuero es introducido en la maquina fulón, previamente relleno con tanino y agua donde el cuero será tratado.
14	OREADO	Punto oreado el cuero (se requiere utilización de dispositivo para secado)	4-7hs	En esta etapa el oreo lleva más tiempo, llegando a secarlo con el objetivo de que el producto penetre e ingrese con buena eficacia logrando eficiencia.
15	NEUTRALIZADO/ENGRASADO	Aceitado con aceite sulfonado a fulon	30-40 min	Una vez que el cuero se encuentra seco como un cartón, se aplica el aceite para evitar que se quiebre y pierda la textura.
16	ESTIRADO	Estaqueo del cuero	4min	El estaqueo del cuero consiste en: estirar el mismo en un catre de madera de forma cuadra con clavos sobre el borde de todo el cuero. Con el objetivo de darle un largo y ancho determinado, facilitando el siguiente proceso.
17	SECADO	Secado al natural (se requiere utilización de dispositivo para secado)	8-12hs	El secado natural (sol) depende en la estación que nos encontremos. En Invierno la acción es más lenta y conlleva más tiempo, y en verano lo opuesto.
18	ABLANDADO/BATANADO	Flexibilización del cuero en fulón	4-5hs	Se pone en un cilindro rotativo para ablandarlo.
19	ACABADO/PULIDO	Embellecimiento del cuero	20 min	Pulido mediante piedra pulidora o máquina para acabado final de la superficie del cuero
20	OTRAS	Recorte de partes inutilizables, cocido de agujeros, tapado de cicatrices.	1 - 2 hrs	

Fuente: Taller "El Ranchito", establecimiento de la familia Paiz.

Anexo Ñ: Datos meteorológicos INTA Concordia 2018.

Mes Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Anual
Temp. Media [°C]	25,3	24,2	22,3	18,7	15,5	12,6	12,5	14,0	15,7	18,6	21,1	23,9	18,7
Precipitación [mm]	128,0	148,5	140,8	146,5	105,2	79,5	61,7	70,2	96,7	141,7	135,8	127,0	1372,9
Temp. Máxima [°C]	31,9	30,3	28,3	24,5	20,8	17,8	18,0	20,0	21,8	24,7	27,5	30,5	24,8
Temp. Mínima [°C]	18,8	18,3	16,2	12,9	10,0	7,5	7,1	8,0	9,5	12,6	14,7	17,2	12,8
Máxima Absoluta	41,4	41,3	40,2	35,1	33,2	30,9	31,9	35,7	38,3	38,5	39,2	41,4	41,4
Mínima absoluta	8,4	6,8	5,5	-0,4	-2,9	-5,1	-4,8	-4,2	-2,4	-0,4	2,4	6,0	-5,1
Punto Rocío [°C]	19,8	19,8	18,0	15,4	13,0	10,2	10,0	10,4	12,0	14,7	16,4	18,3	14,8
Humedad Relat. [%]	67,5	74,1	76,0	78,8	82,8	82,9	81,3	76,9	73,5	72,9	69,9	66,0	75,2
Tensión Vap. [hPa]	23,5	23,4	21,6	18,0	15,6	13,1	13,2	13,5	14,9	17,4	19,2	21,6	17,9
T. Mínima a 5 [°C]	16,8	16,1	13,8	10,0	7,8	4,9	4,0	4,8	6,6	9,3	11,9	14,7	10,1
Heliof. Efectiva [hs]	9,3	8,1	7,7	6,7	5,5	4,8	5,4	6,0	6,7	7,5	8,7	9,2	7,1
Heliof. Relativa [%]	66,3	60,9	62,8	58,9	52,3	46,8	52,2	54,2	56,4	58,3	63,1	65,0	58,1
V. Viento@2m [km/h]	5,4	5,0	4,8	4,5	4,4	4,7	5,0	5,5	6,2	5,8	5,9	5,5	5,2
Rad. Global MJ/m2	23,8	20,5	17,7	13,5	9,8	8,0	9,1	11,6	15,1	18,8	22,4	24,0	16,2
Evap. Potencial [mm]	166,0	124,1	107,5	64,3	36,1	23,8	28,9	47,6	72,5	106,3	135,2	161,1	1073,3
Grados Día > 10°C	475,0	400,7	388,0	265,6	178,2	103,7	104,2	133,2	177,5	269,4	332,0	426,6	3254,1
Cociente fototérmico	1,2	1,1	1,0	1,0	1,5	3,7	6,1	2,8	1,7	1,5	1,4	1,3	2,0
Frecuencia heladas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	2,3	3,7	1,7	0,5	0,0	0,0	0,0	8,6
Horas Frío < 7°C	0,0	0,0	0,1	7,6	52,2	123,0	150,9	99,8	43,6	6,4	0,9	0,0	484,4

Fuente: [11]

Anexo O: Transmisor de temperatura y humedad

PRESENTACIÓN

Los transmisores **RHT-WM-485-LCD** y **RHT-DM-485-LCD** incorporan sensores de alta precisión y estabilidad para medir la humedad relativa y la temperatura. Por ser equipos microprocesados, permiten total configuración a través de una interfaz RS485, utilizando comando Modbus RTU. El software **DigiConfig** permite la configuración de todos los recursos del transmisor, así como, su diagnóstico.

El modelo **RHT-WM-485-LCD** se destina al montaje en pared y el modelo **RHT-DM-485-LCD** tiene un vástago sensor prolongado para el montaje en conductos o a través de la pared.



CARACTERÍSTICAS

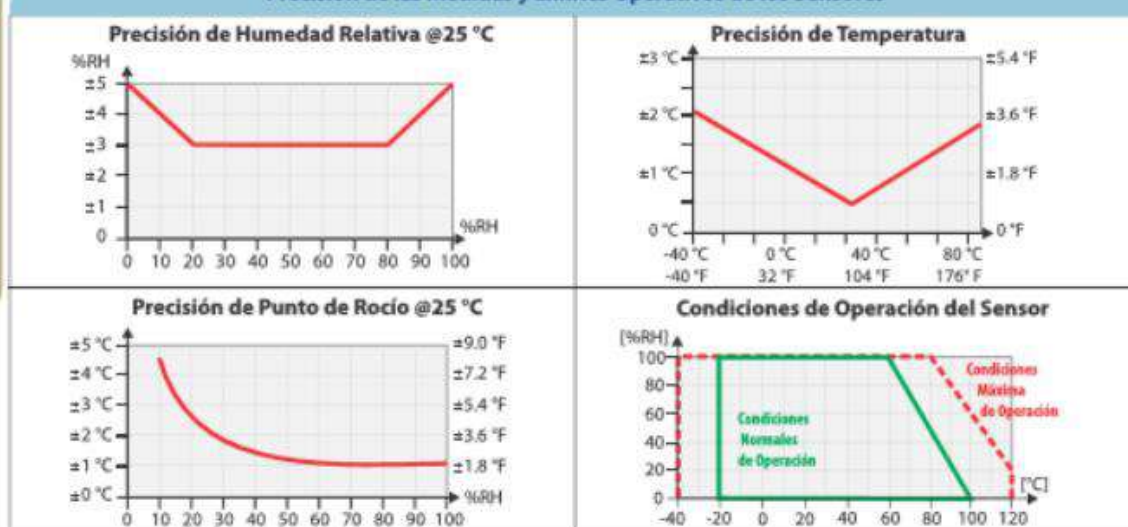
El transmisor puede ser configurado para presentar el valor de la Temperatura y de la Humedad Relativa medida o el valor de la Temperatura y del Punto de Rocio medido, o el valor de la Humedad Relativa y del Punto de Rocio, o solamente el valor de la Temperatura.

Los parámetros de comunicación pueden ser fácilmente configurados en el campo. Los valores de la dirección de comunicación, del Baud-rate y de la paridad, pueden ser alterados mediante un botón, sin necesidad de utilizar el software de configuración.

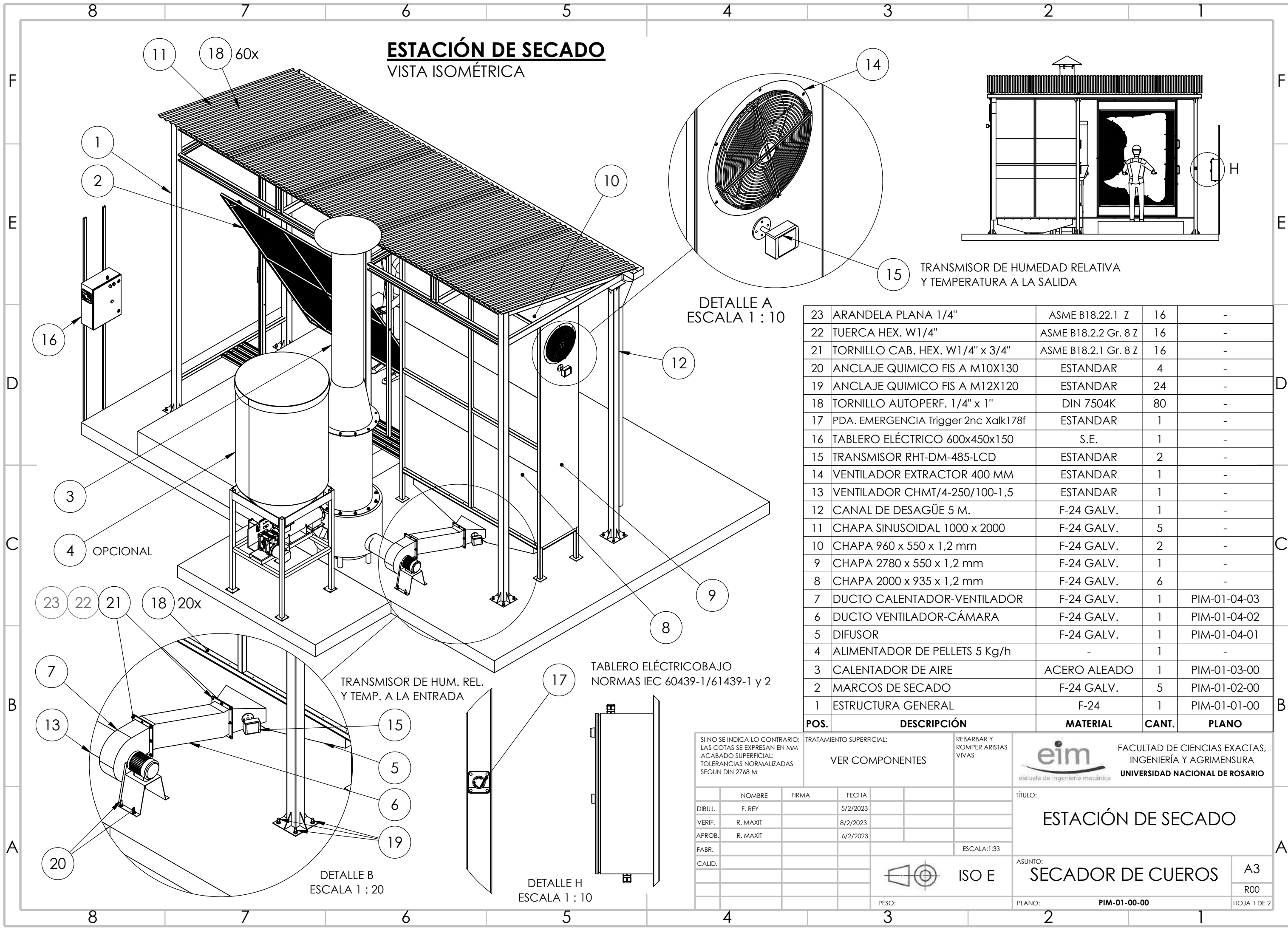
ESPECIFICACIONES

- Rango de medida del sensor:
 - Temperatura: $-40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $100,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Humedad Relativa (RH): $0,0$ a $100,0\text{ \% UR}$
 - Punto de Rocio: $-40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Resolución de las medidas:
 - Temperatura: $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 14 bits (16383 niveles)
 - Humedad Relativa: $0,1\text{ \%}$, 12 bits (4095 niveles)
- Tiempo de respuesta:
 - Temperatura: hasta 30 s en aire en movimiento lento
 - Humedad: hasta 8 s en aire en movimiento suave (20 a $80\text{ \%RH}$)
- Precisión de las medidas: Ver Figura
- Intervalo entre muestreo: 3 segundos
- Alimentación: 12 Vdc a 30 Vdc , consumo $< 16\text{ mA}$
- Caja en Policarbonato
- Grado de protección: Caja del módulo electrónico: IP65
Cápsula de sensores: IP40
- Dimensiones: $60 \times 70 \times 35\text{ mm}$
- Temperatura de trabajo del transmisor: de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Compatibilidad electromagnética: EM 61326:2000
- Acompaña cable de conexiones

Precisión de las Medidas y Límites Operativos de los Sensores



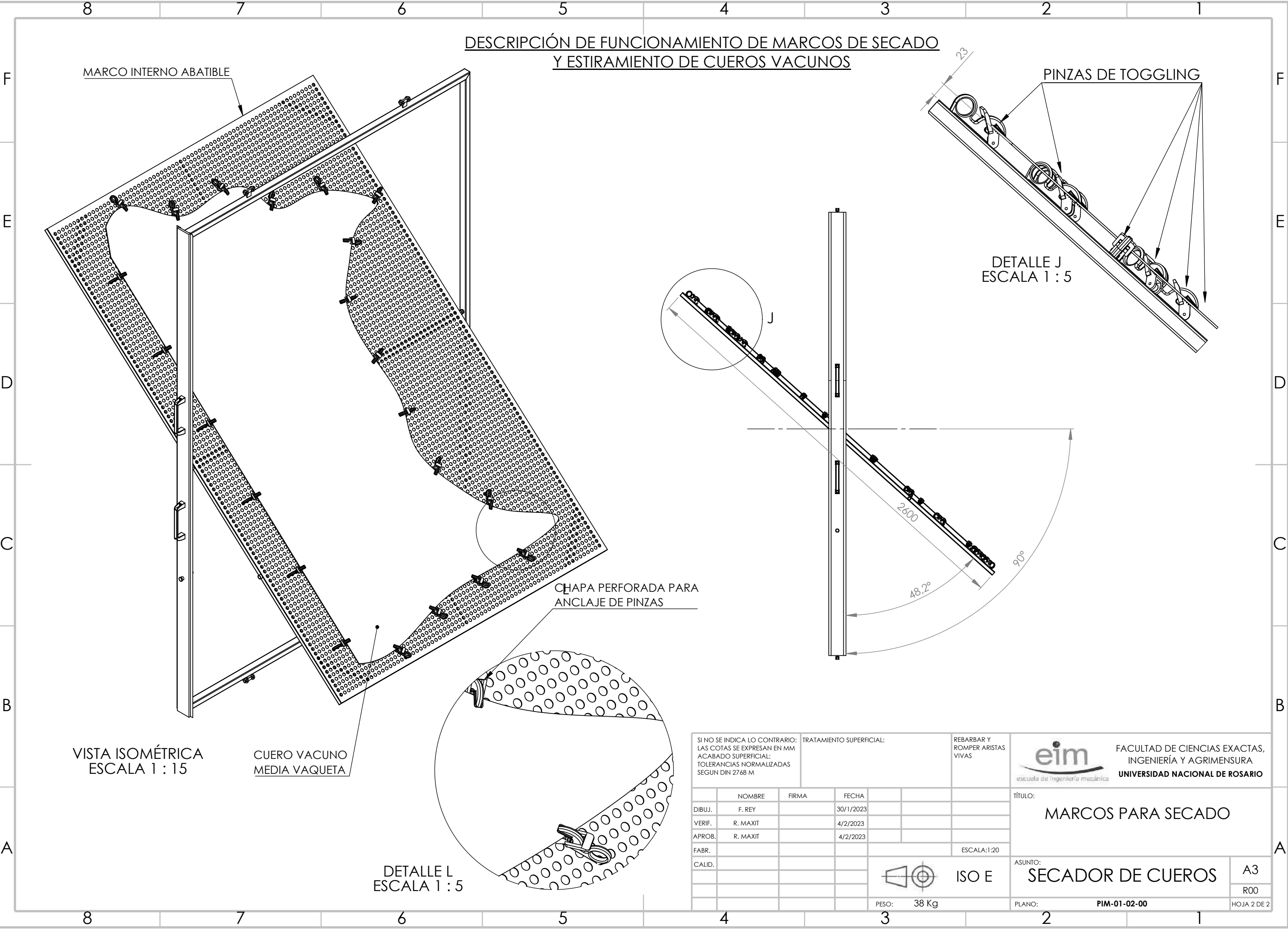
ESTACIÓN DE SECADO
VISTA ISOMÉTRICA

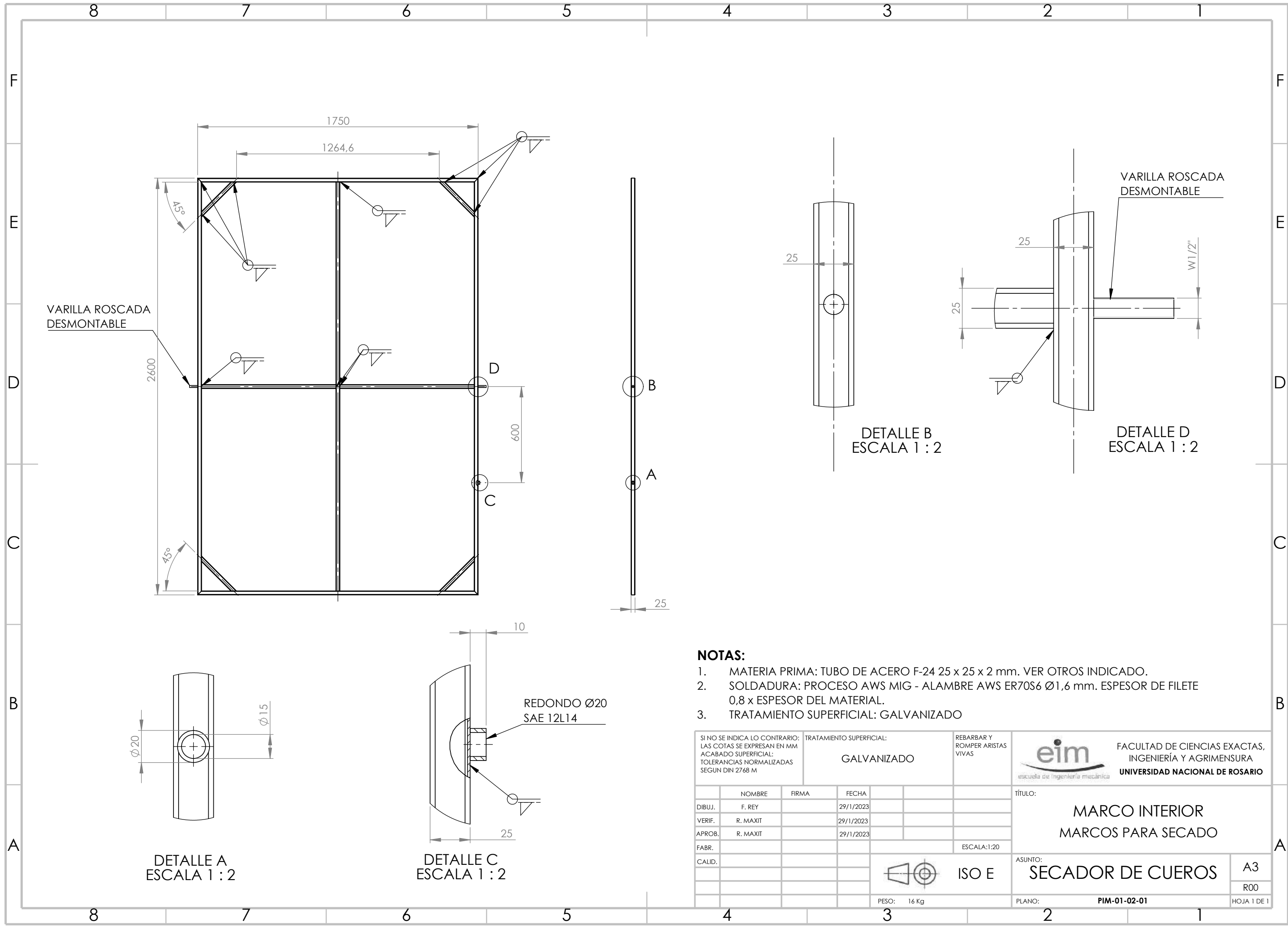


23	ARANDELA PLANA 1/4"	ASME B18.22.1 Z	16	-
22	TUERCA HEX. W1/4"	ASME B18.2.2 Gr. 8 Z	16	-
21	TORNILLO CAB. HEX. W1/4" x 3/4"	ASME B18.2.1 Gr. 8 Z	16	-
20	ANCLAJE QUIMICO FIS A M10X130	ESTANDAR	4	-
19	ANCLAJE QUIMICO FIS A M12X120	ESTANDAR	24	-
18	TORNILLO AUTOPERF. 1/4" x 1"	DIN 7504K	80	-
17	PDA. EMERGENCIA Trigger 2nc Xalk178f	ESTANDAR	1	-
16	TABLERO ELÉCTRICO 600x450x150	S.E.	1	-
15	TRANSMISOR RHT-DM-485-LCD	ESTANDAR	2	-
14	VENTILADOR EXTRACTOR 400 MM	ESTANDAR	1	-
13	VENTILADOR CHMT/4-250/100-1,5	ESTANDAR	1	-
12	CANAL DE DESAGÜE 5 M.	F-24 GALV.	1	-
11	CHAPA SINUSOIDAL 1000 x 2000	F-24 GALV.	5	-
10	CHAPA 960 x 550 x 1,2 mm	F-24 GALV.	2	-
9	CHAPA 2780 x 550 x 1,2 mm	F-24 GALV.	1	-
8	CHAPA 2000 x 935 x 1,2 mm	F-24 GALV.	6	-
7	DUCTO CALENTADOR-VENTILADOR	F-24 GALV.	1	PIM-01-04-03
6	DUCTO VENTILADOR-CÁMARA	F-24 GALV.	1	PIM-01-04-02
5	DIFUSOR	F-24 GALV.	1	PIM-01-04-01
4	ALIMENTADOR DE PELLETS 5 Kg/h	-	1	-
3	CALENTADOR DE AIRE	ACERO ALEADO	1	PIM-01-03-00
2	MARCOS DE SECADO	F-24 GALV.	5	PIM-01-02-00
1	ESTRUCTURA GENERAL	F-24	1	PIM-01-01-00
POS.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.	PLANO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS NORMALIZADAS SEGUN DIN 2768 M				TRATAMIENTO SUPERFICIAL: VER COMPONENTES		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
NOMBRE	FIRMA	FECHA					
DIBUJ.	F. REY	5/2/2023					
VERIF.	R. MAXIT	8/2/2023					
APROB.	R. MAXIT	6/2/2023					
FABR.							
CALID.							
				ESCALA:1:33			
				ISO E			
				PESO:			

		FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO	
TÍTULO:			
ESTACIÓN DE SECADO			
ASUNTO:			A3
SECADOR DE CUEROS			R00
PLANO:			HOJA 1 DE 2
PIM-01-00-00			

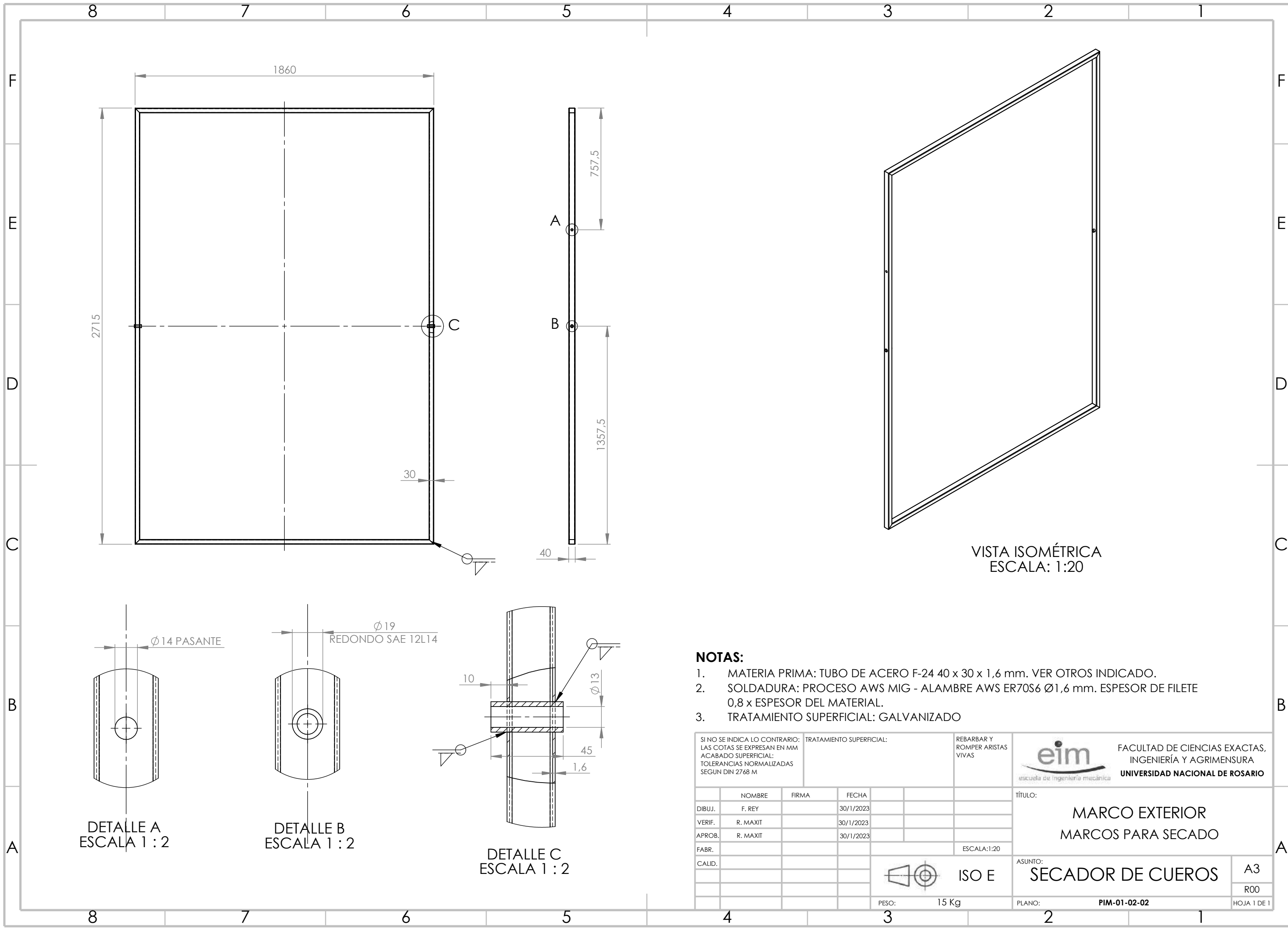




NOTAS:

1. MATERIA PRIMA: TUBO DE ACERO F-24 25 x 25 x 2 mm. VER OTROS INDICADO.
2. SOLDADURA: PROCESO AWS MIG - ALAMBRE AWS ER70S6 Ø1,6 mm. ESPESOR DE FILETE 0,8 x ESPESOR DEL MATERIAL.
3. TRATAMIENTO SUPERFICIAL: GALVANIZADO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS NORMALIZADAS SEGUN DIN 2768 M		TRATAMIENTO SUPERFICIAL: GALVANIZADO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		eim escuela de ingeniería mecánica FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	
DIBUJ.	F. REY		29/1/2023			MARCO INTERIOR MARCOS PARA SECADO	
VERIF.	R. MAXIT		29/1/2023				
APROB.	R. MAXIT		29/1/2023				
FABR.							
CALID.						ASUNTO:	
						SECADOR DE CUEROS	
						PLANO:	
						PIM-01-02-01	
						HOJA 1 DE 1	

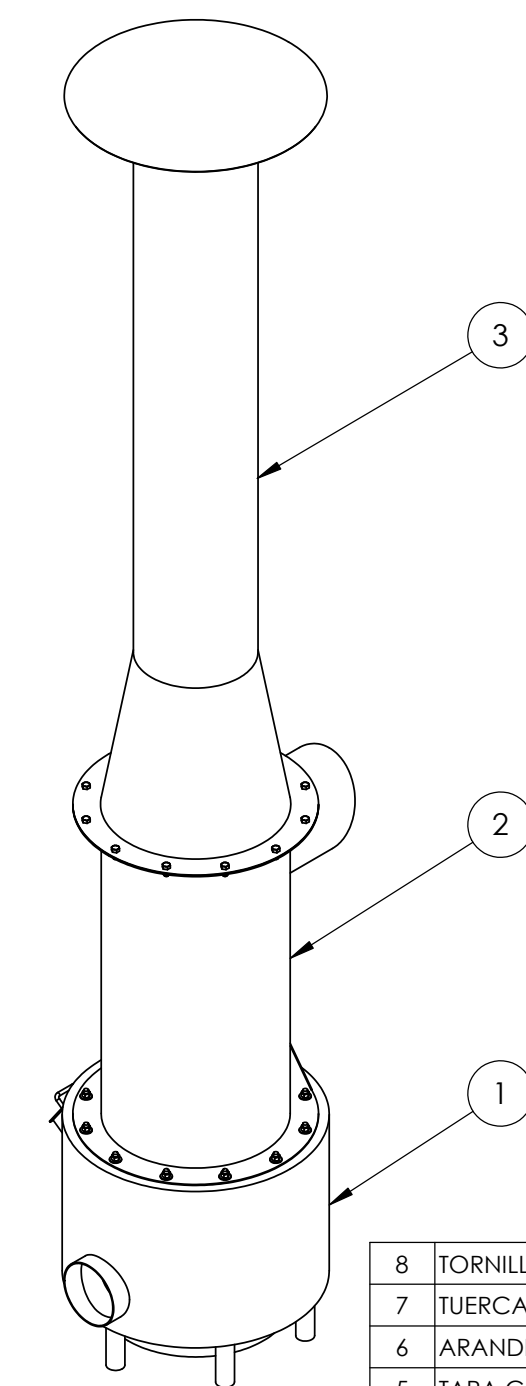
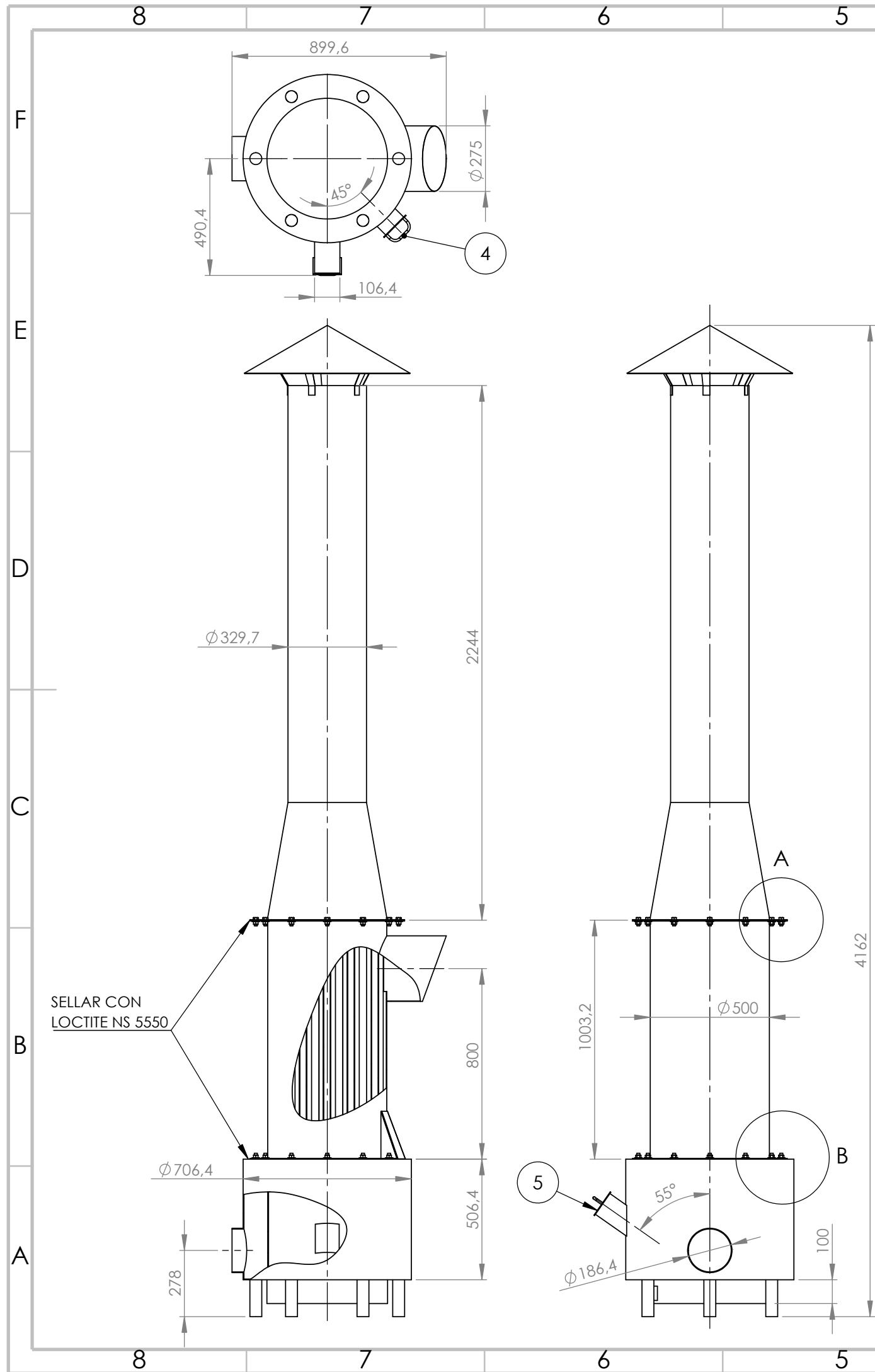


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:20

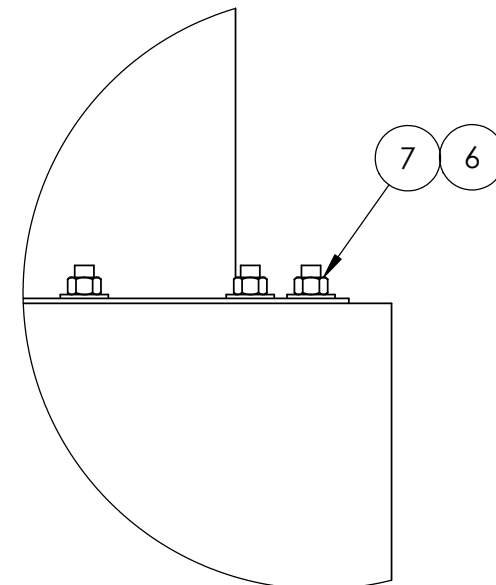
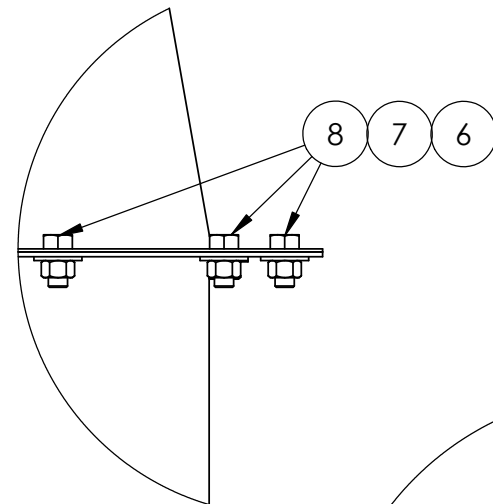
NOTAS:

1. MATERIA PRIMA: TUBO DE ACERO F-24 40 x 30 x 1,6 mm. VER OTROS INDICADO.
2. SOLDADURA: PROCESO AWS MIG - ALAMBRE AWS ER70S6 Ø1,6 mm. ESPESOR DE FILETE 0,8 x ESPESOR DEL MATERIAL.
3. TRATAMIENTO SUPERFICIAL: GALVANIZADO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS NORMALIZADAS SEGUN DIN 2768 M				TRATAMIENTO SUPERFICIAL:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		eim escuela de ingeniería mecánica FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO	
DIBUJ.	F. REY	FIRMA	FECHA					TÍTULO:	
VERIF.	R. MAXIT		30/1/2023					MARCO EXTERIOR MARCOS PARA SECADO	
APROB.	R. MAXIT		30/1/2023						
FABR.								ASUNTO:	
CALID.								SECADOR DE CUEROS	
				PESO:		15 Kg		PLANO:	
						PIM-01-02-02		HOJA 1 DE 1	

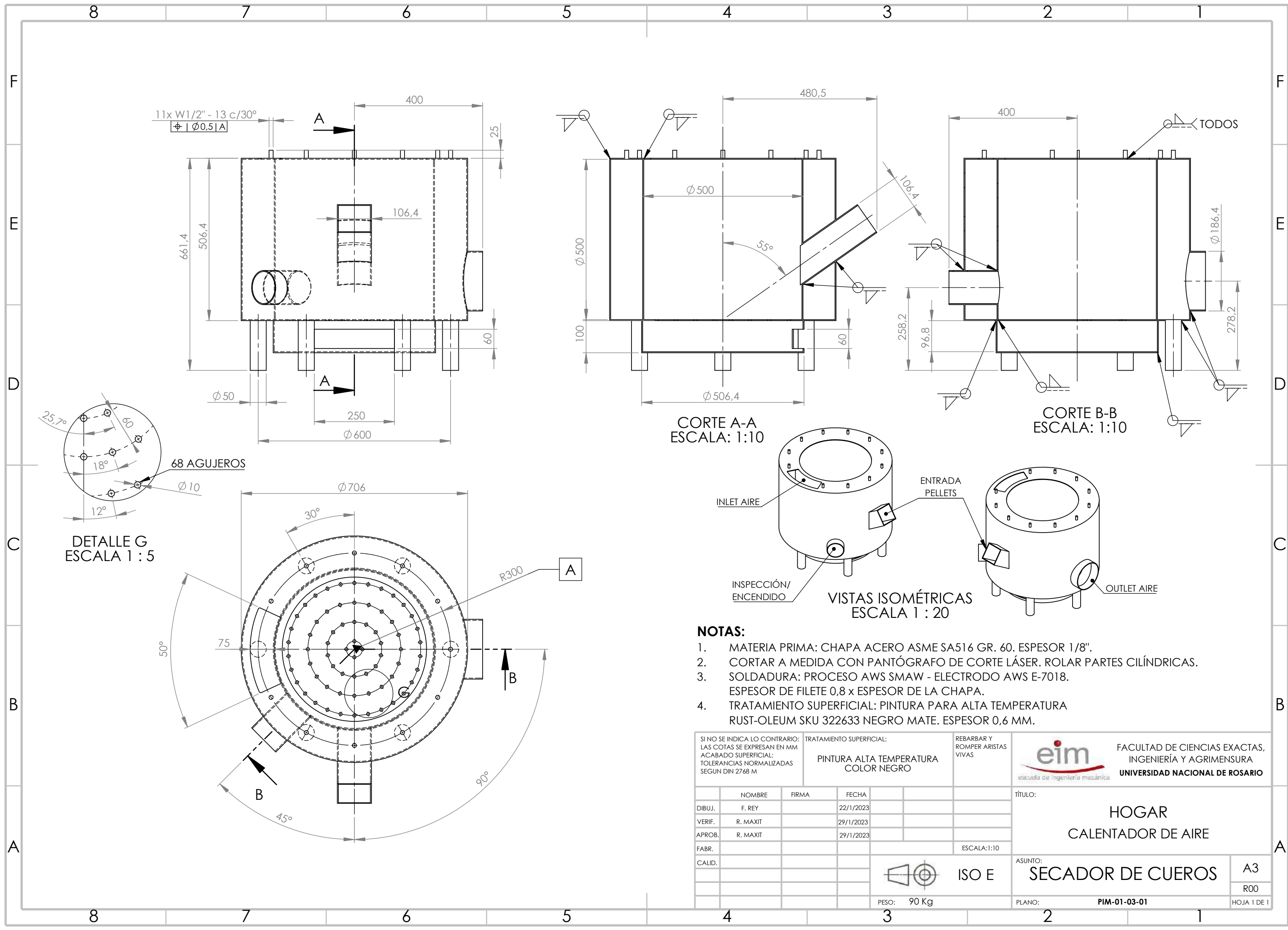


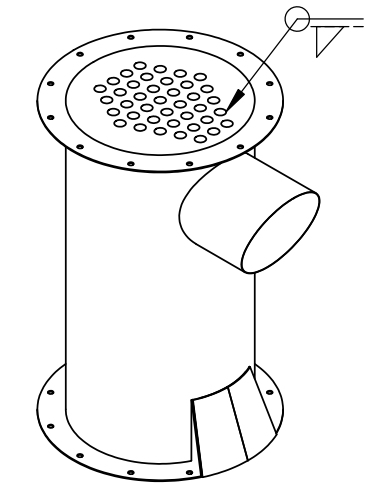
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:20



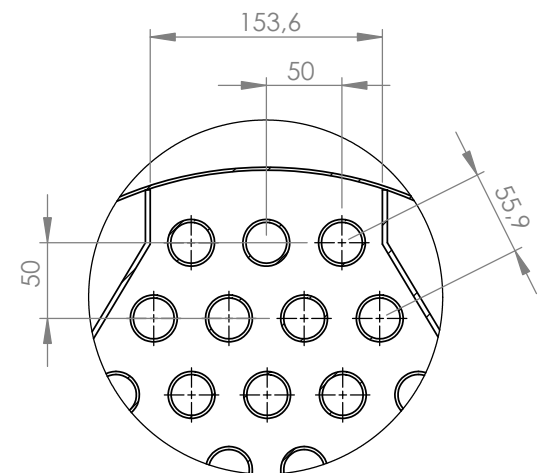
8	TORNILLO CAB. HEX. W1/2"	ASME B18.21.1 Gr. 8 - Z	23	-
7	TUERCA HEX. W1/2"	ASME B18.22 Gr. 8 - Z	23	-
6	ARANDELA PLANA 1/2"	ASME B18.22.1- ZINC	23	-
5	TAPA CUADRADA	A/SA 516 Gr.60	1	PIM-01-03-05
4	TAPA CILINDRICA	A/SA 516 Gr.60	1	PIM-01-03-04
3	CHIMENEA	F-24	1	PIM-01-03-03
2	INTERCAMBIADOR CONVECTIVO	AIISI 316L	1	PIM-01-03-02
1	HOGAR	A/SA 516 Gr.60	1	PIM-01-03-01
POS.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.	PLANO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS NORMALIZADAS SEGUN DIN 2768 M				TRATAMIENTO SUPERFICIAL: VER PLANO DE DEFINICION DE COMPONENTES		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		eim escuela de ingeniería mecánica FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO	
DIBUJ.	F. REY	FIRMA	FECHA	28/1/2023				TÍTULO:	CALENTADOR DE AIRE
VERIF.	R. MAXIT		6/2/2023					ASUNTO:	SECADOR DE CUEROS
APROB.	R. MAXIT		29/1/2023					PLANO:	PIM-01-03-00
FABR.								ESCALA: 1:20	A3
CALID.									R00
				PESO:	280 Kg			HOJA 1 DE 1	

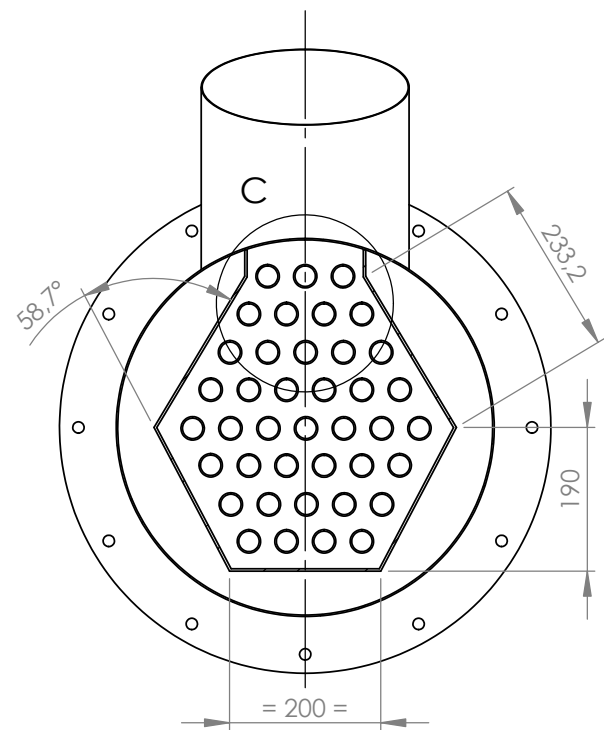




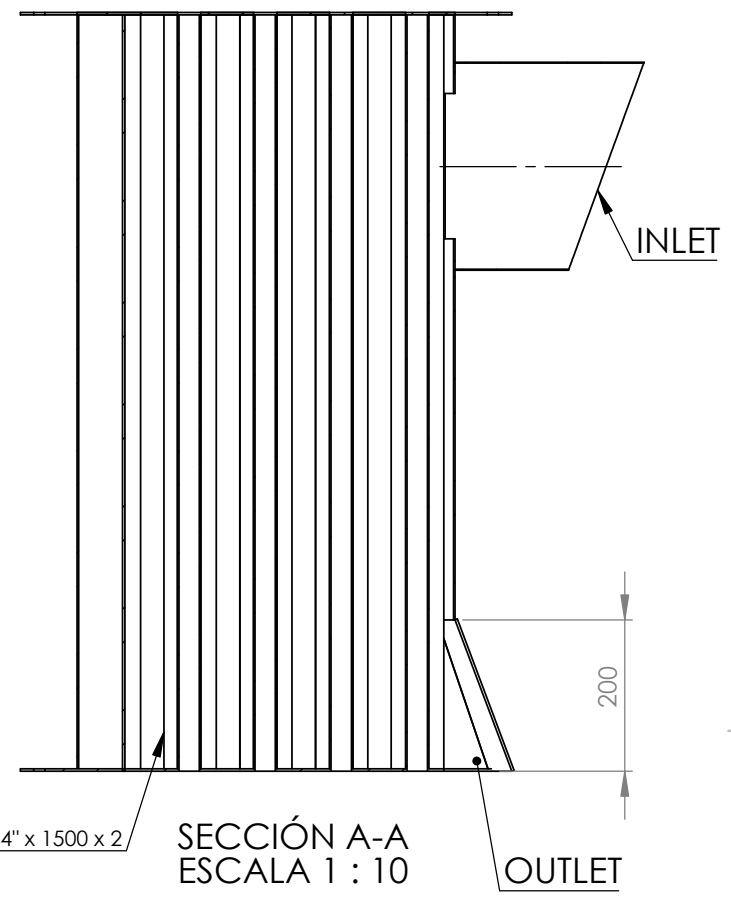
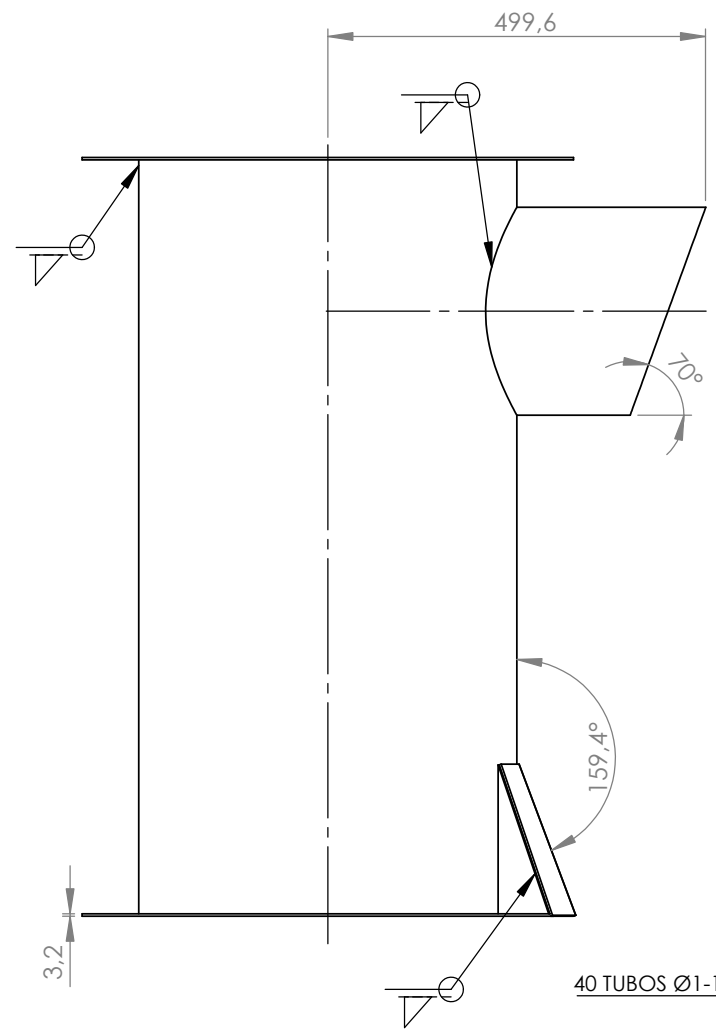
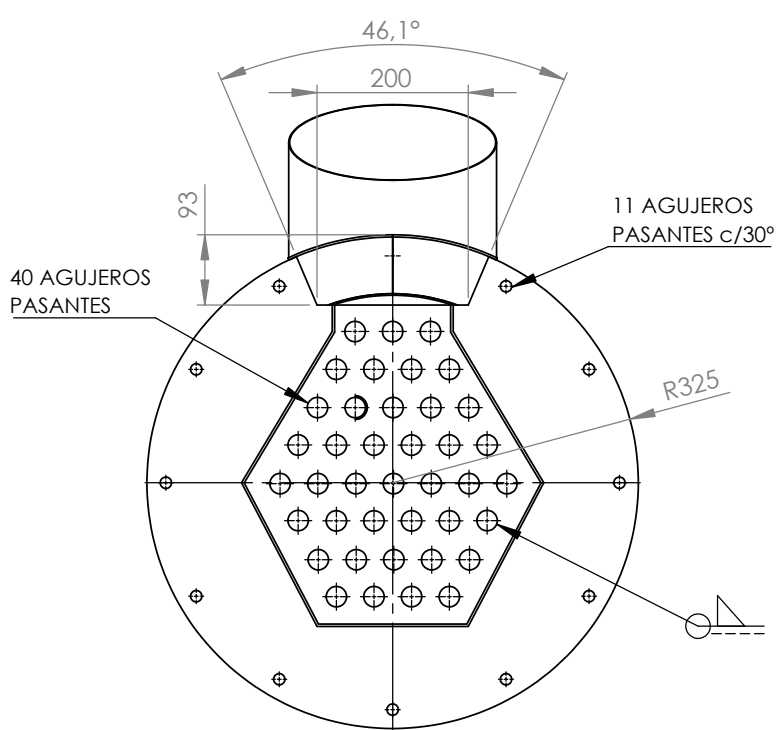
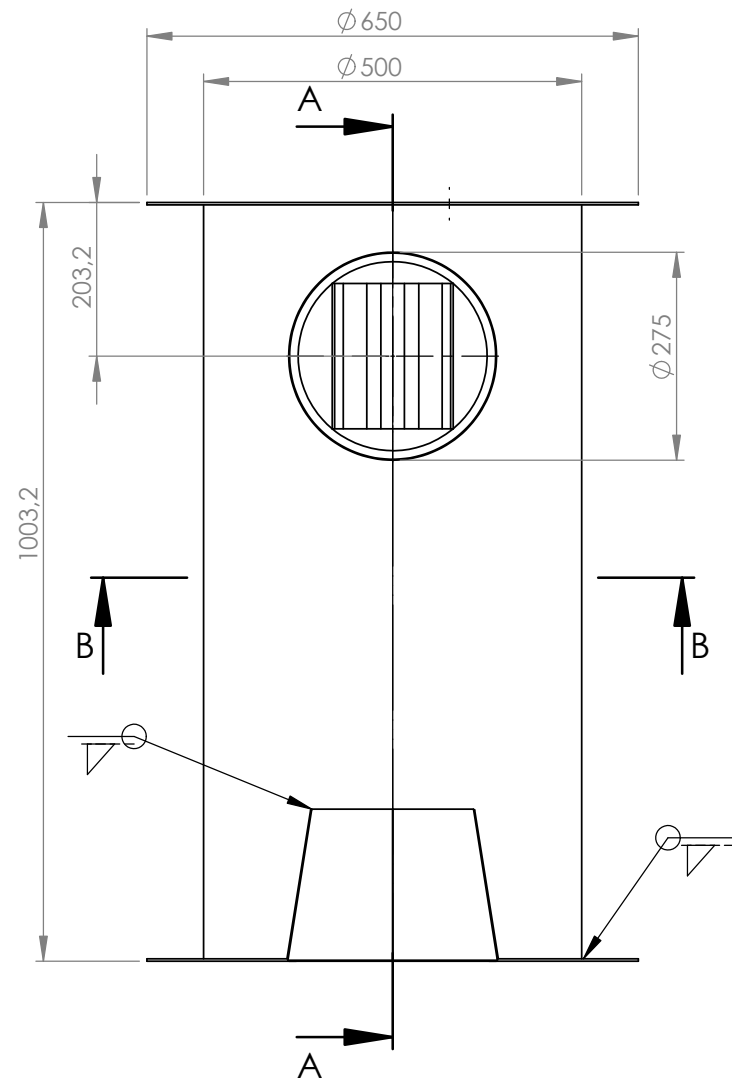
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:20



DETALLE C
ESCALA 1 : 5



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 10

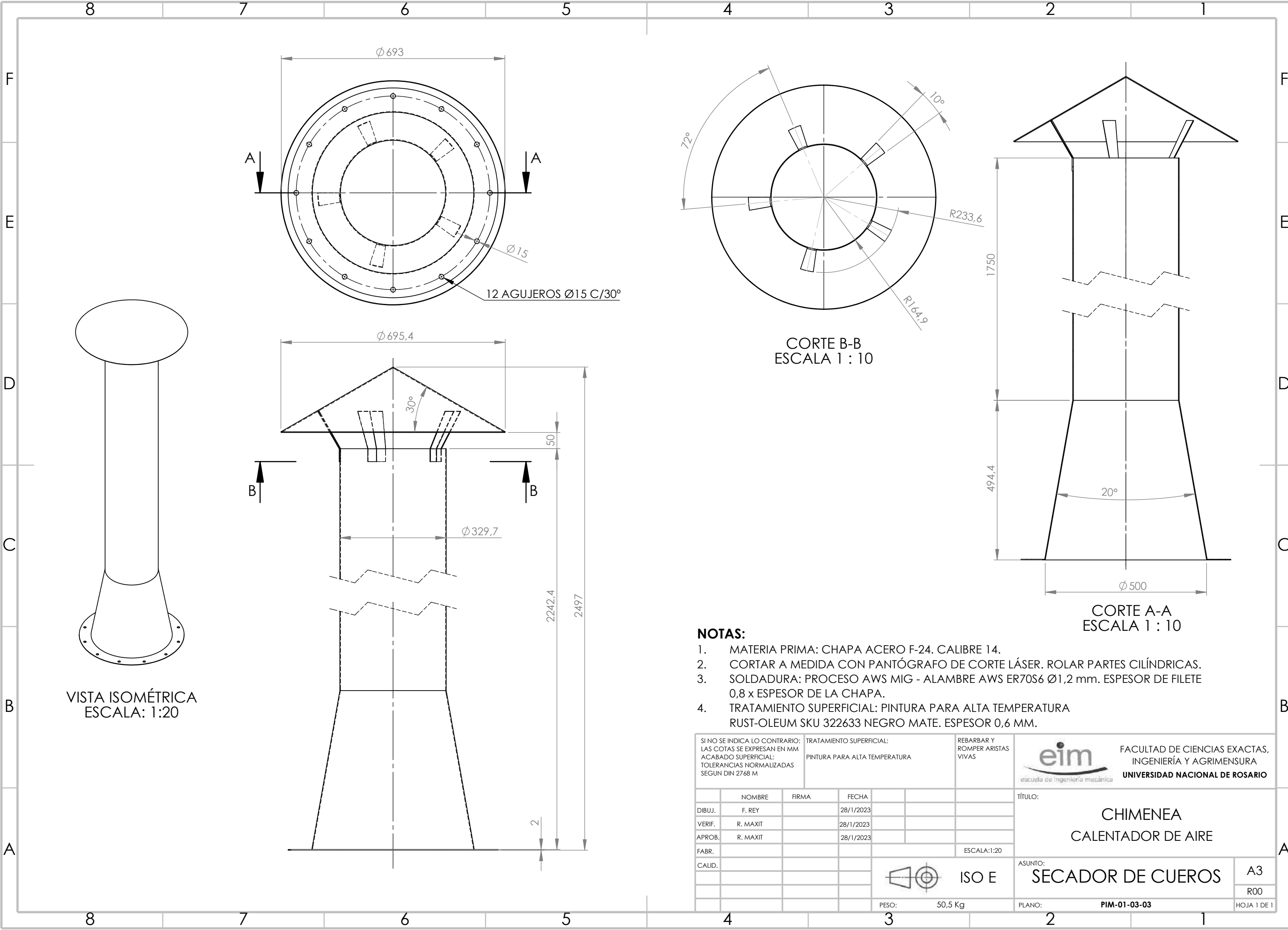
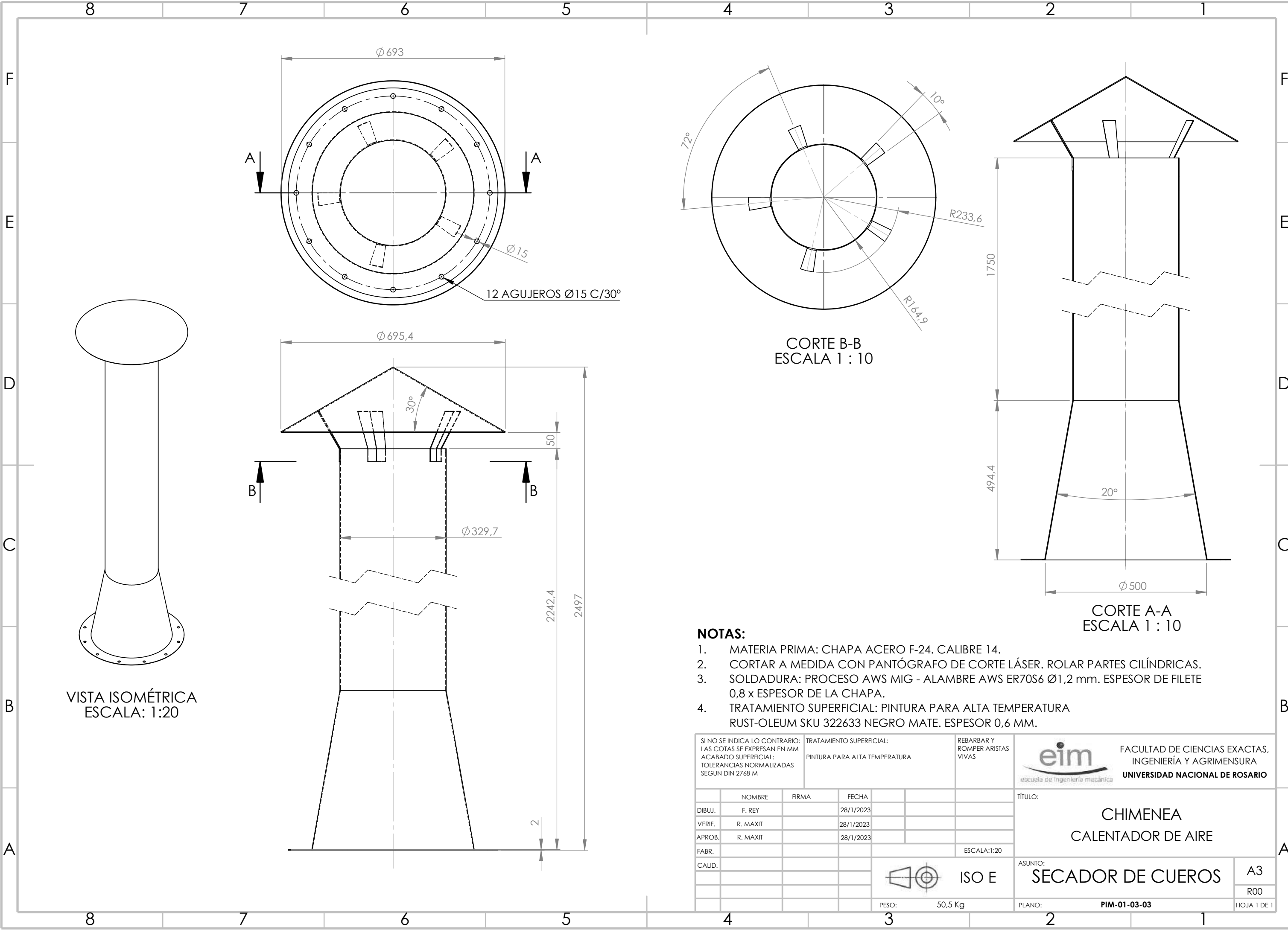
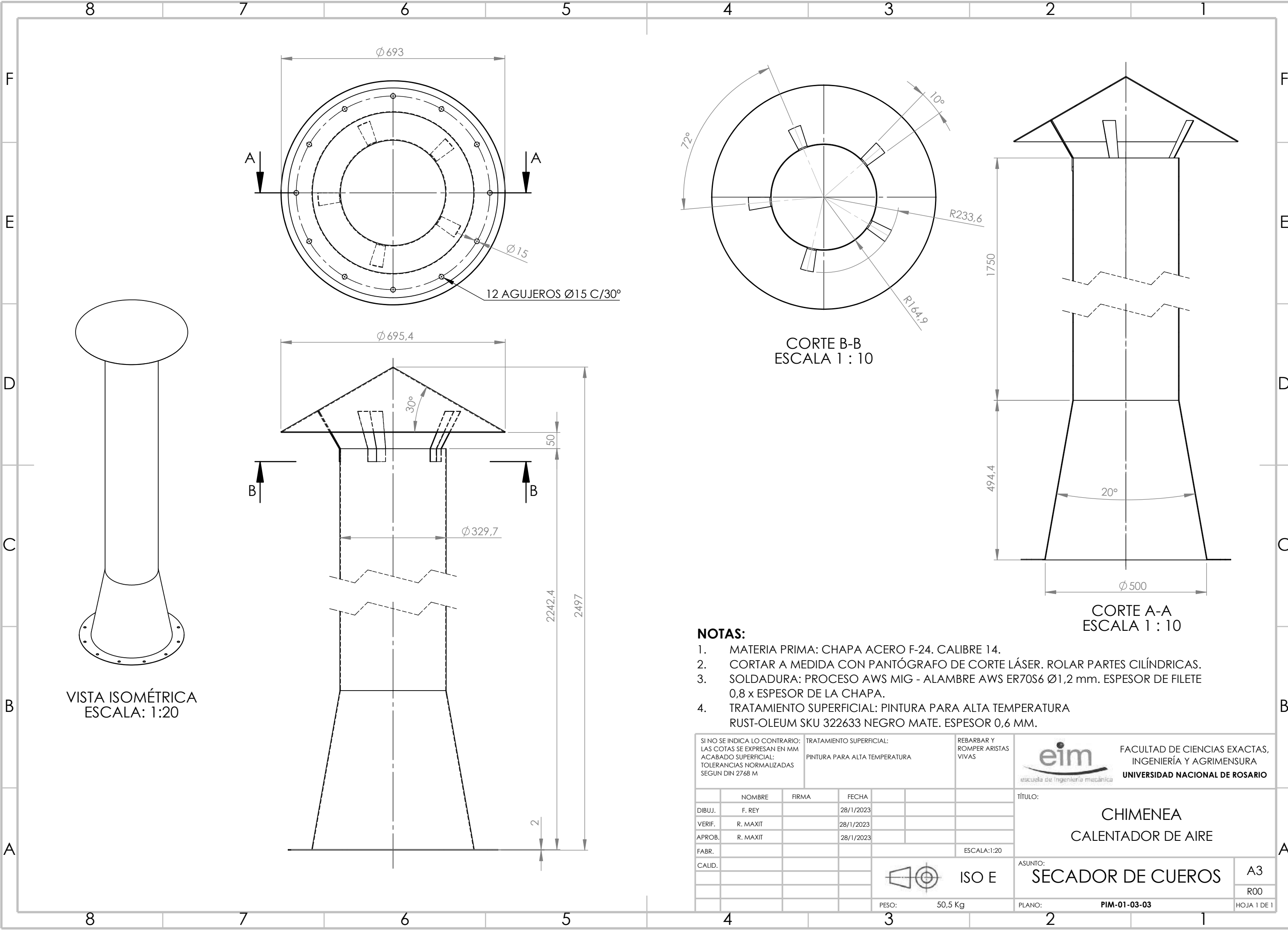


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10

NOTAS:

- MATERIA PRIMA: CHAPA ACERO AISI 316L. ESPESOR 1/8".
TUBOS ACERO AISI 316L ASTM A269 - A249 Ø1 1/4" x 2 mm.
- CORTAR A MEDIDA CON PANTÓGRAFO DE CORTE LÁSER (NITRÓGENO). ROLAR PARTES CILÍNDRICAS.
- SOLDADURA: PROCESO AWS SMAW - ELECTRODO E316L-17AWS A5.9.
ESPESOR DE FILETE 0,8 x ESPESOR DE LA CHAPA.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS NORMALIZADAS SEGUN DIN 2768 M		TRATAMIENTO SUPERFICIAL: NINGUNO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		 FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO	
DIBUJ.		F. REY		25/1/2023		TÍTULO:	
VERIF.		R. MAXIT		28/1/2023		INTERCAMBIADOR CONVECTIVO	
APROB.		R. MAXIT		28/1/2023		CALENTADOR DE AIRE	
FABR.						ESCALA: 1:20	
CALID.						ASUNTO:	
						ISO E	
						PESO: 133,7 KG	
						PLANO: PIM-01-03-02	
						A3	
						R00	
						HOJA 1 DE 1	



8 7 6 5 4 3 2 1

F

E

D

C

B

A

8 7 6 5 4 3 2 1

12 AGUJEROS Ø15 C/30°

Ø693

Ø15

Ø695,4

30°

50

Ø329,7

2242,4

2497

2

CORTE B-B
ESCALA 1 : 10

72°

10°

R233,6

R164,9

1750

494,4

20°

Ø500

CORTE A-A
ESCALA 1 : 10

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:20

NOTAS:

1. MATERIA PRIMA: CHAPA ACERO F-24. CALIBRE 14.
2. CORTAR A MEDIDA CON PANTÓGRAFO DE CORTE LÁSER. ROLAR PARTES CILÍNDRICAS.
3. SOLDADURA: PROCESO AWS MIG - ALAMBRE AWS ER70S6 Ø1,2 mm. ESPESOR DE FILETE 0,8 x ESPESOR DE LA CHAPA.
4. TRATAMIENTO SUPERFICIAL: PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA RUST-OLEUM SKU 322633 NEGRO MATE. ESPESOR 0,6 mm.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS NORMALIZADAS SEGUN DIN 2768 M		TRATAMIENTO SUPERFICIAL: PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
DIBUJ.	F. REY	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.	R. MAXIT		28/1/2023	CHIMENEA CALENTADOR DE AIRE	
APROB.	R. MAXIT		28/1/2023	ASUNTO:	
FABR.				SECADOR DE CUEROS	
CALID.				A3	
PESO: 50,5 Kg				R00	
PLANO: 2				HOJA 1 DE 1	

escuela de Ingeniería mecánica

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS,
INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

ISO E

PIM-01-03-03

8 7 6 5 4 3 2 1

F

E

D

C

B

A

8 7 6 5 4 3 2 1

12 AGUJEROS Ø15 C/30°

Ø693

Ø15

Ø695,4

30°

50

Ø329,7

2242,4

2497

2

CORTE B-B
ESCALA 1 : 10

72°

10°

R233,6

R164,9

1750

494,4

20°

Ø500

CORTE A-A
ESCALA 1 : 10

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:20

NOTAS:

1. MATERIA PRIMA: CHAPA ACERO F-24. CALIBRE 14.
2. CORTAR A MEDIDA CON PANTÓGRAFO DE CORTE LÁSER. ROLAR PARTES CILÍNDRICAS.
3. SOLDADURA: PROCESO AWS MIG - ALAMBRE AWS ER70S6 Ø1,2 mm. ESPESOR DE FILETE 0,8 x ESPESOR DE LA CHAPA.
4. TRATAMIENTO SUPERFICIAL: PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA RUST-OLEUM SKU 322633 NEGRO MATE. ESPESOR 0,6 mm.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS NORMALIZADAS SEGUN DIN 2768 M		TRATAMIENTO SUPERFICIAL: PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
DIBUJ.	F. REY	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.	R. MAXIT		28/1/2023	CHIMENEA CALENTADOR DE AIRE	
APROB.	R. MAXIT		28/1/2023	ASUNTO:	
FABR.				SECADOR DE CUEROS	
CALID.				A3	
PESO: 50,5 Kg				R00	
PLANO: 2				HOJA 1 DE 1	

escuela de Ingeniería mecánica

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS,
INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

ISO E

PIM-01-03-03

- 8 7 6 5 4 3 2 1

F

E

D

C

B

A

8 7 6 5 4 3 2 1

12 AGUJEROS Ø15 C/30°

Ø15

Ø693

Ø695,4

Ø329,7

2242,4

2497

50

30°

20°

1750

494,4

Ø500

R233,6

R164,9

72°

10°

CORTE B-B
ESCALA 1 : 10

CORTE A-A
ESCALA 1 : 10

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:20

NOTAS:

 1. MATERIA PRIMA: CHAPA ACERO F-24. CALIBRE 14.
 2. CORTAR A MEDIDA CON PANTÓGRAFO DE CORTE LÁSER. ROLAR PARTES CILÍNDRICAS.
 3. SOLDADURA: PROCESO AWS MIG - ALAMBRE AWS ER70S6 Ø1,2 mm. ESPESOR DE FILETE 0,8 x ESPESOR DE LA CHAPA.
 4. TRATAMIENTO SUPERFICIAL: PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA RUST-OLEUM SKU 322633 NEGRO MATE. ESPESOR 0,6 mm.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS NORMALIZADAS SEGUN DIN 2768 M		TRATAMIENTO SUPERFICIAL: PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
DIBUJ.	F. REY	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.	R. MAXIT		28/1/2023	CHIMENEA CALENTADOR DE AIRE	
APROB.	R. MAXIT		28/1/2023	ASUNTO:	
FABR.				SECADOR DE CUEROS	
CALID.				A3	
PESO: 50,5 Kg				R00	
PLANO: 2				HOJA 1 DE 1	

escuela de Ingeniería mecánica

eim

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS,
INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

ISO E

PIM-01-03-03

8 7 6 5 4 3 2 1

F

E

D

C

B

A

8 7 6 5 4 3 2 1

12 AGUJEROS Ø15 C/30°

Ø15

Ø693

Ø695,4

Ø329,7

2242,4

2497

50

30°

72°

10°

R233,6

R164,9

1750

494,4

20°

Ø500

CORTE B-B
ESCALA 1 : 10

CORTE A-A
ESCALA 1 : 10

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:20

NOTAS:

1. MATERIA PRIMA: CHAPA ACERO F-24. CALIBRE 14.
2. CORTAR A MEDIDA CON PANTÓGRAFO DE CORTE LÁSER. ROLAR PARTES CILÍNDRICAS.
3. SOLDADURA: PROCESO AWS MIG - ALAMBRE AWS ER70S6 Ø1,2 mm. ESPESOR DE FILETE 0,8 x ESPESOR DE LA CHAPA.
4. TRATAMIENTO SUPERFICIAL: PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA RUST-OLEUM SKU 322633 NEGRO MATE. ESPESOR 0,6 MM.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS NORMALIZADAS SEGUN DIN 2768 M		TRATAMIENTO SUPERFICIAL: PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
DIBUJ.	F. REY	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.	R. MAXIT		28/1/2023	CHIMENEA CALENTADOR DE AIRE	
APROB.	R. MAXIT		28/1/2023	ASUNTO:	
FABR.				SECADOR DE CUEROS	
CALID.				A3	
PESO: 50,5 Kg				R00	
PLANO: 2				HOJA 1 DE 1	

escuela de Ingeniería mecánica

eim

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS,
INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

ISO E

PIM-01-03-03

