

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR PARA MADEJAS PARA PESCA DE
1KG A 2KG DE PESO**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico,
que presenta el bachiller:

David Guillermo Castillo Neciosup

ASESOR: Dr. Luis Orlando Cotaquispe Zevallos

Lima, Diciembre del 2014

RESUMEN

Las empresas dedicadas a la fabricación de madejas para pesca juegan un papel importante y son el soporte principal de la industria pesquera. Sin embargo, dichas empresas carecen de determinadas tecnologías, como un secador de madejas, que les permita optimizar su línea de producción, mejorar su logística y así poder hacer frente a las demandas no solo del país sino también del extranjero.

Tengamos en cuenta que el secado de madejas es un proceso contiguo al centrifugado y en donde la sustancia a extraer es alquitrán. Por ello, muchas de estas empresas aún emplean el secado al medio ambiente como parte de la línea de producción y otras poseen máquinas de secado en caliente las cuales ya no son eficientes, debido a su poco control, y demandan una gran inversión en el mantenimiento y operación.

Ante dicha necesidad se pidió evaluar el diseño de una máquina para secar madejas para pesca a temperatura ambiente cuya capacidad circule alrededor de los 500 a 600 kg, ello implicaba conocer bastante de cerca el comportamiento tanto de la sustancia como de la madeja para determinadas condiciones de secado. Sin embargo, dicha data era insuficiente e inexistente; por lo, que se optó por realizar el diseño de un prototipo que permita estudiar y comprender el proceso de secado y que a su vez sirva como línea base para la futura máquina.

Todo este trabajo se ve plasmado en la presente *Tesis* que muestra el desarrollo de diseño del prototipo en base a lo solicitado por una empresa dedicada a este rubro. Cabe mencionar que cierta data y equipos fueron proporcionados por dicha empresa, lo cual agilizó la puesta en marcha del proyecto. Se debe mencionar que el prototipo busca, también, optimizar el proceso, pues inmediatamente salida la madeja de dicha estación es enviada a la zona de empaque para luego ser distribuidas, por ello, se debe tener cuidado al evaluar los parámetros; ya que, ellos permitirán obtener un producto de calidad.

Finalmente, habiendo logrado la premisa de diseñar un dispositivo de estudio que sea eficiente, rápido y económico se habrá conseguido responder a esta solicitud.



Dedicatoria...

A mi madre, Exiomara, por apoyarme, motivarme y enseñarme en cada etapa de mi vida las cosas más fundamentales de todo ser humano. A ella mi admiración, amor y respeto eterno.

A mi padre, Guillermo, por ser el guía que me ha permitido conocer lo maravillosa que es la ingeniería mecánica y que me enseña la importancia de vivir como una persona proba.

A él mi eterna admiración y respeto.

A mi hermana, Estrella, por ser la incondicional hermana y amiga que alegra mis días y que nunca se cansa de motivarme.

A mis abuelos, en especial a Arsenio, quien estuvo tan ligado al sector pesquero y a quien

Dios lo tiene en su gloria.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mis padres por el enorme sacrificio que realizaron, el cual me permitió estudiar en una de las mejores universidades del país y así emprender una vida de grandes sueños y metas. Valoro también a la hermosa familia la cual siempre me alientan a no darme por vencido.

Así mismo expreso, de forma especial, mi agradecimiento al *Dr. Luis Cotaquispe Zevallos* a quien considero más que un profesor, un maestro y, en particular, mi *mentor*. Gracias a su experiencia y consejos he podido llevar a cabo el presente trabajo y, más aun, a amar mucho más la carrera que elegí.

Por otro lado, deseo reconocer el apoyo desinteresado del profesor Allan Flores que me permitió establecer las bases del trabajo. Además, mi saludo a los docentes de la especialidad de ingeniería mecánica los cuales desempeñan notables esfuerzos para el mejoramiento de la carrera.

Por último, agradecer a Dios por la cantidad de amigos que me permitió conocer y por los fuertes lazos de amistad que me ha permitido construir con algunos de ellos y ellas, los cuales se mantendrán a lo largo del tiempo.

ANEXO

- Anexo A: Catálogo GREENHECK: Ventiladores centrífugos Serie 21 & 41.
- Anexo B: Catálogo de Productos de Aceros Arequipa: Tubos pág. 11 – 12.
- Anexo C: Especificaciones de la chumacera de pared de Ø12 mm SKF.
- Anexo D: Ficha de datos de Seguridad de Asfalto Líquido RC-250, REPSOL.
- Anexo E: Ficha de datos de Seguridad de Materiales Solvente N°3, PETROPERU.
- Anexo F: Catálogo motores eléctricos trifásicos WEG Perú.



INDICE

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN Y ANALISIS DEL PRODUCTO A SECAR | 1 |
| 1. Madejas..... | 1 |
| 2. Tipos de fibras empleados en las madejas | 1 |
| 2.1. Fibras Naturales | 2 |
| 2.2. Fibras Sintéticas | 2 |
| 2.2.1. Poliéster | 3 |
| 2.3. Madejas para pesca | 4 |
| 3. Revestimiento: Alquitrán..... | 4 |
| 3.1. RC-250..... | 5 |
| 3.2. VARSOL..... | 5 |
| 4. Producción de madejas | 6 |
| 4.1. Tipos de Producción..... | 7 |
| 4.1.1. Producción Continua | 7 |
| 4.1.2. Producción Batch o por Lotes..... | 7 |
| 5. Presentación del problema | 7 |
| 5.1. Características del fluido de secado | 8 |
| 5.1.1. Ventajas y desventajas entre aire frio y caliente | 9 |
| 6. Planteamiento de la solución | 10 |
| 6.1. Estado de la Tecnología en secadores para madejas de pesca | 11 |
| 6.2. Matriz Morfológica | 12 |
| 7. Consideraciones para el análisis y diseño | 15 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 2: DISEÑO Y ANÁLISIS DEL PROTOTIPO DE SECADOR | 17 |
| 1. Diseño de la Cámara de Pruebas | 18 |
| 1.1. Pérdida de Carga en el Tramo 1: Ingreso de Aire | 20 |
| 1.2. Pérdida de Carga en el Tramo 2: Transición | 26 |
| 1.3. Pérdida de Carga en el Tramo 3: Túnel de Ensayo | 28 |
| 2. Pérdidas de Carga debido a la Madeja | 29 |
| 3. Pérdida de presión en accesorios: Dámper | 30 |
| 4. Parámetros para la Selección del Ventilador | 34 |
| 5. Selección del Ventilador Industrial | 35 |
| 5.1. Tipos de Ventiladores Industriales | 35 |
| 5.2. Selección del Ventilador | 39 |
| 6. Selección del Motor Eléctrico..... | 42 |
| 6.1. Tiempo de arranque | 43 |
| 6.2. Método de arranque para el motor eléctrico seleccionado | 45 |
| 7. Cálculo de la eficiencia del sistema | 46 |
| 8. Diseño del Bastidor Porta Madeja..... | 47 |
| 8.1. Sujetador Porta Madeja | 48 |
| 8.1.1. Análisis del Sujetador Porta Madeja | 50 |
| 8.2. Bastidor Porta Madeja | 53 |
| 8.2.1. Análisis del bastidor Porta madeja..... | 54 |
| 9. Diseño de la estructura..... | 56 |
| 9.1. Dimensionamiento de los Apoyos..... | 59 |
| 10. Elementos y Accesorios del secador para madejas | 61 |
| 11. Control de la calidad secado durante los ensayos..... | 65 |
| 12. Resultados y gráficos de la experimentación | 66 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO | 69 |
| 1. Evaluación económica para las distintas opciones de diseño | 69 |
| 2. Costos de material para la opción seleccionada | 70 |
| 3. Costo de materiales y accesorios secundarios | 72 |
| 4. Costos de instrumentos y equipo adicional | 73 |
| | |
| CONCLUSIONES | 75 |
| | |
| RECOMENDACIONES | 77 |
| | |
| BIBLIOGRAFIA | 78 |



CAPÍTULO 1

PRESENTACIÓN Y ANALISIS DEL PRODUCTO A SECAR

Este capítulo tiene por objetivo dar a conocer que es una madeja para pesca y para qué son empleadas; así mismo, se describirá sus características físicas tales como el tipo de fibra, las presentaciones comerciales y se mostrará los procesos de fabricación que se emplean. Todo esto dará pie a presentar las diversas formas de secado, las cuales son poco tecnificadas, y la solución que es el objetivo principal de este trabajo.

1. Madejas

Las madejas son enrollados o bobinados de algún tipo de fibra natural o sintética la cual viene en presentaciones estándares determinadas principalmente por su peso. (Figura 1.1.)

Las madejas son utilizadas principalmente para reparar y/o fabricar redes de pesca o cabos de embarcaciones.



Figura 1.1. Madejas para pesca de 2kg. Fuente: Elaboración Propia.

2. Tipos de fibras empleados en las madejas

En la fabricación de madejas para pesca se emplean dos tipos de fibras; las fibras naturales y las fibras sintéticas. Siendo estas últimas las más utilizadas en la industria

pesquera; ya que, ofrecen mayor resistencia a las diferentes condiciones a las que son sometidas.

2.1. Fibras Naturales

Los primeros indicios del empleo de redes para pescar indican que se utilizaban fibras naturales de origen vegetal para su fabricación, entre las cuales podemos destacar: el cáñamo, ramio, lino y algodón; siendo esta última la más común para la fabricación de redes por ser durable, resistente y poseer una gran capacidad de absorción a los impactos.

Las fibras que se encuentran en cada semilla de algodón son muy finas, su longitud está entre 20 y 50 mm y su diámetro alrededor de 0.01 y 0.04 mm; por ello, se emplean diferentes técnicas con la finalidad de obtener fibras más compactas y de mayor resistencia.

Este tipo de fibras son empleadas para madejas de pesca artesanal pues tanto sus propiedades mecánicas como su producción son limitadas.

2.2. Fibras Sintéticas

Las fibras sintéticas se obtienen a partir de un proceso químico, en el cual elementos químicos básicos como el benceno, acetileno y otros se combinan para obtener nuevos materiales que poseen, no solo, cadenas moleculares más complejas, sino también, nuevas y mejores propiedades.

En su fabricación se pueden diferenciar cinco pasos importantes:

- Primer paso.- Se obtiene la materia prima con la que se elaborará la fibra y que suele ser de origen vegetal; tal como, carbón, aceite, sal y alquitrán de hulla, la cual sirve para producir nylon.
- Segundo paso.- Esta materia prima está compuesta, en su mayoría, por monómeros los cuales se convertirán en macromoléculas mediante una serie de procesos químicos. Para la producción de nylon, es necesario mezclarse junto con el alquitrán de hulla dos sustancias: ácido adípico y hexametildiamina.

- Tercer paso.- Este paso resulta importante pues se consigue las macromoléculas a partir de la polimerización o policondensación que consiste en un calentamiento a altas presiones. En el caso del nylon, se consigue que el ácido adípico y hexametildiamina se mezclen para formar un polímero que cuenta dentro de su estructura con un grupo amino (NHCO).
- Cuarto paso.- Las poliamidas obtenidas son fundidas con la finalidad de obtener fibras; sin embargo, estas, al ser secadas al ambiente, son rígidas y extremadamente dúctiles haciendo que posean una baja resistencia a la tracción.
- Quinto paso.- Los hilos son estirados o trefilados hasta cinco veces su tamaño; ya que, esto otorga una mayor resistencia y extensibilidad a la fibra.

2.2.1. Poliéster

En la fabricación de madejas para pesca se emplean, en su mayoría, diversos tipos de fibras sintéticas, las cuales ofrecen una mayor resistencia a los problemas que surgen al ser, estas, expuestas a condiciones extremas. Una de estas fibras sintéticas es el poliéster (Figura 1.2.), el cual pertenece a la familia de los elastómeros, que incluye al grupo funcional éster en su cadena de principal, por ello su nombre, y que provienen de fracciones pesadas del petróleo (alquitrán). Por otro lado, las fibras de poliéster son fabricadas en dos tipos: fibras de alta y media tenacidad; siendo la de alta la más usada en la industria pesquera.



Figura 1.2. Cuerda trenzada a partir de fibras de poliéster. Fuente: Elaboración Propia.

El poliéster posee características que resultan bastante interesantes y entre ellas las más importantes son:

- Buena elasticidad.
- Resistencia a la decoloración.
- Son hidrofobia; es decir, cuentan con la capacidad de sentirse seca al contacto con el agua.
- Buena capacidad para absorber tintes, solventes y otros químicos.

Finalmente, se debe señalar que su costo de producción es menor en comparación al de una fibra natural.

2.3. Madejas para pesca.

Las madejas para pesca están elaboradas principalmente de fibras sintéticas, en su mayoría de poliéster o nylon; ya que, estas ofrecen una mayor resistencia para las duras condiciones de trabajo a las que son sometidas y entre las cuales tenemos:

- Salinidad del agua.
- Rayos UV.
- Cargas generadas por el arrastre de peces.

Sin embargo, la resistencia de las madejas aumenta al ser revestidas por una solución insoluble en el agua conocida como alquitrán; mediante el proceso que lleva el mismo nombre, alquitranado.

3. Revestimiento: Alquitrán

La solución que recubre la madeja es una mezcla compleja de sustancias que tienen la particularidad de ser insolubles en el agua. Las sustancias son derivados del petróleo. (Figura 1.3.)

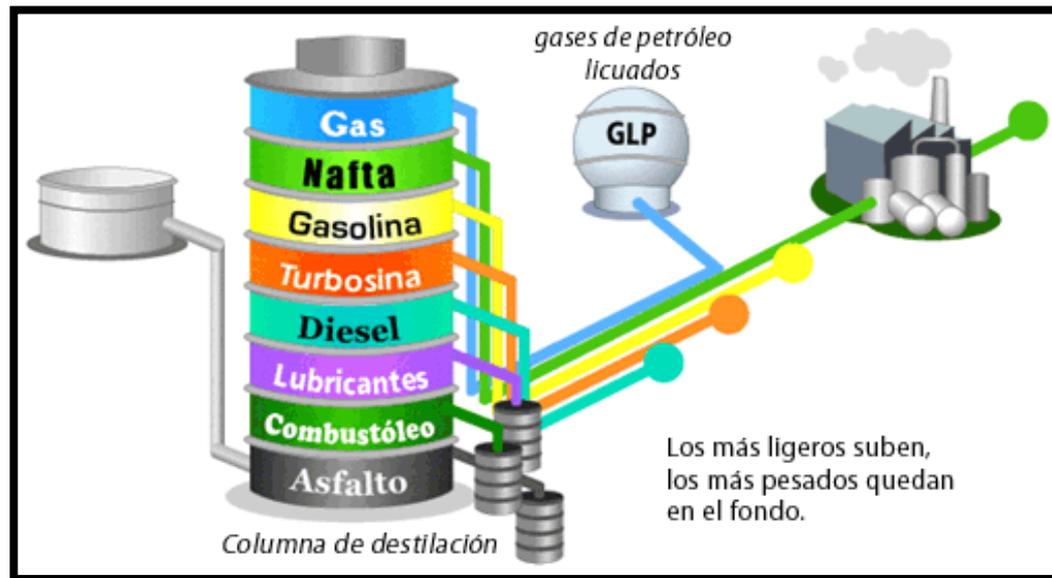


Figura 1.3. Destilación fraccionaria del petróleo. Fuente: www.cuentame.inegi.org.mx.

3.1. RC-250

El RC-250 denominado así por ser un tipo de asfalto líquido, es una mezcla compleja de hidrocarburos del petróleo y tiene como elementos principales al asfalto y la nafta en una proporción aproximada de 1 a 5 respectivamente lo cual contribuye a reducir la viscosidad del asfalto.

Esta sustancia de color negro es la que mejora y aporta más propiedades a la madeja; sin embargo, su manipulación debe de estar controlada bajo procedimientos de seguridad pues es altamente tóxica y perjudicial para el medio ambiente.

3.2. VARSOL

Al igual que el RC-250, esta sustancia es una mezcla de hidrocarburos alifáticos principalmente en el rango de C9 y C12. Presenta una coloración clara y brillante, se encuentra libre de sólidos y agua y suele tener un olor semejante al petróleo.

El VARSOL se emplea como diluyente del RC-250 permitiendo que la madeja pueda atravesar libremente la inmersión durante el alquitranado. Además proporciona una mejor adherencia y acabado del recubrimiento para con la madeja.

4. Producción de madejas

La fabricación de madejas se divide principalmente en 4 etapas, las cuales están estrechamente relacionadas.

Tejido.- En esta etapa las fibras de poliéster, las cuales tienen un color blanco, se tejen en máquinas formando cuerdas de determinados espesores.

Alquitranado.- Seguidamente, las cuerdas o hilos son sumergidos en una solución de hidrocarburos de petróleo o también llamado alquitrán; la proporción de elementos presentes en esta solución depende de cada fabricante; sin embargo, se puede generalizar que está conformada por 75% de VARSOL y 25% de RC-250.

Esta sumersión se realiza mientras el hilo avanza; es decir, la cuerda recorre a cierta velocidad y es donde recibe el recubrimiento. Esto obedece a que sumergir el trenzado de poliéster durante un tiempo prolongado significaría un ataque directo de la sustancia al material; en otras palabras, la sustancia atacaría la cuerda a tal punto de deshacerla.

Centrifugado.- Una vez terminado el recubrimiento de alquitrán, es necesario retirar el exceso; para ello es llevada, previamente seccionada en la longitud requeridas, la madeja a una máquina de centrifugado, en donde por un lapso de aproximadamente 45 minutos se retira el 30 % en peso de alquitrán. La sustancia que queda de este proceso es almacenada para su reutilización pues aparte de poseer un elevado costo, es altamente tóxica.

En esta etapa se consigue obtener un recubrimiento uniforme y permite que la madeja consiga el peso adecuado.

Secado.- Es la última etapa principal de fabricación y es en donde se consigue el secado total del alquitrán adherido a la cuerda. Como ya se mencionó, las presentaciones de las madejas son de 1 y 2 kg respectivamente.

Para esta etapa se emplean muchas técnicas; desde complejas máquinas de secado por rayos microondas hasta el secado al medio ambiente el cual es contaminante e improductivo.

4.1. Tipos de Producción

Es importante describir los tipos de producción que son empleados en las industrias y particularmente conocer cuál de ellos se aplica en la industria de aparejos de pesca, de esta forma encontramos 2 tipos:

4.1.1. Producción Continua.- Como su mismo nombre lo sugiere, este tipo de producción es empleada para la producción en masa en donde se manejan grandes volúmenes de esta; además, su tasa de generación depende de la demanda de los consumidores y casi siempre es estable.

4.1.2. Producción Batch o por Lotes.- Esta técnica o forma de fabricación, a diferencia de la continua, se realiza por cantidades determinadas principalmente por la demanda del mercado y se realiza de forma discontinua.

Las empresas que fabrican madejas para pesca emplean este tipo de producción principalmente porque la demanda del mercado varía de acuerdo a las normativas impuestas por los gobiernos; es decir, durante el tiempo de veda de pesca la demanda de madejas disminuye abismalmente; por lo que, la producción de esta es poco a casi nula.

La identificación del tipo de proceso empleado por estas industrias es importante pues contribuye también a definir la frecuencia de trabajo a la que deberá estar sometido tanto el prototipo como la futura máquina.

5. Presentación del problema

La pesca es una actividad extractiva importante para el desarrollo económico del país; por lo que, la tecnificación de esta contribuye a mejorar dicha actividad. Un aspecto importante de esta tecnificación es contar con tecnología que permita una recolección del recurso más eficiente; para ello, es importante contar con madejas eficientemente elaboradas. Sin embargo, actualmente, gran parte de las empresas que fabrican estos productos carece de tecnología, principalmente en el secado de las madejas; proceso subsecuente al centrifugado.

Las madejas previamente centrifugadas cuentan con un determinado peso; sin embargo, este no es el ideal para su comercialización y además hay presencia, aún,

de alquitrán que debe ser retirado. Para esto las madejas son secadas empleando técnicas poco eficientes, contaminantes e inclusive improductivas.

Comúnmente se suele secar las madejas a la intemperie lo depende íntegramente de las condiciones atmosféricas. Las madejas ya sean de 1 o 2 kg demoran entre una y dos semanas en secar en épocas de verano donde la temperatura puede alcanzar los 25°C con una humedad del 40%; contrariamente, en épocas de invierno donde la temperatura mínima puede llegar a los 13°C con una humedad de hasta 78%, estas demoran entre tres y cuatro semanas; todo esto implica que la planificación de los tiempos de fabricación jueguen un papel importantísimo.

Por otro lado, existen empresas que emplean los hogares de las máquinas de secado de redes de pesca para secar las madejas; es decir, estas son secadas con aire caliente. Cabe mencionar, que se tiene poco control del tiempo de secado lo cual en muchos casos contribuye a deteriorar el producto.

Finalmente, el secado de madejas representa un problema para las empresas pues no hay actualmente en el mercado un estudio, ni mucho menos una máquina que pueda atender dichas necesidades.

5.1. Características del fluido de secado

El fluido que se empleará para realizar el prototipo de secado para madejas es aire frío. Denominado aire frío pues se encuentra a una temperatura ambiente (20°C) y presenta las siguientes características:

Tabla 1.1. Propiedades aire frío.

| | |
|----------------------|----|
| Temperatura (°C) | 20 |
| Presión (atm) | 1 |
| Humedad Relativa (%) | 90 |

Por otro lado consideramos aire caliente al fluido que tiene:

Tabla 1.2. Propiedades aire caliente.

| | |
|----------------------|----|
| Temperatura (°C) | 60 |
| Presión (atm) | 1 |
| Humedad Relativa (%) | 98 |

5.1.1. Ventajas y desventajas entre aire frío y caliente

Las ventajas y desventajas de emplear aire frío o aire caliente se muestran a continuación:

Aire Caliente:

Ventajas

- El aire caliente es ampliamente empleado en el secado de distintos productos; ya que, permite, debido a sus condiciones, una mayor transferencia de masa entre el producto y el fluido.
- Menor tiempo de secado bajo condiciones controladas del fluido y del producto.

Desventajas

- Mayores costos debido a uso de equipos para llevar a las condiciones ideales de operación. En algunos casos se suele emplear resistencias, calderas entre otros.
- Se requiere un control permanente del producto, como el caso de las madejas, pues una sobre exposición de este al fluido caliente terminaría quemándolo.

Aire Frío:

Ventajas

- Debido a que prácticamente se aprovecha el aire del medio ambiente se requiere muy poco equipo, si es necesario, para alcanzar las condiciones de operación; lo cual contribuye a que sea económicamente más barato y de fácil accesibilidad.
- Permite contar con un menor mantenimiento de equipos; sin embargo, esto depende de las condiciones del aire. Aunque en la mayoría de casos siempre es menor.

Desventajas

- Si bien se está empleando con mayor frecuencia para el secado de diferentes productos; no es aún muy común; por lo que, se requiere realizar pruebas y/o ensayos para su estudio.
- El tiempo de secado depende en gran medida de la cantidad de solución, sea agua u otro, y de la cantidad de productos a secar. Sin embargo, en ciertos

casos, como detallaremos más adelante, tanto el secado con fluido caliente como con frío comparten el mismo tiempo.

6. Planteamiento de la solución

Para organizar los conceptos antes desarrollados y plantear una solución en base a estos es necesario recurrir a un procedimiento de diseño el cual sirva como guía e inclusive genere la posibilidad de evaluar otras opciones diferentes a la planteada en el presente trabajo. Sin embargo, ello debe de efectuarse bajo las principales solicitudes detalladas en la Lista de Exigencias las cuales se muestran en resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1.3. Resumen de la Lista de Exigencia.

| N | Requisitos | Datos y Aclaraciones |
|---|---|---|
| 1 | El prototipo permitirá estudiar el secado de las madejas previamente centrifugas. | Las madejas ingresarán al prototipo después de haber sido centrifugadas. |
| 2 | Las madejas ingresadas tendrán un peso de 1 y 2 kg respectivamente | La capacidad del equipo estará en base a las características únicamente de las madejas de 1 y 2 kg |
| 3 | El fluido con el que se secará será aire frío cuya temperatura se puede considerar entre 18 y 22 °C | Es necesario monitorear la temperatura y condiciones del aire. |
| 4 | Fuente de energía es eléctrica | Será conectado a la red eléctrica de la planta. |
| 5 | Contará con una salida donde descargará el aire a la atmosfera | La salida se encontrará en la parte final del túnel. |
| 6 | El túnel contará con un visor el cual permita observar el fenómeno de secado | El visor estará hecho en su totalidad de policarbonato transparente atornillado y sellado al túnel. |

Conociendo los requerimientos más importantes es necesario identificar la tecnología que se ha desarrollado con respecto a los prototipos y/o secadores para madejas de pesca.

6.1. Estado de la Tecnología en secadores para madejas de pesca

Las empresas que confeccionan madejas para pesca poseen diversos equipos para el secado de estas las comúnmente han sido previamente centrifugadas. Sin embargo, dicha tecnología no es ampliamente difundida; por lo que, resulta complejo conocer más a detalle de esta.

Es conocido que ciertos fabricantes de madejas emplean rehiletos para secar las madejas con aire frío, otros, en cambio, emplean hornos de túnel con sistema de control de temperatura similares a los empleados en la industria textil.



Figura 1.4. Horno de secado para madejas textiles. Fuente: www.qrbiz.com

En la Figura 1.4 se muestra un horno de secado de madejas de textil la cual posee las siguientes características:

Tabla 1.4. Ficha técnica del horno secador de madejas para textil.

| | |
|----------------------------|-----------------|
| Velocidad de transporte | 0.2 - 1.5 m/min |
| Presión de vapor de secado | 3.5 - 4 kg/ cm |
| Temperatura de Secado | 90 - 130 °C |

Este tipo de secadores emplea vapor de agua para determinados productos y un sistema móvil de madeja el cual otorga uniformidad al secado. Por otro lado, sus dimensiones no solo se asocian al volumen de madejas a secar sino también a los equipos propios de la máquina que permiten obtener las condiciones ideales. Adicionalmente, se aprecia que las madejas ingresan sujetadas de manera simple por un extremo y por el otro totalmente libre lo que posibilita que el aire, en este caso caliente, penetre por completo a la madeja obteniendo así mejores resultados.

Cabe mencionar que este tipo de máquinas para secar demandan de un consumo elevado de energía, espacio para su instalación y constante mantenimiento de los diferentes equipos auxiliares.

Por último, existen formas más complejas de secar madejas las cuales emplean tecnología similar a la de las microondas o también más sencillas y económicas empleando el medio ambiente como fuente de secado.

6.2. Matriz Morfológica

Una vez revisado tanto el producto como la tecnología existente, es conveniente plantear un grupo de soluciones ante el requerimiento principal por ello, y siguiendo este método de diseño, se mostrará la siguiente Matriz Morfológica la cual propone una serie de opciones; sin embargo, una de ellas se desarrollará por completo.

| | | | | | | |
|-------------------|---|--|--|--|--|--|
| | INSPECCIÓN DEL PRODUCTO A ENTRAR | | | | | |
| | POSICIONAR | | | | | |
| | SUJECIÓN | | | | | |
| | CERRADO DE LA CÁMARA | | | | | |
| ENERGIA ELECTRICA | ENERGIZAR EL EQUIPO | | | | | |
| | REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VENTILADOR/ FLUIDO | | | | | |

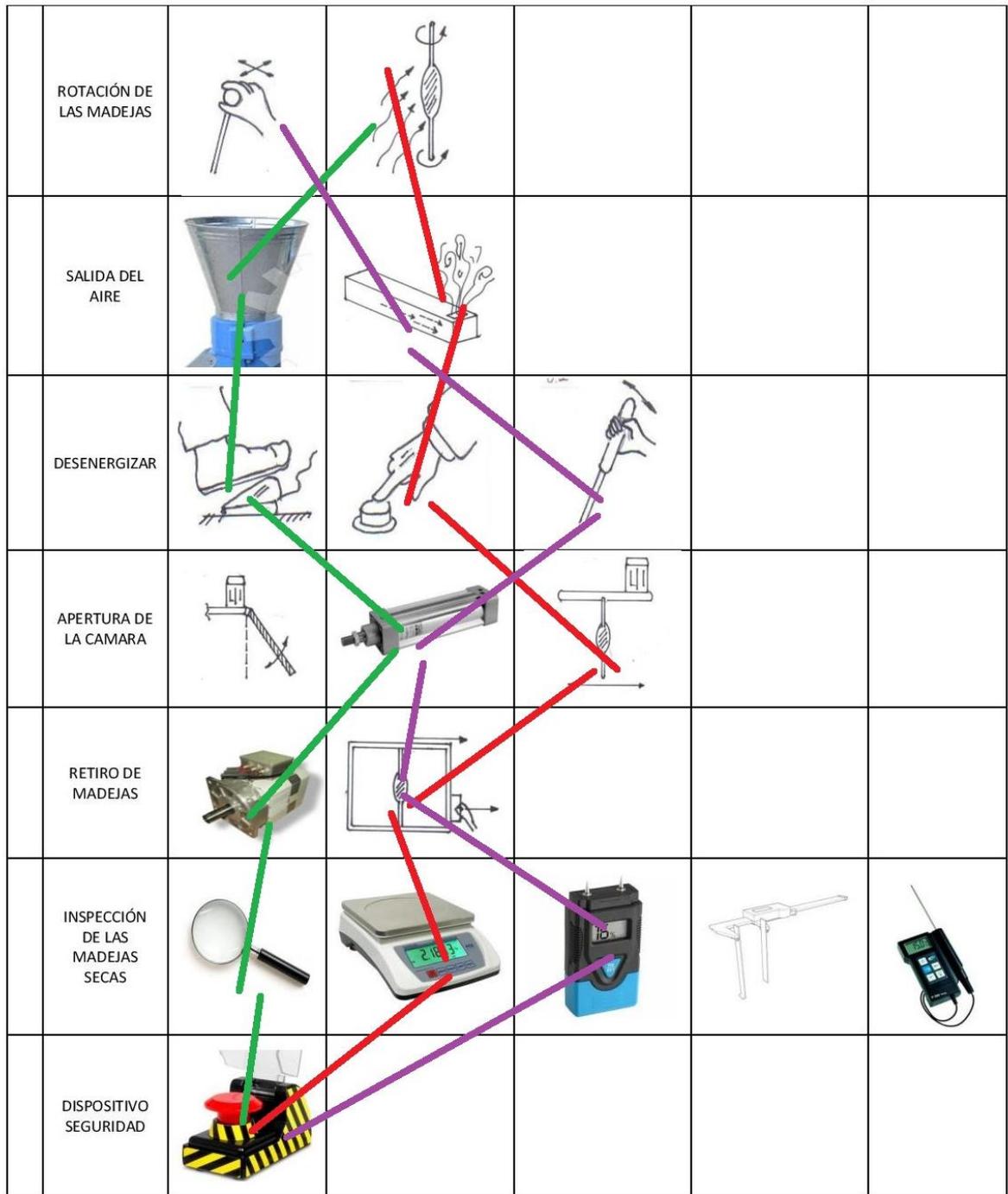


Figura 1.5. Matriz Morfológica. Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a la Matriz Morfología tenemos:

- Color Rojo: Primera opción
- Color Verde: Segunda opción
- Color Morado: Tercera opción

Ello indica que la opción a escoger es la de *Color Rojo* pues es aquella que más se aproxima a lo solicitado; es decir, cumple con los requerimientos de la Lista de Exigencia.

7. Consideraciones para el análisis y diseño

El prototipo tendrá por capacidad una sola madeja tanto de 1 como de 2 kg pues con ella se puede realizar un análisis en detalle del comportamiento de la sustancia y de la incidencia del fluido sobre la posición del hilo. Esta consideración parte de independizar una sola madeja de una configuración predeterminada por la empresa solicitante tal y cual lo muestra la Figura 1.6., configuración conocida como “tres bolillos”.

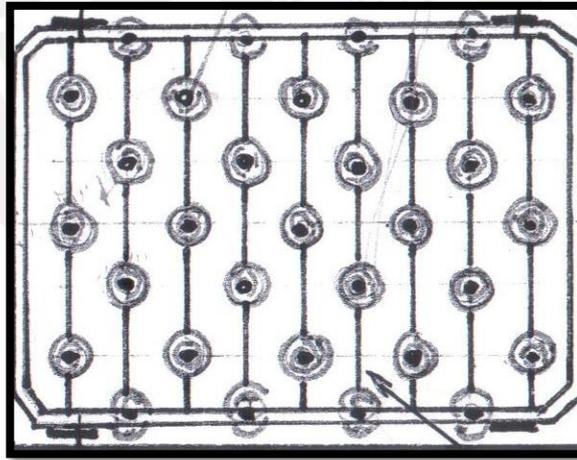


Figura 1.6. Vista superior de la posición de las madejas “tres bolillos”. Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, se debe mencionar que se ha experimentado un bloque o módulo de esta configuración obtenido como resultados que son importantes de revisar y que merecen ser descritos.

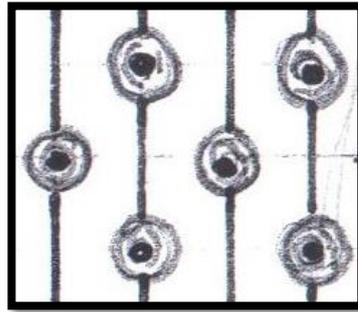


Figura 1.7. Configuración 1 de 6 madejas. Fuente: Elaboración Propia.

Para una configuración similar a la presentada en la Figura 1.7 con un ataque del fluido de izquierda a derecha se demostró que el flujo no consigue penetrar dicho módulo y por ende no alcanza a la última fila de madejas, lo cual trae como consecuencia que las últimas madejas no alcancen la calidad de secado solicitada.

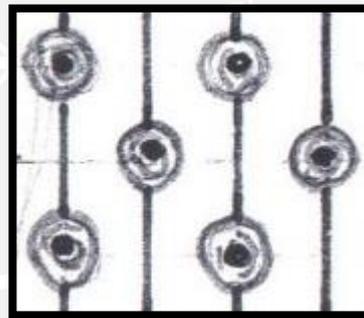


Figura 1.8. Configuración 2 de 6 madejas. Fuente: Elaboración Propia.

De forma similar, una configuración como la mostrada en la Figura 1.8, con un ataque del fluido en la misma dirección, de izquierda a derecha, consigue que el fluido alcance todas las madejas permitiendo un secado completo y uniforme del módulo de evaluación; es decir, todas las madejas se llegaron a secar para un tiempo determinado.

Por último, se debe tener en cuenta que dichas afirmaciones se efectuaron al ser sometidas ambas configuraciones de madejas al mismo tipo de ensayo (pasar aire *frio* a través de ellas) y bajo las mismas condiciones de fluido y al mismo tiempo de exposición; por ello, se pone en manifiesto que para un mismo tiempo de ensayo se concluyó que la configuración 2 tenía una mejor calidad de secado a diferencia de la otra. Ambas disposiciones se ensayaron con madejas de 1 y 2 kg obteniendo resultados similares.

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y ANÁLISIS DEL PROTOTIPO DE SECADOR

Parte importante del diseño del prototipo es definir las dimensiones del túnel en donde se ensayarán las madejas, más aún resulta ser establecer correctamente los parámetros como velocidad y temperatura del fluido; por otro lado, la selección correcta de los elementos juega un papel importante en la mejora de la eficiencia del secado. Es por ello, que a continuación se detallará el proceso de cálculo y las consideraciones realizadas, en base a la Lista de Exigencias, con la finalidad de obtener un óptimo diseño.

En esta parte se expone todo el proceso de análisis y cálculo relacionado al diseño del túnel el cual incluye las diversas secciones con las que cuenta y la selección del ventilador y del motor eléctrico, todo ello está íntimamente relacionado a conceptos propios de la *Mecánica de Fluidos*.

La última parte presenta el diseño del bastidor porta madejas el cual permite sujetarla, posicionarla y hacerla girar con la finalidad de estudiar el comportamiento del tiempo de secado ante la variación de la posición de la fibra. Seguidamente se evalúa la estructura que soportará al túnel y otros elementos.

1. Diseño de la Cámara de Pruebas

Para poder realizar el diseño de un espacio que permita ensayar las madejas es importante tener en cuenta lo siguiente:

- ✓ Se debe evitar el contacto directo entre el objeto de estudio y el personal pues la sustancia que conllevan las madejas es toxica; por ello, se empleará como medio de ensayo un túnel que permita llevar a cabo las pruebas sin inconvenientes.
- ✓ Las secciones del túnel obedecen principalmente a las dimensiones de la madeja a ensayar, permitiendo no solo su fácil acceso sino también su sencilla manipulación. Por otro lado, estas secciones permiten obtener un control sobre el flujo de aire generado por el ventilador.
- ✓ Partiendo del punto de vista de la sustancia esta es corrosiva, por lo que, la cámara de pruebas será fabricada enteramente de acero inoxidable prolongando así su vida útil.
- ✓ Es necesario registrar de forma visual el proceso de secado de las madejas; por ello, se colocará en el tramo de ensayo un visor de policarbonato transparente el cual, manteniendo asilado el recinto, permitirá inspeccionar el producto.
- ✓ El flujo de aire proveniente de un extremo debe poder escapar de la cámara por el otro sin que este genere problemas a los usuarios, motivo por el cual se colocó en la parte inferior del último tramo una salida o desfogue.
- ✓ La cámara de ensayo posee en el extremo de la última sección una puerta que permite el ingreso y extracción del producto y asu vez evita la salida directa del flujo de aire impidiendo su interacción con los usuarios.

Una vez definido dichos alcances es posible establecer una geometría para la cámara de pruebas. La geometría de ese tramo, como ya se detalló, está relacionado con las dimensiones de la madeja y con la característica de versatilidad de la máquina; es decir, con la capacidad de ensaya la o las madejas en distintas posiciones. Por otro lado, las dimensiones de la entrada están asociadas a la salida del ventilador a emplear. Figura 2.1.

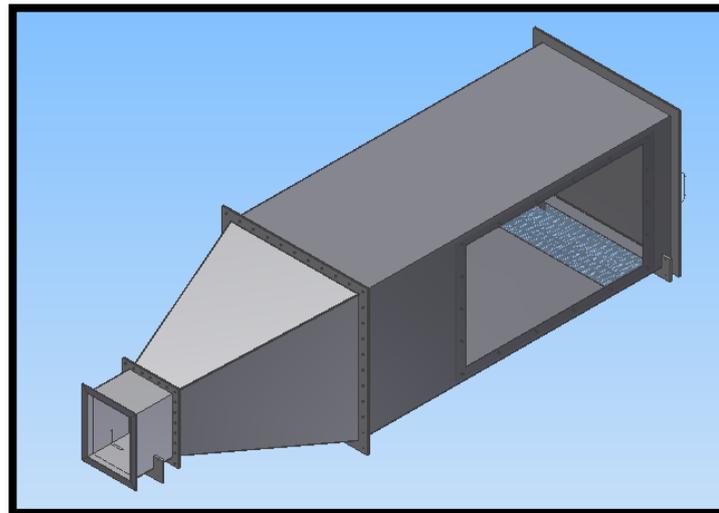


Figura 2.1. Túnel de ensayo para madejas de pesca. Fuente: Elaboración Propia.

Seguido a ello identificamos cada tramo:

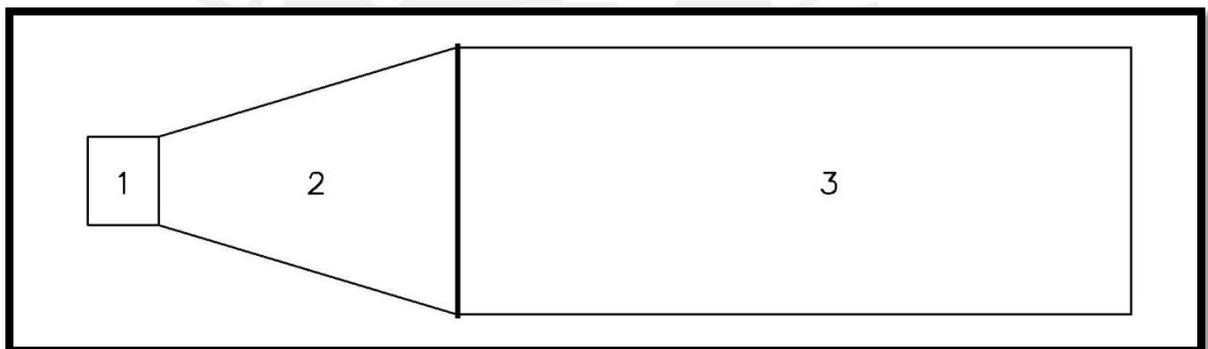


Figura 2.2. Identificación de cada tramo para su estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Así tenemos los siguientes tramos con sus correspondientes secciones y longitudes:

Tramo 1.- Ingreso de Aire (sección rectangular 390 x 300 mm, Longitud 300 mm)

Tramo 2.- Transición (sección rectangular/cuadrada 390 x 300/ 900 x 900 mm, Longitud 1000 mm)

Tramo 3.- Túnel de Ensayo (sección cuadrada 900 x 900 mm, Longitud 2200 mm)

Finalmente, con las secciones y longitudes definidas de cada tramo es posible determinar las pérdidas de cargas con el objetivo de seleccionar un adecuado ventilador.

1.1. Pérdida de Carga en el Tramo 1: Ingreso de Aire

En este primer tramo el aire ingresa directamente del ventilador atravesando una sección de 300 x 390 mm con una longitud de 300 mm aproximadamente. Con la finalidad de poder calcular las pérdidas de cargas se recurre a la expresión de Darcy – Weisbach. Para ello, es necesario contar con la velocidad a la que circula el fluido; sin embargo, esta velocidad no se encuentra definida, por ello es necesario evaluar los actuales procedimientos de secado y en base a ellos definir un velocidad como punto de partida para nuestro análisis.

Como ya se ha mencionado anteriormente, en la actualidad el secado de las madejas alquitranadas se realiza de manera poco convencional; es decir, posterior al centrifugado las madejas son apiladas y puestas a secar en contacto directo con el medio ambiente, lo cual implica que el tiempo de secado de este tipo de productos esté relacionado con las condiciones atmosféricas. Por ejemplo, en épocas de verano según los estándares de calidad, las madejas alquitranadas están secas alrededor de la segunda semana posterior al centrifugado; caso contrario en invierno, estas llegan a ser expuestas hasta cuatro semanas. Esta técnica de secado ha sido empleada desde inicios de dicha actividad.

Si analizamos a detalle lo antes descrito, podremos manifestar que la variación de tiempo depende no solo del cambio de temperatura entre estaciones sino también de la variación de la velocidad del aire y es justamente la variable que deseamos definir. La velocidad del aire se puede considerar en promedio durante las estaciones circula alrededor de los 1.5 m/s (\approx 6 km/h), lógicamente esta presenta alteraciones en la magnitud de hasta 30 km/h.

Por otro lado, las velocidades de secado en túneles que emplean **los fabricantes de madejas de textiles** varían hasta 5 m/s; sin embargo, se debe tener en cuenta que las fibras para textiles presentan un completo baño en la sustancia a diferencia de las fibras para pesca que solamente han sido recubiertas por el alquitrán. Ello implicaría que una velocidad por encima de la antes recomendada puede no favorecer al recubrimiento; en otras palabras, un exceso de velocidad traería como consecuencia el desprendimiento excesivo del recubrimiento dejando así la fibra expuesta al medio ambiente.

Finalmente y según lo antes detallado es posible tomar un velocidad límite de ensayo de las madejas, esta no superará los 5 m/s. Adicionalmente, dicha velocidad podrá variarse con la intención de comprobar su repercusión en el tiempo de secado.

Así definimos;

$$v_{recomendada} = 5 \frac{m}{s} \text{ (Velocidad máxima)}$$

Si analizamos con detenimiento, esta velocidad recomendada es sugerida explícitamente para el Tramo 3 en donde se ubicará la madeja; sin embargo, el caudal es el mismo en todos los tramos mencionado, en base a esto enunciamos la siguiente expresión:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_3 \text{ (Caudal en cada tramo)} \quad (2.1)$$

En dónde;

$\dot{V}_{1,3}$: Caudal en los Tramos 1 y 3 respectivamente (m^3/s)

Como se sabe podemos expresar el caudal mediante el producto del área que atraviesa el fluido y la velocidad de este; es decir:

$$\dot{V} = A \cdot v = 0.04 \frac{m^3}{s}$$

Si reemplazamos esta última expresión en la igualdad anterior tenemos;

$$A_1 \cdot v_1 = A_3 \cdot v_3 \quad (2.2)$$

Despejando la velocidad del fluido en el Tramo 1:

$$v_1 = \frac{A_3 \cdot v_3}{A_1}$$

Sabemos que las secciones ya han sido definidas y que la velocidad en el Tramo 3 corresponde a la velocidad recomendada; por lo cual, la velocidad en el Tramo 1 corresponde:

$$v_1 = 34.62 \text{ m/s}$$

Con la velocidad del fluido en el Tramo 1 procedemos a definir la expresión de Darcy – Weisbach para hallar las pérdidas:

$$h_1 = \xi \frac{L}{D_1} \frac{v_1^2}{2g} \quad (2.3)$$

Donde;

ξ : Coeficiente de Pérdida

L: Longitud del ducto (m)

D: Diámetro del ducto circular (m)

v : Velocidad del Fluido (m/s)

g : gravedad ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

Es posible identificar que se necesita el coeficiente de pérdidas (ξ) para evaluar la expresión antes presentada. Para ello existe dos opciones; la primera radica en determinar dicho coeficiente mediante un gráfico y la segunda es utilizar una expresión matemática. En este caso se optó por desarrollar la segunda opción, esta expresión recibe el nombre de Colebrook-White y la mostramos a continuación:

$$\frac{1}{\xi} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\xi}} \right) \quad (2.4)$$

Para la expresión anterior definimos;

Re: Número de Reynolds

k/D: Rugosidad Relativa

Sin embargo y como notamos es necesario determinar el número de Reynolds (Re). Este queda definido mediante la siguiente expresión:

$$Re = \frac{D_1 \cdot v_1 \cdot \rho}{\mu} \quad (2.5)$$

En dónde;

D= diámetro de ducto circular (m)

v = velocidad del fluido (m/s)

ρ = densidad (kg/m^3)

μ = viscosidad dinámica (N s/m²)

La expresión anterior del Número de Reynolds está dada para diámetros de tuberías de sección circulares (D); sin embargo, para secciones no circulares se puede relacionar mediante el radio hidráulico; esto nos permitirá evaluar las secciones correspondientes a los Tramos 1 y 3. Así definimos el radio hidráulico (r_h);

$$r_h = \frac{A}{PM} \quad (2.6)$$

Donde;

r_h : Radio Hidráulico(m).

A: Área neta de la sección transversal del flujo (m²)

PM: Perímetro mojado de la sección (m).

Despejando para una sección circular;

$$r_h = \frac{A}{PM} = \frac{\pi D^2/4}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

Finalmente;

$$D = 4 \cdot r_h \text{ (Diámetro de sección circular)} \quad (2.7)$$

Reemplazando en la ecuación del Número de Reynolds, obtenemos;

$$Re = \frac{4 \cdot r_h \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (2.8)$$

Donde;

r_h : Radio Hidráulico(m).

v = velocidad del fluido (m/s)

ρ = densidad (kg/m³)

μ = viscosidad dinámica (N s/m²)

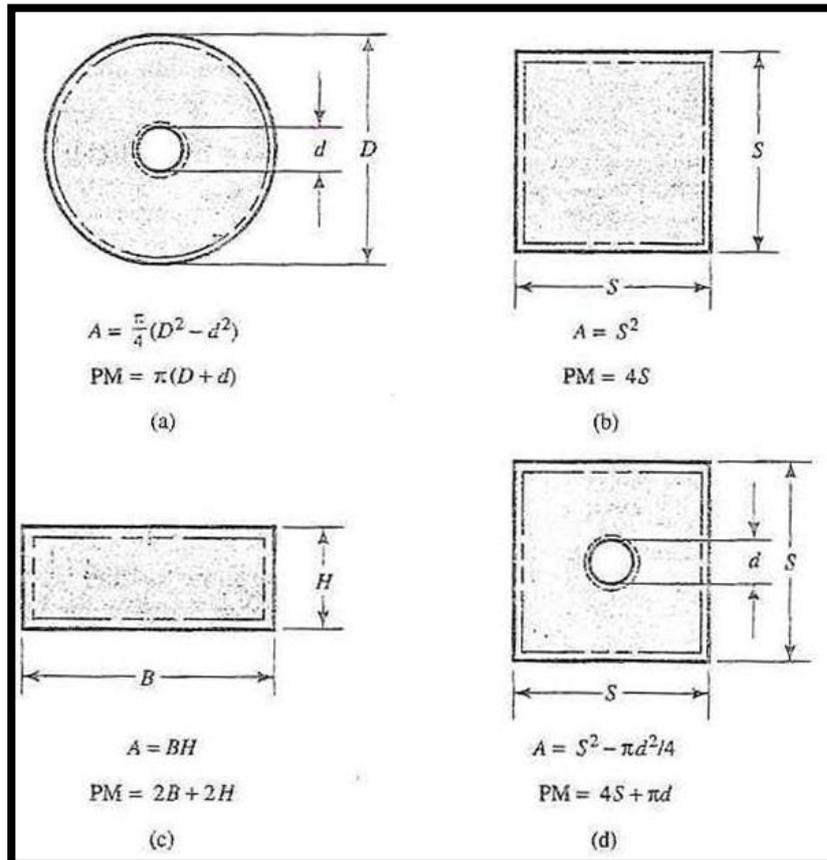


Figura 2.3. Área y perímetro mojado de distintas secciones. Fuente: Recopilación de Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, Claudio Mataix. Segunda Ed. Capítulo 10.

Según la Figura 2.3.; para el caso de una sección rectangular como corresponde al Tramo 1 con lo cual definimos el siguiente radio hidráulico:

$$r_{hr1} = \frac{A}{PM} = \frac{BH}{2(B + H)}$$

Ahora, con las expresiones previamente definidas es posible determinar las pérdidas de carga generadas en el Tramo 1 del túnel de ensayo, primero evaluamos el radio hidráulico correspondiente:

$$r_{hr1} = 0.085 \text{ m}$$

Seguidamente definimos los parámetros para hallar el Número de Reynolds (Re);

$$v_1 = 34.62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para hallar el Número de Reynolds es necesario definir los algunos parámetros, esto debido a que como condición en la Lista de Exigencia, los ensayos se realizarían con aire frío el cual ha sido definido en el Capítulo 1 del presente trabajo. Así tenemos;

$$\rho = 1.20 \frac{kg}{m^3} \text{ (extraída del Libro de Tablas y Graficos de Mecanica de Fluidos)}$$

$$\mu = 1.81 \cdot 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2} \text{ (extraído del Libro de Tablas y Graficos de Mecanica de Fluidos)}$$

De acuerdo a lo anterior;

$$Re_1 = 7.784 \times 10^5$$

Una vez obtenido el número de Reynolds, es posible encontrar el coeficiente de pérdida mediante Colebrook-White; sin embargo, debemos de determinar la rugosidad relativa (k/D); para ello ubicamos la rugosidad (k) mostrada en la siguiente Figura:

| Conducto | Pies | Milímetros |
|---|----------------|------------|
| Acero de remaches | 0.003 – 0.03 | 0.9 – 9.0 |
| Concreto | 0.001 – 0.01 | 0.3 – 3.0 |
| Tubería de madera | 0.0006 – 0.003 | 0.18 – 0.9 |
| Hierro fundido | 0.00085 | 0.26 |
| Hierro galvanizado | 0.0005 | 0.15 |
| Acero comercial o hierro forjado | 0.00015 | 0.015 |
| Conducto estirado | 0.000005 | 0.0015 |
| Plástico, Vidrio | 0.0 (liso) | 0.0 (liso) |

Figura 2.4. Rugosidad de distintos materiales para conductos. Fuente: Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, Claudio Mataix. Segunda Ed. Pág. 219.

Para nuestro caso y como ya se mencionó, el túnel será fabricado enteramente de acero inoxidable por lo que según la Figura tenemos:

$$k = 0.015 \text{ mm}$$

Determinamos “D” empleando una expresión ya antes definida:

$$D = 4 \cdot r_h$$

$$D = 0.34 \text{ m}$$

Así hallamos la relación k/D :

$$\frac{k}{D} = 4.42 \times 10^{-5}$$

Finalmente es posible determinar el coeficiente de pérdida:

$$\frac{1}{\xi_1} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\xi_1}} \right)$$

Donde;

$$\xi_1 = 0.107$$

Por último, determinamos la pérdida de carga que existe en el primer tramo:

$$h_1 = 5.798 \text{ mca}$$

1.2. Pérdida de Carga en el Tramo 2: Transición

Para este tramo se debe tener en cuenta que la sección transversal sufre un cambio, aumenta (Figura), así mismo la velocidad varía disminuyendo en el ingreso del segundo tramo; sin embargo, esta disminución de velocidad favorece al secado de la madeja pues al existir un mayor tiempo de contacto entre el aire y la madeja, existe una mayor transferencia de masa.

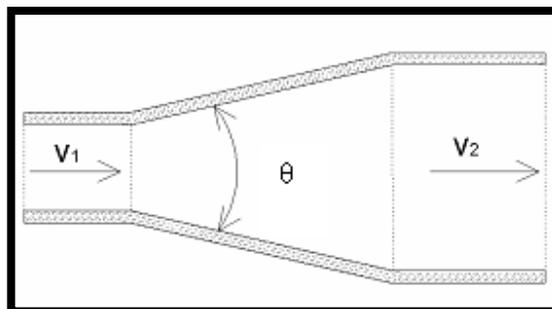


Figura 2.5. Sección del Tramo 2. Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert Mott. Sexta Ed. Pág. 285.

Definimos las pérdidas debido a la carga en este tramo mediante la siguiente expresión;

$$h_2 = K \cdot \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.9)$$

De donde;

K = coeficiente de pérdidas

v_2 = velocidad de salida del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

g : gravedad $\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$

Para este tramo, el valor del *coeficiente de pérdidas* (K) se puede hallar en las tablas presentadas en el VENTILACIÓN INDUSTRIAL Ventilación Industrial. Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales, pág. 5 -34.

Interpolando para un ángulo $\theta = 30^\circ$ y $\frac{A_2}{A_1} \approx 7$, tenemos el valor de K mediante la siguiente expresión extraída del libro *Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas* de Claudio Mataix, pág. 239;

$$K = m \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2 \quad (2.10)$$

Donde el coeficiente “ m ” está asociado con el ángulo (30°):

$$m = 0.81$$

d_1 y d_2 : Diámetros de las tuberías de ingreso y salida.

Así obtenemos;

$$K = 0.596$$

De acuerdo a esto podemos hallar la pérdida de carga en el Tramo 2:

$$h_2 = 0.759 \text{ mca}$$

1.3. Pérdida de Carga en el Tramo 3: Túnel de Ensayo

El Tramo 3 posee la mayor longitud ($L = 2200$ mm) y sección pues es ahí en donde se colocara las madejas para ser evaluadas. Como se puede observar esta sección es semejante a la den Tramo 1; por lo que, para conocer las pérdidas por carga se aplicará el mismo procedimiento descrito anteriormente en el punto 1.1.

Partamos de que la forma de la sección transversal del Tramo 3 es cuadrada con dimensiones de 900×900 mm, con esto determinamos el radio hidráulico para un cuadrado (r_{hc}):

$$r_{hc3} = \frac{A}{PM} = \frac{S^2}{4S} = \frac{S}{4}$$

Donde;

S = Lado la sección cuadrada (m)

Así tenemos;

$$r_{hc3} = 0.225 \text{ m}$$

Definiendo los parámetros para hallar el Número de Reynolds;

$$v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ (Velocidad recomendada por los fabricantes)}$$

$$\rho = 1.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (extraída del Libro de Tablas y Graficos de Mecanica de Fluidos)}$$

$$\mu = 1.81 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \text{ (extraído del Libro de Tablas y Graficos de Mecanica de Fluidos)}$$

Con esto determinamos el Re:

$$Re_3 = 2.983 \times 10^5$$

Buscamos hallar el ξ con la ecuación de Colebrook-White; para ello, considerando $k = 0.015 \text{ mm}$ y $D = 0.9 \text{ m}$, con lo cual obtenemos;

$$\frac{k}{D} = 1.67 \times 10^{-5}$$

Con esto podemos hallar el coeficiente de pérdidas;

$$\xi_3 = 0.109$$

Finalmente, como para el Tramo 3, determinamos la pérdida mediante la expresión de Darcy – Weisbach:

$$h_3 = 0.344 \text{ mca}$$

Por último, determinamos la pérdida total por carga en todos los tramos;

$$h_{CARGA_TOTAL} = 6.564 \text{ m}$$

Como siguiente paso procedemos a calcular la pérdida generada por la madeja a ser ensayada en el Tramo 3.

2. Pérdidas de Carga debido a la Madeja

Al ser colocada la madeja para ser secada, esta genera pérdidas por lo que es necesario estimar dichas pérdidas. Para ello, se modelara la madeja como un *modelo* empleado en los túneles de viento. Dichos modelos, presentan la siguiente ecuación:

$$h_{madeja} = K \frac{v_3^2}{2g} \quad (2.11)$$

Donde;

K = coeficiente de pérdidas del modelo

$$\rho = 1.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (extraída del Libro de Tablas y Graficos de Mecanica de Fluidos)}$$

$$v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ (Velocidad recomendada)}$$

Para los modelos empleados en los túneles de viento se suele escoger un valor de K aproximadamente de 1.5, valor obtenido experimentalmente.

Con lo cual determinamos la pérdida generada por la madeja;

$$h_{madeja} = 1.912 \text{ mca}$$

Si consideramos las pérdidas de carga en los diferentes tramos y la generada por la madeja tenemos:

$$h_{TOTAL} = h_{CARGA_TOTAL} + h_{madeja} + h_{damper} = 9.279 \text{ mca}$$

Así podemos determinar las pérdidas en Pa;

$$P_{Total} = \rho \cdot g \cdot h_{TOTAL} = 102.782 \text{ Pa} \approx 103 \text{ Pa}$$

Este resultado es considerando una sola madeja en el ensayo. Sin embargo, si se desearía aumentar la capacidad de madejas a ensayar, por ejemplo un total de 6, las pérdidas generadas por estas no necesariamente estarían directamente asociadas a la cantidad; es decir, no se puede establecer un relación directa entre la pérdida de carga generada por una madeja y la pérdida por 6 de ellas.

Tabla 2.1. Pérdidas de Carga.

| Pérdidas de Carga | Tramos | | | Madeja | Dámper | Total |
|-------------------|--------|-------|-------|--------|--------|---------|
| | I | II | III | | | |
| h (Pa) | 64.299 | 8.945 | 3.998 | 22.5 | 3.04 | 102.782 |

3. Pérdida de presión en accesorios: Dámper

Para poder determinar la pérdida de presión generada por el dámper nos basaremos en el siguiente procedimiento propuesto por ASHRAE (ASHRAE 2001:2):

$$\Delta P_{acc} = \frac{C \cdot \rho \cdot v^2}{2} \quad (2.12)$$

Donde;

ΔP_{acc} : Diferencia de presión en el accesorio (Pa)

C: Coeficiente de pérdidas para el accesorio.

P: Densidad del fluido (kg/m^3)

v: Velocidad del fluido en el ducto (m/s)

Por otro lado, determinaremos el coeficiente de pérdidas del accesorio (C), para ello volveremos a respaldarnos en lo sugerido por ASHRAE (ASHRAE 2010:2);

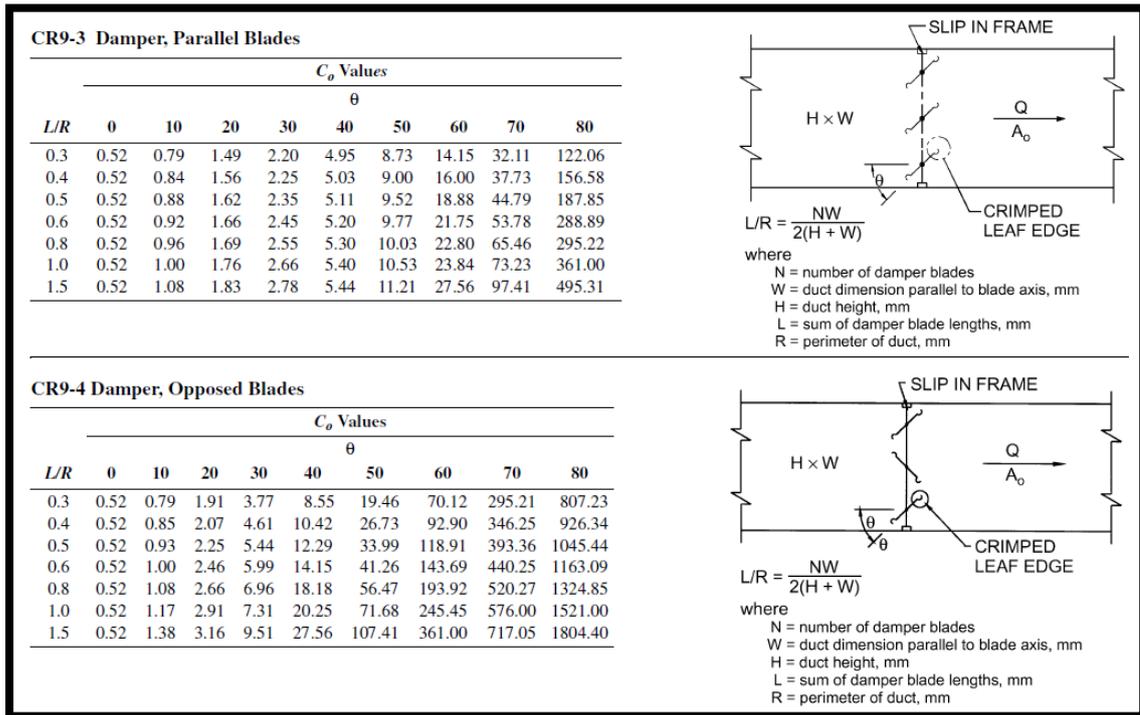


Figura 2.6. Coeficiente de pérdidas en dámperes paralelos y opuestos. Fuente: ASHRAE 2010:2, Pág. 35.58

Sin embargo, se notará que existen dos posibles opciones para la selección del dámper: dámperes paralelos y dámperes opuestos. Para poder determinar el más indicado recurriremos al Manual Práctico de Ventilación de la empresa Salvador Escoda SA, pág. 20; el cual no indica mediante la Figura 2.7 la continuación del sentido del flujo después de atravesar el dámper:

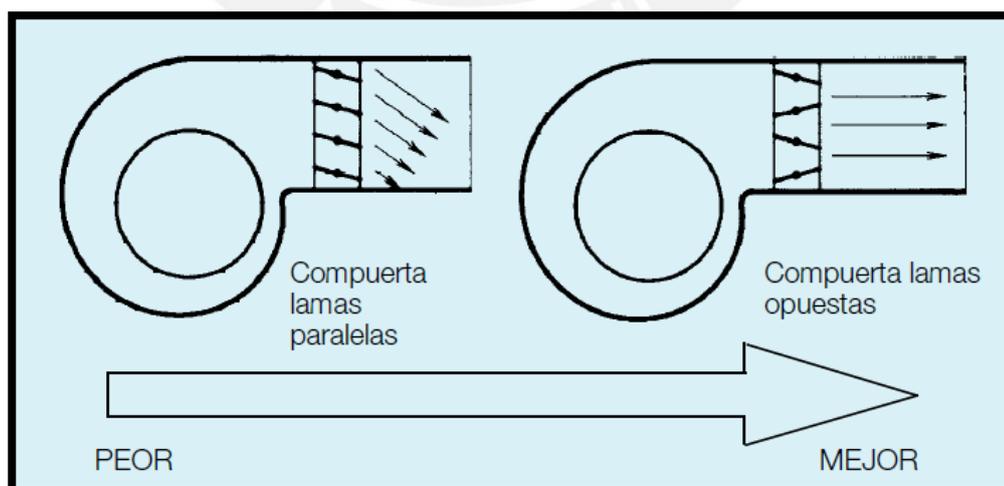


Figura 2.7. Disposición del flujo dependiendo del tipo de dámper en un ventilador centrífugo.

Fuente: Fuente: Manual Práctico de Ventilación – Catalogo Técnico. Salvador Escoda S.A.

Segunda Ed. Pág. 20.

Como se puede apreciar, para nuestro proceso de secado la opción más ideal es considerar un dämper opuesto, ya que este proporcionará una continuidad del sentido del flujo en la cámara de prueba. Por lo tanto, en la Figura 2.6 se escogerá un coeficiente correspondiente a la tabla CR9-4.

Para poder hallar el coeficiente de pérdida emplearemos la siguiente expresión mostrada en el Figura, (ASHRAE 2010:2);

$$L/R = \frac{N \cdot W}{2 \cdot (H + W)} \quad (2.13)$$

Donde;

N: Número de dämperes.

W: Ancho del ducto (mm).

H: Altura del ducto (mm).

L: Suma de la longitudes de los dämperes (mm).

R: Perímetro del ducto (mm).

De esta forma obtenemos;

Tabla 2.2. Relación entre la suma de longitudes de los dämperes y el perímetro del ducto.

| Parámetro | Unidades | Valor |
|-----------|----------|-------|
| N | - | 5 |
| W | mm | 300 |
| H | mm | 390 |
| L/R | - | 1 |

Con este valor de L/R es posible dirigirnos a la tabla presentada en la Figura 2.8.

| CR9-4 Damper, Opposed Blades | | | | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|-------|--------|--------|--------|---------|
| C_o Values | | | | | | | | | |
| θ | | | | | | | | | |
| L/R | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 0.3 | 0.52 | 0.79 | 1.91 | 3.77 | 8.55 | 19.46 | 70.12 | 295.21 | 807.23 |
| 0.4 | 0.52 | 0.85 | 2.07 | 4.61 | 10.42 | 26.73 | 92.90 | 346.25 | 926.34 |
| 0.5 | 0.52 | 0.93 | 2.25 | 5.44 | 12.29 | 33.99 | 118.91 | 393.36 | 1045.44 |
| 0.6 | 0.52 | 1.00 | 2.46 | 5.99 | 14.15 | 41.26 | 143.69 | 440.25 | 1163.09 |
| 0.8 | 0.52 | 1.08 | 2.66 | 6.96 | 18.18 | 56.47 | 193.92 | 520.27 | 1324.85 |
| 1.0 | 0.52 | 1.17 | 2.91 | 7.31 | 20.25 | 71.68 | 245.45 | 576.00 | 1521.00 |
| 1.5 | 0.52 | 1.38 | 3.16 | 9.51 | 27.56 | 107.41 | 361.00 | 717.05 | 1804.40 |

Figura 2.8. Coeficiente de pérdidas en dámperes opuestos. Fuente ASHRAE 2001:2.

Para seleccionar el coeficiente de pérdida de presión generada por el dámper. Así mismo el ángulo de los dámperes es de 30° y en posición fija.

Tabla 2.3. Coeficiente de pérdida de presión generado por el dámper.

| L/R | θ | C |
|-------|------------|-------|
| 1 | 30° | 20.25 |

Finalmente con este valor podemos determinar la pérdida de presión empleando la expresión 2.3

Tabla 2.4. Pérdidas de presión en el accesorio - Dámper.

| Parámetro | Unidades | Valor |
|------------------|-----------------|-------|
| C | - | 20.25 |
| ρ | Kg/m^3 | 1.20 |
| v | m/s | 0.5 |
| ΔP_{acc} | Pa | 3.04 |

Por último, con este valor es posible determinar las condiciones de operación del ventilador.

4. Parámetros para la Selección del Ventilador

Para saber en qué condiciones trabajará el ventilador, debemos conocer la curva resistente de la instalación; en otras palabras, se necesita la curva que relaciona las pérdidas generadas por fricción con el caudal de la instalación. Esta curva se genera a partir de las *Leyes de los Ventiladores* y cuya forma es la siguiente:

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^2 \quad (2.14)$$

En donde:

P_1 y P_2 : Perdida de carga inicial y final respectivamente (Pa)

\dot{V}_1 y \dot{V}_2 : Caudales del sistema (m^3/s)

Así mismo se tiene:

$$P_1 = 103 \text{ Pa} \quad \text{y} \quad \dot{V}_1 = 4.05 \frac{m^3}{s}$$

En base a ello se construye la *Curva del Sistema*:

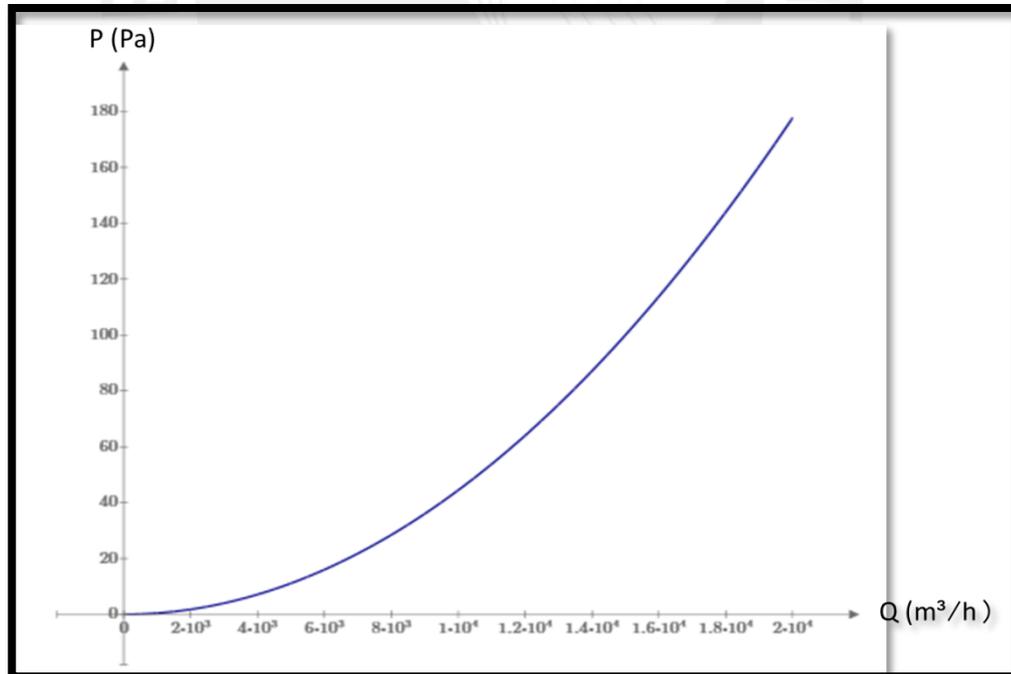


Figura 2.9. Curva del Sistema. Fuente: Elaboración Propia.

5. Selección del Ventilador Industrial

El ventilador juega un papel importante en proceso de secado de la madeja, pues será este quien proporcione el flujo de aire necesario para llevar a cabo el estudio del secado. La correcta selección de los parámetros del ventilador en base a las pérdidas de carga halladas anteriormente permitirá obtener un secado uniforme en un menor tiempo; así como, una eficiencia elevada de secado.

Los parámetros principales que se consideran para la selección de un ventilador, son el caudal y las pérdidas por carga que existe en los diferentes tramos del ducto así como la generada por la madeja. Sin embargo, es necesario identificar qué tipo de ventiladores existe en el mercado y cuál de estos se adapta a nuestra necesidad.

5.1. Tipos de Ventiladores Industriales

Los ventiladores son máquinas rotativas que tiene como principal función poner en movimiento aire o un gas. Existe una variada clasificación de los ventiladores industriales los cuales están agrupados de acuerdo a su función, a la trayectoria del aire, a la presión entre otras; sin embargo, la clasificación más importante es en base a la trayectoria del flujo y es en donde encontramos tres grandes grupos: axiales, centrífugos y especiales.

Ventiladores Axiales.- Como su mismo nombre refiere, son aquellos en los cuales el flujo del aire sigue la dirección del eje mismo; sin embargo, suelen ser ruidos y generan altas velocidades a bajas presiones (Figura 2.10). Existen tres tipos básicos de ventiladores axiales: helicoidales, tubulares y tubulares con directrices.

Los ventiladores axiales helicoidales son empleados en condiciones donde existe poca pérdida de carga; por lo que están presentes ampliamente en sistemas de ventilación general. Por otro lado, los ventiladores tubulares, cuya configuración de hélice de palas es de sección constante y estrecha, sirven para vencer resistencias moderadas de hasta menos de 50 mmca aproximadamente.

Por otro lado, los ventiladores tubulares con directrices se caracterizan por poseer los alabes con perfil aerodinámico las están montadas en una carcasa cilíndrica. Además, suelen tener una mayor eficiencia en comparación a los otros dos y pueden desarrollar presiones de hasta 200 mmcda.



Figura 2.10. Ventilador Axial. Fuente: Catalogo General de Productos. GREENHECK. Pág. 16.

Ventiladores Centrifugos.- Son aquellos en los cuales el flujo de aire cambia de dirección, formando un ángulo de 90° entre la entrada y la salida. Son empleados para caudales de aire menores en comparación con los axiales y pérdidas de carga elevadas (Figura 2.11.). Estos ventiladores se distinguen, principalmente, tres tipos básicos de rodets: alabes curvados hacia adelante, alabes rectos y alabes inclinados hacia atrás/ curvados hacia atrás.

Los ventiladores de alabes curvados hacia adelante se caracteriza por necesitar poco espacio y son silenciosos; por ende, se suelen utilizar en sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire. Por otro lado, los del tipo radial poseen alabes dispuestos en dicha forma; estos son empleados para extracción de aire sucio o limpio.

Por último, los ventiladores de alabes curvados hacia atrás se utilizan en zonas donde se requiere bajos niveles sonoros debido a que sus alabes se encuentran inclinados en sentido contrario al de rotación.



Figura 2.11. Ventilador Centrífugo. Fuente: Catalogo General de Productos. GREENHECK. Pág. 19.

Ventiladores Especiales.- Se suelen llamar a la combinación de ventiladores axiales o centrífugos con otros equipos tales como colectores de polvo u otros.

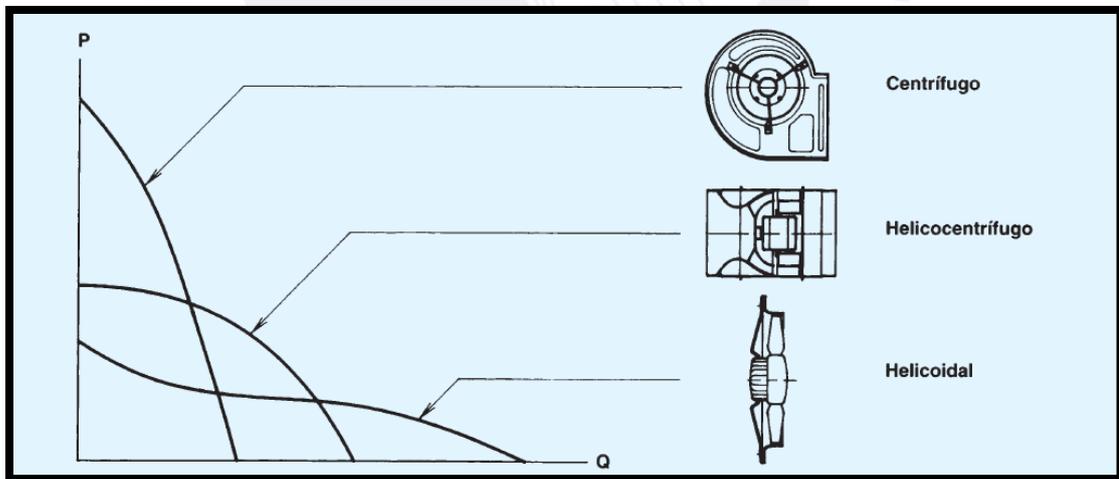


Figura 2.12. Grafico comparativo de Presión Vs Caudal de los tipos de ventiladores. Fuente: Manual Práctico de Ventilación – Catalogo Técnico. Salvador Escoda S.A. Segunda Ed. Pág. 3.

En la Figura 2.12 se presenta las curvas que relacionan la presión con el caudal de los tipos de ventiladores axiales y centrífugos. Como se puede apreciar los ventiladores centrífugos proporcionan mayor presión a menores caudales; sin embargo, conforme el caudal aumenta la presión cae. En el caso de los axiales el caudal tiende a mantenerse constante.

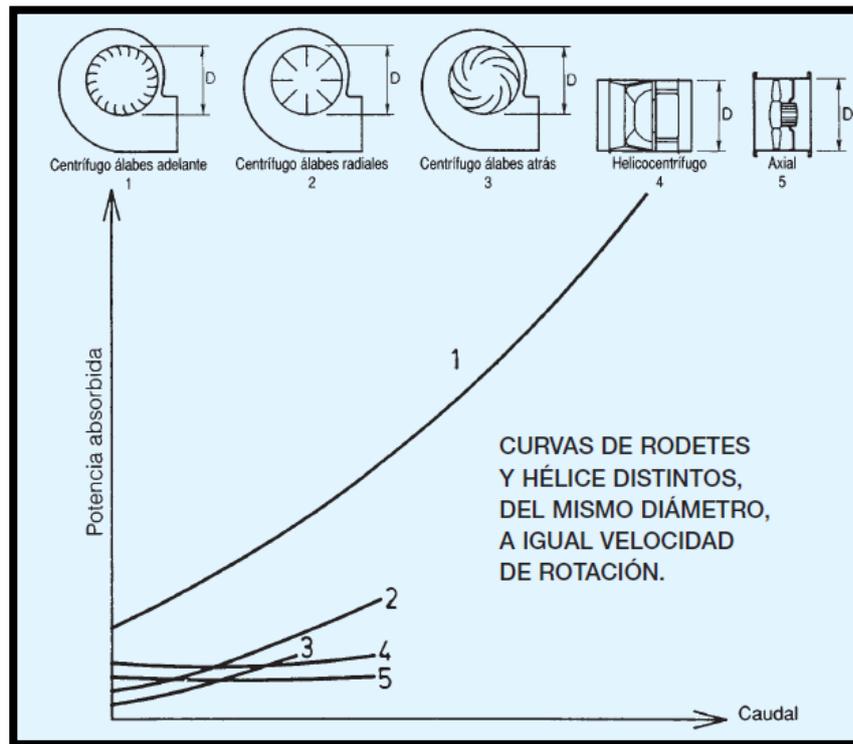


Figura 2.14. Potencia absorbida de cada tipo de ventilado. Fuente: Manual Práctico de Ventilación – Catalogo Técnico. Salvador Escoda S.A. Segunda Ed. Pág. 7.

La potencia absorbida por los ventiladores centrífugos es mayor que la de los radiales, por otro lado, los ventiladores centrífugos proporcionan mayor flujo que los últimos, ventaja importante para los procesos de secado (Figura 2.14).

Habiendo definido las características de los ventiladores existentes en el mercado se concluye que el ventilador más propicio para esta operación es el ventilador centrífugo. Esto debido a que presenta mayores presiones a menores caudales en comparación a sus semejantes; por otro lado, la potencia absorbida durante el arranque puede ser menor que los ventiladores axiales.

5.2. Selección del Ventilador

La correcta selección del ventilador permite no solo conseguir un flujo ideal para el secado sino también supone que dicho proceso se realice de forma eficiente; es decir, reduce el tiempo de secado. Para seleccionar el ventilador es necesario conocer las características físicas que este presenta, identificar para qué tipos de trabajo son empleados y sobre todo cumplir con los requerimientos de carga y flujo.

Según los *Parámetros para la Selección del Ventilador* se tiene:

$$P_1 = 103 \text{ Pa} \quad \text{y} \quad \dot{V}_1 = 4.05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para este caso se ha creído conveniente seleccionar un ventilador centrífugo de la marca *GREENHECK* de la serie 21 & 41 pues son las series con menores rangos en los parámetros tanto de caudal como de presión.

Tabla 2.5. Datos del ventilador centrífugo GREENHECK serie 21 & 41.

| Datos | Valor | Unidades |
|-------------------------------|-----------------|--------------------|
| Diámetro del rodete | 36 | pulgadas |
| Capacidad del equipo | 17000 - 32300 | m ³ /hr |
| Motor eléctrico | 5.5 | kW |
| | 1780 | rpm |
| Relación de transmisión | 1.0 – 1.0 | - |
| Dimensión del área de la caja | 11 7/8 x 15 3/8 | pulgadas |

Las curvas mostradas en la Figura 2.15 son la consecuencia de una selección de un ventilador. En ella se grafica la presión del sistema versus el caudal proporcionado por el ventilador y solicitado por el sistema. El punto N es el punto en donde se trabajará; este punto es generado por la intersección de las curvas generadas por el ventilador y el sistema (P_2 y Q_2) respectivamente.

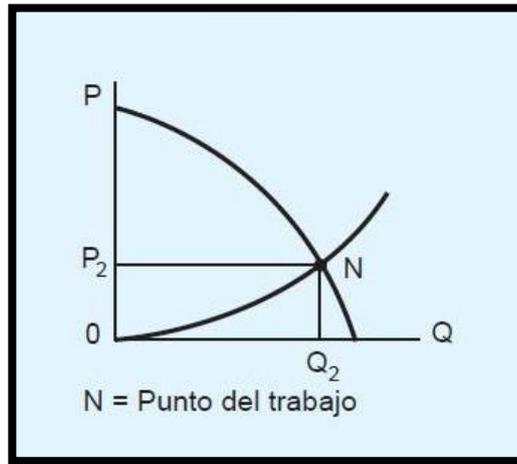


Figura 2.15. Curva del Sistema intersectado con la curva del ventilador. Fuente: Manual Práctico de Ventilación – Catalogo Técnico. Salvador Escoda S.A. Segunda Ed. Pág. 4.

De acuerdo al catálogo serie 21 & 41 de *GREENHECK*, presentamos la Curva para ventilador centrífugo de diámetro del rodete de 36" o conocido con el modelo BISW - 36:

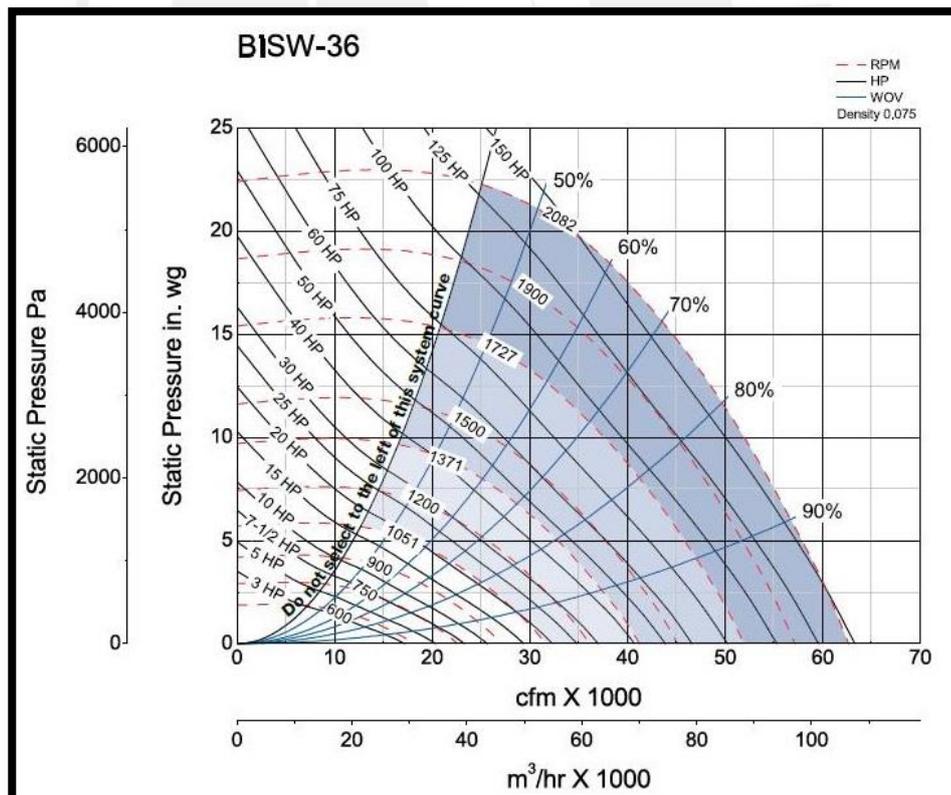


Figura 2.16. Curva de Ventiladores centrífugos de la marca *GREENHECK*, BISW - 36. Fuente: Ventiladores Centrífugos Series 21 & 41. *GREENHECK*. Pág. 7.

Para seleccionar encontrar el *Punto de Operación* “N”, se debe intersectar la *Curva del Sistema* (Figura 2.9.) con la *Curva del Ventilador* (Figura 2.16.).

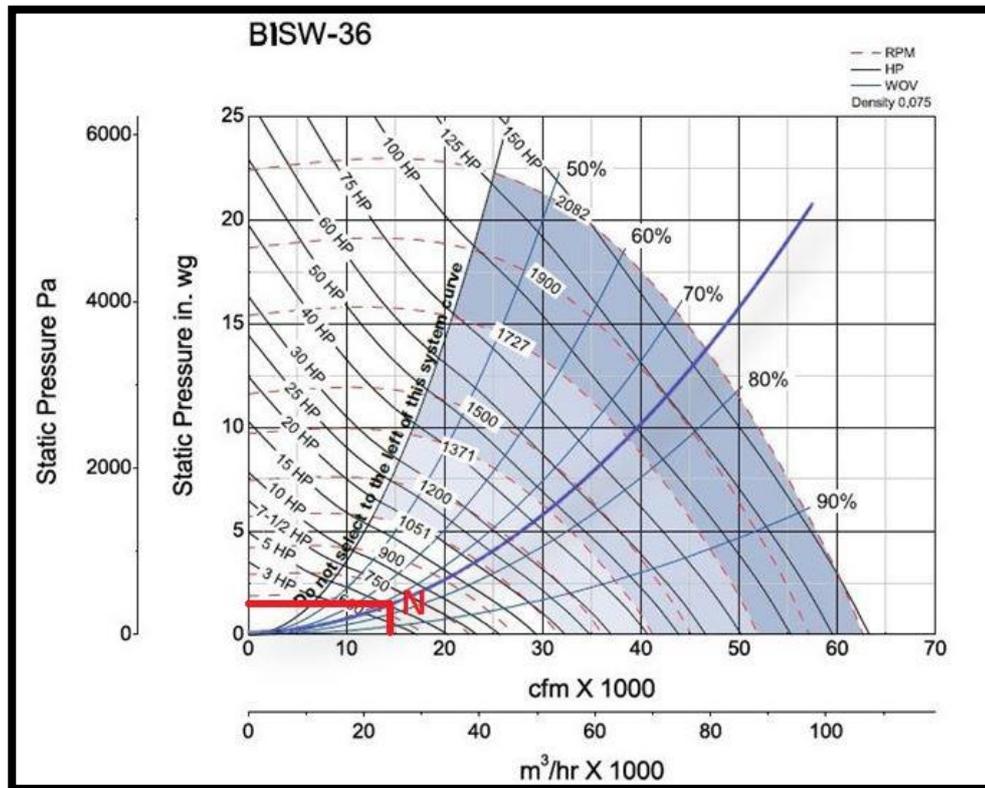


Figura 2.17. Punto de Operación “N”. Fuente: Ventiladores Centrífugos Series 21 & 41. GREENHECK. Pág. 7. Elaboración Propia.

De acuerdo a la Figura 2.17 se puede apreciar que el punto de operación presenta las siguientes características:

Tabla 2.6. Características del punto de operación.

| Parámetros | Caudal (m ³ /hr) | Presión Estática (Pa) |
|------------|-----------------------------|-----------------------|
| | 22 500 | 500 |

6. Selección del Motor Eléctrico

El motor eléctrico a seleccionar depende principalmente de la potencia solicitada por el ventilador y está a su vez se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_r = \frac{\dot{V} \cdot \Delta P}{10^6 \cdot \eta} \quad (2.15)$$

Donde;

P_r : Potencia requerida por el ventilador (kW).

\dot{V} : Caudal del sistema (l/s).

η : Eficiencia del ventilador centrífugo.

La transmisión de potencia del motor al ventilador se realiza mediante una faja trapezoidal, siendo la eficiencia de esta de aproximadamente 97%. Con ello, es posible determinar la *Potencia requerida* con la expresión que se muestra a continuación;

$$P_m = \frac{P_r}{\eta_m} \quad (2.16)$$

Donde;

P_m : Potencia del motor eléctrico (kW).

η_m : Eficiencia de la transmisión por faja trapezoidal.

Con las expresiones antes señaladas determinamos la potencia nominal del motor;

Tabla 2.7. Potencia entregada del motor eléctrico.

| Parámetros | Unidades | Valor |
|--|----------|-------------|
| Caudal | l/s | 4050 |
| Caída de presión del Sistema | Pa | 500 |
| Eficiencia del ventilador | | 75 |
| Potencia del ventilador | kW | 3.51 |
| Eficiencia de transmisión | | 97 |
| Potencia entregada del motor eléctrico | kW | 3.62 |

Como se puede observar, la potencia entregada es de 3.62 kW, empleando el catálogo de motores eléctricos WEG, seleccionamos un motor eléctrico con las siguientes características:

Tabla 2.8. Características del motor eléctrico seleccionado.

| Características | Unidades | Valor |
|---------------------------|----------|-----------|
| Potencia | kW | 4.5 |
| Frecuencia | Hz | 60 |
| Polos | | 4 |
| Velocidad de Rotación | rpm | 1745 |
| Voltaje nominal | V | 220/380 |
| Corriente nominal | A | 16.7/9.67 |
| Par nominal | N-m | 24.6 |
| Protección | | IP5 |
| Masa aprox. | kg | 45 |
| Tiempo de rotor bloqueado | s | 15 |

6.1. Tiempo de arranque

Es importante determinar el tiempo de arranque del motor, pues ello conllevará a definir el tipo de arranque. En la Tabla 2.9 se puede observar los tiempos de arranque para distintas potencias de motores eléctricos.

Tabla 2.9. Tiempo de arranque del motor eléctrico extraído del Libro *Maquinas eléctricas*, Machuca Vargas.

| Tiempo de Arranque (s) | Potencia de Motor eléctrico (kW) |
|------------------------|----------------------------------|
| 6 | 5 |
| 10 | 10 |
| 16 | 16 |
| 21 | 70 |
| 24 | 100 |

Para determinar el tiempo de arranque del motor eléctrico recurrimos a la siguiente expresión:

$$t_a = \frac{2\pi}{60} \cdot n_1 \cdot \frac{(J_m + J_e)}{T_{mmed} + T_{rmed}} \quad (2.17)$$

En dónde;

t_a : Tiempo de arranque del motor (s).

n_1 : velocidad del motor (rpm).

J_m : Inercia del motor ($\text{kg} - \text{m}^2$)

J_e : Inercia de la carga reflejada al eje del motor ($\text{kg} - \text{m}^2$)

T_{mmed} : Torque medio del motor (N·m)

T_{rmed} : Torque medio resistente (N·m)

Para poder determinar la Inercia de la carga reflejada al eje del motor es necesario emplear la relación de transmisión con la *Inercia de Carga* (J_{carga}), por lo que empleamos esta expresión:

$$J_e = J_{carga} \cdot \left(\frac{1}{i}\right)^2 \quad (2.18)$$

Donde;

J_e : Inercia de Carga ($\text{kg} - \text{m}^2$)

i : Relación de transmisión

Por otro lado, la *Relación de Transmisión* se expresa de la siguiente forma;

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.19)$$

Donde;

n_2 : Velocidad de rotación del ventilador (rpm)

Así mismo, se puede expresar el Torque medio del motor:

$$T_{mmed} = 0.45 \cdot \left(\frac{T_P}{T_N} + \frac{T_{m\acute{a}x}}{T_N}\right) \cdot T_N \cdot 9.81 \quad (2.20)$$

En la cual;

T_P : Torque de arranque ($\text{kgf} - \text{m}$).

T_N : Torque Nominal ($\text{kgf} - \text{m}$).

$T_{m\acute{a}x}$: Torque máximo alcanzado ($\text{kgf} - \text{m}$).

Por último, el torque medio resulta de la relación (T_{rmed}) del *Torque del Ventilador* (T_{ven}) y la *Relación de Transmisión* (i), así tenemos;

$$T_{rmed} = \frac{T_{ven}}{i} \quad (2.21)$$

Y no olvidemos que:

$$T_{ven} = \frac{1000 \cdot P_r}{\omega_2} \quad (2.22)$$

Donde;

ω_2 : Velocidad angular del ventilador (rad/s).

Con ello determinamos el tiempo de arranque del motor seleccionado;

Tabla 2.10. Tiempo de arranque del motor eléctrico.

| Parámetros | Unidades | Valores |
|--|-------------------|---------|
| Inercia del motor | kg-m ² | 0.01741 |
| Velocidad de rotación del motor | rpm | 1745 |
| Velocidad de rotación del ventilador | rpm | 690 |
| Relación de transmisión | | 0.385 |
| Inercia del rodete del ventilador | kg-m ² | 5.47 |
| Inercia de la carga referida al motor | kg-m ² | 0.855 |
| Torque nominal del motor | kg-m | 2.51 |
| Torque de arranque respecto al nominal | kg-m | 2.2 |
| Torque máximo respecto al nominal | kg-m | 2.8 |
| Torque de motor medio | kg-m | 55.4 |
| Potencia del ventilador | kW | 3.51 |
| Velocidad angular del ventilador | rad/s | 72.67 |
| Torque del ventilador | kg-m | 48.58 |
| Torque resistente medio | kg-m | 55.4 |
| Tiempo de aceleración | s | 4.5 |
| Tiempo de rotor bloqueado | s | 15 |

6.2. Método de arranque para el motor eléctrico seleccionado

Como se puede apreciar el tiempo de arranque del motor seleccionado es de 4.5 s, muy inferior al tiempo de rotor bloqueado; sin embargo, por términos de seguridad se escogerá un arranque estrella – triángulo cuya configuración queda detalla en el plano ELEC – PL07 – A3.

7. Cálculo de la eficiencia del sistema

Para poder determinar la eficiencia en el sistema es necesario definir el punto de operación:

$$P = 500 \text{ Pa} \quad \text{y} \quad \dot{V} = 6.25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con ello es posible determinar el consumo de potencia empleando la siguiente expresión;

$$P_b = \rho \cdot g \cdot H \cdot \dot{V} \quad (2.23)$$

Donde;

P_b : Potencia teórica del ventilador (kW).

\dot{V} : Caudal del sistema (l/s).

H: Pérdidas del sistema (mca).

$\rho = 1.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (extraída del Libro de Tablas y Graficos de Mecanica de Fluidos)

g: Gravedad (9.81 m/s²)

Por otro lado para determinar la eficiencia del sistema recurriremos a la expresión que se muestra a continuación;

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot \dot{V}}{P_m} \quad (2.24)$$

Donde;

η : eficiencia del sistema (%).

\dot{V} : Caudal del sistema (l/s).

H: Pérdidas del sistema (mca).

$\rho = 1.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (extraída del Libro de Tablas y Graficos de Mecanica de Fluidos)

g: Gravedad (9.81 m/s²)

P_m : Potencia del motor eléctrico (kW)

De esta manera determinamos la eficiencia del sistema;

Tabla 2.11. Eficiencia del sistema.

| Parámetro | Unidades | Valor |
|--------------------------------|-------------------|--------------|
| Caudal | m ³ /s | 6.25 |
| Caída de presión del Sistema | mca | 42.47 |
| Densidad del fluido | kg/m ³ | 1.20 |
| Gravedad | m/s ² | 9.81 |
| Potencia del ventilador | kW | 3.125 |
| Potencia del motor eléctrico | kW | 4.5 |
| Eficiencia | % | 69.4 |

Finalmente, según lo evaluado se puede determinar que la eficiencia del sistema estar alrededor del 70%.

8. Diseño del Bastidor Porta Madeja

Como sabemos, el proceso de secado es el siguiente al proceso de centrifugado en la línea de producción. Esto conlleva a pensar, que las madejas, si bien se encuentran con una menor cantidad de solución de alquitrán aún se aprecia sustancia discurriendo de esta; por ello, es importante evitar en lo posible el contacto con el personal y el medio ambiente. Motivo por el cual se requiere un soporte en cual descase la madeja para posteriormente ingresar al túnel de ensayo.

Este sujetador denominado bastidor porta madeja tiene como función principal sujetar a la madeja evitando que esta caiga durante los ensayos y permitiendo el acceso total del aire; así mismo, se busca que el bastidor tenga la capacidad de acondicionar a la madeja en diferentes posiciones con la finalidad de evaluar las ventajas o desventajas que proporciona la posición de la fibra con respecto a la dirección de ataque del fluido.

Adicionalmente, el bastidor debe contar con un peso fácil de manipular por el personal que estará a cargo de los ensayos (no mayor a 25 kg) y un diseño que permita observar la evolución del secado conforme transcurre el tiempo.

Finalmente, el sujetador porta madeja permitirá girar a la madeja a medida que el aire ingresa evaluando así el comportamiento del secado.

8.1. Sujetador Porta Madeja

El sujetador porta madeja permitirá colocar y retirar las madejas de 1 y 2 kg de forma rápida y sencilla. Además, tendrá la capacidad de girar e irá atornillado al bastidor lo cual permite un fácil mantenimiento y recambio de partes.

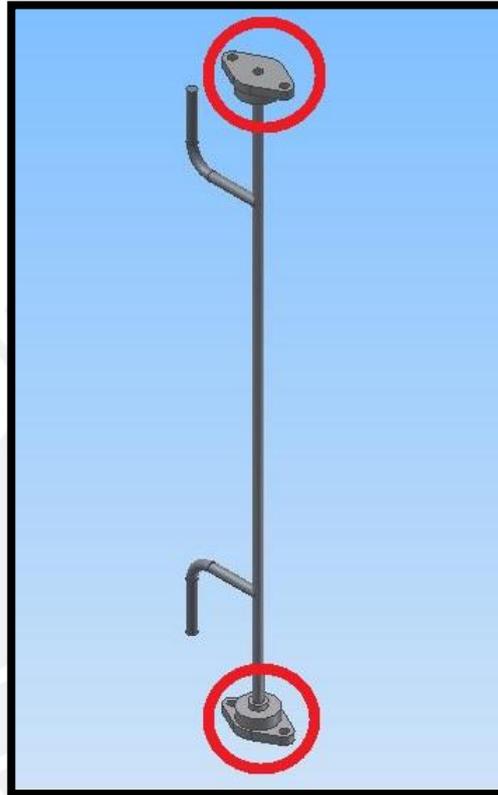


Figura 2.18. Sujetador Porta madeja. Fuente: Elaboración Propia.

El sujetador de madejas presentado en la Figura 2.18 se caracteriza por estar conformado por dos chumaceras de pared con rodamientos rígidos de bolas con un $\varnothing = 20 \text{ mm}$, colocadas a los extremos y que permiten girar libremente a la madeja si así se requiriera.

Por otro lado, cuenta con dos ganchos equidistantes soldados a la barra principal los cuales permiten colocar la madeja y sujetarla cuando esta se encuentra en posición horizontal; es decir, las fibras son paralelas al sentido del flujo Figura 2.19.

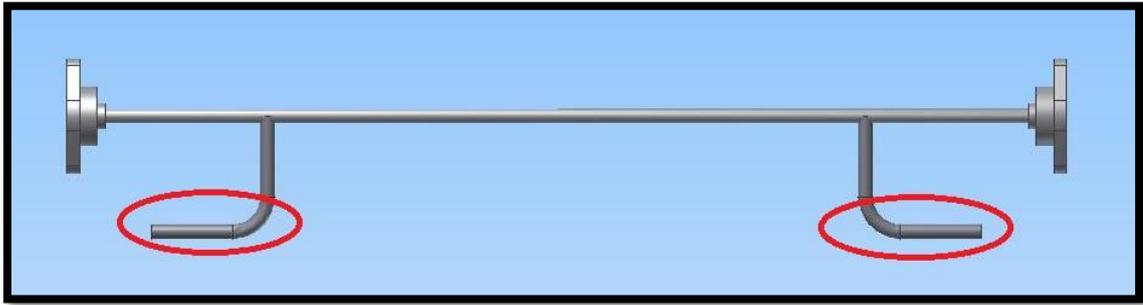


Figura 2.19. Posición vertical del sujetador porta madeja. Fuente: Elaboración Propia.

Estos ganchos son barras de acero de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 250 mm de longitud que han sido dobladas con un radio de 30 mm para posteriormente anexarlas a la barra principal.

La barra principal cuenta con una longitud de 770 mm aproximadamente y un diámetro de $\frac{1}{2}$ " (12.7 mm); por lo que los extremos son deben ser maquinados para poder colocarlos en las chumaceras Figura 2.20.

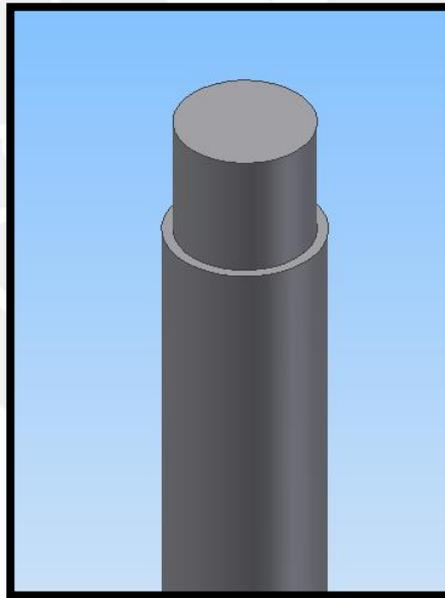


Figura 2.20. Maquinado del extremo de la barra principal del sujetador. Fuente: Elaboración Propia.

La profundidad del maquinado para ambos extremos es de 10 mm desde las caras extremas.

8.1.1. Análisis del Sujetador Porta Madeja

Para este elemento resulta indispensable identificar las partes que estarán sometidas a cargas y a qué tipo de estas. En este sentido, se procederá a evaluar la resistencia de dichas partes.

En primer lugar, evaluaremos los rodamientos, los cuales son de bolas rígidas. Para esto es necesario conocer las revoluciones de giro de la madeja en base a la fuerza centrífuga que genera esta debido a la presión dinámica del aire; así tenemos,

$$Pd = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \quad (2.25)$$

Donde;

Pd: Presión Dinámica del aire en el ducto

ρ : Densidad del aire ($\rho = 1.20 \frac{kg}{m^3}$)

v: velocidad del fluido ($7.54 \times 10^{-2} \frac{m}{s}$)

Reemplazando los valores tenemos:

$$Pd = 3.41 \times 10^{-3} Pa$$

En base a esta presión es posible hallar la fuerza que se genera en la madeja. Considerando un área de $0.14 m^2$ que es el área correspondiente a la madeja de 2 kg.

$$F = P \cdot A \quad (2.26)$$

$$F = 4.774 \times 10^{-4} N$$

Con esta fuerza hallada es posible determinar la velocidad de giro de la madeja.

$$F = m \cdot \alpha \cdot r \quad (2.27)$$

Donde;

m: Masa de la madeja (consideramos 2 kg)

α : aceleración angular (rad/s^2)

r: radio de giro de la madeja (100 mm aprox.)

Con ello obtenemos;

$$\alpha = 0.049 \frac{rad}{s^2}$$

Con esta aceleración podemos determinar la velocidad angular de la madeja. Para esto consideraremos un tiempo de 2 minutos en donde el aire finalmente se estabilizará.

Así tenemos;

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad (2.28)$$

De acuerdo a ello la velocidad angular inicial es nula por ello la velocidad obtenida al tiempo evaluado es la siguiente;

$$\omega = 56.15 \text{ rpm}$$

Como se puede, el sujetador porta madeja cuenta con dos rodamientos colocados en ambos extremos de la barra principal, ello permite el giro de la madeja a aproximadamente 56.15 rpm. El giro depende exclusivamente de la presión dinámica que ejerza el aire sobre la madeja; es decir, que a mayor velocidad del fluido se generará mayor presión dinámica y por ende mayor velocidad de giro de la madeja.

Este resultado es coherente debido a que la velocidad del fluido en dicho tramo del ducto es baja, por ende la velocidad de giro de la madeja está en el mismo orden; además, el peso de la estructura compuesta por la barra y los dos ganchos es de aprox. 1.2 kg sumado con el peso de la madeja (2 kg) hacen un total de 3.2 kg; ello indica que no es necesario calcular la vida útil de los rodamientos y tener la tranquilidad de trabajarán de óptima forma.

Así mismo, analizar la barra principal por pandeo o fatiga resulta improductivo pues se cuenta con pesos y velocidades de giro bajas.

8.1.2. Análisis de la posición de la fibra frente al ataque del fluido

Como ya se mencionó, se busca evaluar el comportamiento del secado de la madeja frente al cambio de posición de la fibra de la madeja con respecto a la dirección del fluido; sin embargo, para ello se debe tomar algunas consideraciones que son conocidas.

Se suscitan tres casos para este escenario; es decir, existen tres formas de poder evaluar dicho comportamiento. La primera de ellas es colocando la fibra de la madeja en dirección paralela al sentido del flujo tal como se muestra en la Figura 2.21. Esta primera posición permite deducir que el aire ataca una menor área por lo que contribuye a que el secado pueda realizarse de forma lenta.

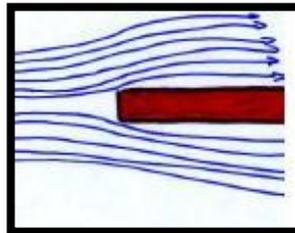


Figura 2.21. Posición de la fibra paralela al fluido. Fuente: Elaboración Propia.

Caso similar sucede con la segunda posición (Figura 2.22) donde la fibra está colocada con una inclinación de aproximadamente 45° con respecto a la dirección de fluido. Para este caso el área de contacto fibra – madeja resulta ser un poco mayor al de la primera posición; sin embargo, resulta insuficiente en cuanto a términos de tiempo de secado.

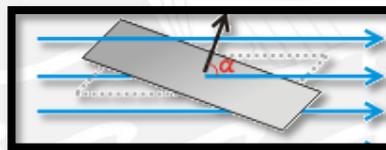


Figura 2.2. Posición inclinada con respecto al sentido del flujo. Fuente: Transferencia de Calor y Masa – Fundamentos y Aplicaciones, Cengel Yunus. Cuarta Ed. Pág. 435.

La tercera y última posición corresponden al ataque perpendicular del flujo de aire sobre la fibra o cuerda de la madeja tal y como se muestra en la Figura 2.23. Como se puede apreciar se genera una mayor área de contacto; es decir, el fluido puede captar mayor cantidad de la sustancia que se desea secar lo cual contribuye a reducir, principalmente, el tiempo de secado.

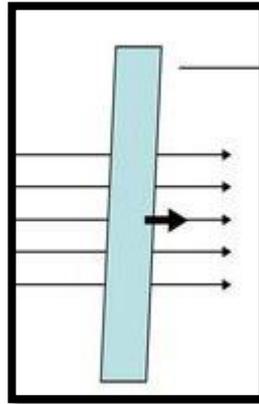


Figura 2.23. Fibra de la madeja perpendicular al flujo del aire. Fuente: Transferencia de Calor y Masa – Fundamentos y Aplicaciones, Cengel Yunus. Cuarta Ed. Pág. 455.

8.2. Bastidor Porta Madeja

El sujetador presentado anteriormente se coloca sobre un bastidor o estructura metálica (Figura 2.24) el cual permite fijar al sujetador con el túnel de ensayo; en forma semejante y como ya se mencionó este permite cambiar la posición de la madeja sin necesidad de tener contacto directo con ella.

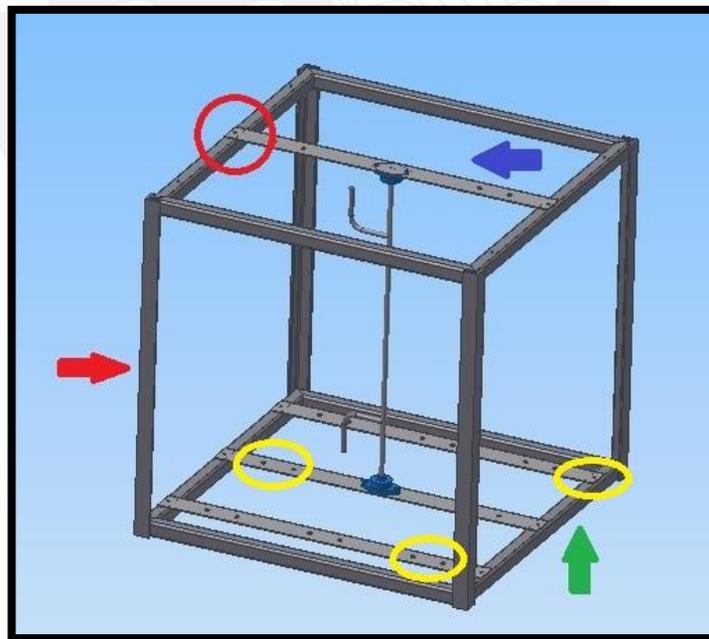


Figura 2.24. Bastidor para el sujetador. Fuente: Elaboración Propia.

Este bastidor está compuesto por cuatro perfiles en L de $1\frac{1}{2}'' \times 1\frac{1}{2}'' \times \frac{1}{4}''$ (flecha roja), ocho tubos cuadrados de $1\frac{1}{2}'' \times 1/8''$ (flecha verde) y cuatro platinas de 880 x 60 x 3 mm colocadas en dos caras opuestas y atornilladas a los tubos. La estructura cuya

forma es semejante a un paralelepípedo cuenta con dimensiones de 850 x 850 x 860 mm lo que permite que entre en el túnel de ensayo (900 x 900 mm) y se pueda cambiar de posición variando a su vez la dirección de la madeja.

Como se puede apreciar, el bastidor es un módulo que posee en la parte inferior tres platinas soldadas y perforadas en tres equidistantes zonas (círculos amarillos) esto permite que se puedan ubicar de forma espaciada un total de nueve madejas e inclusive se puede trabajar con distintas configuraciones tales como la tres bolillo. Todo ello hace hincapié en la versatilidad de un equipo de prueba como es un prototipo. Es a su vez estable y permite el paso total del flujo de aire, se logra una visualización completa de la madeja y su fabricación es simple y económica.

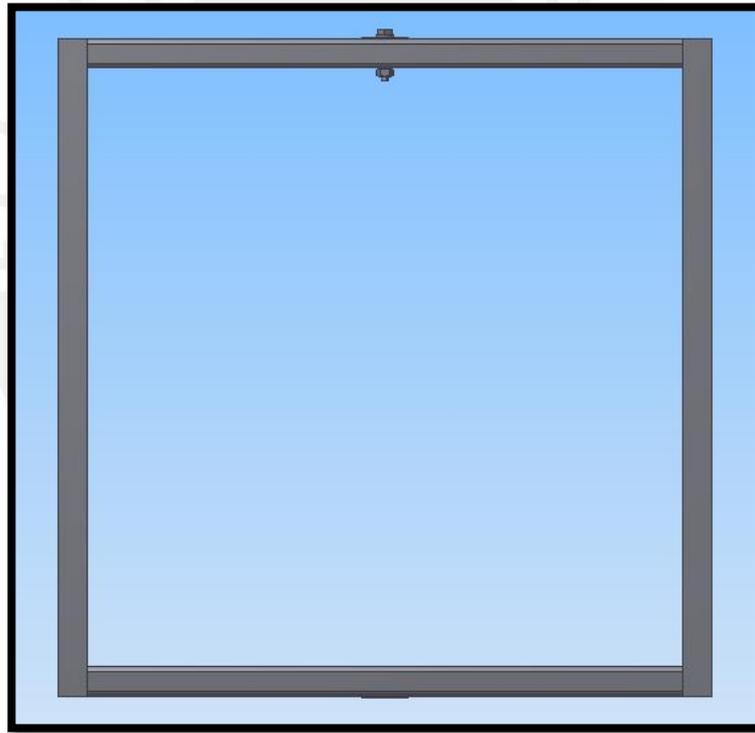


Figura 2.25. Vista frontal del bastidor. Fuente: Elaboración Propia.

8.2.1. Análisis del bastidor Porta madeja

El bastidor o estructura se encuentra sometida principalmente a cargas generadas por el peso de los elementos estructurales, la presión dinámica existente en dicha zona y el peso del sujetador de madejas. Todo ello puede generar deformaciones en los diversos elementos; por eso es necesario su análisis.

Determinamos el peso de las barras de sección cuadrada;

$$\text{Peso} = \mu' * l \quad (2.29)$$

Donde;

μ' : Peso lineal (sección cuadrada = 1.77 kg/m)

l: Longitud de la barra (aprox. 860 mm)

De lo cual tenemos;

$$\text{Peso} = 1.52 \text{ kg}$$

Esto significa que el peso de las barras de sección cuadradas no representa una carga significativa que pueda generar una deformación apreciable e inclusive el peso repartido de la madeja y el sujetador son de efecto despreciable.

En este mismo sentido, la fuerza generada por la presión existente en dicha zona se puede considerar despreciable, pues al tener un presión dinámica de alrededor de $3.41 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ la fuerza que genera no afecta a las uniones atornilladas ni soldadas; lo que implica, que estas pueden ser seleccionadas en base a los mínimos recomendados por las normas.

Según lo antes mencionado, podemos definir que los cordones de soldadura deben tener un espesor de garganta de 3 mm (DIN 1912); así mismo, las uniones atornilladas contarán con un tornillo M12 X 60 mm, una tuerca M12 y su respectiva arandela. Todo ello será detallado en los planos anexados al presente trabajo.

Por último, es indispensable contar con el peso del bastidor y el peso total de la estructura considerando la madeja de 2kg;

$$\text{Peso del bastidor} = \text{Peso Cuadrada} + \text{Peso Platinas} + \text{Peso Angulos}$$

Con esto obtenemos;

$$\text{Peso del bastidor} \approx 20.73 \text{ kg}$$

Considerando el peso del sujetador y la madeja tenemos;

$$\text{Peso Total} = 23.93 \text{ kg}$$

Lo cual indica que puede ser manipulado por una sola persona; ya que, al tener dicho peso, este evita la fatiga y el cansancio.

9. Diseño de la estructura

El túnel de ensayo mostrado en la Figura 2.26 deberá colocarse sobre una estructura metálica, la cual proporcionará estabilidad y rigidez al túnel cuando este es atravesado por el fluido. Es recomendable realizar una estructura soldada; ya que, dicha cámara de ensayos contará con un lugar y un espacio fijo.

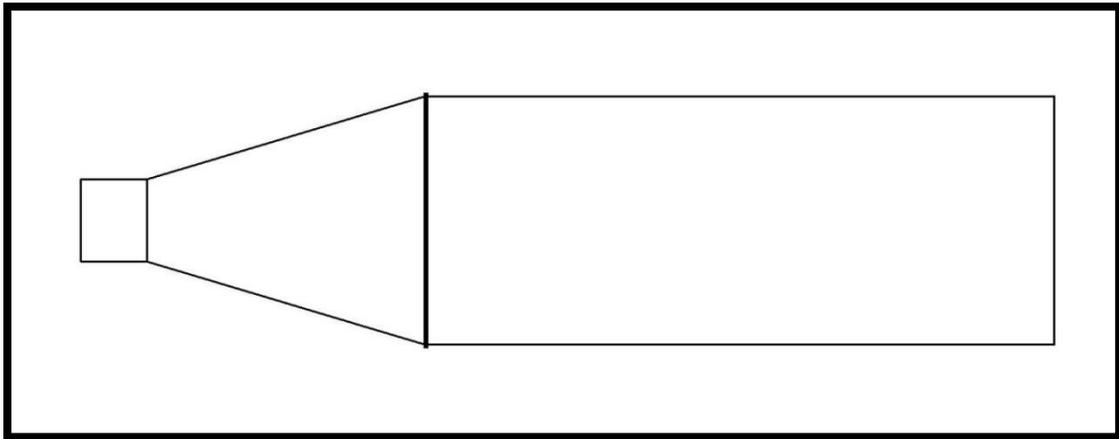


Figura 2.26. Cámara de ensayo para madejas. Fuente: Elaboración Propia.

Para dimensionar los elementos estructurales, es indispensable realizar un DCL con la finalidad de identificar las fuerza actuantes.

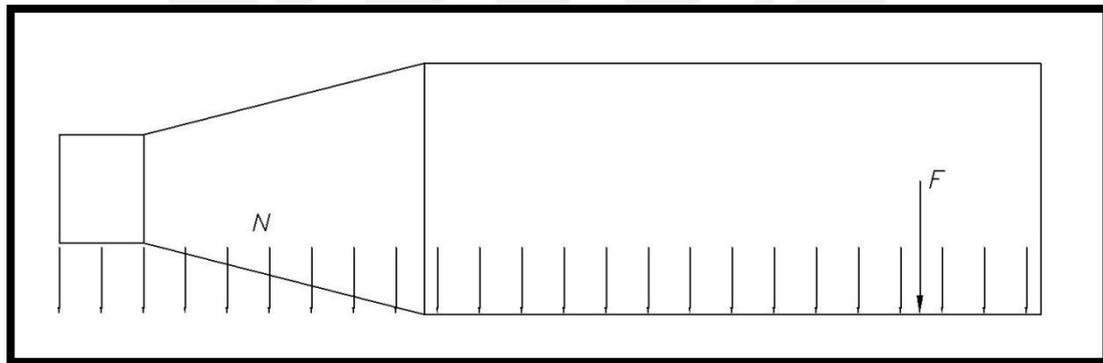


Figura 2.27. DCL del túnel de ensayo. Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a la Figura 2.27, definimos;

F: Fuerza Total del Batidor Porta Madeja (N)

N: Fuerza generada de la estructura del Túnel de Ensayo y el aire en ella. (N)

Donde;

$$F = 234.75 \text{ N}$$

Por otro lado, para determinar N es necesario conocer el volumen de aire en el interior de la cámara;

$$V_{Total} = V_1 + V_2 + V_3$$

En dónde $V_{1,2,3}$ son volúmenes del tramo 1, 2 y 3 respectivamente.

De acuerdo a esto tenemos;

$$V_1 = 0.081 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0.473 \text{ m}^3 \text{ (Tronco piramidal)}$$

$$V_3 = 1.782 \text{ m}^3$$

Así hallamos el volumen total;

$$V_{Total} = 2.34 \text{ m}^3$$

Con este valor podemos determinar el peso que genera el aire.

$$\text{Peso del aire} = V_{Total} \cdot \rho \cdot g \quad (2.30)$$

$$\text{Peso del aire} = 27.5 \text{ N}$$

Sin embargo este valor debe considerar también el peso generado por la estructura misma del túnel de ensayo, cuyo espesor es de 3 mm

Para esto hallamos el peso de cada tramo;

$$P_i = V_i \cdot \rho_{acero} \quad (2.31)$$

Donde;

P_i : Peso de cada tramo ($i = 1, 2$ y 3) en kg.

V_i : Volumen de acero en cada tramo (m^3).

$$\rho_{acero} = \text{Densidad del acero } 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

De esto obtenemos;

Para el Tramo 1 correspondiente a la entrada, posee una sección rectangular de 390 x 300 mm con un espesor de pared de 3 mm

$$P_1 = 9.83 \text{ kg}$$

El Tramo 2 es un tronco de pirámide recto con una base menor de 390 x 300 mm y una mayor 900 x 900 mm y un espesor de pared de 3 mm

$$P_2 = 57.6 \text{ kg}$$

Finalmente, el Tramo 3 tiene una sección cuadrangular de 900 x 900 mm con un espesor de pared de 3mm

$$P_3 = 187.13 \text{ kg}$$

En base a esto determinamos el peso general la estructura del túnel de ensayo;

$$P_{Total} = 254.56 \text{ kg} \approx 2497.2 \text{ N}$$

Con ello es posible determinar el peso total generado por la estructura del túnel y el aire contenido en la cámara.

$$N = 2524.7 \text{ N}$$

Para dimensionar los elementos que conformaran la estructura metálica de soporte es necesario conocer la carga total de diseño.

$$F_{Total} = 2759.5 \text{ N}$$

Dichos soportes se colocarán como se indica en la Figura 2.28, para esto se evaluará tubos de sección cuadrada, con la finalidad de determinar la resistencia y el posible pandeo. Se debe tomar en cuenta que la altura de dichos tubos varía de acuerdo a su posición; adicionalmente, esta altura contempla debe contemplar la distancia correspondiente al Tramo 3 (900 x 900 mm); por ello, los apoyos de la posición 2 y 3 poseen la misma altura de 750 mm mientras las barras de la posición 1 poseen una longitud de 1005 mm.

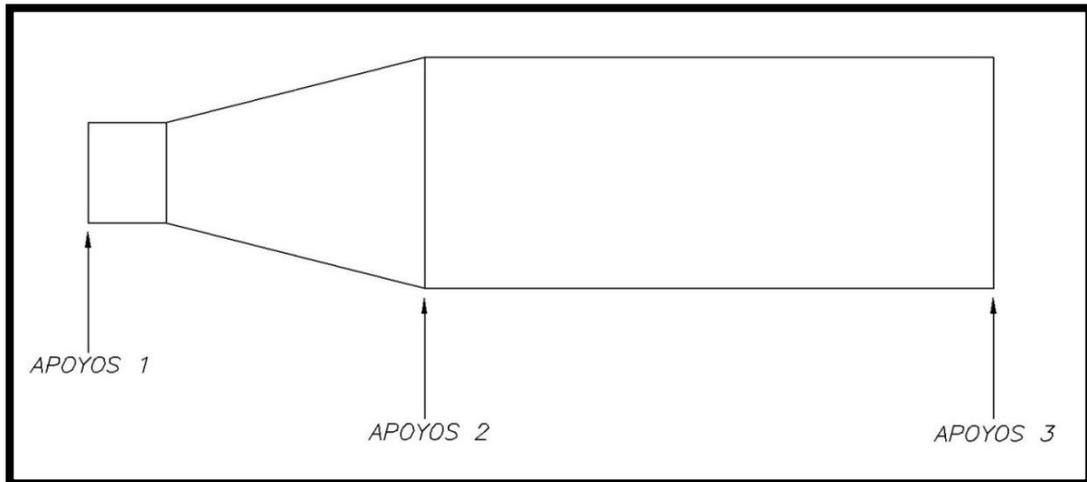


Figura 2.28. Apoyos para la estructura del túnel. Fuente: Elaboración Propia.

Para ello, verificaremos el pandeo en los elementos de la posición 1 seleccionando el perfil más económico y seguro.

9.1. Dimensionamiento de los Apoyos

En esta parte se dimensionará los apoyos que soportará la estructura del túnel; como ya se mencionó estos soportes tendrán una sección cuadrada.

Para este análisis es necesario seleccionar el elemento que posea mayor longitud respecto del suelo; por ello se escogió a los apoyos de la posición 1 los cuales cuentan con una longitud de 1005 mm respecto del nivel del suelo. Este apoyo será verificado a pandeo lo cual determinará el perfil más económico.

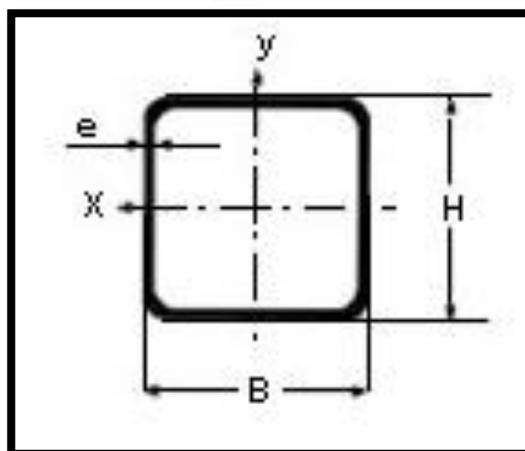


Figura 2.29. Sección del tubo cuadrada según DIN 2394. Fuente: Catalogo General de Productos. Tubisa SA. Pág. 20.

Partimos con los siguientes datos:

$$L = 1005 \text{ mm (Longitud del Apoyo)}$$

$$\sigma_{F adm} = 1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \text{ (Acero estructural St 37)}$$

Con esto hallamos:

$$\text{Radio de Giro: } i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

Esbeltez: $\lambda_x = \frac{L_p}{i_x}$ con ello definimos el ω y finalmente verificamos si cumple.

Los resultados los presentamos en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Iteración para verificación de pandeo.

| Perfil | Longitud (cm) | Área (cm ²) | Inercia | i_x | λ_x | ω | $\omega \cdot \sigma$ | Cumple |
|-------------|---------------|-------------------------|---------|-------|-------------|----------|-----------------------|--------|
| 40 x 40 x 3 | 100.5 | 4.71 | 10.712 | 1.508 | 66.645 | 1.37 | 13.642 | SI |
| 50 x 50 x 3 | 100.5 | 5.99 | 21.97 | 1.915 | 52.480 | 1.23 | 9.631 | SI |
| 60 x 60 x 3 | 100.5 | 7.27 | 39.218 | 2.323 | 43.263 | 1.16 | 7.483 | SI |

Como notamos, los tres perfiles base seleccionados para el proceso de verificación cumple; sin embargo, escogeremos el tubo cuadrado de 50 x 50 x 3 mm, el cual servirá como columnas de apoyo.

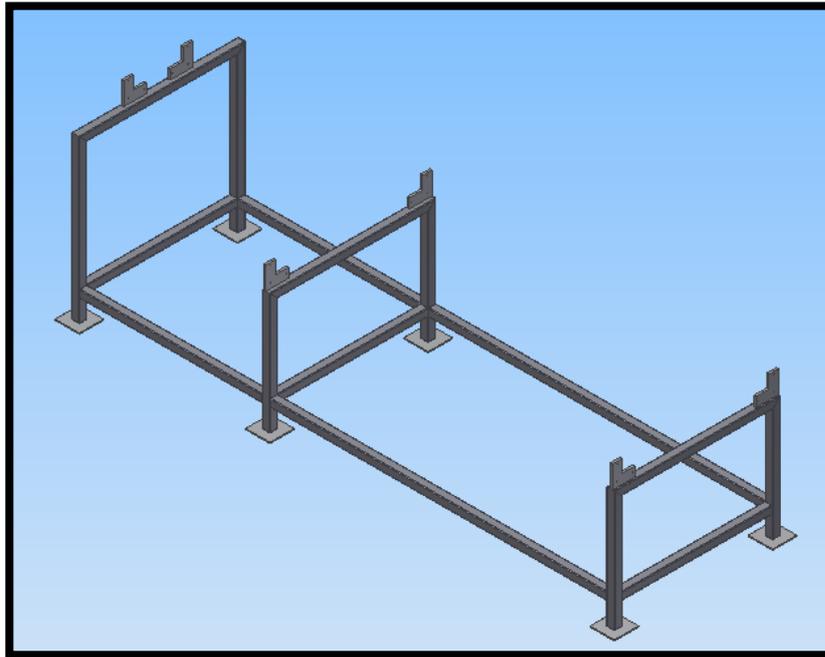


Figura 2.30. Estructura de soporte para el túnel de ensayo. Fuente: Elaboración Propia.

10. Elementos y Accesorios del secador para madejas

Para un correcto ensayo y toma de muestras es importante contar con instrumentos y accesorios que permitan obtener resultados fidedignos.

Los instrumentos permitirán medir parámetros tales como presión y caudal en el interior de la cámara, ello porque es indispensable conocer sus valores y contrastarlos con los tiempos obtenidos.

Por otro lado, los elementos complementarios a la estructura principal del túnel de ensayo permitirán un trabajo eficiente del fluido y evitarán la contaminación de la cámara. Hay que resaltar que se pretende secar un sustancia compuesta íntegramente por hidrocarburos ello conlleva a pensar que el aire a la salida contendrá un alto índice de dichos compuestos y derivados. Esto significa que es importante contar con un analizador de hidrocarburos al final del ducto y también con un sistema de tratamiento de dicho gas.

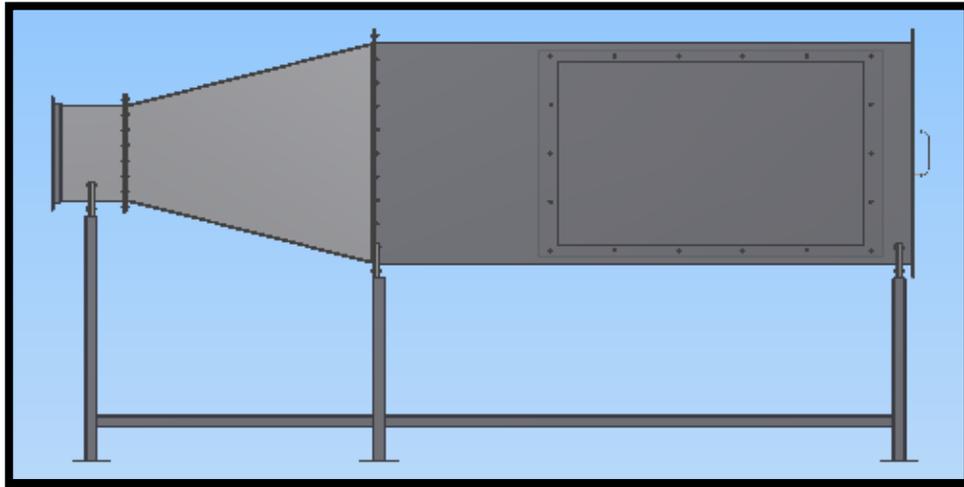


Figura 2.31. Cámara de secado con salida inferior para el aire. Fuente: Elaboración Propia.

La cámara de secado cuenta con una salida de gases ubicada en la parte inferior del Tramo 3, esta está cubierta por una rejilla que permite el paso del aire mezclada con la sustancia (Figura 2.31).

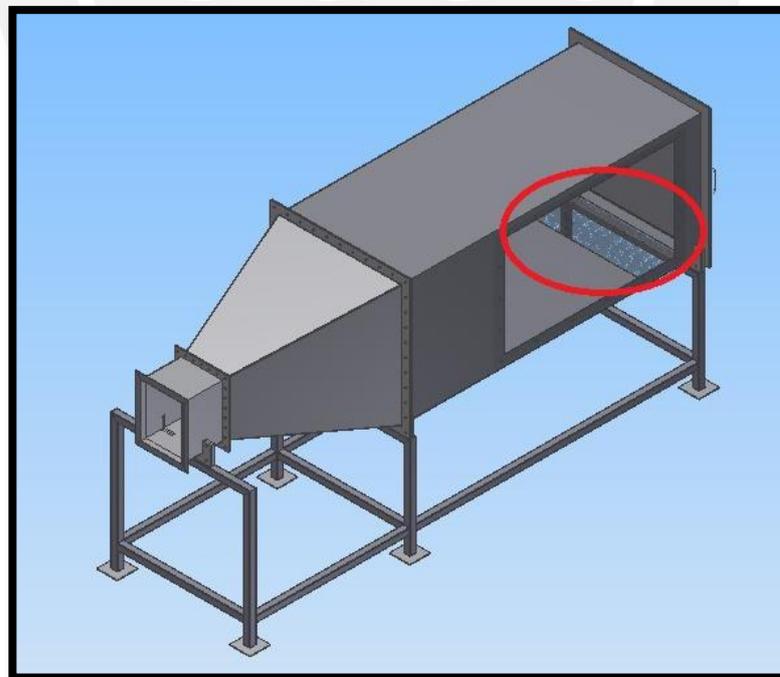


Figura 2.32. Rejilla de fuga de aire. Fuente: Elaboración Propia.

El control del flujo del aire se realizar mediante el empleo de un dámper o puertas de control de flujo (Figura 2.32) las cuales estarían ubicadas al inicio del Tramo 1 y un tubo de Pitot colocado, por recomendación, a una distancia equivalente de 6 veces el diámetro de entrada; es decir, a aproximadamente a 2400 mm desde la entrada de aire. Con el cual se obtendrían las características del fluido.



Figura 2.33 Dámper para control de flujo. Fuente: www.grabcad.com

Estas compuertas a determinados ángulos permitirían controlar el flujo sin necesidad de variar la velocidad del motor lo cual representa un ahorro energético y económico.

Como ya se mencionó, los instrumentos para medición de presiones y medición de caudal deben estar en el rango de medidas según los cálculos realizados en el ítem 1. Para ello, es necesario emplear un tubo de Pitot como el mostrado en la Figura 2.34, el cual se puede colocar a una display para mostrar los resultados de la presión ante una variación del ángulo de las hojas del dámper. Con ello se puede establecer condiciones de operación en base a una relación directa de posicionamiento del dámper versus presión registrada.

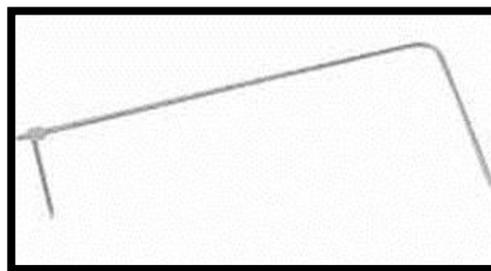


Figura 2.34. Tubo Pitot permite medir el caudal y presión del fluido. Fuente: www.theseus.fi

Para el tubo Pitot antes mostrado definimos los siguientes parámetros:

Tabla 13. Características del Tubo de Pitot para toma de parámetros.

| Parámetro | Unidades | Valor |
|--------------------------|----------|---------|
| Temperatura de Operación | °C | 0 ~ 600 |
| Carga máx. | Pa | 70 000 |
| Longitud | mm | 350 |

Sin embargo, existe la posibilidad de colocar un anemómetro (Figura 2.35) en la salida del aire con lo cual conseguiríamos medir la cantidad de flujo que circula.



Figura 2.35. Anemómetro digital. Fuente: www.pce-instruments.com.

El anemómetro digital mostrado en la Figura presenta las siguientes características:

Tabla 14. Características del anemómetro digital.

| Parámetro | Unidades | Valor |
|--------------------------|-------------------|----------|
| Velocidad del aire | m/s | 0 ~ 30 |
| Temperatura de Operación | °C | -10 ~ 60 |
| Flujo de aire | m ³ /s | 0 ~ 450 |
| Auto apagado | min | 20 |
| Alimentación | V | 9 |

En este sentido, emplear un micromanómetro de Betz (Figura 2.36) demandaría de una inversión elevada pues el costo de este instrumento está alrededor de los 3000 dólares.

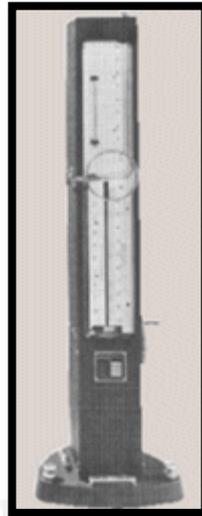


Figura 2.36. Micromanómetro de Betz. Fuente: www.pce-instruments.com.

Por último, existe la posibilidad de analizar la mezcla de aire y volátiles a la salida provenientes del secado, esto permitiría cuantificar la cantidad de elementos y con ello determinar condiciones propias de la transferencia de masa. Todo esto podrá ser factible empleando un analizador de hidrocarburos cuya principal función es identificar la presencia, cantidad y tipos de elementos formados por carbono e hidrogeno. Sin embargo, emplear dicho instrumento (Figura 2.37) requiere de una inversión de aproximadamente 7000 dólares, ello notablemente acrecentaría el costo del diseño.

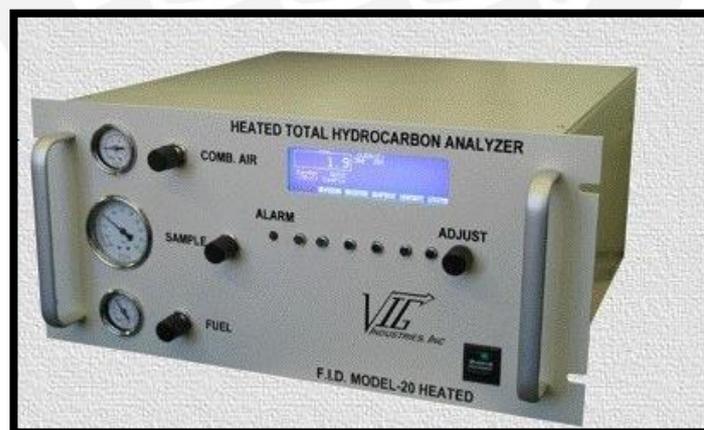


Figura 2.37. Analizador de Hidrocarburos. Modelo-20. Fuente: www.ivg-industries.com

11. Control de la calidad secado durante los ensayos

Determinar la condición de secado o, en otras palabras, verificar si no hay rastros de alquitrán líquido presente en la madeja resulta sumamente importante, ya que, corroborando esto se puede determinar el tiempo en que se demoró la madeja en

alcanzar dicho estado, el peso promedio obtenido después del secado y sobretodo la calidad del recubrimiento del alquitrán.

Como ya se mencionó líneas arriba, en la actualidad las empresas dedicadas a la fabricación de madejas emplean distintos métodos de verificación de la calidad del secado. Algunas de ellas realizan inspecciones visuales, otras en cambio recurren pasar a las madejas por un papel blanco el cual determinará si el proceso de secado se realizó correctamente. Una tercera forma es manteniendo un control sobre el peso de la madeja secada, ello se logra conociendo el peso promedio de la madeja cuando ingresa a la etapa de secado proveniente del centrifugado y cuando sale de esta. El peso promedio final es corroborado mediante una balanza.

Para poder controlar y mantener la calidad del secado en el presente proyecto se utilizó una combinación de las técnicas mostradas anteriormente; es decir, se empleó un control en base al peso de la madeja, la inspección visual y la comprobación sobre un papel especial.

Controlar la madeja mediante su peso implica entrar en contacto directo con la sustancia lo cual resulta peligroso. Sin embargo, ello se puede evitar pesando el conjunto del bastidor, sujetador y madeja antes y después del proceso. La diferencia de peso determinará si la madeja se puede considerar como seca.

La inspección visual se empleará después de considerar la madeja seca. Una vez concluida dicha revisión se procede a pasar la madeja sobre un papel empleando para ello un guante; evitando así el contacto con la sustancia.

Estas tres técnicas combinadas permiten monitorear y constatar la condición y calidad de secado que presenta la madeja, pues se debe tener en cuenta que la presentación del producto es sumamente importante; ya que, las madejas comúnmente son empacadas en bolsas de papel las cuales deben de mantenerse libres de rastros de alquitrán.

12. Resultados y gráficos de la experimentación

Los siguientes resultados y gráficos mostrados son los ensayos realizados a las madejas de 1 y 2 kg respectivamente. Estas madejas han sido colocadas en el túnel y se les ha restringido el movimiento; es decir, no podían girar solo un eje. Además la posición de la fibra era perpendicular al sentido del flujo.

En base a ello obtenemos:

- i. Prueba de secado con aire frio para madeja de 1kg.

Tabla 2.15. Relación de pesos vs tiempo (1 kg)

| Peso (kg) | Tiempo (min) |
|-----------|--------------|
| 1.08 | 7.5 |
| 1.07 | 12.5 |
| 1.04 | 17.5 |
| 1.03 | 22.5 |

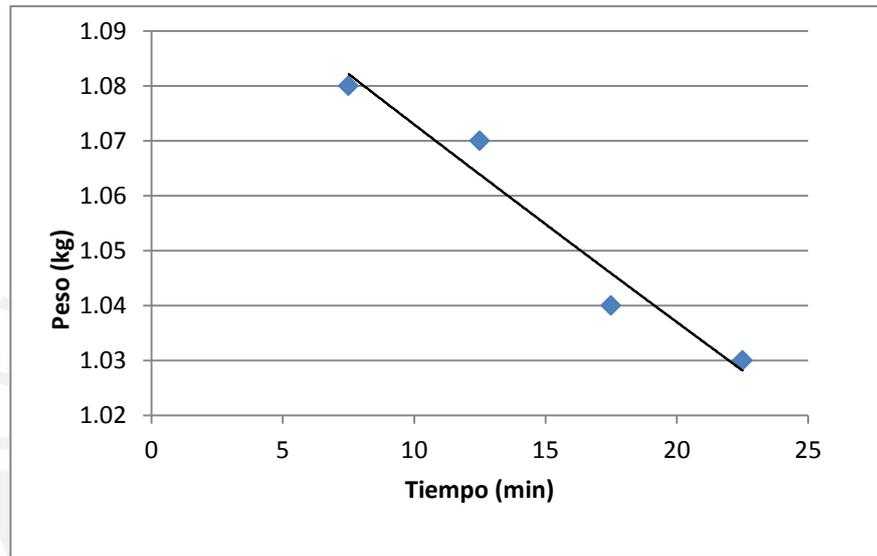


Grafico 1. Curva Peso vs. Tiempo (1 kg)

- ii. Prueba de secado con aire frio para madeja de 2kg.

Tabla 2.16. Relación de pesos vs tiempo (2 kg)

| Peso (kg) | Tiempo (min) |
|-----------|--------------|
| 1.91 | 0 |
| 1.905 | 30 |
| 1.879 | 40 |
| 1.865 | 50 |

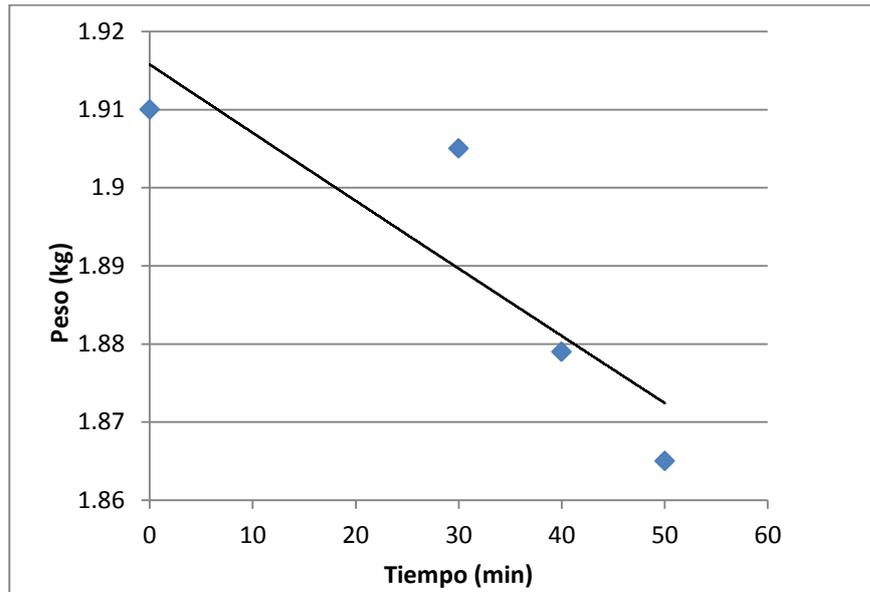


Gráfico 2. Curva Peso vs. Tiempo (2 kg)

Finalmente, las gráficas proporcionan características particulares bajo ciertos parámetros; es decir, ante una variación de caudal o temperatura se incurre en la necesidad de variar la curva pues tanto los tiempos como los pesos cambiarían.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

Dentro de las principales características de diseño de un proyecto se encuentra la economía. Todo proyecto basa su éxito, en gran porcentaje, en el costo que demande su puesta en marcha; por ello, este último capítulo presenta como tema central el análisis económico realizado con la finalidad de entender que, para nuestro caso, un diseño ideal es aquel que no solo cumple con su labor o función principal sino también solicita un presupuesto relativamente bajo para su ejecución.

1. Evaluación económica para las distintas opciones de diseño

Parte importante para la selección de una alternativa de solución mostrada en la Matriz Morfológica es la evaluación económica que se realiza. En ella se evalúan distintos aspectos de las opciones bajo un criterio de numeración, siendo una opción ideal aquella que se encuentra cerca de 21 puntos. De acuerdo a esto definimos la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Análisis económico del proyecto.

| Factor Económico | Proyecto | | | |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | Ideal |
| Costo de Material | 7 | 7 | 8 | 7 |
| Costo de Fabricación | 8 | 8 | 7 | 7 |
| Costo de Mano de Obra | 7 | 8 | 8 | 7 |
| Total | 22 | 23 | 23 | 21 |

De donde hallamos las siguientes relaciones;

$$Y_1 = \frac{21}{22} = 0.95$$

$$Y_2 = \frac{21}{23} = 0.91$$

$$Y_3 = \frac{21}{23} = 0.91$$

Estas relaciones no indican que la opción 1, opción que venimos desarrollando, es económica más viable que el resto pues es la que más proximidad tiene con el valor ideal.

2. Costos de material para la opción seleccionada

Para hacer un balance y determinar el valor del costo total del prototipo es necesario conocer la cantidad de material empleado en la fabricación de los distintos elementos.

Por ello, para el desarrollo del prototipo se ha considerado que el túnel estará formado íntegramente de acero inoxidable AISI 304 debido a que esta máquina está destinada a realizar pruebas y/o ensayos de un elemento, como en este caso de una madeja, la cual contiene una sustancia corrosiva como es el alquitrán; por lo que se prevé la duración del túnel, así recurrimos a la Tabla donde nos muestra el costo de material exclusivamente del túnel de secado.

Tabla 3.2. Costos del túnel de ensayo.

| Tramo | Dimensión Interior (m) | Espesor (mm) | Sección (m ²) | Volumen (m ³) |
|------------------------------------|-------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 0.39 x 0.30 | 3 | 4.176 × 10 ⁻³ | 1.2528 × 10 ⁻³ |
| 2 | 0.39 x 0.30 / 0.9 x 0.9 | 3 | Variable | 7.2 × 10 ⁻³ |
| 3 | 0.9 x 0.9 | 3 | 0.011 | 0.0242 |
| Total (m³) | | | | 0.0326 |
| Densidad (kg/m³) | | | | 7930 |
| Costo del Material (sol/kg) | | | | 15 |
| Costo Total (S/.) | | | | 3880 |

De acuerdo a la Tabla 3.2, podemos determinar un costo de material equivalente al; sin embargo, a este valor le falta añadir otros costos tales como la mano de obra y consumo de materia prima.

Por otro lado, la estructura de soporte del túnel esta íntegramente hecha en acero estructural A-36 y, como ya se analizó, de tubos de sección cuadrada unidos por soldadura. El costo de esta estructura asciende a aproximadamente 7000 Nuevos Soles.

Así mismo, se necesita evaluar el costo del material para el sujetador porta madeja y el bastidor. Para el caso del sujetador, este está conformado de una barra principal de 814 mm de longitud y $\frac{1}{2}$ " de diámetro; caso similar, para los ganchos se emplearon barras del mismo diámetro con un longitud de 250 mm cada una. Todas las barras empleadas son de acero inoxidable AISI 304 pues estarán en contacto directo con la madeja alquitranada. En base a esto tenemos:

Tabla 3.3. Costos del sujetador.

| Barra | Sección (mm ²) | Longitud (mm) | Volumen (m ³) |
|--------------------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------|
| Principal | 126.68 | 814 | 0.000103115 |
| Gancho 1 | 126.68 | 250 | 3.16693E-05 |
| Gancho 2 | 126.68 | 250 | 3.16693E-05 |
| Total (m³) | | | 0.000166454 |
| Densidad (kg/m³) | | | 7930 |
| Costo del Material (sol/kg) | | | 15 |
| Costo Total (S/.) barra de 6m | | | 90 |

Según la Tabla 3.3, tenemos que el costo total para el sujetador asciende a 90 Nuevos Soles.

Ahora evaluaremos el bastidor donde se colocará el sujetador. Para este caso, el bastidor se fabricará de acero estructura A-36 debido a que esto no solo disminuye considerablemente el precio de material sino también su precio de fabricación. Por otro lado, esta estructura estará pintada con, evitando así que las salpicaduras de alquitrán deterioren a los elementos. Como primer paso identificaremos el tipo de perfil y/o tubo y la longitud de estos:

Tabla 3.4. Costos del bastidor.

| Tipo | Cantidad | Sección (m ²) | Longitud (m) | Volumen (m ³) |
|------------------------------------|----------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| L 1 ½" x 1 ½" x ¼" | 4 | 0.000172 | 3.440 | 0.003 |
| Cuad. 1 ½" x 1/8" | 8 | 0.000421 | 6.880 | 0.0025 |
| PT 880 x 60 x 3 | 2 | 0.00018 | 0.85 | 0.00011 |
| Total | | | | 0.00561 |
| Densidad (kg/m³) | | | | 7850 |
| Costo del Material | | | | 11.50 |
| Costo Total | | | | 506 |

Por lo que el costo de material para el bastidor es de

Finalmente determinamos el costo total por material del prototipo:

$$\text{Costo Total} = S/.11500.00$$

3. Costo de materiales y accesorios secundarios

Los accesorios y/o elementos principales son aquellos que permiten el completo montaje del equipo, dentro de los cuales se consideraron la lámina de policarbonato la cual permitirá observar el secado de la madeja, las chumaceras de pie colocadas en los extremos del sujetador porta madeja. (Figura 3.1)

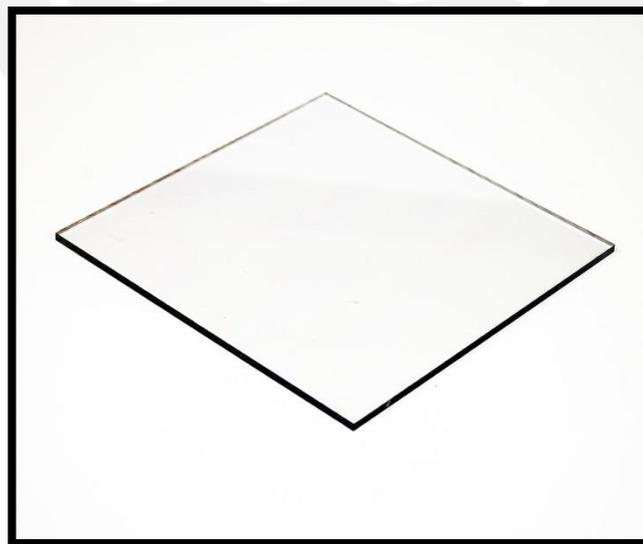


Figura 3.1. Lámina de policarbonato. Fuente: www.polymorelabs.com

Teniendo en cuenta que el visor estará conformado por una lámina de policarbonato de dimensiones 1400 x 850 x 5 mm cuyo peso es de 5.72 kg aproximadamente lo cual nos da un costo de tal y como lo muestra la Tabla.

Tabla 3.5. Costo de la lámina de policarbonato.

| Dimensiones (mm) | Área (m ²) | Costo (S/.) |
|------------------|------------------------|-------------|
| 1400 x 850 x 5 | 1.19 | 180 |

El costo de las chumaceras se muestra asciende a un precio de cada uno.

Tabla 3.6. Costo de las chumaceras.

| Elemento | Cantidad | Costo (S/.) |
|---------------------------------------|----------|-------------|
| Chumacera de pared para eje de Ø12 mm | 2 | 140 |

Por último, el costo por materiales y elementos secundarios asciende a un promedio de 320 nuevo soles.

4. Costos de instrumentos y equipo adicional

De acuerdo a la Lista de Exigencias, se debe tener un control sobre el valor de la temperatura y el caudal del fluido, para ello es importante contar con instrumentos que permitan conocer dichos valores. Con respecto a la humedad que posea el aire no resulta importante conocerla pues al tener una sustancia como el alquitrán cuya característica importante es ser insoluble, la cantidad de agua que posea el aire no afectará el secado de las madejas.

Para determinar las presiones existentes durante la prueba se requiere de un tubo de Pitot el cual irá dispuesto en el túnel por delante del bastidor porta madeja con la finalidad de realizar tomas. Para ello, se sugiere un instrumento de la marca DRYWER cuyo costo es de aprox. 170 dólares americanos.



Figura 3.2 Tubo Pitot. Fuente: www.theseus.fi.

Así mismo, estos tubos de Pitot pueden conectarse directamente a un display permitiendo una rápida y fácil visualización de los parámetros de presión y caudal. Se debe mencionar además que el costo de monitor circula alrededor de los 250 dólares americanos.

Tabla 3.7. Costo de instrumentos.

| Equipo | Cantidad | Costo (US\$) |
|-----------------------------|----------|--------------|
| Tubo de Pitot | 01 | 250 |
| Anemómetro Digital | 01 | 100 |
| Analizador de Hidrocarburos | 01 | 7000 |
| Total | | 7350 |

Por último, el costo del material en el proyecto asciende a un total de 7350 nuevos soles aprox. Y si se considera el costo de los instrumentos más costos de lámina de policarbonato y chumaceras de pared, el precio de la fabricación alcanzará un promedio de 14500 nuevos soles.

CONCLUSIONES

1. La posición de la madeja frente a la dirección del fluido determina, en gran parte, la eficiencia del proceso de secado. Es decir, si comparamos ello con el caso de convección forzada en una barra de acero con temperatura superior a la ambiente, tenemos una mayor eficiencia de transferencia de calor cuando la barra se encuentra en posición vertical y el fluido ataca perpendicularmente al eje, ello debido a que existe una mayor superficie en contacto con el fluido. Extrapolándolo al presente trabajo, permite señalar que la madeja colocada con las fibras perpendiculares al fluido presentará un secado más eficiente.
2. Se debe entender que el prototipo es una máquina de estudio la cual extrapolándola permitirá obtener una máquina a condiciones reales de trabajo. Ello implica que la carga de secado será mucho mayor de la que se viene estudiando. Así mismo la disposición de las madejas es importante y por ende la segunda configuración de “tres bolillos” representa una acertada distribución que permite mantener el flujo vivo y sobretodo que este alcance a las madejas más retiradas pues son ellas que probablemente demorarán más tiempo en secar.
3. La posibilidad de girar la madeja, ya sea sobre su mismo eje central o uno externo como en este caso, permite que el fluido penetre en todo el conjunto de fibras de la madeja. Esto contribuye no solo reducir el tiempo de secado sino también a uniformizar el secado; es decir, a generar un recubrimiento parejo en toda la cuerda de la madeja.
4. Permitir secar las madejas según las características del aire frío representa un ahorro económico significativo; sin embargo se puede pensar que el aire presente en las zonas donde operan dichas empresas contiene una gran cantidad de humedad lo cual implicaría retrasos y problemas en el proceso de secado. Todo ello resulta ajeno a la realidad pues partiendo de las características físicas y químicas mostrados en las fichas técnicas de ambos fluidos, ellos son insolubles en el agua y además su porcentaje de agua presente es alrededor del 0.2 al 0.3% del peso total.

5. Es importante considerar la presentación final del producto; por ello, se debe obtener un secado uniforme y de buen aspecto. Para conseguir estas dos características se debe permitir el que el flujo del aire penetre en forma total a la madeja; por ello, resulta indispensable mantener a la madeja o madejas libres de sujeción en los extremos tal como se presenta en el diseño propuesto.
6. La sustancia a secar se considera como una sustancia altamente tóxica y corrosiva, por lo que es importante en primer lugar, tener el menor contacto con esta y por último se tiene que considerar elementos con resistencia a la corrosión.
7. Las madejas ensayadas consiguieron un tiempo promedio de secado de aproximadamente 25 minutos, ello representa un gran logro teniendo en cuenta que el tiempo de secado, el cual está asociado a la estación climática, comprende de 1 hasta 4 semanas. Si consideramos como tiempo de secado actual de madejas 1 semana; el tiempo de secado en el prototipo representa aproximadamente 0.25%, lo que contribuye enormemente a la mejora de la producción.

RECOMENDACIONES

1. Se requiere un monitoreo constante tanto del flujo de aire como de la presión existente al interior de la cámara, ello se conseguirá colocando la debida instrumentación. Además, con estos datos se puede relacionar directamente con el tiempo y la calidad de secado.
2. Es necesario reducir el contacto directo con la sustancia pues con solo puede afectar directamente a la piel sino también al contener sustancias volátiles que pueden generar molestias pulmonares.
3. La puerta de ingreso del bastidor porta madeja debe permanecer cerrada pues el ingreso de aire permitirá desprender cantidades del fluido las cuales pueden caer directamente sobre el personal.
4. Es conveniente emplear un analizador de hidrocarburos al final del túnel, ello permitirá saber la composición de la mezcla de aire y gases que sale. Además se obtendrá los parámetros para definir la cantidad de masa se desprende del alquitrán y así poder entablar las relaciones de transferencia de masa.
5. El mantenimiento al equipo debe ser de forma constante y programada pues al tener una sustancia como el alquitrán el cual una vez seco, es difícil de remover.
6. Se puede observar que la capacidad del motor eléctrico seleccionado se encuentra muy por encima de la potencia real, es decir, el motor se encuentra sobre dimensionado. Si se requiriese disminuir las rpm entregadas con la finalidad de variar la velocidad del ventilador y reducir el consumo se puede recurrir a un variador de velocidad el cual controle la velocidad del motor.

BIBLIOGRAFIA

[HIBBELER, 2006] HIBBELER, R.C. Mecánica de Materiales. 6ta Ed. México: Pearson, 2006.

[MATAIX, 1993] Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. 2da Ed. Madrid. España

[SALVADOR ESCODA S.A, 2010] Manual Práctico de Ventilación. Catalogo Técnico. 2da Ed. Barcelona. España

[COTAQUISPE LUIS, 2013] Informe Técnico. Fibras Marinas S.A – FIMAR SA.

[GERHARD KLUST, 1892] Netting materials for fishing gear. 2da Ed. FAO – NACIONES UNIDAS.

[AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENIST, 1992] Ventilación Industrial. Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales. 1ra Ed. En español. Valencia. España

[SALVADOR ESCODA S.A, 2010] Manual práctico de ventilación. 2da Ed. En español. Barcelona. España

[CENGEL YUNUS, 2006] Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones. 1ra Ed. En español. DF. México.

[STREETER, VICTOR, 2000] Mecánica de Fluidos. 9na Ed. En español. Santafé de Bogotá. Colombia.