

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**EVALUACION DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL RECINTO DE LA  
MAQUINA PAPELERA °N2, EN BO PAPER BÍO-BÍO S.A. Y PROPOSICION DE  
EVENTUALES MEJORAS**

Informe de Habilitación Profesional  
presentado en conformidad a los  
requerimientos para optar al Título de  
Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía:  
**Sr. LUIS CERDA MISKULINI**

**LUIS DAVID TORRES MORENO**

**CONCEPCION-CHILE**  
**2017**

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este trabajo a las personas más importantes en mi vida, mis padres Carlos Torres e Isabel Moreno por su apoyo incondicional durante estos 6 años y a lo largo de todos mis estudios, por el gran esfuerzo que han hecho para darme la oportunidad de estudiar y ser alguien en la vida, por siempre darme lo mejor y enseñarme a ser fuerte y a nunca rendirme. También a mi hermano Ignacio Torres que ha sido un compañero de vida desde el día en que nacimos, por siempre estar conmigo en los momentos buenos y aún más en los malos, apoyándome y dándome ánimo. A mis abuelas Norma Quevedo y Julia Tiznado por su cariño infinito y apoyo incondicional.

## **Agradecimientos**

Agradecer primeramente a Dios por darme la vida, las fuerzas y la sabiduría para poder terminar este trabajo.

A mi profesor guía el Sr. Luis Cerda Miskulini por su apoyo incondicional, por su simpatía, por su disposición, por los conocimientos y experiencia que me entregó, además de la seguridad al momento de aconsejarme y guiar este proyecto.

Quisiera expresar al Jefe del Departamento Mecánico Patricio Burgos, al Jefe del Área de Mantenimiento Patricio Poblete y al Jefe del Área Técnica Mario Zurita de la empresa BO PAPER Bío-Bío mi agradecimiento por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi memoria de título y desempeñarme óptimamente en la labor para que cual fui contratado.

**A todos ellos, Gracias.**

## Resumen

La presente Habilitación Profesional realiza una evaluación de las condiciones ambientales del recinto de la máquina papelera número dos (MP-02) de la empresa BO PAPER Bio Bio S.A. y eventuales propuestas de mejoras basadas en los estudios realizados a petición del departamento mecánico de la empresa.

En la primera etapa se estudió detalladamente el proceso de fabricación de papel para poder comprender y entender de donde proviene el aire húmedo acumulado en el recinto.

En la segunda etapa se evaluaron las condiciones ambientales del recinto sometido al proceso de fabricación, en la cual se midieron distintas propiedades (humedad relativa y temperatura ambiental), en distintos sitios de la máquina por medio de un anemómetro, para demostrar teóricamente a través del software EES el fenómeno (Condensación). Posteriormente se determinaron las propiedades restantes en el ambiente (temperatura de punto de rocío, humedad relativa, humedad específica etc.) con lo que se demostró que se producía condensación. Una vez demostrado el fenómeno de condensación se analizó la infraestructura del recinto para observar el sistema con el cual se extrae el aire desde el recinto (extractores, rejillas de ventilación, puertas, ventanas etc.). Posteriormente y en base a estos resultados se sugieren distintas propuestas y recomendaciones:

- Instalación de material aislante en el cielo y techo del recinto, específicamente poliuretano de 50 mm de espesor, demostrado en base a un código generado en EES.
- Instalación de 2 extractores ubicados en el tejado para extraer el aire caliente desde el recinto hacia el exterior.
- Reemplazar los extractores existentes en el muro del recinto por otros en mejor estado y mayor capacidad de extracción.
- Eliminar la madera instalada como aislante ubicada en el techo del recinto.
- Instalar un pasillo en el entretecho para facilitar el acceso en caso de emergencia.
- Mantener rejillas de ventilación ubicadas el norte y sur del recinto que permitan al aire escapar hacia el exterior por medio de ductos.

El costo total de inversión para la empresa BO PAPER Bio Bio S.A., para instaurar estas propuestas es de \$ 44.585.750,23.

## Índice

CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Origen del problema a estudiar .....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1    Objetivo General.....	2
1.3.2    Objetivos Específicos.....	2
CAPITULO II: DESCRIPCION DE LA EMPRESA.....	3
2.1 Historia y ubicación .....	3
2.2 Gestión de calidad.....	3
2.3 Productos y equipos .....	3
2.4 Materia prima .....	4
2.5 Medio ambiente.....	5
2.6 Certificaciones.....	5
2.7 Proceso de fabricación del papel .....	6
2.7.1 Preparación madera .....	7
2.7.2 Fábrica de pulpa .....	9
2.7.3 Máquina papelera N° 1 y N° 2.....	11
2.7.4 Bobinadora.....	13
2.7.5 Embaladora .....	13
CAPITULO III: CARACTERIZACION ESTRUCTURAL Y AMBIENTAL DEL RECINTO.....	14
3.1 Descripción del recinto.....	14
3.2 Zonas afectadas por la condensación.....	19
3.3 Descripción del ático .....	20
3.4 Imágenes complementarias de la nave del recinto .....	23
3.5 Condiciones ambientales.....	26
3.5.1 Datos de los papeles fabricados MQ N°2.....	29
3.5.2 Cálculo del caudal extraído por los ventiladores.....	30
3.6 Conceptos técnicos importantes.....	31
3.6.1 Definiciones y expresiones de contenido de humedad en productos sólidos (papel) ....	33
3.7 Cálculo de la masa de agua evaporada .....	34

3.7.1 Propiedades del vapor .....	36
3.8 Análisis de la condensación producida en el recinto a través del software EES.....	37
<b>CAPITULO IV: ANALISIS TECNICO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORAS .....</b>	<b>39</b>
4.1 Propuestas de posibles mejoras .....	39
4.2 Marco Teórico .....	40
4.2.1 Convección.....	41
4.3 Datos y método de cálculo para el espesor del aislante para el cielo.....	47
4.4 Opción a) y b) Programas en Software EES (Anexo A) .....	48
4.4.1 Escenario 1 .....	48
4.4.2 Escenario 2 .....	50
4.4.3 Escenario 3 .....	52
4.4.4 Escenario 4 .....	54
4.5 Conclusión Análisis Aislantes .....	54
4.6 Opción c) Selección de Extractor.....	58
4.6.1 Capacidad.....	58
4.6.2 Cálculo de extractor para el recinto de la máquina papelera .....	59
4.6.4 Cálculo de extractor para el muro del ático de la máquina papelera .....	63
4.7 Opción d) “Mejor Sistema de ventilación; rejillas hacia el exterior”.....	65
4.7.1 Dimensiones de los ductos en mm.....	67
4.7.2 Diseño ductos para rejillas de ventilación .....	68
4.8 Opción e) “Cambiar los extractores existentes ubicados en el muro del recinto de la máquina”.....	68
4.9 Opción f) “Instalación de un pasillo en el ático para cualquier emergencia”.....	70
<b>CAPITULO V: ANALISIS ECONOMICO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORAS .....</b>	<b>73</b>
5.1 Opción a) y b) Aislante para el cielo y para el techo .....	73
5.2 Opción c) Extractores para el tejado y muro ático .....	74
5.3 Opción d) Rejillas de ventilación .....	74
5.4 Opción e) Extractores para muro del recinto .....	75
5.5 Opción f) Instalación de pasillo entretecho del recinto. ....	76
5.6 Resumen económico .....	77
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>BIBLIOGRAFIA. ....</b>	<b>80</b>

Anexo A “PROGRAMAS EES” .....	81
Anexo B “TABLAS Y NORMAS” .....	90
Anexo C “COTIZACIONES” .....	102

## CAPITULO I: INTRODUCCION

### 1.1 Generalidades

El hombre siempre se ha esforzado por crear y mejorar las condiciones ambientales, estructurales u organizacionales de los puestos de trabajo, para lograr una mejor producción. Por lo mismo el hombre ha buscado condiciones ambientales apropiadas, que favorezcan y faciliten la elaboración de un producto, prevaleciendo éstas por sobre el confort térmico de las personas en la mayoría de los casos. Un espacio de trabajo que cumpla con las condiciones ambientales necesarias para la fabricación de un producto, puede llevar a mejorar la calidad de éste y al mismo tiempo su producción. Por el contrario trabajar en un espacio que no posea las condiciones ambientales requeridas puede causar pérdidas considerables en la producción. Es por esto que al hablar de condiciones ambientales se deben tener en cuenta factores como la temperatura del aire, la temperatura de las paredes, la humedad del aire o la velocidad del aire, entre otros.

De esta forma, el seguimiento y control de las condiciones ambientales debe entenderse como una actividad fundamental en la industria moderna y, por lo tanto, en la obtención de condiciones ambientales aceptables y sostenibles para la elaboración de distintos productos. Entre las industrias que dan énfasis a las condiciones ambientales para un proceso de producción favorable se destacan: La industria papelera, donde la temperatura (20°- 24 °C) y humedad (45%-55%) son esenciales para un producto de calidad, ya que un exceso de humedad puede producir la descomposición del papel y las tintas, mientras que su defecto provocaría una deshidratación o friabilidad (fragmentación) del papel. En cuanto a la temperatura recomendada para la fabricación de papel, mencionada anteriormente es aconsejable mantener valores bajos para evitar que se produzca condensación.

La industria textil, donde la humedad relativa cobra gran importancia facilitando o impidiendo el trabajo con algunos materiales. Es el caso de la lana y la seda que se vuelven más débiles y dificultan su manipulación, al aumentar la humedad relativa, por el contrario el algodón, lino y cáñamo se vuelven más resistentes y se dejan trabajar mejor.

La industria del queso, en la cual los quesos deben permanecer a una temperatura ideal de 13 °C, y una humedad relativa del 90%, evitando así defectos como grietas o rajaduras, putrefacción y mohos. Por lo antes mencionado es esencial tener un espacio o infraestructura con las condiciones ambientales necesarias para facilitar la producción y por ende la calidad del producto.

## **1.2 Origen del problema a estudiar**

La empresa papelera BO PAPER Bío-Bío S.A., produce papeles de impresión en base a pulpa mecánica elaborada en la misma planta, por medio de dos máquinas papeleras. La zona de secado de la máquina N°2, cuya función es recibir la hoja con un cierto porcentaje de humedad proveniente del sistema de prensas, luego transportarla por cilindros que son calentados desde su interior por vapor a alta temperatura evaporando el agua contenida en la hoja y manteniendo un perfil de humedad determinado. El tema se origina principalmente donde se ubica la máquina papelera N°2, debido a la función de los secadores, ya que al producirse la evaporación del agua presente en la hoja de papel, se libera vapor caliente al ambiente o entorno en cual está la MQ N°2, esto genera un aumento de la humedad específica, la humedad relativa y el punto de rocío en el ambiente. Este vapor, existente en el local al intentar salir y no encontrar ventanas u orificios de ventilación entra en contacto con superficies frías (techo, metales o paredes) formándose así gotas de agua. Esto produce en épocas frías el fenómeno conocido como condensación (cambio de fase gaseosa a líquida) lo que provoca goteras a lo largo de la máquina, afectando principalmente la producción de papel y por ende la seguridad de los trabajadores, ya que en ocasiones se forman pequeños charcos de agua en el piso.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Caracterizar y evaluar las condiciones ambientales del recinto actual de la Máquina Papelera N°2 de BO PAPER Bío-Bío S.A., y proponer eventuales mejoras de ser posible.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar técnicamente el recinto de la Máquina Papelera N°2.
- Determinar causas que originan problemas a personas y al producto.
- Proponer mejoras para asegurar una producción segura y un producto de calidad.
- Establecer medidas de seguridad.
- Complementar estas medidas con equipo tecnológico.
- Determinar la factibilidad técnica y económica de las mejoras o cambios propuestos.

## **CAPITULO II: DESCRIPCION DE LA EMPRESA**

### **2.1 Historia y ubicación**

BO PAPER Bío-Bío S.A., inició sus operaciones el 27 de abril del año 1957, produciendo papeles de impresión en base a pulpa mecánica elaborada en la misma planta, la que se ubica cerca de la desembocadura del río Bío-Bío con el Océano Pacífico, al lado de la ciudad de Concepción, 500 Km. al sur de Santiago de Chile. Concepción es una de las ciudades de mayor tamaño del país con más de un millón de habitantes. La empresa cuenta en la actualidad con moderna tecnología y personal altamente calificado para producir y comercializar anualmente más de 125.000 toneladas de papeles de impresión, y es reconocida por sus altos estándares de calidad, eficiencia y productividad.

### **2.2 Gestión de calidad**

La empresa presenta una gestión en base al aseguramiento y mejoramiento continuo de sus procesos y productos, que permite satisfacer los requerimientos de los clientes y cumplir con estándares a nivel internacional en calidad del producto. A través del mejoramiento continuo, ha logrado adaptar sus productos a los nuevos requerimientos de impresión del mercado y sus clientes. La pulpa mecánica producida con la tecnología nórdica de desfibradores presurizados, permite obtener un papel con grandes propiedades de impresión. La empresa también mantiene una cercana relación con sus proveedores de equipos y tecnologías para poder adaptar sus productos y procesos a los requerimientos de la comunidad y demás partes interesadas.

### **2.3 Productos y equipos**

El papel para periódico es el principal producto que fabrica BO PAPER Bío-Bío S.A. y lo vende a importantes diarios de la región. También se fabrican papeles especiales o mejorados, los cuales son utilizados en la elaboración de insertos/volantes, revistas y libros, entre otros. Alrededor del 45% de su producción es destinada al mercado nacional. El otro 55% se exporta a otros países de América del Sur, principalmente Argentina, Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Paraguay.

BO PAPER comercializa sus productos en forma de bobinas, y dentro de ellos destacan:

- Papel estándar para periódico entre  $45 \frac{g}{m^2}$  y  $48,8 \frac{g}{m^2}$
- Papeles base mural entre  $70 \frac{g}{m^2}$  y  $110 \frac{g}{m^2}$
- Papeles base corrugado entre  $50 \frac{g}{m^2}$  y  $100 \frac{g}{m^2}$
- Papel voluminoso entre  $50 \frac{g}{m^2}$  y  $65 \frac{g}{m^2}$
- Papel kraft entre  $35 \frac{g}{m^2}$  y  $50 \frac{g}{m^2}$
- Papel marfil entre  $55 \frac{g}{m^2}$  y  $70 \frac{g}{m^2}$

La empresa posee dos máquinas papeleras, estas son:

- MP-01: Máquina de 4.6 metros de ancho, que produce papel con una variedad de gramaje entre los 36.0 y los 55.0 gramos por metro cuadrado. Su velocidad es de alrededor de los 1.160 metros por minuto y la capacidad anual de producción es de 120.000 toneladas.
- MP-02: Produce papeles especiales de impresión y papel base para la fabricación de papel mural, la capacidad anual de producción es de 5.000 toneladas. La máquina se caracteriza por su amplio rango de fabricación de papeles de distinto gramaje desde 35 a 110 gramos por metro cuadrado.

## 2.4 Materia prima

La pulpa mecánica fabricada en la planta es la materia prima principal para la producción del papel, esta pulpa es obtenida a partir de madera de pino radiata proveniente de plantaciones a través del proceso de desfibrado mecánico presurizado, proporcionando un alto rendimiento en el uso de la madera y alta eficiencia en el uso de la energía. A su vez, el papel obtenido a través de este proceso de desfibrado, permite una impresión de alta calidad.

Los insumos/materias primas principales son:

- Madera de pino radiata
- Celulosa kraft blanqueada y cruda
- Energía eléctrica
- Productos químicos
- Productos para embalaje

- Subproductos de madera como combustible
- Agua

## **2.5 Medio ambiente**

La madera que utiliza BO PAPER Bío-Bío S.A. proviene de plantaciones forestales que cumplen íntegramente los requerimientos legales del país. A su vez, un alto porcentaje de esta madera proviene de bosques certificados ambientalmente. La planta es operada bajo los conceptos de mejoramiento continuo del desempeño ambiental y con una clara visión de reducir el impacto ambiental al mínimo. Los subproductos de la madera originados por la planta, son utilizados junto a la biomasa forestal comprada a terceros, en la producción interna de energía térmica y eléctrica. Producción de energía que cubre el 19% de la electricidad que consumen los procesos en la organización. Como resultado de acciones realizadas en materia de gestión y medidas tecnológicas, la empresa ha mejorado en el uso de los recursos naturales, manejo y control de los residuos y uso eficiente de la energía. Además, las inversiones realizadas en el área ambiental, le permiten cumplir y superar los estándares exigidos por la legislación ambiental chilena, destacándose su moderna tecnología para el tratamiento de los residuos líquidos industriales y emisiones áreas.

## **2.6 Certificaciones**

Con el objeto de lograr un aseguramiento y mejoramiento de sus procesos la empresa se certificó en ISO 9001 (norma internacional para gestión de la calidad) en 1994, luego hacia fines del 2003 se certificó en ISO 14001 (norma internacional para la gestión ambiental) , enseguida en el 2004 en OHSAS 18001 (norma internacional para la gestión de la salud y seguridad ocupacional) y en 2008 se certificó en el estándar CERTFOR de Cadena Custodia (Certfor CoC 2007 -PEC, que relaciona el uso de madera certificada con el producto obtenido). Finalmente a mediados del año 2012 se certificó en ISO 50.001 (norma internacional para la gestión de la energía). Estas certificaciones contribuyen a tener un sistema de gestión integrado, formalizado y estructurado, que permite cumplir con las expectativas de los clientes.

## 2.7 Proceso de fabricación del papel

El proceso de generación de papel en BO PAPER Bío-Bío S.A. se describe a continuación:

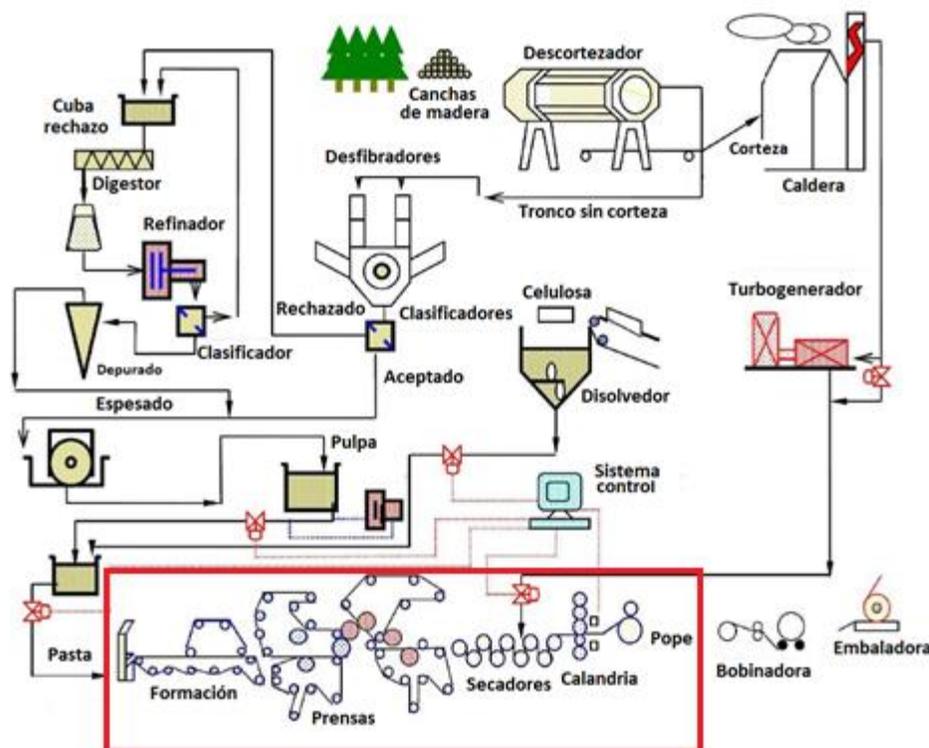


Figura 2.1 Diagrama de procesos de generación de papel  
Fuente: BO PAPER Bio-Bio S.A.

En la Fig. 2.1 se puede observar la zona donde está ubicada la máquina papelera y por ende la zona de estudio, qué se representa por medio del rectángulo rojo. Además en la Fig. 2.1 se puede ver los siguientes procesos y sus funciones asociadas:

- Preparación maderas
- Fábrica de pulpa
- Máquina N°1 y N°2
- Bobinadora
- Embaladora

### 2.7.1 Preparación madera

La función del proceso de preparación madera es entregar troncos de 1.2 [m], descortezados y limpios a la fábrica de pulpa, a partir de los troncos con corteza y de un largo de 2.4 [m] provenientes de las canchas de madera (acopio). Las áreas del proceso de preparación madera se presentan en la figura 2.2 y se describen a continuación:

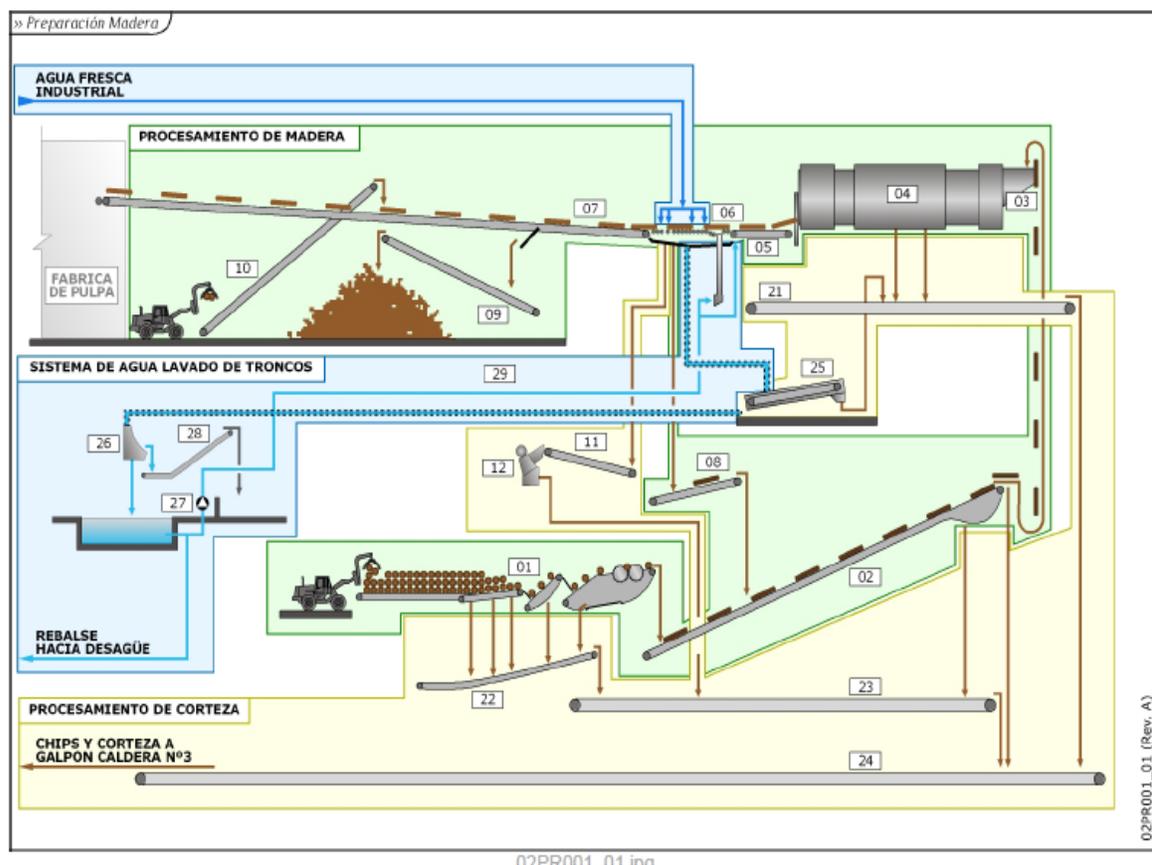


Figura 2.2 Proceso preparación madera  
Fuente: BO PAPER Bio-Bio S.A.

- a) **Procesamiento de madera:** La función de este proceso es recibir los troncos provenientes de las canchas de acopio (entre 2.45 y 2.55 [m] de largo) y entregar troncos de un largo preestablecido (1.2 [m]) a la fábrica de pulpa. Para esto, se realizan los siguientes procesos: cortado, descortezado, lavado y clasificado.



- **Alimentación de troncos a fábrica de pulpa**

Está compuesto por correas y cadenas transportadoras las cuales permiten retirar los troncos del descortezador, lavarlos y clasificarlos para posteriormente entregarlos a la fábrica de pulpa. La clasificación consiste en una acción manual que permite al operador derivar troncos que estén saliendo del descortezador hacia un “chipper” (en el caso que estén quebrados o tengan imperfecciones serias) o de vuelta a la entrada del descortezador (en el caso que estén mal descortezados). Adicionalmente, este proceso considera la creación y mantención de una pila de madera descortezada que recibe trozos que se dirijan hacia la fábrica de pulpa, para almacenarlos para su uso en el turno de noche (24:00 a 08:00 [hrs]).

**b) Procesamiento de corteza:** La función de este proceso es recolectar la corteza y el aserrín obtenidos en el área preparación madera y enviarlos al almacenamiento de corteza de la caldera N°3 para su posterior combustión. Además, el proceso incluye un “chipper” (astillador), para transformar los troncos rechazados o partidos, en astillas que pueden ser quemadas.

**c) Sistema de agua lavado de troncos:** La función de este proceso es entregar el agua necesaria para lavar los troncos a la salida del descortezador. La acción de lavado permite eliminar la arena, piedras e impurezas adheridas a los troncos.

### 2.7.2 Fábrica de pulpa

La función de la fábrica de pulpa es producir pulpa mecánica a partir de los troncos provenientes del área preparación maderas. La pulpa mecánica se envía a las máquinas papeleras, donde se realiza el proceso para la formación de papel periódico. Las áreas de proceso de la fábrica de pulpa se presentan en la Fig. 2.4 y se describen a continuación:

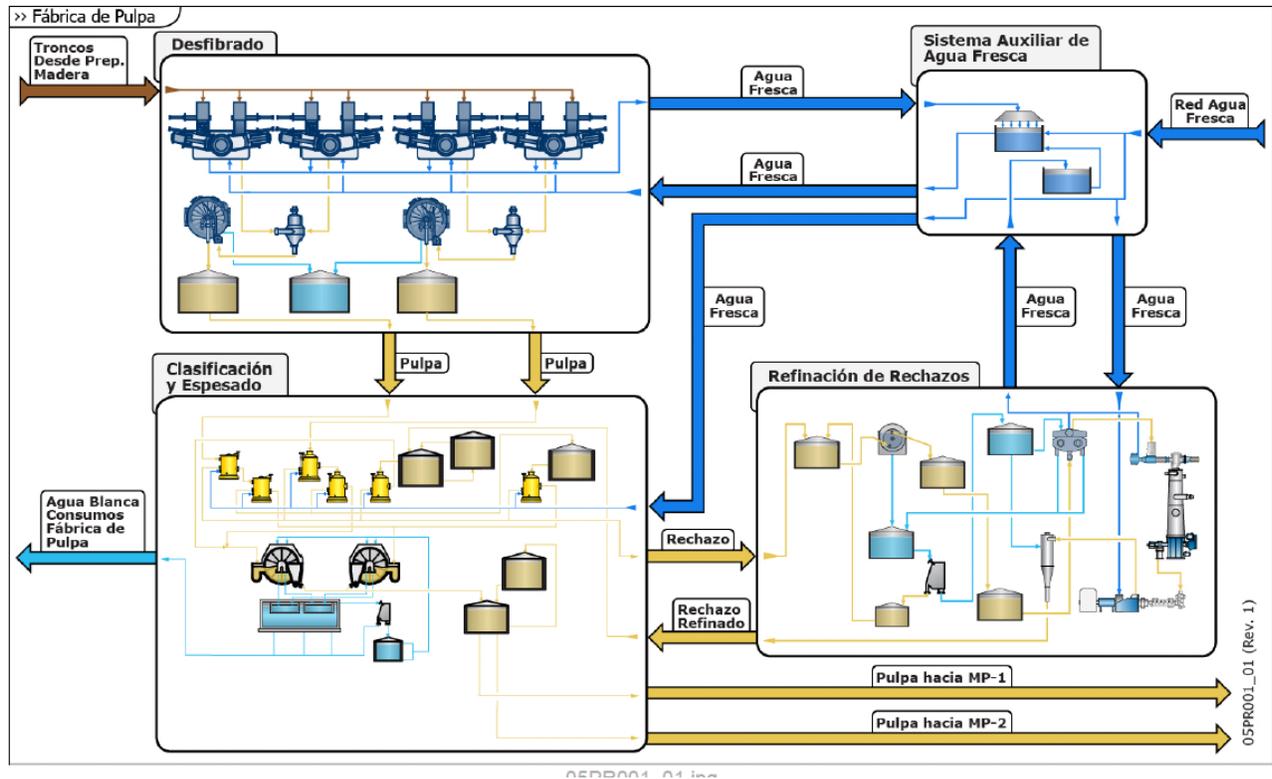


Figura 2.4 Proceso fabricación de pulpa

Fuente: BO PAPER Bio-Bio S.A.

- a) **Desfibrado:** La función de este proceso es transformar los troncos provenientes del área preparación maderas en fibras, mezclándolas con agua para obtener una pulpa de baja consistencia.
- b) **Clasificación y espesado:** La función del subproceso de clasificación es disminuir el contenido de astillas e impurezas de la pulpa proveniente del proceso de desfibrado, utilizando clasificadores en cascada. Por otra parte, el subproceso de espesamiento se encarga de aumentar la consistencia de la pulpa para finalmente enviarla a las máquinas papeleras.
- c) **Refinación de rechazos:** La función de este proceso es recibir la pulpa rechazada por la etapa de clasificación, generando rechazos refinados que cumplan con las condiciones para continuar con el proceso de elaboración de pulpa mecánica
- d) **Sistema auxiliar de agua fresca:** La función de este proceso es proporcionar agua fresca para el sello requerido por los desfibradores PGW, clasificadores, PQM, el refinador y las bombas de la fábrica de pulpa.

### 2.7.3 Máquina papelera N° 1 y N° 2

La función de la Máquina papelera N°1 y sus procesos asociados es producir papel periódico de acuerdo a las especificaciones determinadas para cada subproducto y para esto, se debe realizar una serie de funciones específicas, que van desde preparar la pasta hasta el embalaje de las bobinas de papel producido, las cuales son finalmente enviadas a bodega. Las áreas de proceso de la máquina papelera N°1 se presentan en la siguiente figura y se describen a continuación:

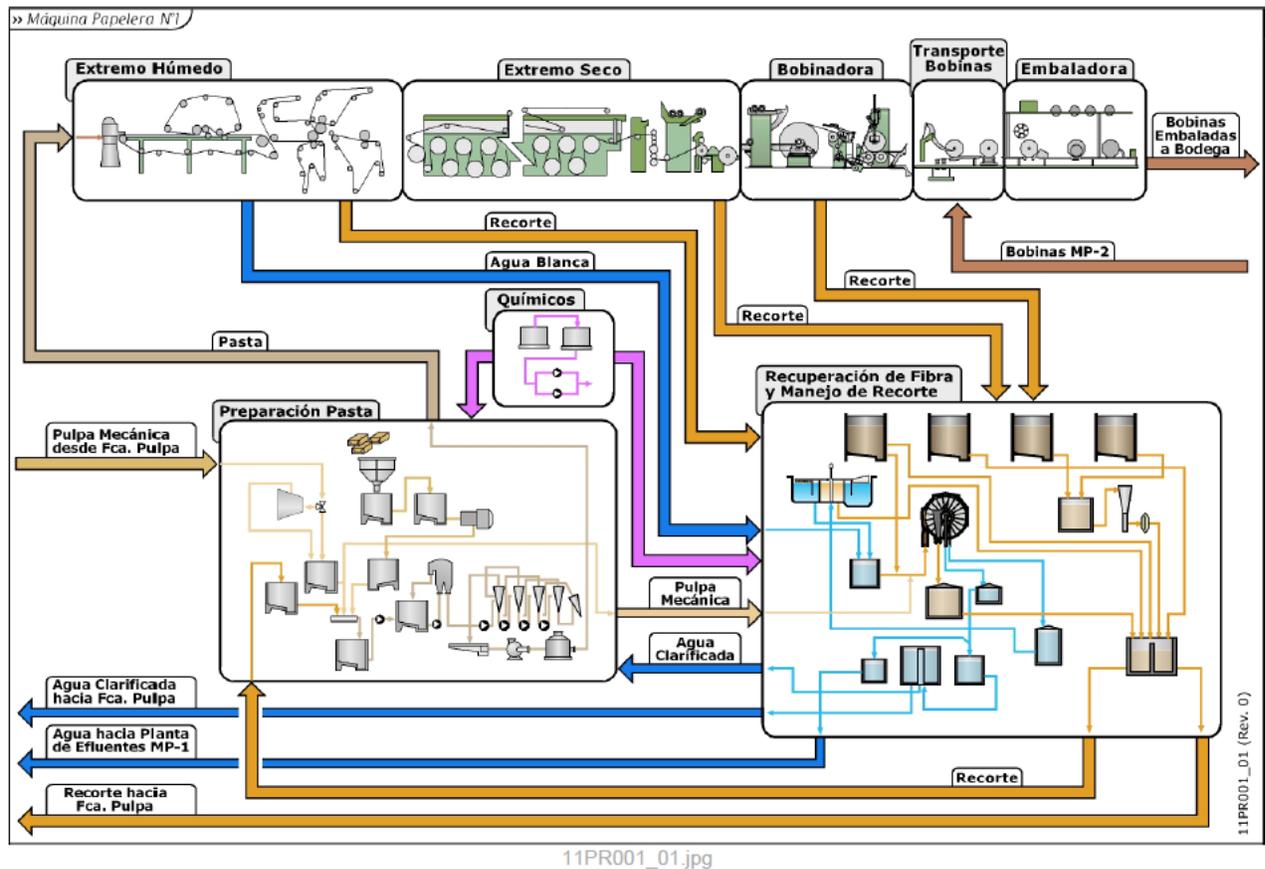


Figura 2.5 Proceso máquina N°1  
Fuente: BO PAPER Bio-Bio S.A.

- a) **Preparación pasta:** La función del área preparación pasta es preparar y dosificar las distintas pastas que participan en la fabricación del papel (pulpa mecánica, celulosa y recorte), en proporciones apropiadas y acordes a los requerimientos de los papeles fabricados. Por otro lado, se realiza la depuración y clasificación de la pasta antes de que esta sea enviada a la máquina.

b) **Extremo húmedo:** La función del extremo húmedo es recibir la pasta del área preparación pasta, distribuir y formar la hoja a lo ancho de la máquina y realizar la extracción de agua por medio del prensado.

c) **Extremo seco:** La función del extremo seco es secar la hoja hasta los valores de humedad especificados, proporcionarle una apropiada terminación superficial y almacenar el papel producido en un tambor, para que posteriormente pueda ser bobinado.

d) **Bobinadora:** La función de la bobinadora es generar, a partir de los tambores producidos en el extremo seco, bobinas de papel de acuerdo a las dimensiones requeridas por el cliente.

e) **Transporte de bobinas:** La función del transporte de bobinas es trasladar las bobinas producidas en la bobinadora hacia el área de embaladora.

f) **Embaladora:** La función de la embaladora es recubrir la bobina con un material que permite proteger el papel, tanto durante el manejo y transporte hacia el cliente, como de las condiciones ambientales a las cuales podría estar sometida. Con esta área se da término al proceso de fabricación del papel. La embaladora procesa bobinas provenientes tanto de la bobinadora de la MP-1 como de la rebobinadora de la MP-2.

g) **Recuperación de fibra y manejo de recorte:** La función de este sistema es recuperar la fibra presente en el recorte producido en forma continua a lo largo de la máquina papelera por formateo de la hoja o durante cortaduras. Por otro lado, se realiza el tratamiento del agua recuperada con el objeto de clarificar el agua y recuperar finos.

h) **Químicos:** La función de este sistema es almacenar y preparar los diversos productos químicos que deben ser inyectados en diferentes puntos del proceso para permitir la fabricación de papel y recuperación de fibra.

### 2.7.4 Bobinadora

Su función es separar el papel que se encuentra enrollado en los tambores, disponiéndolo en bobinas de tamaño reducido para permitir su manejo, transporte y almacenamiento.

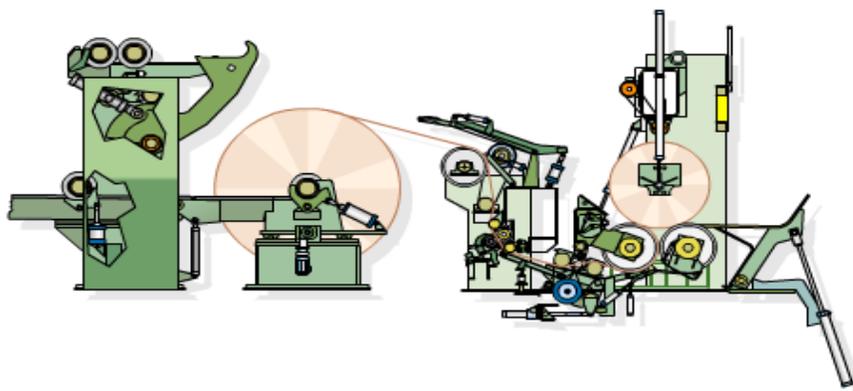


Figura 2.6 Proceso de la bobinadora  
Fuente: BO PAPER Bio-Bio S.A.

### 2.7.5 Embaladora

Su función consiste en envolver las bobinas de papel provenientes de las máquinas papeleras N°1 y N°2, con papel de embalaje, con el objetivo de proteger las bobinas de papel durante su almacenamiento y transporte.



Figura 2.7 Proceso de embalaje  
Fuente: BO PAPER Bio-Bio S.A.

## CAPITULO III: CARACTERIZACION ESTRUCTURAL Y AMBIENTAL DEL RECINTO

### 3.1 Descripción del recinto

El recinto de la Máquina papelera N° 2 tiene forma de galpón como muestra la Fig. 3.1, cuyas dimensiones son las siguientes: **Largo: 60,5 metros, Ancho: 11 metros, Alto: 8 metros.**

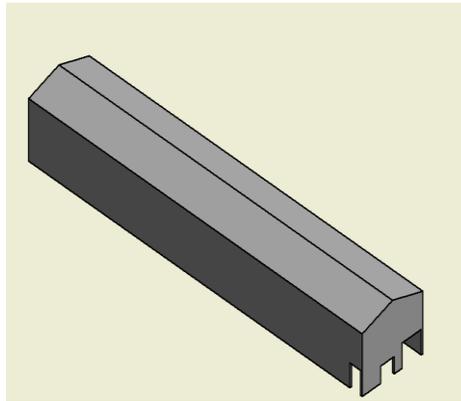


Figura 3.1 Vista isométrica del recinto  
Fuente: Elaboración propia

El recinto consta de 3 puertas de acceso, una es la puerta de acceso principal a la máquina y las otras dos son el acceso a la bobinadora-embaladora, las cuales siempre deben estar abiertas. En la vista frontal de la Fig. 3.2 se muestran las dos puertas de acceso a la zona bobinadora-embaladora (Siempre deben estar abiertas), por lo que dan acceso a las corrientes de aire desde el exterior. En la vista lateral de la Fig. 3.3 se muestra la puerta de acceso a la máquina N°2. (Siempre debe estar cerrada).

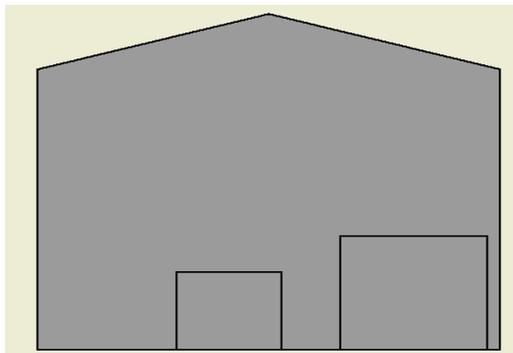


Figura 3.2 Vista frontal del recinto.  
Fuente: Elaboración propia

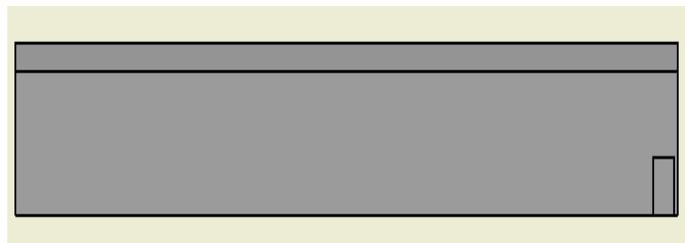


Figura 3.3 Vista lateral izq. del recinto  
Fuente: Elaboración propia

El recinto tiene 4 extractores de aire ubicados en su pared lateral derecha Fig. 3.4, que permiten extraer una parte del vapor almacenado en el recinto.

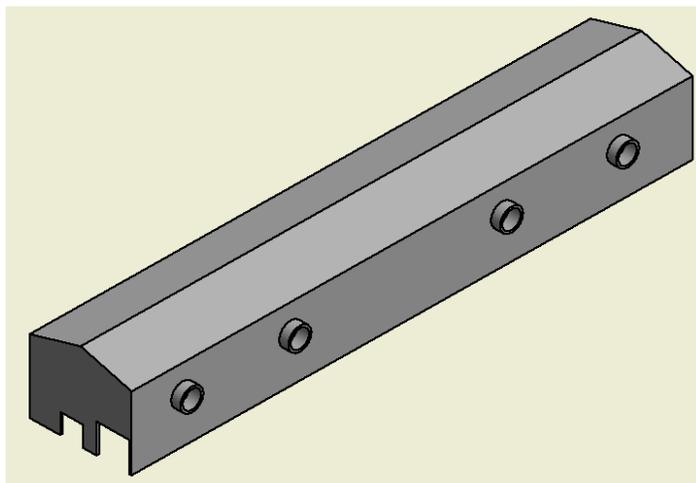


Figura 3.4 Vista isométrica derecha  
Fuente: Elaboración propia

Dentro del recinto se ubica la Máquina papelera N°2 de 35 m de largo y 4 m ancho, como muestra la Fig. 3.5.



Figura 3.5 Máquina papelera N°2  
Fuente: Instalaciones de la planta

La máquina consta de 4 etapas bien definidas como se muestra en la Fig. 3.6.

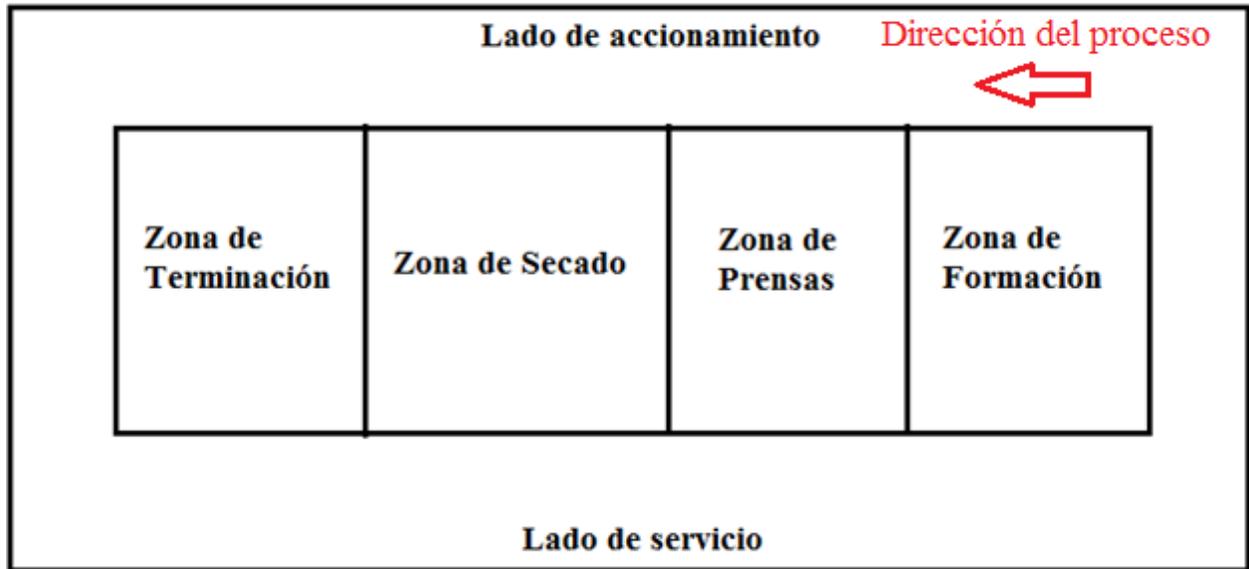


Figura 3.6 Zonas de trabajo de la máquina  
Fuente: Elaboración propia

La zona de formación (Fig. 3.7) es una unidad operacional en la cual se crea la estructura básica del papel final, mediante la distribución de los componentes de la pasta sobre una tela formadora, la cual permite drenar parte del contenido de agua.



Figura 3.7 Zona de formación  
Fuente: Instalación de la planta

La zona de prensas (Fig. 3.8) es una unidad operacional en la cual se expulsa el agua contenida en la hoja, mediante compresión mecánica entre los “nips” formados por dos rodillos. El prensado permite mejorar la calidad del producto final y reducir el costo económico en el proceso de secado.



Figura 3.8 Zona de prensas  
Fuente: Instalación de la planta

El secador (Fig. 3.9) recibe la hoja húmeda, proveniente de la sección prensas, y la transporta por cilindros que son calentados internamente con vapor, evaporando el agua contenida en la hoja, manteniendo un perfil de humedad remanente uniforme.



Figura 3.9 Zona de secado  
Fuente: Instalación de la planta

Como se observa en la Fig. 3.9 en la zona de secado se ubica un ducto que posee un extractor en la descarga exterior, permitiendo extraer el vapor caliente (convección forzada) que se produce dentro de la capota durante el proceso de secado, evitando la condensación de éste en su interior. El sistema de extracción se ilustra en la Fig. 3.10. No obstante, parte del vapor se fuga a través de los ensambles de la capota de secado, y se disipan hacia el interior de la nave.



Figura 3.10 Extractor de la zona de secado  
Fuente: Instalación de la planta

La zona de terminación (Fig. 3.11) define la estructura de la superficie de la hoja de papel y su espesor, mediante trabajo mecánico directo sobre la hoja, mejorando las propiedades de lisura y perfil entre otros.



Figura 3.11 Zona de terminación  
Fuente: Instalación de la planta

### 3.2 Zonas afectadas por la condensación

La condensación que se produce en el recinto afecta distintas áreas de tránsito y de trabajo, produciendo pequeños charcos de agua, entre las que destacan la puerta de acceso a la máquina Fig. 3.12 y Fig. 3.13.



Figura 3.12 Puerta de acceso al recinto  
Fuente: Instalación de la planta



Figura 3.13 Zona almacenamiento de caños  
Fuente: Instalación de la planta

Otra zona afectada es la zona lateral de acceso a la bobinadora-embaladora y las paredes del recinto respectivamente. (Fig. 3.14 y Fig. 3.15)



Figura 3.14 Zona lateral acceso bobinadora  
Fuente: Instalación de la planta



Figura 3.15 Paredes del recinto  
Fuente: Instalación de la planta

El lado de accionamiento (Fig. 3.17) de la máquina también presenta charcos de agua producto de la condensación, estos son visiblemente notorios.



Figura 3.16 Producción  
Fuente: Instalación de la planta



Figura 3.17 Lado accionamiento  
Fuente: Instalación de la planta

En la Fig. 3.16 se observa cómo se debe cubrir y proteger la producción de las constantes goteras producidas en el cielo, debido a la condensación, siendo esto un gran problema en los días despejados y fríos.

### 3.3 Descripción del ático

El ático o nave que posee el recinto tiene las siguientes dimensiones: **alto: 1.580 m, ancho: 11 m, largo: 60.5 m** y **ángulo de inclinación 16°**

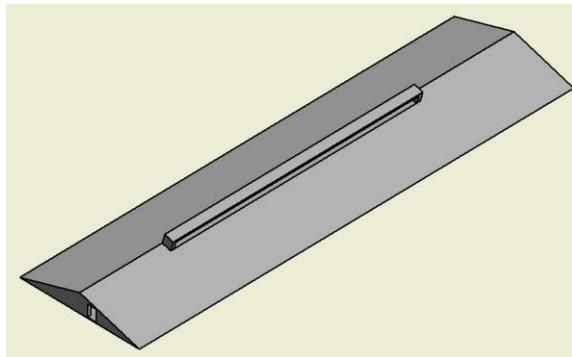


Figura 3.18 Vista isométrica del ático.  
Fuente: Elaboración propia

La puerta de acceso al ático del recinto se observa en la Fig. 3.19. En el techo del recinto se ubica una abertura que permite que el vapor salga al exterior. (Fig. 3.20)

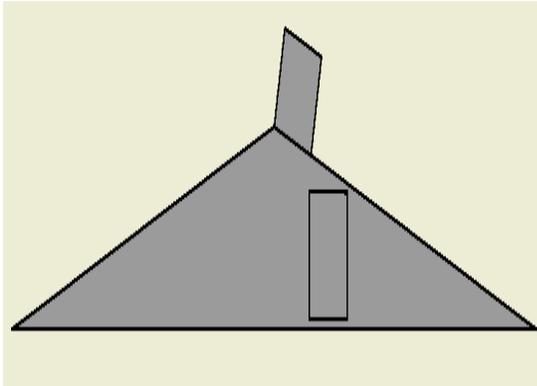


Figura 3.19 Vista frontal  
Fuente: Elaboración propia

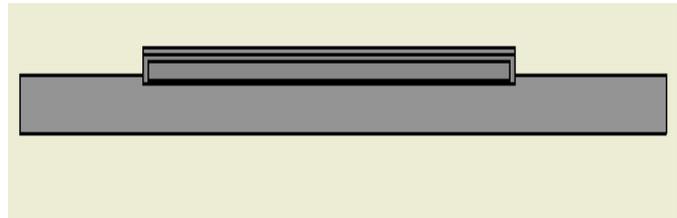


Figura 3.20 Vista lateral  
Fuente: Elaboración propia

El techo del recinto es de zinc, además el cielo falso que posee el recinto es de material metálico. El techo posee un entablado para aislar la temperatura exterior (Fig. 3.21).

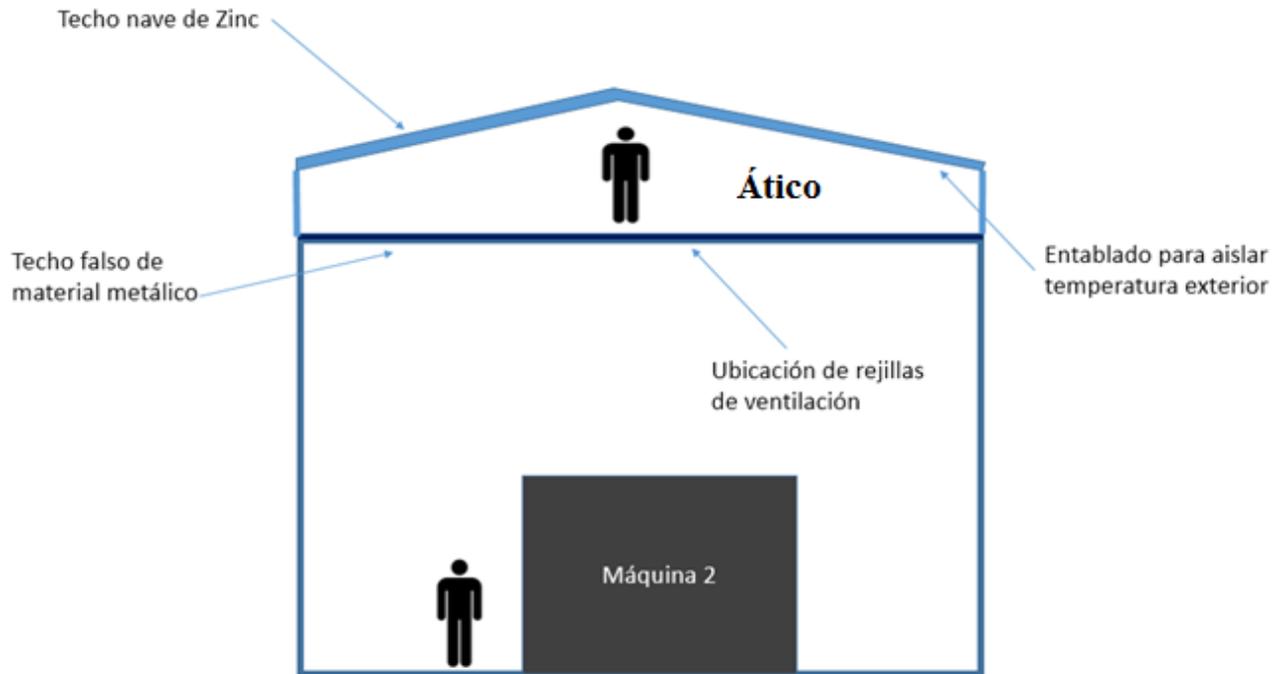


Figura 3.21 Esquema general del recinto.  
Fuente: Elaboración propia

A través del cielo falso están distribuidas 24 rejillas de ventilación, las cuales permiten que el vapor del ambiente escape hacia el exterior (lamentablemente las rejillas no dan salida al techo, lo cual origina graves problemas en la estructura del ático).



Figura 3.22 Rejillas de ventilación del recinto  
Fuente: Instalación de la planta

Además en la zona de formación en el lado de accionamiento se ubican dos extractores con salida al techo que extraen el vapor producido en esa zona de la máquina. De los cuales solo uno está en servicio.



Figura 3.23 Ubicación de los extractores  
Fuente: Instalación de la planta



Figura 3.24 Salida al techo de los extractores  
Fuente: Instalación de la planta

### 3.4 Imágenes complementarias de la nave del recinto

El entretecho presenta un pasillo de acceso que permite moverse por todo el sector. Además está compuesto por 11 cerchas ubicadas a lo largo del recinto.



Figura 3.25 Entretecho o ático del recinto  
Fuente: Instalación de la planta

El entretecho presenta zonas que están en buen estado y no han sido tan afectadas por la excesiva humedad, del vapor que ha condensado.



Figura 3.26 Zona de mejor estado  
Fuente: Instalación de la planta

La madera ubicada en el entretecho (Fig. 3.27) cuya finalidad es aislar la temperatura externa del edificio presenta pudrición producto de la humedad, produciendo desprendimiento de las misma. También se obseva corrosión avanzada en algunas vigas.



Figura 3.27 Estado del techo y vigas  
Fuente: Instalación de la planta

La humedad también ha afectado el cielo falso del recinto, produciendo daños corrosivos en sus extremos laterales, principalmente en la zona de accionamiento, además del desprendimiento de la madera del techo, como se observa en la Fig. 3.28.



Figura 3.28 Daños en el cielo falso  
Fuente: Instalación de la planta

Los daños corrosivos han afectado a gran parte de las vigas del recinto, incluyendo la zona de evacuación de vapor en el techo.



Figura 3.29 Corrosión en la campana del techo  
Fuente: Instalación de la planta

La condensación que se produce en el entretecho ha llevado a la acumulación de éste, principalmente en el lado de accionamiento (Fig. 3.30) de la máquina desde el “pope” hasta puerta de entrada de la MP-2.



Figura 3.30 Sector sobre la entrada de MP-2  
Fuente: Instalación de la planta

El condensado que se observa es producto de la acumulación de vapor en el ático que se produce por la mala ventilación que tiene el recinto principalmente por las rejillas, por las cuales se libera el vapor directamente al ático, además el ático no tiene ventanas ni extractores que permitan sacar este vapor por lo que se condensa debido a las frías temperaturas, de las superficies.

### 3.5 Condiciones ambientales

Para analizar e identificar las causas que originan la condensación del vapor de agua en el recinto se procedió a tomar mediciones de las siguientes variables, en su interior:

- a) La humedad relativa del recinto
- b) La temperatura del recinto
- c) La temperatura superficial del cielo falso

Es importante mencionar que a cada posición se le otorgó un número para distinguir la ubicación dentro del recinto (Fig. 3.31). En el caso de la posición 1 y 2 se realizaron mediciones tanto en el piso como en la parte alta del recinto por medio de una grúa.

**1 = A la entrada del recinto, antes de la zona de terminación de la máquina**

**2 = A la mitad de la zona de secado (Por fuera de la campana y por encima de ella)**

**3 = Al final de la zona de formación y comienzo de la zona de prensas**

**3a = A la mitad de la zona de formación**

**3b = Antes de la máquina**

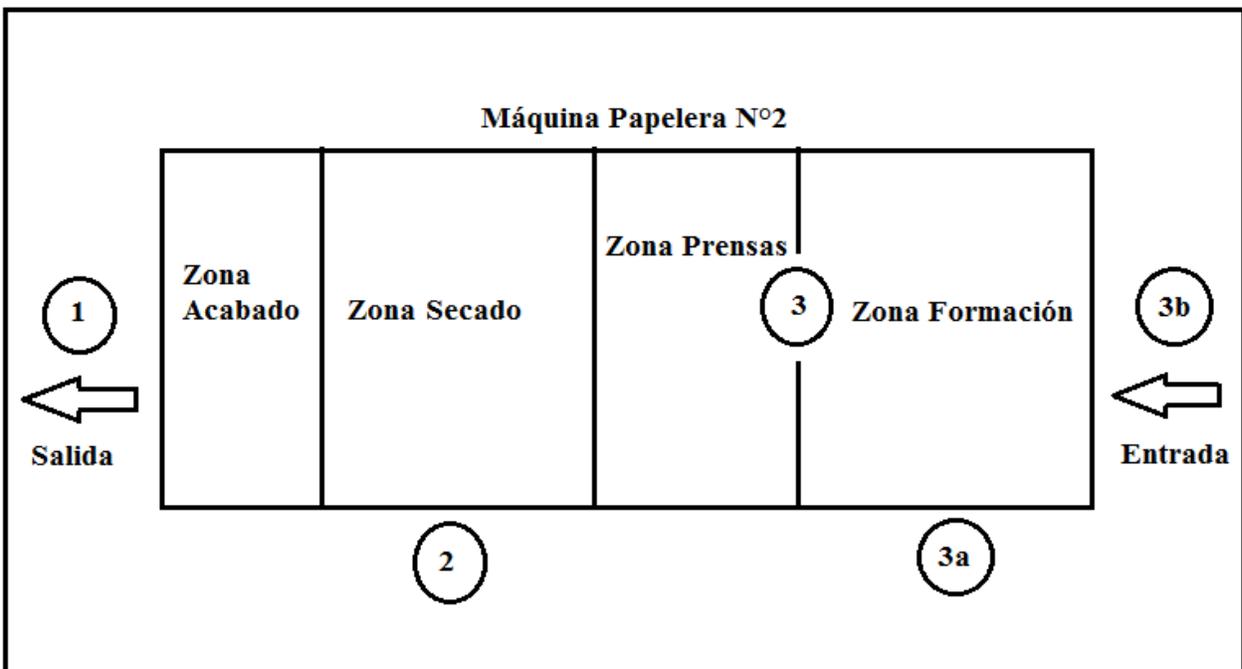


Figura 3.31 Distribución para las mediciones  
Fuente: Elaboración propia

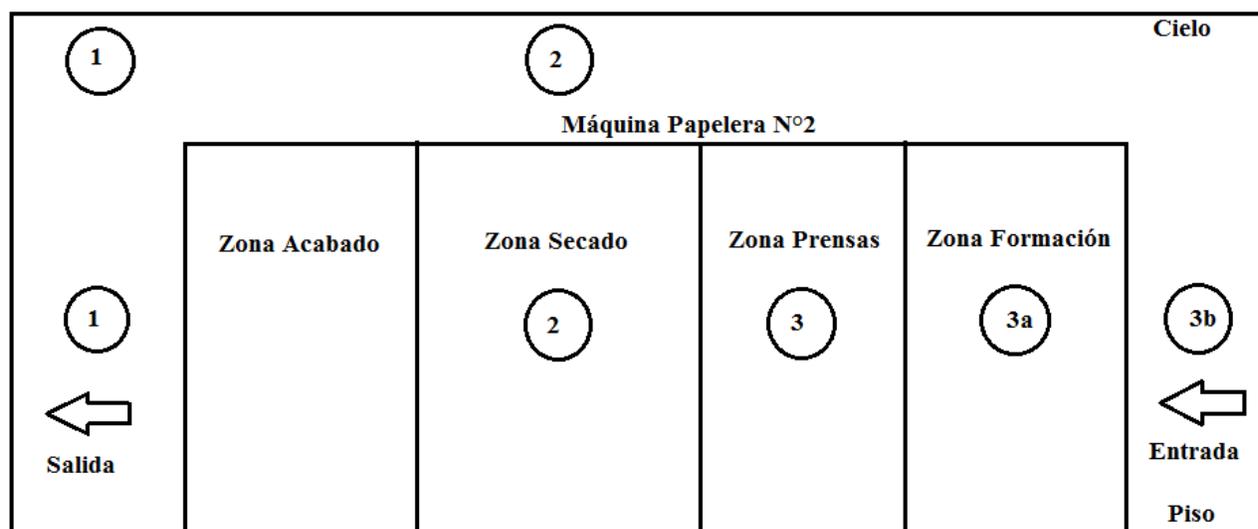


Figura 3.32 Vista frontal del recinto  
Fuente: Elaboración propia

Las mediciones se realizaron respetando la distribución de la Fig. 3.32. Las mediciones en las posiciones 3b, 3a, 2 y 1 se tomaron a una cierta altura con respecto al piso, por medio de un termo higrómetro, además se incorporó la temperatura superficial del cielo falso a las variables estudiadas para las posiciones 1 y 2 por medio de un termómetro de contacto y gracias a una grúa que permitió alcanzar el cielo en esas posiciones.

Tabla 3.1 Mediciones posición 3b y 3a

Posición 3b (PISO) (Antes de la máquina)	Variable	<b>Martes 27/06</b>	<b>Miércoles 28/06</b>	<b>Jueves 29/06</b>
			10:38	10:00
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>29,7</b>	<b>22,6</b>	<b>29,2</b>
	<b>Humedad (%)</b>	<b>74</b>	<b>75,5</b>	<b>68,5</b>
Posición 3a (PISO) (En medio de la zona de formación)	Variable	<b>Martes 27/06</b>	<b>Miércoles 28/06</b>	<b>Jueves 29/06</b>
		10:55	10:14	10:05
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>28,6</b>	<b>27,3</b>	<b>29,3</b>
	<b>Humedad (%)</b>	<b>68</b>	<b>82,5</b>	<b>69</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Mediciones posición 3

Posición 3 (PISO) (Enzima de la maquina zona de prensas)	Variable	<b>Martes 27/06</b>	<b>Miércoles 28/06</b>	<b>Jueves 29/06</b>
			11:12	10:29
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>33,7</b>	<b>32,7</b>	<b>33,5</b>
	<b>Humedad (%)</b>	<b>81,5</b>	<b>87</b>	<b>83,5</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3 Mediciones posición 2

Posición 2 (mitad zona se secado)	Variable	<b>Martes 27/06</b>	<b>Miércoles 28/06</b>	<b>Jueves 29/06</b>
			11:28	10:45
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>30,7</b>	<b>30,1</b>	<b>28,2</b>
	<b>Humedad (%)</b>	<b>52,7</b>	<b>63</b>	<b>60,5</b>
Posición 2 (CIELO) (Principio de la zona de secado)	Variable	<b>Martes 27/06</b>	<b>Miércoles 28/06</b>	<b>Jueves 29/06</b>
		12:37	12:00	11:34
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>39,5</b>	<b>40,2</b>	<b>39,5</b>
	<b>Humedad (%)</b>	<b>80</b>	<b>72</b>	<b>77,5</b>
	<b>Temperatura del cielo(°C)</b>	<b>30</b>	<b>29,6</b>	<b>28</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4 Mediciones posición 1

Posición 1 (Puerta acceso a la máquina)	Variable	<b>Martes 27/06</b>	<b>Miércoles 28/06</b>	<b>Jueves 29/06</b>
			11:40	11:00
	<b>Temperatura(°C)</b>	<b>23,5</b>	<b>26</b>	<b>21,7</b>
	<b>Humedad (%)</b>	<b>56</b>	<b>65,5</b>	<b>61,5</b>
Posición 1 (Cielo) (Puerta acceso a la máquina)	Variable	<b>Martes 27/06</b>	<b>Miércoles 28/06</b>	<b>Jueves 29/06</b>
		12:53	12:11	11:47
	<b>Temperatura(°C)</b>	<b>40,2</b>	<b>40,7</b>	<b>40,5</b>
	<b>Humedad (%)</b>	<b>76</b>	<b>68</b>	<b>68,5</b>
	<b>Temperatura del cielo(°C)</b>	<b>28</b>	<b>29,6</b>	<b>28</b>

Fuente: Elaboración propia

Según se aprecia en las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 los valores de temperatura obtenidos se asemejan bastante a los valores recomendados para la fabricación de papel (20-24) °C, en las posiciones cercanas al piso. (3a, 3b, 3, 2 y 1). En las posiciones 1 y 2 que corresponden a mediciones en altura los valores de temperatura sobrepasan lo recomendado bordeando valores cercanos a los 40°C. Con respecto a la humedad presente en el ambiente los valores medidos sobrepasan con creces lo recomendado para el proceso (45-55%) alcanzando valores cercanos al 80% en posiciones en altura (1 y 2).

La finalidad de estos valores es poder verificar si con estas condiciones al entrar en contacto el aire caliente con el techo se produce condensación del vapor de agua, lo cual se respalda con los cálculos obtenidos a través del software EES. (Anexo A)

### 3.5.1 Datos de los papeles fabricados MQ N°2

Tabla 3.5 Datos Papeles Fabricados MQ N°2

<b>Características</b>	<b>Papel Corrugado</b>	<b>Papel Semi Kraft 40g</b>
Espesor del papel	125 micra	80 micra
Humedad inicial zona de secado	55-60%	55-60%
Ancho de la hoja de papel	1.68 m	1.68 m
Velocidad de trabajo de la Máquina	165 m/min	150 m/min
Humedad final	7%	7%
Densidad del papel	402 kg/m <sup>3</sup>	505 kg/m <sup>3</sup>
Peso de un pope de papel	800 kg	800 kg

Fuente: Elaboración propia

**Nota:** 1.- Volumen del recinto es de 5324 m<sup>3</sup>.

2.- La humedad del papel está expresada en base húmeda.

### 3.5.2 Cálculo del caudal extraído por los ventiladores

El recinto posee 4 ventiladores. Para estimar el caudal extraído por cada ventilador se midió el diámetro y la velocidad de ventilación de cada ventilador a través de un anemómetro.

Tabla 3.6 Cálculo Caudal de Ventiladores

Ventilador	N°1	N° 2	N° 3	N°4
Diámetro (m)	0,5	0,52	0,57	0,54
Velocidad Promedio (m/sg)	1,46	1,35	0,48	0,45
Área de Ventilación (m2)	0,1963	0,2123	0,2551	0,2290
<b>Caudal Q (m3/sg)</b>	<b>0,2866 ~ 0,30</b>	<b>0,2867 ~ 0,30</b>	<b>0,1220 ~ 0,12</b>	<b>0,10305 ~ 0,10</b>

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior el caudal total está dado por:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0,82 \text{ m}^3/\text{sg} = 2952 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3.6 Conceptos técnicos importantes

Es importante conocer que el aire es una mezcla de nitrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de otros gases. Normalmente, el aire en la atmósfera contiene cierta cantidad de vapor de agua (o humedad) y se conoce como aire atmosférico. En contraste, el aire que no contiene vapor de agua se denomina aire seco. Es conveniente tratar al aire como una mezcla de vapor de agua y aire seco, porque la composición del aire seco permanece relativamente constante, pero la cantidad de vapor de agua varía por la condensación y evaporación de los océanos, lagos, ríos, regaderas e incluso del agua del cuerpo humano. Es por lo anterior que se definen los siguientes conceptos:

- a) **Humedad absoluta o específica  $\omega$** : Conocida también como relación de humedad. Relaciona la masa de vapor de agua presente en una unidad de masa de aire seco y que se representa por medio de  $\omega$ .

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{kg vapor de agua/kg de aire seco}) \quad \text{o}$$

$$\omega = \frac{0,662P_v}{P - P_v} \quad (\text{kg vapor de agua/kg de aire seco}) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde P es la presión total.

- b) **Humedad relativa  $\phi$** : La cantidad de humedad que el aire contiene ( $m_v$ ) respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a la misma temperatura ( $m_g$ )

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} \quad \text{o} \quad \phi = \frac{wP}{(0,662+w)P_g} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde  $P_g = P_{sat} @ T$ .

La humedad relativa varía de 0 para aire seco a 1 para aire saturado. La cantidad máxima de humedad que el aire puede contener depende de su temperatura. Por lo tanto, la humedad relativa del aire cambia con la temperatura aunque su humedad específica permanezca constante.

**Observación:** La temperatura ordinaria del aire atmosférico se conoce como la **temperatura de bulbo seco** para diferenciarla de otras formas de temperatura que deben manejarse.

- c) **Temperatura de punto de rocío  $T_{pr}$ :** Se define como la temperatura a la que se inicia la condensación si el aire se enfría a presión constante. En otras palabras  $T_{pr}$  es la temperatura de saturación del agua correspondiente a la presión de vapor:

$$T_{pr} = T_{sat} @ P_v$$

- d) **La carta psicrométrica:** El estado del aire atmosférico a una presión específica se establece por completo mediante dos propiedades intensivas independientes. El resto de las propiedades se calcula fácilmente a partir de las relaciones anteriores. Para esto existen cartas psicrométricas, y se utilizan en trabajos de acondicionamiento de aire. Las características más importantes de la carta psicrométrica se presentan en la Fig. 3.33. Las temperaturas de bulbo seco se muestran sobre el eje horizontal y la humedad específica sobre el eje vertical. En el extremo izquierdo de la carta se observa una curva (llamada línea de saturación) en lugar de una línea recta. Todos los estados de aire saturado se localizan en esta curva. Por lo tanto, es también la curva de un 100% de humedad relativa. Para aire saturado, las temperaturas de bulbo seco, de bulbo húmedo y de punto de rocío son idénticas (Fig. 3.34). Por ende la temperatura de punto de rocío del aire atmosférico  $\omega$  en cualquier punto sobre la gráfica se determina al dibujar una línea horizontal (una línea de  $\omega = \text{constante}$  o  $P_v = \text{constante}$ ) desde el punto hasta la curva saturada. El valor de la temperatura en el punto de intersección es la temperatura de punto de rocío.

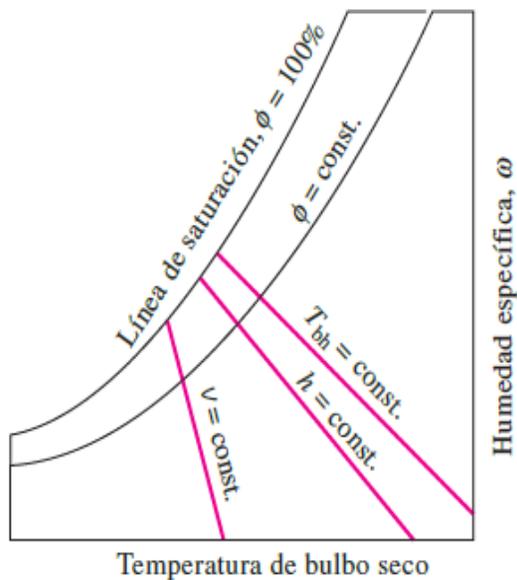


Figura 3.33 Esquema de una carta psicrométrica  
Fuente: Cengel, Termodinámica 5° ed.

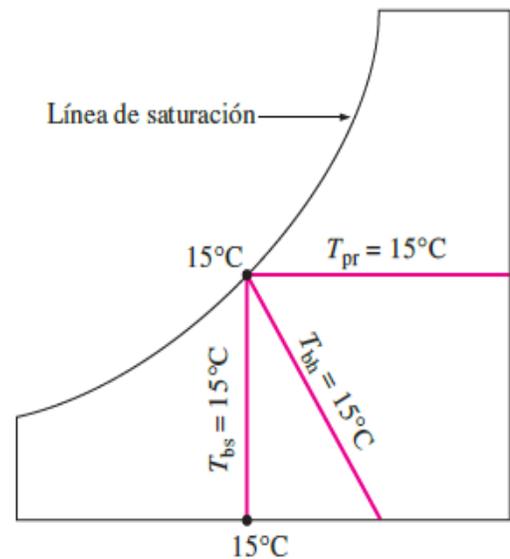


Figura 3.34 Esquema para aire seco.  
Fuente: Cengel, Termodinámica 5° ed.

### 3.6.1 Definiciones y expresiones de contenido de humedad en productos sólidos (papel)

En general el término humedad se usa para describir la cantidad de agua que tienen los materiales o sustancias. Debido a que la mayoría de los materiales sólidos están constituidos de materia seca y agua, se puede establecer que la masa total ( $m_h$ ) del material es igual a la suma de su masa seca ( $m_s$ ) y de su masa de agua ( $m_{H_2O}$ ).

$$m_h = m_s + m_{H_2O} \quad \text{Ec. (1)}$$

El contenido de humedad se puede expresar de dos maneras:

**a) Contenido de humedad en base seca (HBS):** Es el cociente entre la masa de agua en el material y su masa seca.

$$\%H_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_s} * 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

El contenido de humedad  $H_{bs}$  compara la masa de agua que contiene un material sólido con su masa seca. Por ejemplo un valor de  $H_{bs} = 200\%$  significa que la masa de agua presente en el material es 2 veces su masa seca.

**b) Contenido de humedad en base húmeda (HBH):** Es el cociente entre la masa de agua dentro del material y su masa total.

$$\%H_{bh} = \frac{m_{H_2O}}{m_h} * 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

#### c) Relaciones de equivalencia

De las ecuaciones (2) y (3) se pueden derivar algunas relaciones de equivalencia entre  $H_{bs}$  y  $H_{bh}$ .

$$\%H_{bh} = \frac{\%H_{bs}}{(100 + \%H_{bs})} * 100 \quad \text{Ec. (4)} \quad \quad \quad \%H_{bs} = \frac{\%H_{bh}}{(100 - \%H_{bh})} * 100 \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\%H_{bs} = \frac{m_h}{m_s} * \%H_{bh} \quad \text{Ec. (6)}$$

Estas relaciones de equivalencia permiten convertir un valor de la humedad de una base a otra y son independientes de la masa del material (ecuaciones (4) y (5)). La ecuación (6) permite realizar la conversión entre ambas bases incluyendo la masa húmeda y la masa seca del material.

### 3.7 Cálculo de la masa de agua evaporada

Tabla 3.7 Datos de fabricación del papel

<b>Ancho hoja de papel</b>	1,68 m
<b>Velocidad de trabajo de la máquina</b>	165 m/min
<b>Densidad del papel</b>	50 gr/m <sup>2</sup>
<b>Volumen del recinto</b>	5324 m <sup>3</sup>
<b>Contenido de Humedad</b>	Está en base húmeda

Fuente: Elaboración propia

Dado los datos de la tabla anterior se determinan las siguientes variables:

- Área de papel/ min = Ancho hoja de papel \* Velocidad de trabajo =  $1,68 \text{ m} * 165 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 277,2 \text{ m}^2/\text{min}$
- Masa se papel/min = Densidad del papel \* Área de papel/ min =  $50 \frac{\text{gr}}{\text{m}^2} * 277,2 \frac{\text{m}^2}{\text{min}} = 13860 \text{ gr}/\text{min}$
- Masa de papel/hora = Masa se papel/min \*  $\frac{60}{1000} \text{ gr}/\text{min} = 13860 \frac{\text{gr}}{\text{min}} * \frac{60}{1000} \text{ min}/\text{gr} = 831,6 \text{ kg}/\text{h}$

Luego de calcular la masa de papel/hora, se presenta en la tabla 3.8 los valores necesarios para obtener la cantidad de agua inicial y masa de papel seco por hora en el papel.

Tabla 3.8 Humedad del papel

<b>Humedad inicial</b>	0,6
<b>Humedad final</b>	0,07

Fuente: Elaboración propia

- Agua inicial = Masa de papel/hora \* Humedad inicial =  $831,6 \text{ kg}/\text{h} * 0,6 = 498,96 \text{ kg}/\text{h}$
- Masa de papel seco = Masa de papel/hora - Agua inicial =  $831,6 \text{ kg}/\text{h} - 498,96 \text{ kg}/\text{h} = 332,64 \text{ kg}/\text{h}$

Entonces con la masa de papel seco obtenida se calcula la cantidad de agua final en el papel.

- **Humedad final**= Agua final/ (**Masa de papel seco** + Agua final)

$$0,07(332,64 \text{ kg/h} + \text{Agua final}) = \text{Agua final}$$

$$23,2848 \text{ kg/h} + 0,07 \text{ Agua final} = \text{Agua final}$$

$$23,2848 \text{ kg/h} = \text{Agua final} - 0,07 \text{ Agua final}$$

$$\text{Agua final} = 25,04 \text{ kg/h}$$

Finalmente se puede obtener la cantidad de masa de agua a extraer por hora del recinto en estudio.

$$\text{Agua a extraer/h} = \text{Agua inicial} - \text{Agua final} = 498,96 \text{ kg/h} - 25,04 \text{ kg/h} = \mathbf{473,92 \text{ kg/h}}$$

- **Masa de agua evaporada** = **Agua a extraer/ hora**

### 3.7.1 Propiedades del vapor

Para determinar la masa de vapor que se disipa al ambiente y la masa de vapor que se condensa se proporciona el volumen del recinto y el estado 2 del aire húmedo (T [2] Y HR [2]).

#### Vapor al ambiente

Volumen del recinto= 4000 m<sup>3</sup> ; DELTAW=masa de agua evaporada/masa de aire seco

**Estado 2:** Donde T [2] y HR [2] son variables de entrada, obtenidas a través las mediciones en el recinto.

P=101, 3 kpa

T [2] =39 °C

HR [2] =0, 80

**TR [2] =dewpoint (AirH2O; T=T [2]; R=HR [2]; P=P) = 33, 69 °C**

**W [2] =humrat (AirH2O; T=T [2]; R=HR [2]; P=P) = 0, 03387 kg v/kg a.s**

**V [2] =volume (AirH2O; T=T [2]; R=HR [2]; P=P) = 0, 9372 m<sup>3</sup>/kg a.s.**

V [2] =Volumen/mas

Volumen= 4000 m<sup>3</sup>

mas= 4268 kg·a.s

#### Humedad del vapor al aire

Humedad por hora= 473,92 kg agua/h

Masa de vapor al ambiente= (fracción evaporada al ambiente \*masa de agua evaporada) kg v/h

fracc\_evap=0,05 (Se estima que un 5 % de la masa de agua evaporada se disipa al ambiente).

DELTAW= (mv\_ambiente/mas) = 0,005552 kg·v/kg·a.s

#### Estado 1 (inicial)

W [1] =W [2]-DELTAW = 0, 02832 kg v/kg a.s

T [2] =T [1]

**TR [1] =dewpoint (AirH2O; w=W [1]; T=T [1]; P=P) = 30, 67 °C**

**HR [1] =relhum (AirH2O; T=T [1]; w=W [1]; P=P) = 58, 18 %**

#### Estado 3

HR [3] =1

W [3] =W [2] = 0, 03387 kg v/kg a.s

**T [3] =temperature (AirH2O; w=W [3]; R=HR [3]; P=P) = 33, 69 °C**

#### Estado 4

Donde T [4] es una variable de entrada y representa la temperatura del cielo del recinto.

HR [4] =1

**T [4] =28 °C**

**W [4] =humrat (AirH2O; T=T [4]; R=HR [4]; P=P) = 0, 0256 kg v/kg a.s**

**Masa de vapor cond= mas\*(W [2]-W [4]) kg v/h = 35,32 kg·v/h**

### 3.8 Análisis de la condensación producida en el recinto a través del software EES

A través del software EES y haciendo uso de los datos recolectados según el tipo de papel fabricado en la máquina N°2, como gramaje, espesor, ancho, velocidad de trabajo de la máquina, etc., se determinó la masa de agua evaporada que se libera en el proceso de secado (zona de secado en Fig. 3.35).

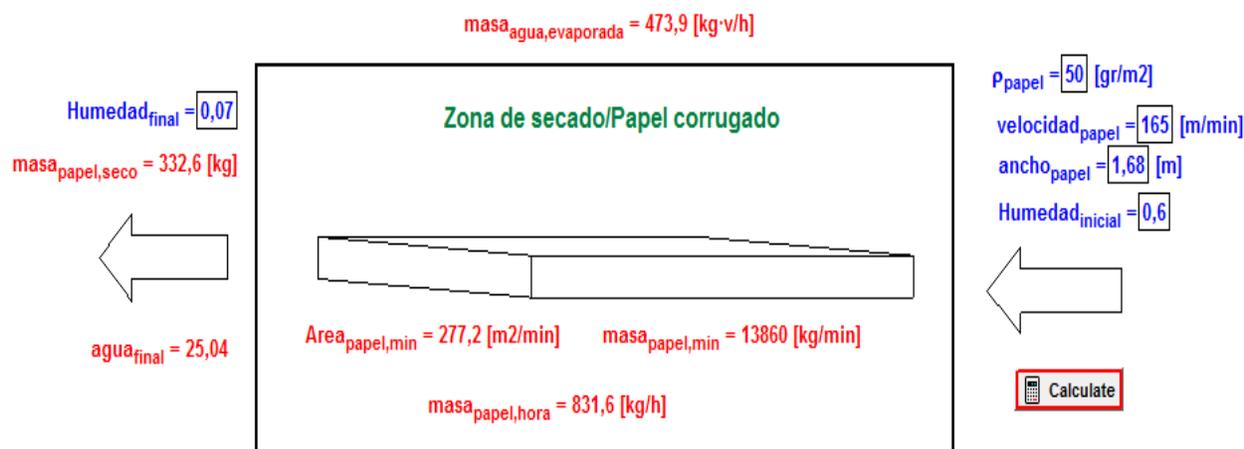


Figura 3.35 Diagrama zona de secado  
Fuente: Software EES.

Una vez obtenida la masa de agua evaporada y utilizando los valores adquiridos a través de las mediciones realizadas en el recinto como la temperatura del ambiente, la humedad específica y la temperatura superficial del cielo, se determinó la temperatura del punto de rocío y las condiciones del vapor en su estado inicial. Además para determinar la masa de vapor que se condensa, se estimó que un 5% de la masa de agua evaporada se disipa al ambiente, a través de las malas uniones que conforman la cámara de la zona de secado (Fig 3.36).

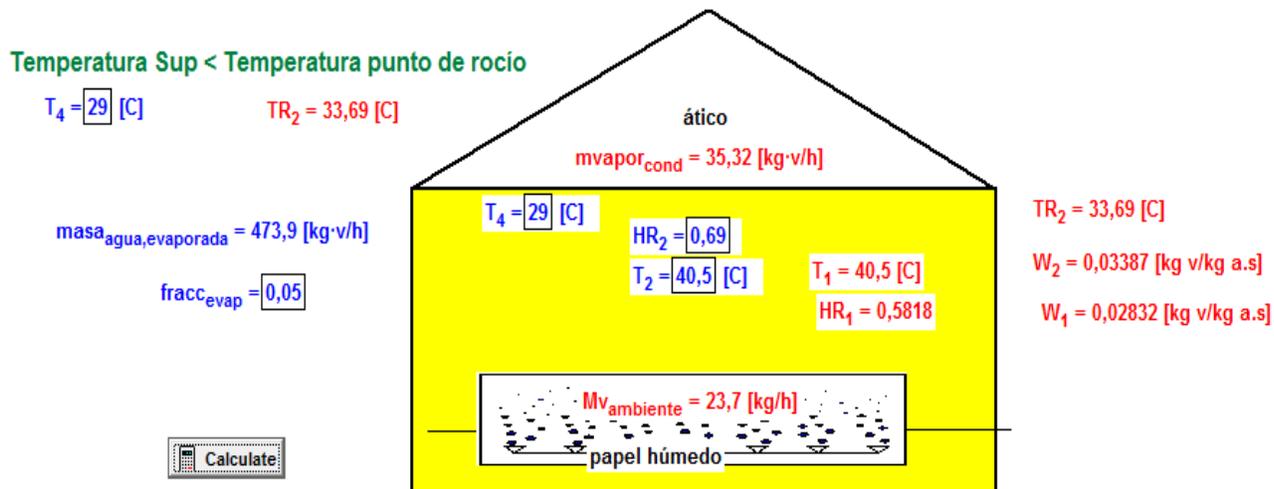


Figura 3.36 Diagrama del recinto  
Fuente: Software EES.

Mediante este programa se demuestra que en el recinto de la máquina N°2 se produce condensación producto del vapor que escapa de la zona de secado, debido a que la temperatura del cielo del recinto es menor que la temperatura de rocío calculada con anterioridad.

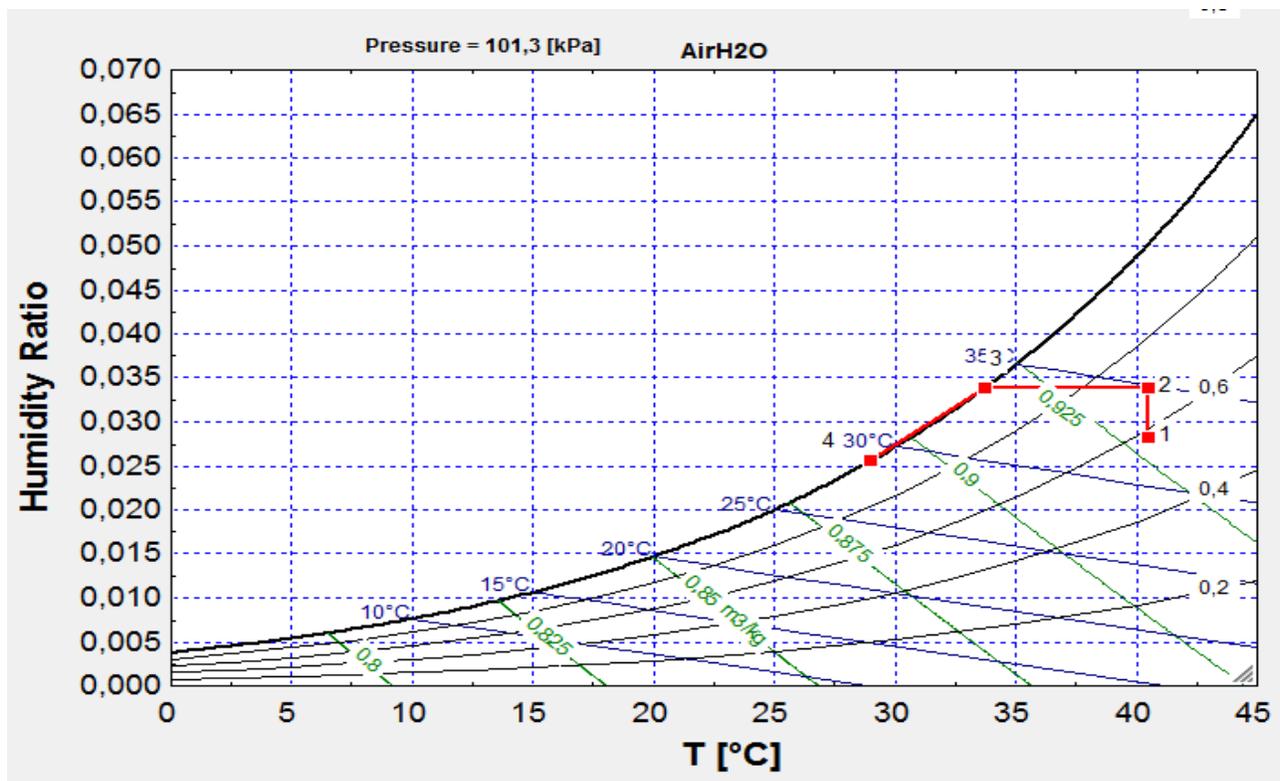


Figura 3.37 Carta Psicrométrica  
Fuente: Software EES.

## **CAPITULO IV: ANALISIS TECNICO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORAS**

### **4.1 Propuestas de posibles mejoras**

- a) Cambiar el cielo falso, el cual presenta daños corrosivos producto de la humedad, por un material que tenga más resistencia a la temperatura y humedad y además aumentar su resistencia térmica a través de un mejor grado de aislamiento.
- b) Mejorar o reemplazar el aislante ocupado en el techo del recinto (madera), el cual se encuentra en condiciones inapropiadas (podrida) producto de la humedad, por lo que no cumple su función aislante.
- c) Instalación de equipos de ventilación, como extractores en el recinto especialmente en la zona crítica desde la zona de secado hasta la puerta del recinto. De tal manera que complementen y mejoren el sistema de extracción del recinto, ayudando a los extractores existentes en el recinto y que no son suficientes para extraer la gran cantidad de vapor en el ambiente.
- d) Modificar las rejillas de ventilación ubicadas a lo largo del cielo del recinto, de tal forma que den salida al vapor producido en la máquina hacia el ambiente exterior y no al ático como es actualmente.
- e) Reemplazar los extractores actuales, instalados en el muro del recinto de la máquina, por nuevos equipos que cumplan una mejor función y rendimiento.
- f) Instalar un pasillo en el ático del recinto para poder tener acceso en caso de cualquier reparación o emergencia.

## 4.2 Marco Teórico

Calor es aquella energía que se transfiere de un cuerpo, fluido o entre dos zonas, debido a una diferencia de temperatura que existe entre ambas. Lo anterior basado en la segunda ley de la termodinámica, donde el calor en forma espontánea siempre se transfiere de la zona de mayor temperatura a la de menor temperatura.

Entre mayor sea la diferencia de la temperatura que exista entre dos ambientes, cuerpo o fluido, mayor será la cantidad de calor transferido en la unidad de tiempo (W o kW). La diferencia de temperatura técnicamente recibe el nombre de potencial térmico.

Las pérdidas de calor de un recinto calefaccionado hacia un ambiente adyacente o hacia la intemperie, ocurren por la acción combinada de convección y conducción.

Previamente se analizará el caso de conducción de acuerdo a la ley de Fourier, a través de una pared plana simple, en régimen permanente y flujo unidireccional.

$$Q_K = \frac{\Delta T * K * A}{L} \quad [\text{W}] \quad (\text{Ec.1})$$

La Ec.1 también se acostumbra a expresar de la siguiente manera:

$$Q_K = \frac{\Delta T * A}{R_k} \quad [\text{W}] \quad (\text{Ec.2})$$

K = Conductividad térmica de los materiales (tabla 2) W/ m K (Anexo B)

$R_k = \frac{L}{K}$  (Resistencia térmica a la conducción por unidad de área.)  $[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}]$

Donde L= Espesor del material (m) ; A= Área de transferencia de calor  $[\text{m}^2]$

En la mayoría de los casos la pared está constituida de varios materiales diferentes ubicados uno a continuación del otro.

$$Q = \frac{\Delta T * A}{R_{\text{Total}}} \quad ; \quad \text{donde} \quad R_{\text{Total}} = R_{k1} + R_{k2} + R_{k3} + R_{k4} \quad (\text{Ec.3})$$

### 4.2.1 Convección

Transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido en movimiento que se encuentra en contacto con dicha superficie. Se sabe que la convección puede ser natural o forzada. La cuantificación de calor transferido por convección se calcula según

$$Q_c = h \cdot A \cdot \Delta T \quad ; \text{ donde } \Delta T = |T_s - T_f| \quad (\text{Ec.4})$$

$h$  = coeficiente convectivo (W/m<sup>2</sup>K) y  $A$  = Área de transferencia de calor [m<sup>2</sup>]

El coeficiente convectivo se determinará mediante tablas de norma chilena o ecuaciones muy simples que rigen para estos casos. En general el coeficiente “h” se determina por métodos muy complejos.

Resistencia a la convección por unidad de área que opone el fluido

$$R_c = \frac{1}{h} \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad ; \text{ donde } Q_c = \frac{\Delta T \cdot A}{R_c} \quad [\text{W}] \quad (\text{Ec.5})$$

Para la transferencia de calor entre el aire del recinto a calefaccionar y el ambiente adyacente exterior, que se encuentra separado por una pared sólida, se tiene 2 coeficientes convectivos, que son uno interior y otro exterior a la pared.

- Para la resistencia a la convección en el interior del recinto calefaccionado, su valor es determinado mediante la tabla 3 (Anexo B).
- Para la resistencia a la convección exterior ( $\frac{1}{h_e}$ ) se utilizarán las siguientes ecuaciones para el coeficiente exterior ( $h_e$ ).

$$h_e = 5,8 + 4 \cdot \text{vel}; \text{ donde } \text{vel} = \text{velocidad del viento si } \text{vel} < 5 \text{ m/sg}$$

$$h_e = 7,15 \cdot \text{vel}^{0,78} \quad ; \text{ donde } \text{vel} = \text{velocidad del viento si } \text{vel} \geq 5 \text{ m/sg}$$

**Nota:** Cuando la transferencia de calor ocurre entre el ambiente calefaccionado y otro recinto no calefaccionado, pero interior, entonces el coeficiente interior como el exterior son iguales.

### Temperatura exterior de diseño en invierno

Se sabe que la temperatura exterior de una determinada localidad varía día a día y en cada instante. Para efectos de diseño, la norma chilena NCh 1078.c73 tabla 2 recomienda valores de esta temperatura, para diferentes ciudades del país (Anexo B).

### Transferencia de calor entre ambientes interiores calefaccionados y otro no calefaccionado o intemperie.

$$Q = \frac{\Delta T * A}{R_{Total}} \quad [W] \quad (Ec.6)$$

La ecuación (Ec.6) es más bien de carácter académico, pero para fines profesionales y proyectos de ingeniería se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * \Delta T \quad (W) \quad (Ec.7)$$

Donde

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad U = \text{Coeficiente global de transferencia de calor (por convección y conducción)} \quad \frac{W}{m^2K} .$$

**Nota:** El coeficiente U depende de cada caso particular ya que incorpora el tipo de material de la pared, sus espesores y tipo de convección.

Existen algunos casos particulares de transferencia de calor que se analizarán a continuación:

- a) **Paredes o puertas o piso que poseen cámaras de aire en su interior. Se sabe que un gas en reposo es un excelente aislante térmico y por lo tanto opone una resistencia térmica que se designa  $R_a$ .**

Resistencia de la cámara de aire ( $R_a$ ). Se distinguen 3 casos diferentes:

Caso 1

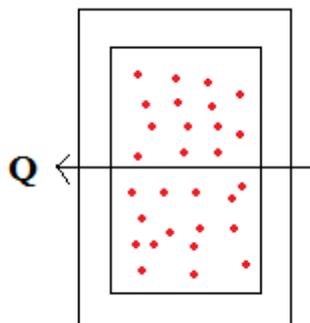


Figura 4.1 Cámara de aire vertical con flujo térmico horizontal  
Fuente: Elaboracion propia.

**$Ra=f(e; a')$**  NCh 853.EOF71

$a'$ = Es función ( $a_1: a_2$ ) de las absorptividades que están tabuladas.

Caso 2

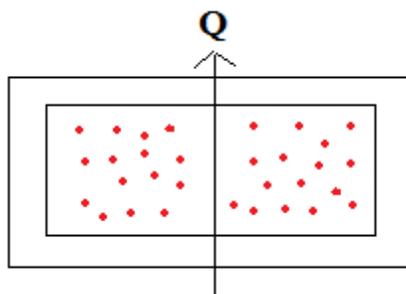


Figura 4.2 Cámara de aire horizontal con flujo térmico ascendente  
Fuente: Elaboracion propia.

Caso 3

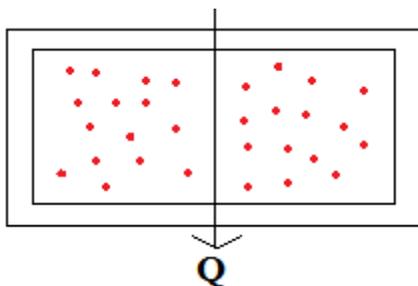


Figura 4.3 Cámara de aire horizontal con flujo térmico descendente.  
Fuente: Elaboracion propia.

**Las tablas C.1, C.2 y C.3 para los casos 1 ,2 y 3 respectivamente se adjuntan en el Anexo B.**

En la práctica se distinguen 4 casos característicos o combinación de la naturaleza de las superficies que rodea a la cámara de aire, según NCh 853.EOF71:

- a) Caso general  $a_1 = a_2 = 0,9$  ; donde  $a' = 0,82$
- b) Una superficie absorbe poco ; donde  $a' = 0,20$
- c) Ambas superficies absorben muy poco ; donde  $a' = 0,11$
- d) Una absorbe muy poco ; donde  $a' = 0,05$

Esta resistencia térmica se adiciona a las resistencias térmicas a la conducción de los otros materiales que conforman la pared y también a las resistencias térmicas a la convección tanto interior como exterior de la pared.

$$Q = U * A * \Delta T \quad (W) \quad (Ec.8)$$

$$U = \frac{1}{R_{Total}} \quad ; \quad \text{donde} \quad R_{Total} = R_{ci} + \sum R_k + R_a + R_{ce}$$

Para los casos de cámara de aire horizontales con flujo térmico ascendente  $R_a$  se obtiene de la misma manera, usando la tabla C.1. Para el caso de cámara de aire horizontal con flujo térmico descendente  $R_a$  se obtiene de la tabla C.3 (Anexo B).

**b) Pérdidas de calor del ambiente calefaccionado hacia un ático.**

Pérdida de calor de un recinto calefaccionado hacia un ático (entretecho). Existen dos métodos:

1. Usando la tabla 3 de NChl 078.c73 (Anexo B) ( incluyendo hogares no calefaccionados)

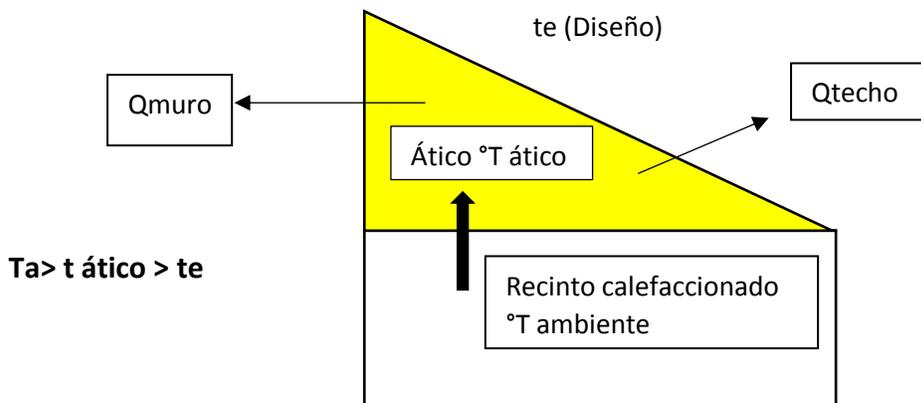


Figura 4.4 Pérdida de calor de un recinto  
Fuente: Elaboracion propia.

$$Q_C = U_C * A_C * (T \text{ ático} - T \text{ exterior}) \text{ (W)}; \text{ donde } U_C = \frac{1}{R_{\text{total\_cielo}}} \text{ (Ec.9)}$$

La temperatura del ático es una incógnita y de acá nacen los dos métodos o procedimientos:

- a) Método aproximado para la temperatura ático obtenido de la tabla N°3, dicha tabla considera 2 tipos de áticos, debe considerarse la temperatura exterior de cálculo de la ciudad respectiva. Para el caso de Concepción u otras ciudades se requiere extrapolar.
- b) Método exacto para determinar realizando un balance térmico del ático.

$$Q_C = Q_T + Q_M \text{ (Ec.10)}$$

$$Q_C = U_C * A_C * (T \text{ amb} - T \text{ ático}) = U_T * A_T * (T \text{ ático} - T \text{ exterior}) + U_M * A_M * (T \text{ ático} - T \text{ exterior}) \text{ (W)}$$

**c) Pérdidas de calor a través del piso**

- c.1) Piso de una planta superior calefaccionada hacia un ambiente inferior no calefaccionado.
- c.2) Piso de un recinto, que se encuentra en contacto con la tierra. (1° piso)

**Pérdidas de calor por el piso se distinguen 2 casos:**

- 1. Piso de una planta superior calefaccionada hacia un ambiente inferior no calefaccionado.

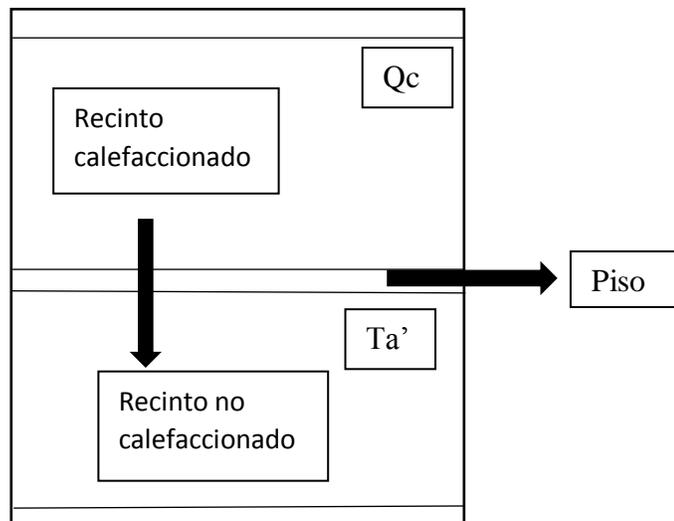


Figura 4.5 Pérdida de calor de un recinto  
Fuente: Elaboracion propia.

$$Q_{\text{Piso}} = U_{\text{Piso}} * A_{\text{Piso}} * (t_{\text{amb}} - t_{\text{exterior}}) \quad (\text{Ec.11})$$

$$U_{\text{Piso}} = \frac{1}{R_{\text{total\_piso}}}$$

$$R_{\text{total\_piso}} = R_{\text{ci}} + \sum R_k + R_{\text{ci}'}$$

$R_{\text{ci}} = R_{\text{ci}'}$  (Recinto interior convección natural)

2. Piso en contacto con la tierra (Flujo perimetral).

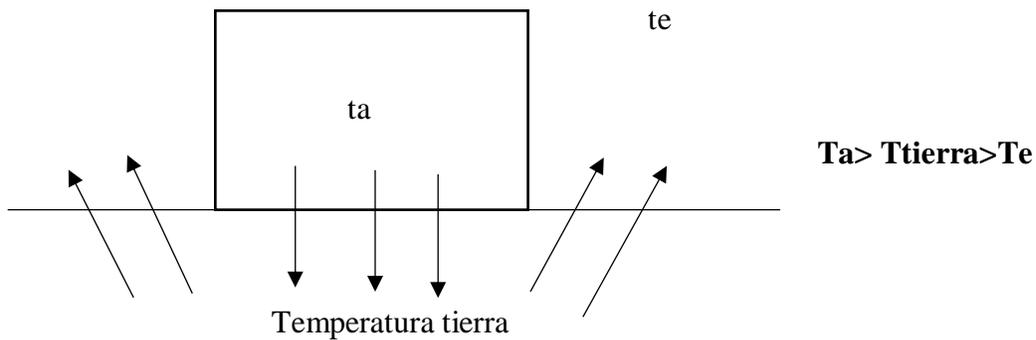


Figura 4.6 Pérdida de calor por contacto con la tierra  
Fuente: Elaboración propia.

### Flujo de carácter perimetral

H: Coef. de transferencia de calor perimetral.

$$Q_{\text{Piso}} = H * P * (t_{\text{amb}} - t_{\text{exterior}})$$

P: Perímetro del muro exterior

H se obtiene de la tabla N°1 en función del tipo de piso y de la resistencia térmica del piso.  
(Anexo B)

### 4.3 Datos y método de cálculo para el espesor del aislante para el cielo

Tabla 4.1 Datos iniciales

<b>T exterior (Concepción)</b>	5°C
<b>T ambiente en el recinto</b>	40,5 °C (Pág. 28 tabla 3.3)
<b>T superficie cielo</b>	35 (mínima temperatura para evitar la condensación)
<b>Velocidad del viento (Concepción)</b>	5 m/sg
<b>Espesor madera de pino</b>	25,4 mm
<b>Espesor zinc</b>	2 mm
<b>Espesor cámara de aire</b>	110 mm
<b>Kmadera</b>	0,12 W/m K
<b>K zinc</b>	110 W/m K

Fuente: Elaboracion propia.

$$Ra = 0,145 \quad / \quad Rci = 0,1 \quad / \quad h = 1 \quad / \quad Rci = 10 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$$

$$he(\text{vel}) = 7,15 * v^{0,78} = 25,09 \rightarrow Rce = 1/he = 0,04$$

$$Ut = 1/R_{\text{total\_techo}} = 1,42 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$$

#### *Cálculo de áreas del cielo y techo*

$$\text{Área cielo} = \text{ancho} * \text{largo} = 11\text{m} * 60,5 \text{ m} = 665,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Área techo} = 2 * (\text{Hip} * \text{largo}) = 2 * (5,72 * 60,5 \text{ m}) = 692,12 \text{ m}^2$$

#### *Ecuaciones utilizadas*

$$Q_{\text{cielo}} = h_i * A_c * (T_{\text{amb}} - T_{\text{sup}}) \text{ (Calor por convección)}$$

$$Q_{\text{cielo}} = U_c * A_c * (T_{\text{amb}} - T_{\text{ático}})$$

$$Q_{\text{techo}} = U_t * A_t * (T_{\text{ático}} - t_e)$$

$$R_{\text{total\_techo}} = R_{ci} + R_{k\_zinc} + 2 * R_{k\_mad} + R_{cámara} + R_{ce} \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$$

$$R = \text{Espesor (e)} / \text{Conductividad térmica (k)}$$

#### *Cálculo del calor disipado por el cielo*

$$Q_{\text{cielo}} = 10 * 665,5 * (40,5 - 38) = \mathbf{16338 \text{ W}}$$

#### *Cálculo de Resistencia Térmica y temperatura del ático*

$$R_k = \text{Espesor (e)} / \text{Conductividad térmica (k)}$$

$$R_{\text{total\_techo}} = 0,1 + 0,04 + 0,42335 + 0,145 = 0,7085$$

$$Q_{\text{techo}} = U_t * A_t * (T_{\text{ático}} - t_e)$$

$$16338 \text{ W} = 1,42 \text{ W} / \text{m}^2\text{K} * 692,12 \text{ m}^2 * (T_{\text{ático}} - 5 \text{ °C})$$

$$\mathbf{T_{ático} = 21,93 \text{ °C}}$$

$$Q_{\text{cielo}} = U_c * A_c * (T_{\text{amb}} - T_{\text{ático}})$$

$$16338 \text{ W} = U_c * 665,5 \text{ m}^2 * (40,5 - 21,93) \rightarrow U_{\text{cielo}} = 1,35 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$$

$$U_{\text{cielo}} = 1/R_{\text{total\_cielo}} \text{ W} / \text{m}^2\text{K} \rightarrow R_{\text{total\_cielo}} = 0,83333 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$$

$$R_{\text{total\_cielo}} = 2 * R_{ci} + 2 * R_{k\_zinc} + R_{\text{aislante}} \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$$

$$R_{\text{aislante}} = 0,6337 \rightarrow R_{\text{aislante}} = \text{Espesor\_aislante} / K_{\text{aislante}}$$

$$K_{\text{aislante}} = 0,04 \text{ m}^2\text{K} / \text{W} \rightarrow \mathbf{\text{Espesor cielo} = 21,72 \text{ mm}}$$

**Nota:** Estos cálculos fueron respaldados por programas elaborados en el software EES los cuales se adjuntan en el anexo A

#### 4.4 Opción a) y b) Programas en Software EES (Anexo A)

En los siguientes escenarios se muestra cómo cambia la temperatura superficial del cielo y la temperatura del ático al variar la aislación en el cielo y en el techo del recinto, situaciones descritas según las propuestas a y b en el punto 4.1

##### 4.4.1 Escenario 1 “Programa para determinar el espesor del aislante para el cielo, dado la $T_{sup}$ necesaria para evitar la condensación”

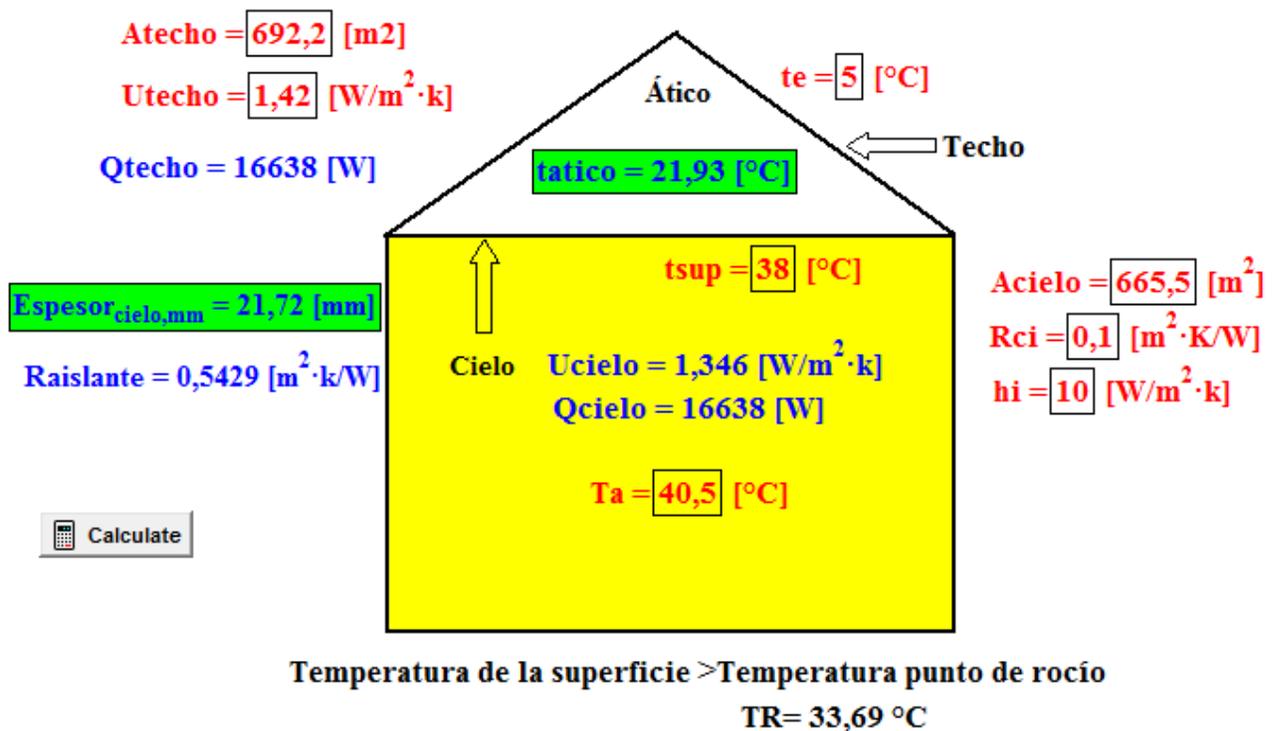


Figura 4.7 Esquema de programación  
Fuente: Software EES.

Según la programación presente en la Fig. 4.7, se obtiene que para una temperatura superficial de 38 °C y considerando el  $U_{techo} = 1,42$  actual, el espesor necesario para el aislante del cielo debe ser de 22 mm en este caso lana mineral. Para estos valores se obtiene una temperatura en el ático de 21,93 °C que es un valor aceptable ya que está dentro de los márgenes señalados. ( $T_a > t_{\text{ático}} > t_e$ ).

### Tabla paramétrica

Esta tabla muestra como varía el espesor del aislante del cielo y la temperatura del ático al variar la temperatura de la superficie del cielo desde 35°C a 39 °C. Estos datos se representan en el gráfico de la Fig. 4.8.

Tabla 4.2 Varaciación de la temperatura superficial del cielo

1.5	1	2	3
	tsup [°C]	Espesor <sub>cielo;mm</sub> [mm]	tatico [°C]
Run 1	35	-9,265	42,24
Run 2	36	-3,528	35,47
Run 3	37	5,488	28,7
Run 4	38	21,72	21,93
Run 5	39	59,58	15,16

Fuente: Software EES

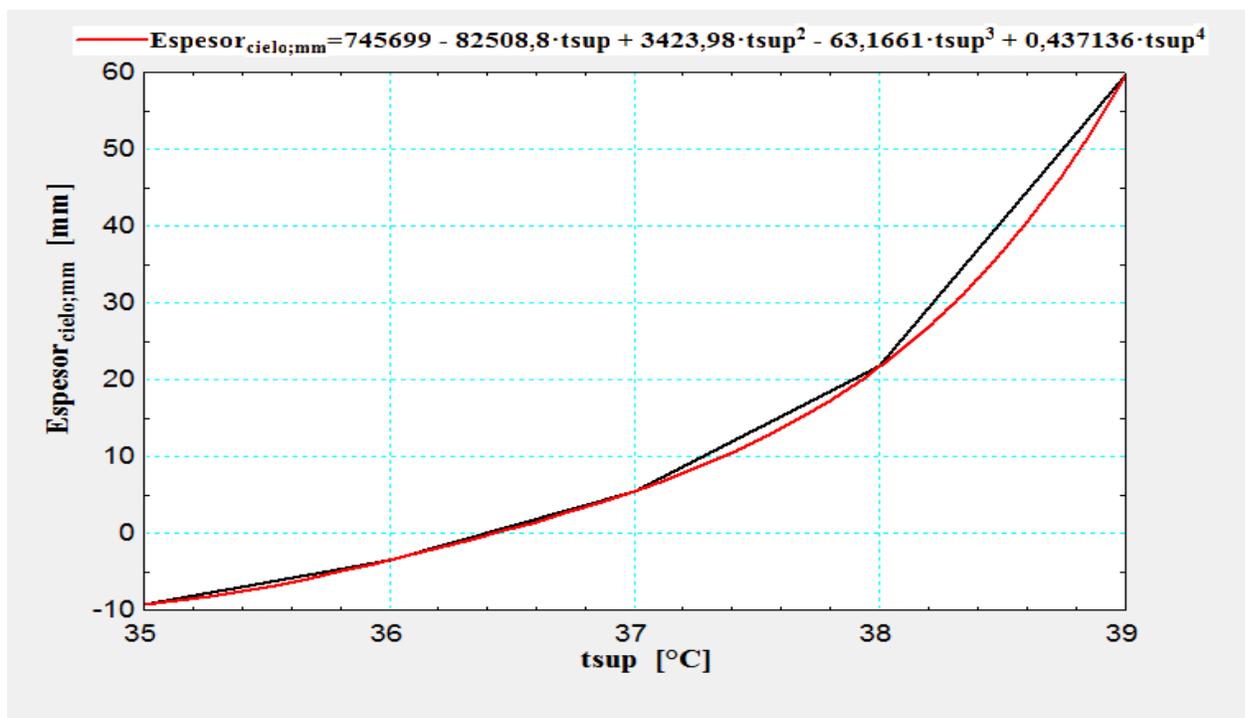


Figura 4.8 Gráfico “tsup vs espesor cielo”

Fuente: Software EES.

En este gráfico se puede observar que a medida que la temperatura de la superficie aumenta el espesor del aislante del cielo debe aumentar para así evitar la condensación.

**4.4.2 Escenario 2** “Programa para determinar cómo varía la  $t_{sup}$  y la  $t_{ático}$  dado un espesor para el aislante del cielo”

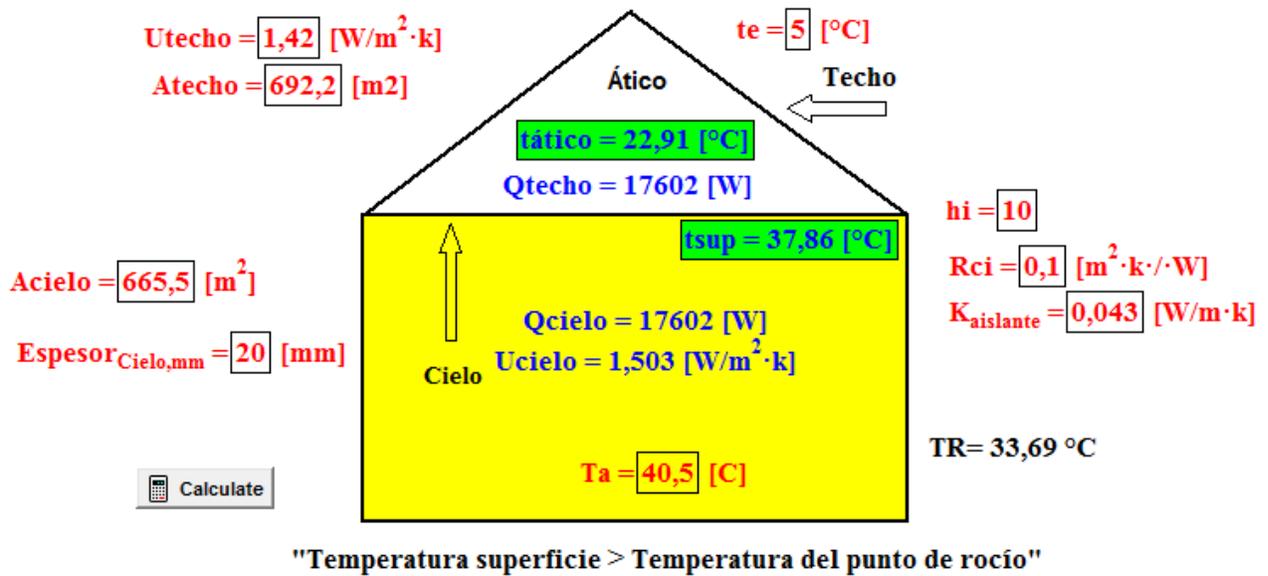


Figura 4.9 Programa EES  
Fuente: Software EES.

Mediante este programa dado un espesor de 20 mm para el aislante del cielo y utilizando el valor del  $U_{techo}$  actual, se determinaron la temperatura superficial y la temperatura del ático bajo esas condiciones, obteniendo un valor de  $t_{sup} = 37,86 \text{ }^\circ\text{C}$  el cuál es superior a la temperatura de rocío  $TR = 33,69 \text{ }^\circ\text{C}$ , por lo que no se produce condensación en el recinto. Además una temperatura de ático =  $22,91 \text{ }^\circ\text{C}$  que se encuentra dentro de los valores aceptables. ( $T_a > t_{ático} > t_e$ )

### Tabla paramétrica

Esta tabla muestra como varía la temperatura del ático y la temperatura de la superficie al variar el espesor del aislante del cielo desde 20 mm a 65 mm. Estos datos se representan en el gráfico de la Fig.4.10.

Tabla 4.3 Varaciación del espesor del cielo

1..10	1 Espesor <sub>Cielo;mm</sub> [mm]	2 tático [°C]	3 tsup [°C]
Run 1	20	22,91	37,86
Run 2	25	21,48	38,07
Run 3	30	20,26	38,25
Run 4	35	19,21	38,4
Run 5	40	18,3	38,54
Run 6	45	17,5	38,65
Run 7	50	16,78	38,76
Run 8	55	16,15	38,85
Run 9	60	15,58	38,94
Run 10	65	15,06	39,01

Fuente: Software EES

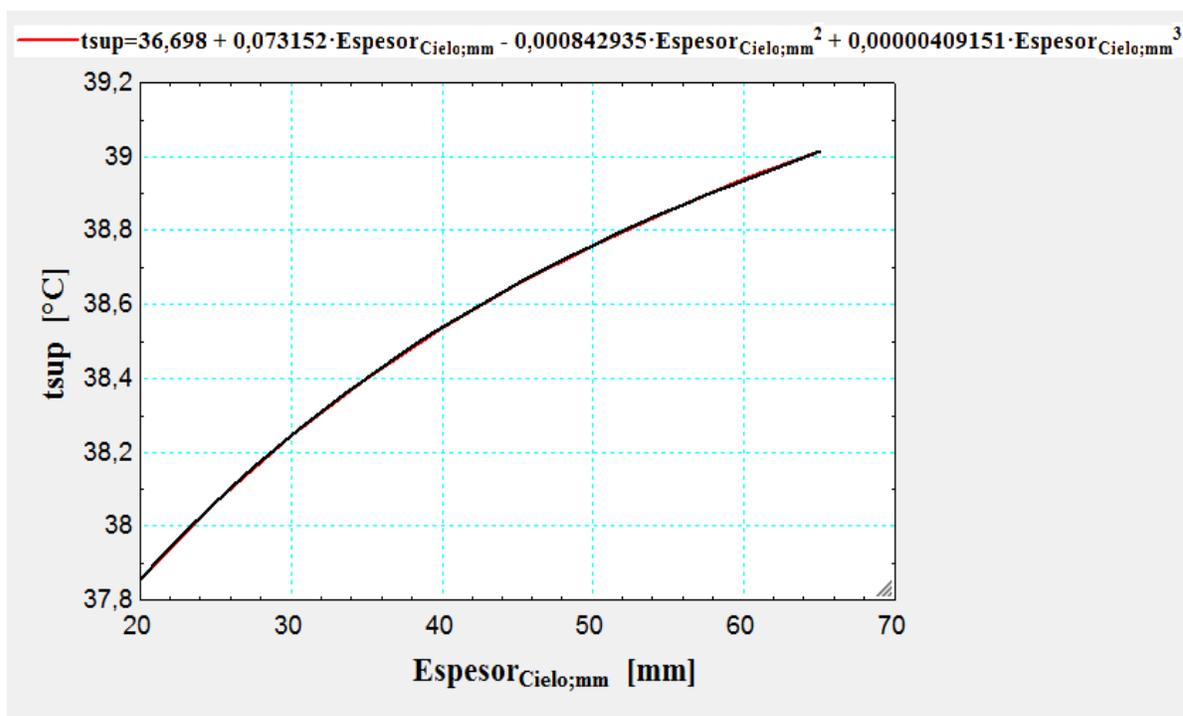


Figura 4.10 Gráfico “espesor cielo vs tsup”  
Fuente: Software EES.

En este gráfico se puede observar que a medida que el espesor del aislante del cielo aumenta la temperatura de la superficie también aumenta aunque en menor medida, pero evitando la condensación.

**4.4.3 Escenario 3** “Programa para determinar el espesor para el aislante del techo y la Tático, dado un espesor de aislante del cielo y una Tsup.”

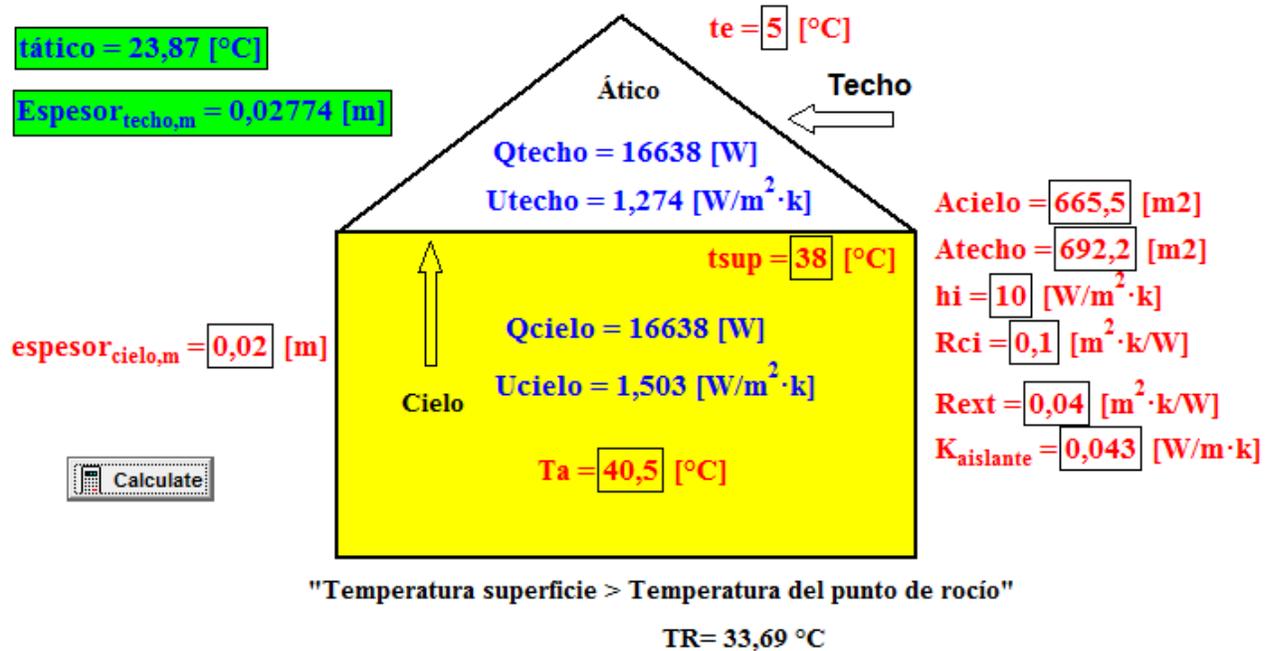


Figura 4.11 Programa EES  
Fuente: Software EES.

En este programa se determinó el espesor del aislante para el techo del recinto y la temperatura del ático dado un espesor del aislante para cielo y un valor de temperatura superficial. Se obtuvo un espesor para el aislante del techo de 28 mm y una temperatura de ático de 23,87°C, la cual se encuentra entre los valores (**Ta > t ático > te**).

Tabla paramétrica

Tabla 4.4 Variación del espesor del cielo

1..7	1 espesor_cielo;m [m]	2 Espesor_techo;m [m]	3 tático [°C]
Run 1	0,01	0,03814	29,69
Run 2	0,015	0,03294	26,78
Run 3	0,02	0,02774	23,87
Run 4	0,025	0,02254	20,96
Run 5	0,03	0,01734	18,06
Run 6	0,035	0,01214	15,15
Run 7	0,04	0,006939	12,24

Fuente: Software EES

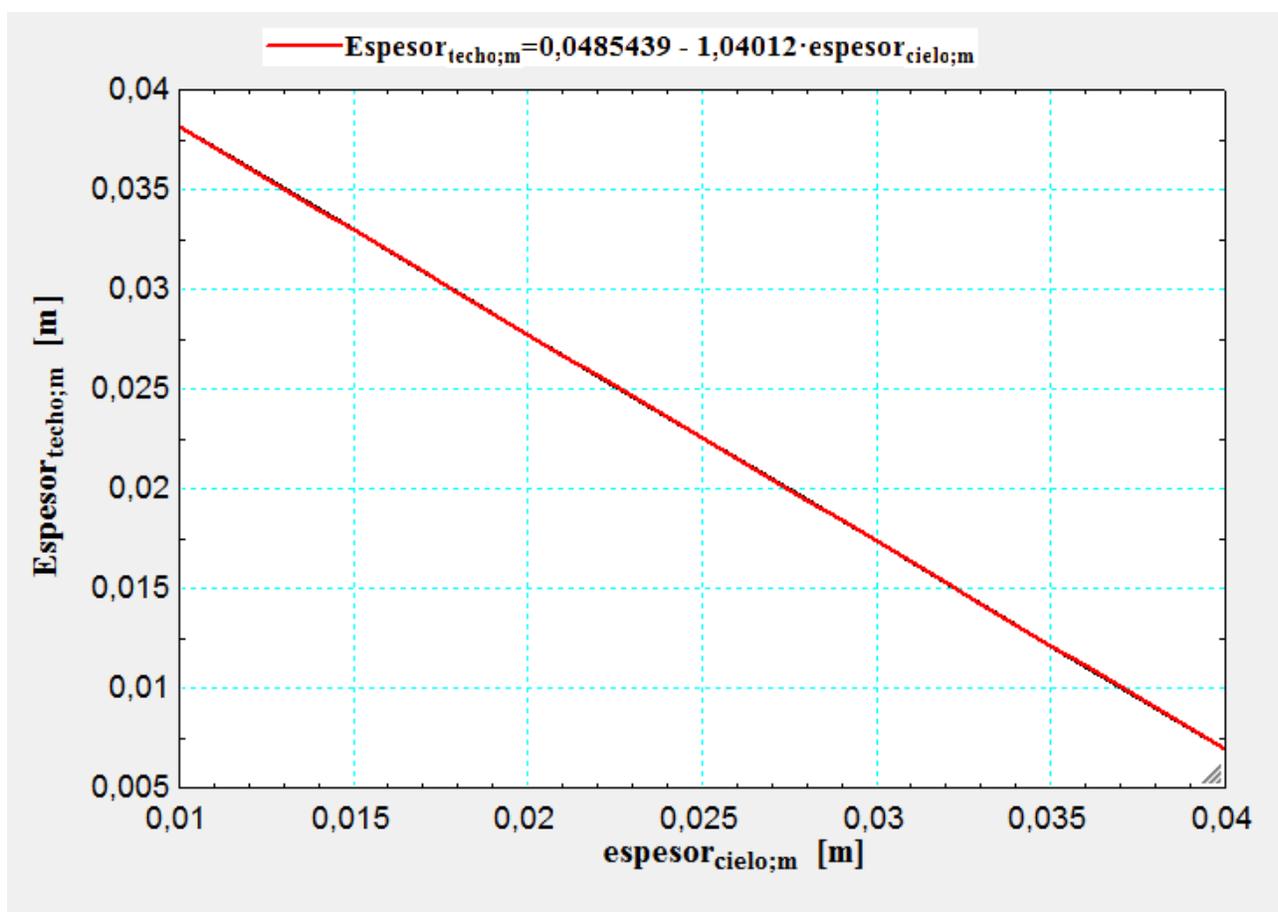


Figura 4.12 Gráfico “espesor cielo vs tsup”

Fuente: Software EES.

#### 4.4.4 Escenario 4 “Programa para determinar la $T_{sup}$ y $T_{ático}$ , dado un espesor para el aislante del cielo y el techo”

**Nota:** Se desarrolló un programa en el software EES mediante el cual se estudió el comportamiento de distintos tipos de aislantes, bajo condiciones establecidas para evitar la condensación en el recinto de la máquina. En este programa se determinó la temperatura de la superficie y la temperatura del ático dado un valor para el espesor del cielo y el techo ( $e=50$  mm), aquí se consideró que no existía nada actualmente, por lo tanto se reconstruyó todo el sistema de aislación del recinto, y con ello, buscar los valores ideales de la temperatura de la superficie y la temperatura del ático para evitar la condensación del recinto. La  $t_{sup} > TR$  y  $(T_a > t_{ático} > t_e)$ .

Tabla 4.5 Resultados Programa EES

Aislante	T superficie	T ático	K aislante	U cielo	U techo
Lana Mineral	39,31	22,05	0,037	0,6446	0,6705
Poliestireno	39,4	22,08	0,034	0,5986	0,6209
Poliuretano	39,67	22,16	0,025	0,4545	0,4673

Fuente: Software EES

#### 4.5 Conclusión Análisis Aislantes

De todos estos análisis, se puede observar que cualquiera de las opciones analizadas puede cumplir con las necesidades planteadas al principio, entregando valores dentro de los indicados. Para un mismo espesor  $e=50$  mm

##### **Poliuretano**

$$Temp\ superficial = 39,67^{\circ}C > TR = 33,69^{\circ}C \quad T_{amb} > temp\ ático = 22,16^{\circ}C > T_e$$

Se concluye que el aislante que se debe utilizar para aislar el cielo y el techo del recinto debe ser el Poliuretano expandido de densidad  $24$  kg/m<sup>3</sup>, el cual cumple satisfactoriamente las necesidades demandadas, según las condiciones ambientales actuales del recinto, para un espesor mínimo de  $50$  mm, el cual se cubrirá con zinc en el techo y zinc u otro material similar al actual para el cielo.

Además se determinaron las condiciones del ático, en base al mismo programa creado anteriormente y bajo las nuevas medidas para analizar el comportamiento del mismo y así demostrar que no habrá condensación en el entretecho, para el material seleccionado. **Poliuretano.**

Tabla 4.6 Condiciones ático del recinto

Humedad Relativa	Presión	Temp punto de rocío	Temp superficie techo
60%	103,3 kpa	27,67 °C	34,89 °C

Fuente: Software EES

Para obtener las condiciones del ático se estimó que se encuentra a presión atmosférica y a una humedad relativa de 60% que es un valor exagerado ya que debiera ser un valor menor producto de la aislación y la extracción del vapor del recinto. Para las condiciones obtenidas según las recomendaciones realizadas se observa que la TR ático= 27,67 °C y la Tsup-techo= 34,89 °C, que satisface la condición para evitar la condensación **Tsup>TR**.

Se realizaron distintas tablas paramétricas para demostrar como varían las variables al cambiar la temperatura exterior y ver si el ático del recinto mostraba problemas de condensación.

Tabla 4.7 Variación temperatura exterior y ambiental

1..10	te [°C]	Ta [°C]	tatico [°C]	tsup [°C]
Run 1	0	40,5	19,3	38,62
Run 2	1,5	40,5	20,09	38,69
Run 3	3	40,5	20,87	38,76
Run 4	4,5	40,5	21,66	38,83
Run 5	6	40,5	22,44	38,9
Run 6	7,5	40,5	23,23	38,97
Run 7	9	40,5	24,01	39,04
Run 8	10,5	40,5	24,8	39,11
Run 9	12	40,5	25,58	39,18
Run 10	13,5	40,5	26,37	39,25

Fuente: Software EES.

**Tabla 4.7:** Está tabla muestra cómo cambian las temperaturas de la superficie del cielo y la del ático al variar la temperatura exterior y una temperatura ambiente constante producto del proceso de fabricación. Se observa que al ir aumentando la temperatura exterior, también los hacen la temperatura de la superficie y la del ático producto que son consecuencia del balance de energía. Estos valores a pesar de aumentar siguen cumpliendo con la condición (**Ta > t ático > te**).

Tabla 4.8 Variación temperatura exterior y superficial del techo

1..10	1 te [°C]	2 tsup <sub>techo</sub> [°C]	3 TR <sub>a</sub> [°C]	4 tatico [°C]	5 HR <sub>a</sub> [%]
Run 1	0	17,5	11,35	19,3	0,6
Run 2	1,5	18,35	12,09	20,09	0,6
Run 3	3	19,2	12,82	20,87	0,6
Run 4	4,5	20,05	13,56	21,66	0,6
Run 5	6	20,9	14,3	22,44	0,6
Run 6	7,5	21,76	15,04	23,23	0,6
Run 7	9	22,61	15,77	24,01	0,6
Run 8	10,5	23,46	16,51	24,8	0,6
Run 9	12	24,31	17,25	25,58	0,6
<b>Run 10</b>	13,5	25,16	17,98	26,37	0,6

Fuente: Software EES.

**Tabla 4.8:** Está tabla muestra cómo cambian las temperaturas de la superficie del techo, la temperatura del punto de rocío en el ático y la temperatura del ático al variar la temperatura exterior y una humedad relativa constante de 60 %. Se observa que la relación entre las variables es directamente proporcional ya que al aumentar la temperatura exterior también lo hacen las demás. Estos valores a pesar de aumentar siguen cumpliendo con la condición ( $T_a > t_{\text{ático}} > t_e$ ) y  $T_{\text{sup}} > TR$  con lo que se demuestra que no habrá condensación en el ático.

Todos los datos presentados en la tabla 4.7 y 4.8 se ilustran el siguiente gráfico.

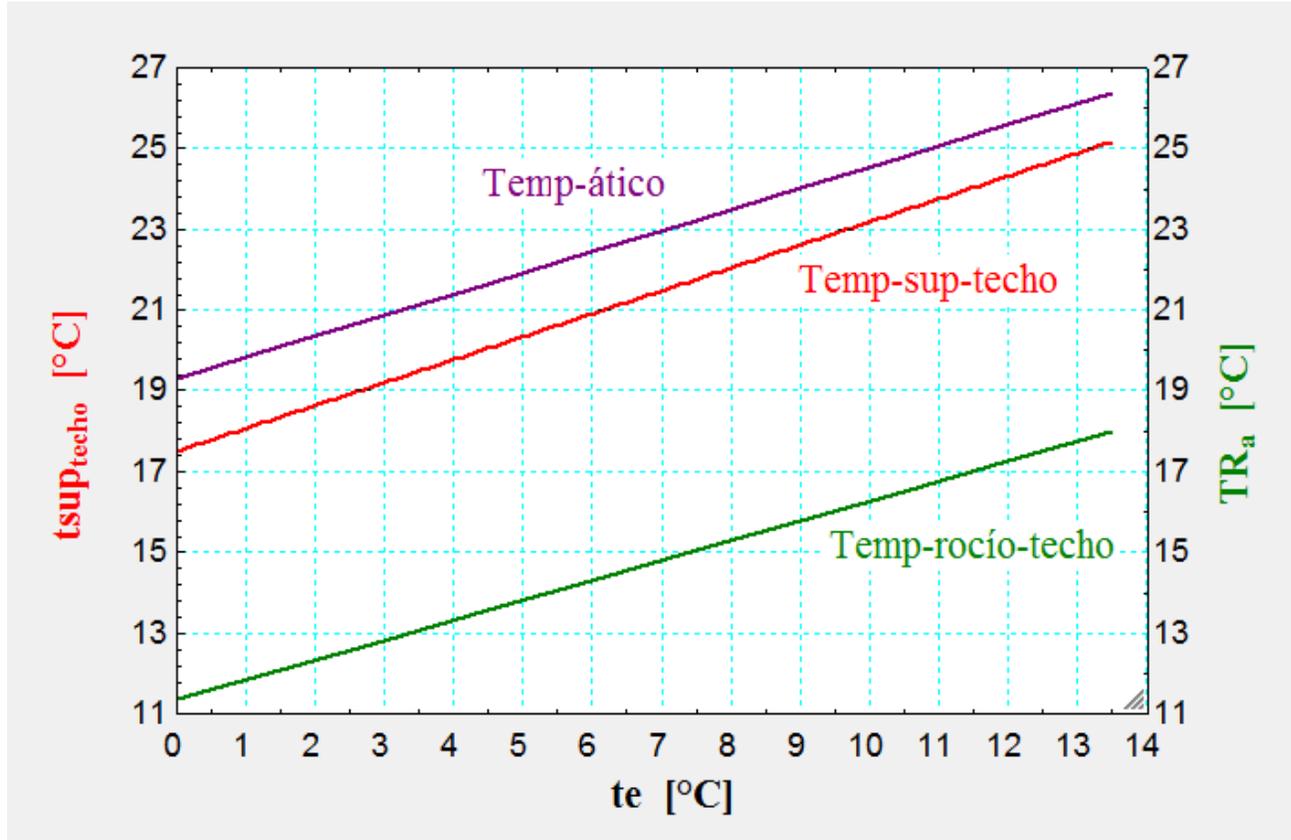


Figura 4.13 Gráfico “espesor cielo vs tsup”  
Fuente: Software EES.

**Cálculo del peso del aislante**

Material aislante = Poliuretano de alta densidad

Área cielo= ancho \* largo= 11m\* 60,5 m= 665,5 m<sup>2</sup>

Área techo = 2\*(Hip \* largo)= 2\*(5,72\* 60,5 m)= 692,12 m<sup>2</sup>

Área Total = Área cielo + Área techo = 1357,62 → 1360 m<sup>2</sup>

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho * v$$

$$\rho = 24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} / \text{Espesor aislante} = 50 \text{ mm} \rightarrow 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = \text{Área total} * \text{espesor} = 1360 \text{ m}^2 * 0,05 \text{ m} = 68 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso total aislante} = 68 \text{ m}^3 * 24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1632 \text{ kg}$$

## 4.6 Opción c) Selección de Extractor

Cuántas veces se debe renovar el aire por hora

- Como norma general, se puede decir que el caudal de aire nominal ofrecido por un extractor debe ser entre 6 a 10 veces por hora el volumen total de la habitación. Pero, para ser más precisos, los requerimientos deben variar según el grado de contaminación del aire.
- Es muy distinto extraer sólo humedad, que eliminar humedad y olores.
- De acuerdo a lo anterior, se ha establecido la siguiente tabla:

Tabla 4.9 Renovaciones/hora aire

Aulas y bibliotecas	4 a 5 renovaciones por hora
Oficinas, sótanos y garajes	6 a 10 renovaciones por hora
Baños, cocinas, lavanderías	10 a 15 renovaciones por hora
Tintorerías y fundiciones	20 a 30 renovaciones por hora

Fuente: Elaboración Propia

**La presencia de codos y ductos le resta eficacia a la extracción. Si va a conectar el extractor a un ducto de salida, al realizar el cálculo del caudal de aire incrementarlo en un 20%.**

Una vez establecido el volumen de aire que necesita mover por cada hora en su habitación, multiplique los  $\text{m}^3/\text{h}$ , obtenidos por el número de renovaciones que requiere el uso del lugar.

### 4.6.1 Capacidad

Finalmente, para determinar el tamaño del extractor, multiplicar los  $\text{m}^3/\text{h}$ , por la cantidad de renovaciones que requiere en cada hora y obtener el total de metros cúbicos. Aproximarlo al tamaño de los extractores disponibles en el mercado.

#### 4.6.2 Cálculo de extractor para el recinto de la máquina papelera

El recinto de la máquina papelera posee las siguientes dimensiones: 8 mts de altura x 11 mts de ancho y 60,5 mts de largo, al cual se le harán 10 renovaciones por cada hora, de aire.

Volumen del recinto= 11 m\* 60,5 m\* 8 m=5324 m<sup>3</sup>

5324 m<sup>3</sup>x 10 RN = 53240 m<sup>3</sup>/h

53240 m<sup>3</sup> \* 0, 2 =10648 m<sup>3</sup>/h

**Caudal total 63888 m<sup>3</sup>/h ÷ 2 = 31944 m<sup>3</sup>/h**

**Nota:** Se recomiendan 2 extractores modelo HTTI -80-4T SODECA, con una capacidad de 33300 m<sup>3</sup>/h.

# HTTI



Figura 4.14 Extractor de tejado  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

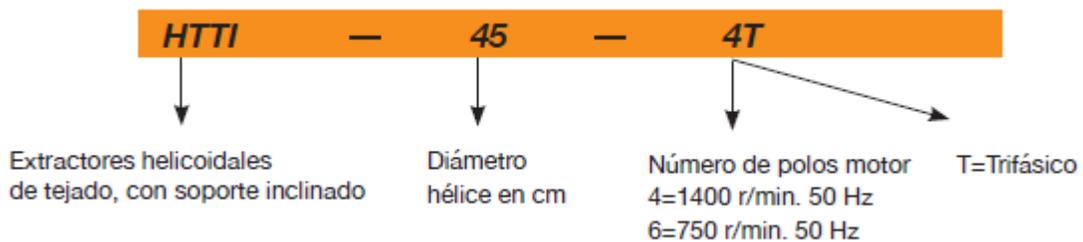


Figura 4.15 Código pedido  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel de presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V	690V				
HTTI-50-4T	1380	2,92	1,69		0,55	9200	69	56,0
HTTI-56-4T	1400	4,03	2,32		1,10	11700	72	64,4
HTTI-71-4T	1430	5,96	3,44		1,50	18900	78	82,0
HTTI-71-6T	900	2,99	1,73		0,55	13500	67	78,5
<b>HTTI-80-4T</b>	<b>1445</b>	<b>10,96</b>	<b>6,33</b>		<b>3,00</b>	<b>33300</b>	<b>83</b>	<b>114,4</b>
HTTI-80-6T	945	4,88	2,82		1,10	23400	72	103,8
HTTI-90-4T	1440	14,10	8,12		4,00	41850	89	137,0
HTTI-90-6T	955	6,42	3,71		1,50	30870	77	129,0
HTTI-100-4T IE3	1465		13,90	8,06	7,50	56700	93	197,0
HTTI-100-6T	955	9,30	5,30		2,20	34200	82	149,8

Figura 4.16 Características técnicas  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

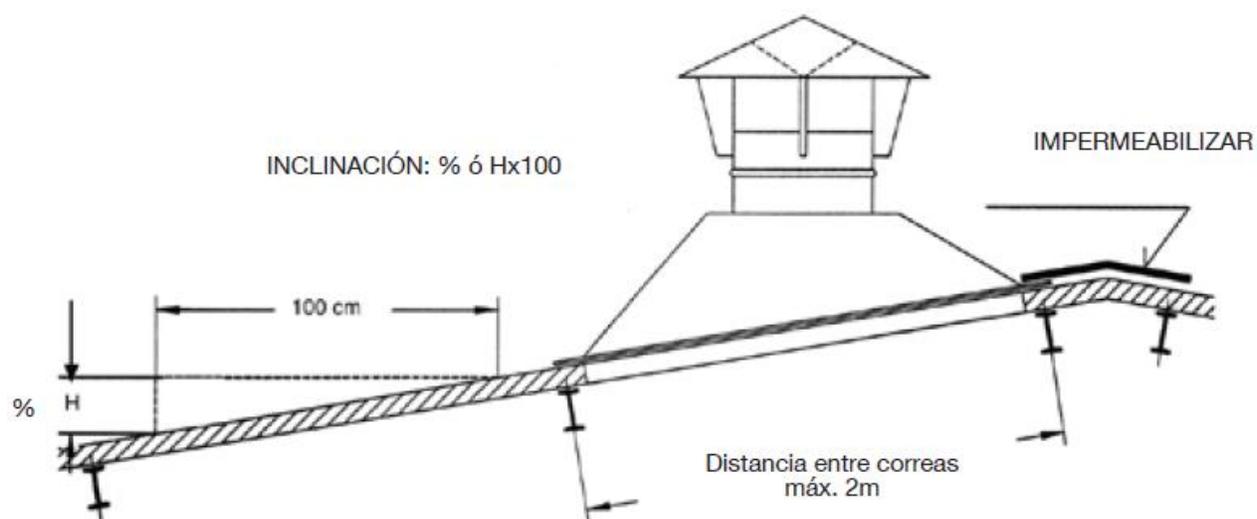


Figura 4.17 Método de instalación  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

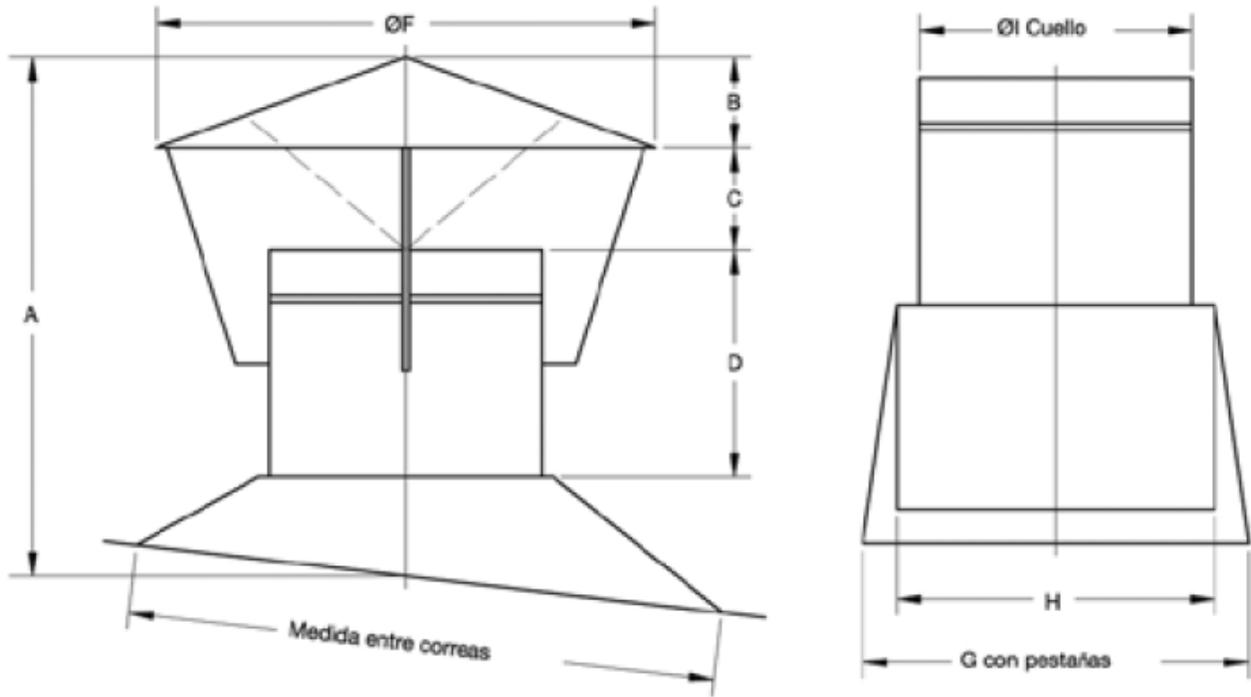


Figura 4.18 Dimensiones en mm  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

Modelo	A	B	C	D	ØF	G	H	ØI
HTTI-50-4T	800	150	200	250	950	780	570	520
HTTI-56-4T	800	150	200	250	1050	830	620	570
HTTI-71-4T	900	200	230	300	1250	990	780	730
HTTI-71-6T	900	200	230	300	1250	990	780	730
<b>HTTI-80-4T</b>	<b>1100</b>	<b>250</b>	<b>310</b>	<b>330</b>	<b>1400</b>	<b>1080</b>	<b>870</b>	<b>820</b>
HTTI-80-6T	1100	250	310	330	1400	1080	870	820
HTTI-90-4T	1150	300	310	330	1500	1080	970	920
HTTI-90-6T	1150	300	310	330	1500	1080	970	920
HTTI-100-4T	1200	350	310	330	1600	1280	1070	1020
HTTI-100-6T	1200	350	310	330	1600	1280	1070	1020

Figura 4.19 Dimensiones equipo seleccionado  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

### 4.6.3 Diseño de los ductos para los extractores del techo

Los ductos que extraerán el aire húmedo desde el recinto hacia el exterior se fabricarán en forma circular y respetando el diámetro de conexión con el extractor  $D= 820$  mm.

$$\text{Perímetro} = \pi \times d = 2,57 \text{ m} \rightarrow 3 \text{ m}$$

Para la fabricación del ducto de  $D= 820$  mm y 2 m de largo se utilizaran 4 planchas

**Planchas lisas laminadas en frío de 3000 mm x 1000 mm x 1,5 mm**

$$\text{Área plancha} = 3 \text{ m}^2$$

**Peso kg/m<sup>2</sup> = 12 (Catálogo Sack)**

$$\text{Peso plancha} = 3 \text{ m}^2 * 12 \text{ kg/ m}^2 = 36 \text{ kg}$$

$$\text{Peso total planchas} = 4 \text{ planchas} * 36 \text{ kg/ plancha} = 144 \text{ kg}$$

$$\text{Peso extractor techo} = 115 \text{ kg}$$

Se instalaran 2 extractores

$$\text{Peso total} = 230 \text{ kg}$$

Por lo tanto

$$\text{Peso total} = \text{peso extractor} + \text{peso ductos}$$

$$\text{Peso total} = 230 + 144 = 374 \text{ kg}$$

#### 4.6.4 Cálculo de extractor para el muro del ático de la máquina papelera

El entretecho o nave del recinto posee las siguientes dimensiones: ancho de la Base= 11 m; largo= 60,5 m; alto= 1.580 m al cual se le harán 20 renovaciones por cada hora:

$$\text{Volumen} = \frac{B}{2} * (\text{Largo} * \text{Alto})$$

$$\text{Volumen} = 526 \text{ m}^3$$

$$526 \text{ m}^3 * 20 \text{ RN} = 10520 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$10520 \text{ m}^3 * 0,2 = 2104 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Caudal total } 12624 \text{ m}^3/\text{h}$$

En la eventualidad que a futuro, realizadas todas las recomendaciones propuestas, existiesen filtraciones de vapor hacia el ático, se sugiere instalar un extractor mural de emergencia, con motor IP55 modelo HC -56-4T/H SODECA con un caudal de trabajo de  $13000 \text{ m}^3/\text{h}$ , en caso que sea necesario, para eliminar el vapor que pudiese acumular en su interior.

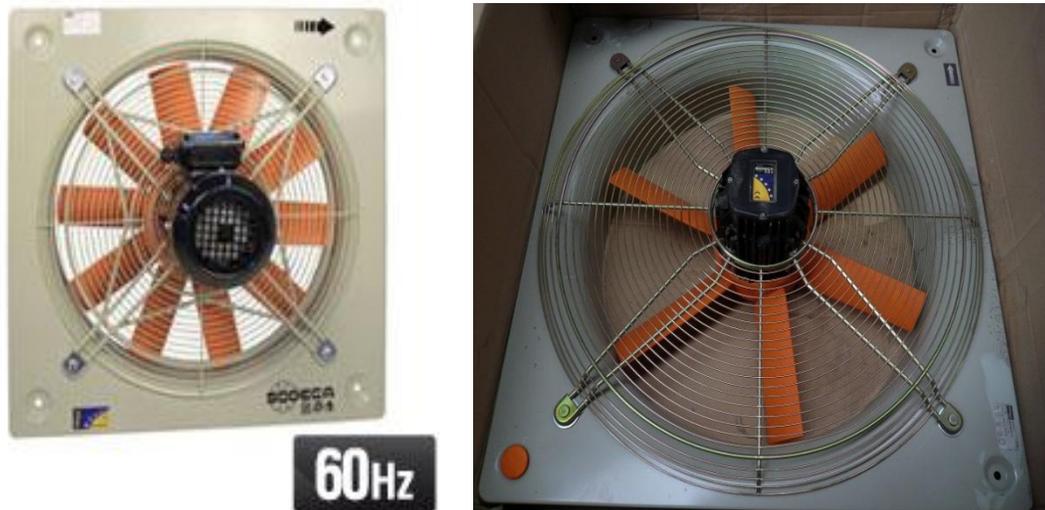


Figura 4.20 Extractor de muro seleccionado

Fuente: Catálogo SODECA 2016

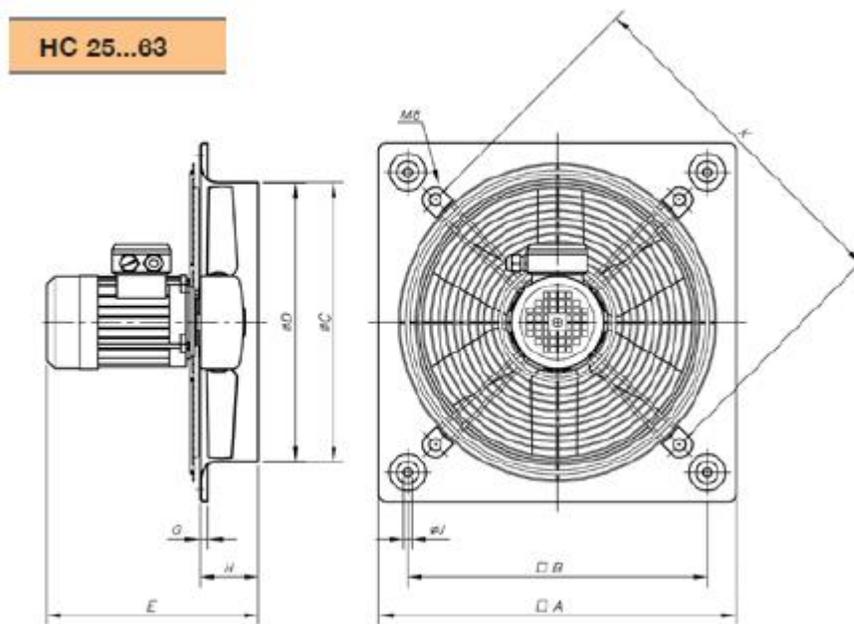


Figura 4.21 Dimensiones del extractor  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

Modelo	ØA	ØB	ØC	ØD	E	G	H	ØJ	K
HC-25	330	275	262	260	236,5	11	56	8,5	310
HC-31-2	400	336	310,5	308	264,5	11	65	10,5	380
HC-31-4	400	336	310,5	308	245,5	11	65	10,5	380
HC-35-2	465	390	362,5	360	275,5	11	76	10,5	450
HC-35-4	465	390	362,5	360	256,5	11	76	10,5	450
HC-40-4.../H	532	452	412,5	410	297,5	11	97,5	10,5	500
HC-40-4.../L	532	452	412,5	410	278,5	11	97,5	10,5	500
HC-40-6.../H	532	452	412,5	410	308,5	11	97,5	10,5	500
HC-45-4.../H	596	504	462,5	460	315,5	11	105	10,5	560
HC-45-4.../L	596	504	462,5	460	304,5	11	105	10,5	560
HC-45-6.../H	596	504	462,5	460	315,5	11	105	10,5	560
HC-50-4T/H	665	562	516,5	514	325,5	11	115	10,5	640
HC-50-4M/H	665	562	516,5	514	351	11	115	10,5	640
HC-50-4.../L	665	562	516,5	514	283,5	11	115	10,5	640
HC-50-6.../H	665	562	516,5	514	351	11	115	10,5	640
<b>HC-56-4T/H</b>	<b>710</b>	<b>630</b>	<b>563</b>	<b>560</b>	<b>374</b>	<b>15</b>	<b>115</b>	<b>10,5</b>	<b>721</b>
HC-56-4T/L	710	630	563	560	325,5	15	115	10,5	721
HC-56-4M/L	710	630	563	560	351	15	115	10,5	721
HC-56-6.../H	710	630	563	560	351	15	115	10,5	721
HC-63-4T/H	800	710	638	635	399	15	140	10,5	820
HC-63-4.../L	800	710	638	635	376	15	140	10,5	820
HC-63-6.../H	800	710	638	635	376	15	140	10,5	820

Figura 4.22 Dimensiones para modelo seleccionado  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

#### 4.7 Opción d) “Mejor Sistema de ventilación; rejillas hacia el exterior”.

Se propone instalar nuevas rejillas de ventilación, específicamente 8, de 50 x 50 cm ubicadas en los extremos de la máquina, para ayudar a liberar el vapor que no sea extraído por los extractores, ubicados en la zona central de la máquina. Cuatro rejillas se ubicarán en el extremo sur de la máquina y las cuatro restantes en el extremo norte.

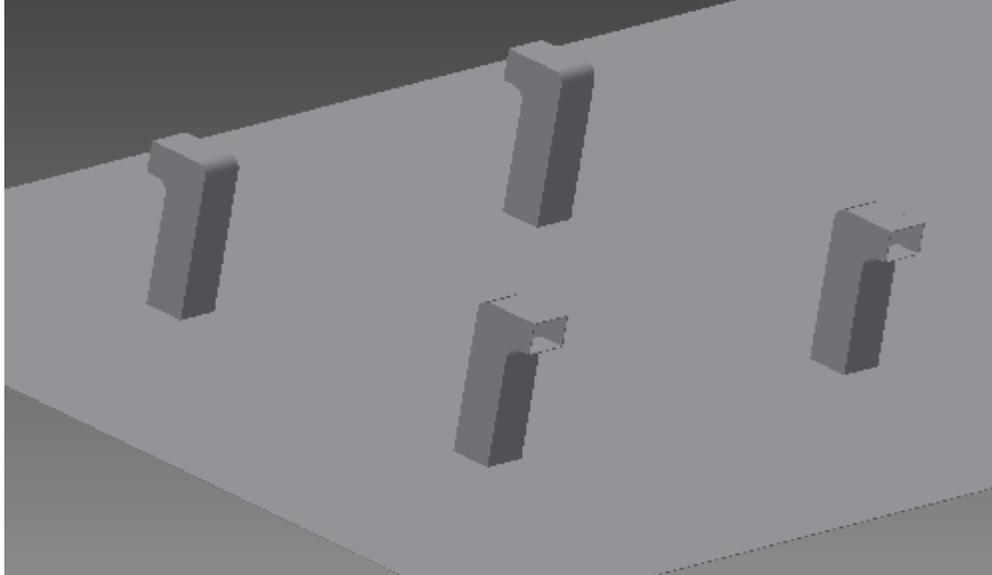


Figura 4.23 Rejillas lado norte  
Fuente: Elaboracion Propia.

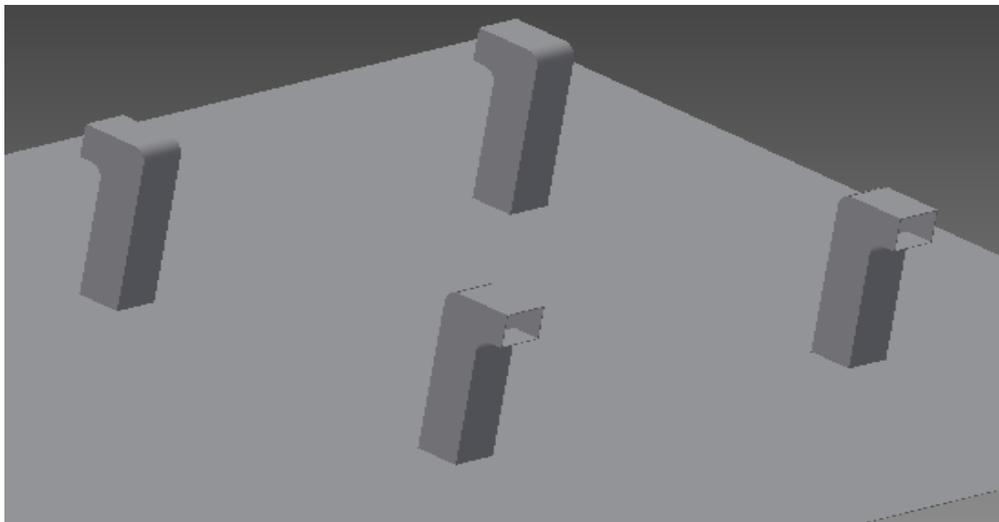


Figura 4.24 Rejillas lado sur  
Fuente: Elaboracion Propia.

Como se puede observar en las imágenes estas rejillas estarán conectadas a ductos ubicados en el entretecho del recinto, permitiendo que el vapor escape hacia el exterior y no hacia el ático como antes.

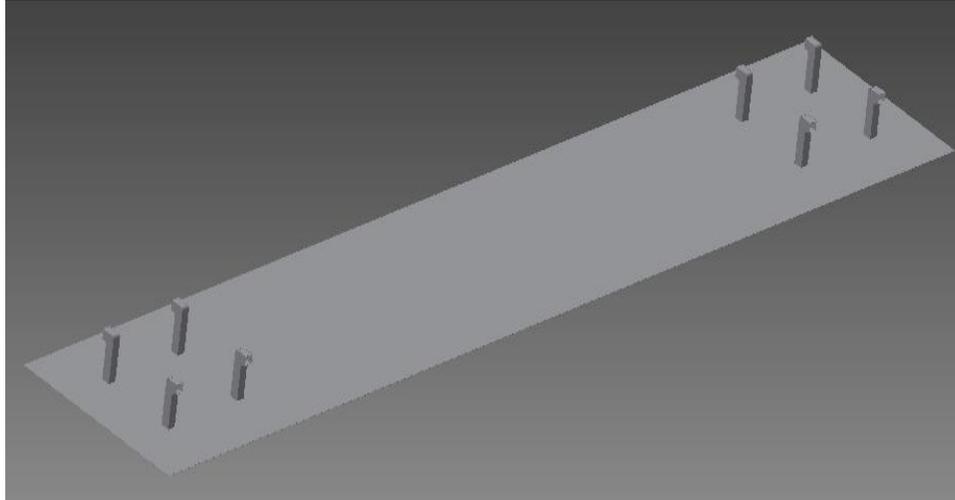


Figura 4.25 Distribución de las rejillas en el recinto  
Fuente: Elaboracion Propia.

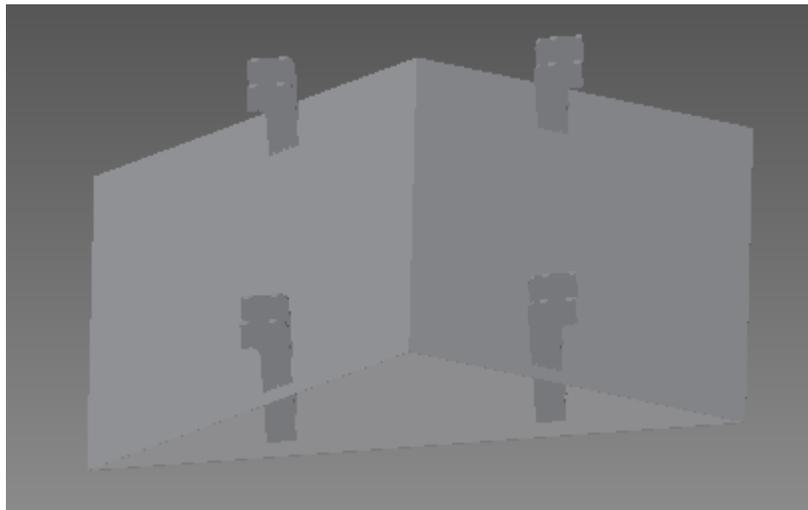


Figura 4.26 Distribución de las rejillas dentro del ático  
Fuente: Elaboracion Propia.

### 4.7.1 Dimensiones de los ductos en mm

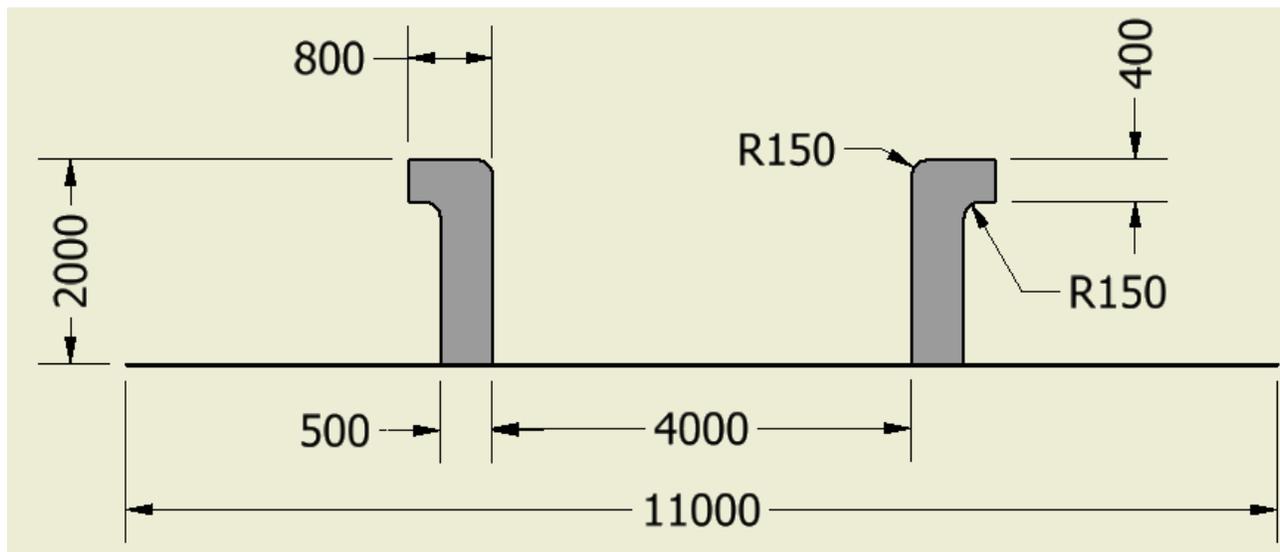


Figura 4.27 Dimensiones de los ductos en mm  
Fuente: Elaboracion Propia.

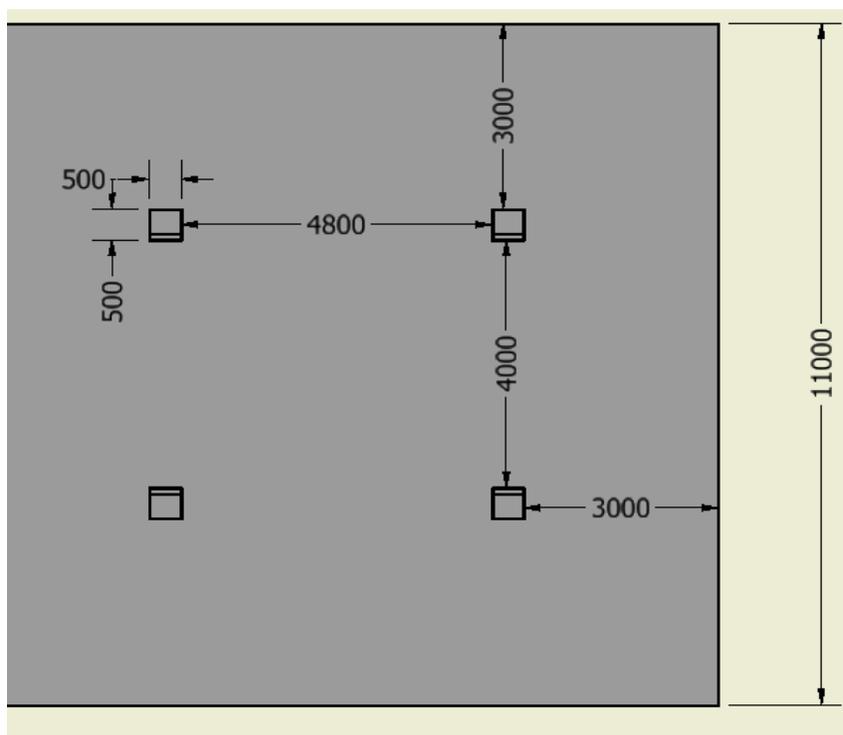


Figura 4.28 Distribución de las rejillas en mm  
Fuente: Elaboracion Propia.

#### 4.7.2 Diseño ductos para rejillas de ventilación

Son 8 ductos de ventilación de 50x50 cm y 2 m de alto.

Perímetro= a + b + c + d= 2 m

Cada ducto se fabricará con 2,5 planchas lisas laminadas en frío de 2000 mm x 1000 mm x 1,5 mm

N° planchas= N° ductos\* N° planchas/ducto= 8\* 2,5= 20 planchas

Área plancha= 2  $m^2$

Peso kg/m<sup>2</sup>= 12 (Catálogo Sack)

Peso plancha= 2  $m^2$ \* 12 kg/  $m^2$ = 24 kg

Peso total planchas= 4 planchas \* 24 kg/ plancha= 96 kg

#### 4.8 Opción e) “Cambiar los extractores existentes ubicados en el muro del recinto de la máquina”.

En base al estudio realizado anteriormente, en el cual se obtuvieron mediciones de velocidad y área de ventilación, se determinó el caudal aproximado con el cual está trabajando cada uno de los extractores (cap. 4, pág. 30), resultando un valor total de **2952 m<sup>3</sup>/h**. Este es un valor muy bajo para la cantidad de equipos (4) instalados, esto se debe al mal estado en el que se encuentran actualmente

Por lo mismo se recomienda reemplazar estos equipos por unos nuevos que puedan ayudar a liberar el vapor del recinto de la nave de una forma más eficiente. Los extractores seleccionados deben operar con un caudal de trabajo igual o mayor a la suma del caudal que actualmente están extrayendo.

**HEPT: Ventiladores helicoidales tubulares, con motor IP65.** Se propone la compra de 4 extractores **HEPT-35-4T/H** SODECA con una caudal de trabajo de 3500 m<sup>3</sup>/h.



HEPT

Figura 4.29 Extractor de muro  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máx admisible (A)		Potencia absorb. desc. libre (W)	Caudal máximo (m3/h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)		
		220-240V	380-415V				HEP	HEPT	
HEP-25-2T/H	-	2780	1,30	0,75	265	2300	64	5,3	-
HEP-25-2M/H	-	2750	1,95	-	345	2300	64	5,3	-
HEP-25-4T/H	-	1450	0,69	0,40	85	1250	52	4,5	-
HEP-25-4M/H	-	1440	0,65	-	95	1250	52	4,5	-
HEP-31-2T/H	HEPT-31-2T/H	2640	1,54	0,89	400	4000	74	7,0	7,4
HEP-31-2M/H	HEPT-31-2M/H	2640	2,30	-	410	4000	74	7,0	7,4
HEP-31-4T/H	HEPT-31-4T/H	1410	0,69	0,40	115	2400	55	5,7	6,2
HEP-31-4M/H	HEPT-31-4M/H	1410	0,75	-	130	2400	55	5,7	6,2
HEP-31-4T/L	-	1430	0,69	0,40	100	1950	54	5,1	-
HEP-31-4M/L	-	1420	0,70	-	110	1950	54	5,1	-
HEP-35-2T/H	HEPT-35-2T/H	2790	2,16	1,25	550	6020	76	8,8	9,4
HEP-35-2M/H	HEPT-35-2M/H	2675	2,80	-	560	6020	76	8,8	9,4
HEP-35-4T/H	HEPT-35-4T/H	1340	0,74	0,43	155	3500	58	7,1	7,6
HEP-35-4M/H	HEPT-35-4M/H	1340	0,98	-	160	3500	58	7,1	7,6
HEP-35-4T/L	-	1410	0,69	0,40	110	2650	56	6,5	-
HEP-35-4M/L	-	1410	0,75	-	120	2650	56	6,5	-
HEP-40-4T/H	HEPT-40-4T/H	1420	2,10	1,20	245	5200	61	10,6	13,5
HEP-40-4M/H	HEPT-40-4M/H	1400	1,85	-	355	5200	61	10,6	13,5

Figura 4.30 Características técnicas  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

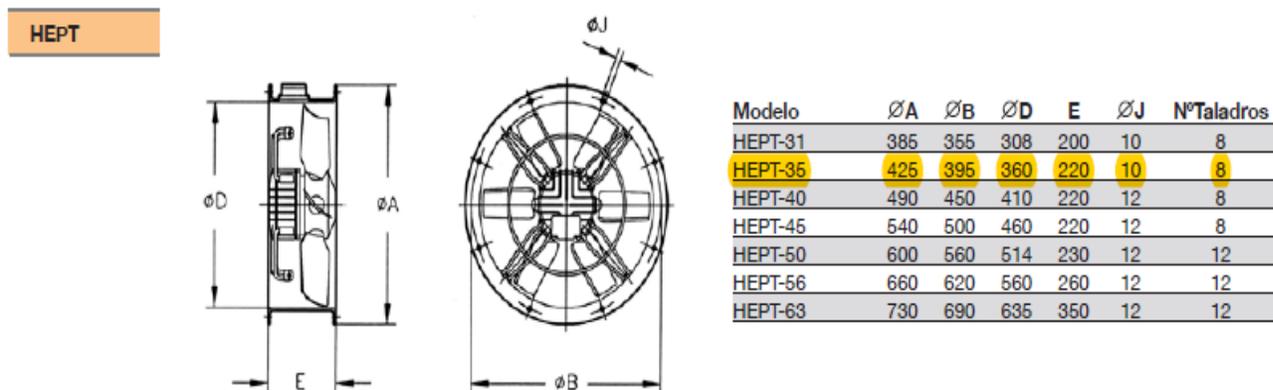


Figura 4.31 Dimensiones en mm  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

#### 4.9 Opción f) “Instalación de un pasillo en el ático para cualquier emergencia”.

##### Pisos industriales y peatonales

El metal desplegado AHOSA es la solución ideal para cubrir superficies de estructuras metálicas como plataformas, pisos y escaleras por su condición antideslizante. Se conforman de una sola pieza, sin costuras ni soldaduras y están disponibles en formatos estandarizados.

##### Características Grating Standard

Es una lámina metálica que ha sido sometida a un proceso de corte y estiramiento para convertirla en una malla. Las mallas de metal desplegado tienen las mismas propiedades físicas que los materiales que las componen, y deben ser tratadas de la misma forma.

Es importante señalar que la malla por su despliegue natural sólo necesita apoyos en el sentido longitudinal del paño, obteniendo así una importante economía en la estructura soportante. Destaca además su inigualable relación peso/resistencia.

CERTIFICADO DEL DICTUC N° 497992			
MALLA	Peso Kg./mt2	Carga en kg.	Deformación Residual
GS 135 x 5	13,34	227	2,5 mm
GS 135 x 4	10,67	149	2,5 mm
GS 135 x 3	8,00	84	2,5 mm
GS 115 x 6	16,00	273	2,5 mm
GS 115 x 5	13,34	210	2,5 mm
GS 115 x 4	10,67	203	2,5 mm
GS 115 x 3	8,00	99	2,5 mm
GS 88 x 5	13,34	269	2,5 mm
GS 88 x 4	10,67	184	2,5 mm
GS 88 x 3	8,00	128	2,5 mm
GS 75 x 4	10,67	176	2,5 mm
GS 75 x 3	8,00	118	2,5 mm
GS 62 x 4	10,67	187	2,5 mm
<b>GS 62 x 3</b>	<b>8,00</b>	<b>89</b>	<b>2,5 mm</b>
GS 42 x 3	12,00	131	2,5 mm

Ensayos de flexión realizados en probetas de 50 x 50 cm., apoyadas en 2,25 cm. en sus cuatro contornos. (Sin ningún tipo de fijación).

La carga aplicada fue puntual al centro con una placa de acero rígida de 10 cm. de diámetro y 5 cm. de espesor.



Figura 4.32 Tabla de resistencia grating standard  
Fuente: Catálogo AHOSA 2016

Se utilizará una malla GS 62 de 3 mm espesor, con un ancho de 1 m y un largo de 3 m para la elaboración del pasillo.



Ancho	Largo en mt.				Espesor en mm.			
	2	3	6	9	3	4	5	6
0,50 mt.	.	.	.	.	.	.		
0,60 mt.		.			.	.		
0,75 mt.		.			.	.		
1,00 mt.	.	.	.	.	.	.		
1,50 mt.		.			.	.		
2,00 mt.								
2,50 mt.								

Figura 4.33 Tabla dimensiones malla GS  
Fuente: Catálogo AHOSA 2016

**Cantidad de mallas a utilizar**

Nº mallas= largo del recinto/ largo de malla

Nº mallas= 60,5 m/ 3 m= 20,16 = 20 mallas

Área malla = Ancho \* Largo= 1 m \* 3 m= 3 m<sup>2</sup>

Área total del pasillo= área malla\* Nº mallas= 60 m<sup>2</sup>

Peso kg/ m<sup>2</sup> para la malla GS 62 es de 8 kg. Según tabla de resistencia.

**Peso pasillo = 60 m<sup>2</sup>\* 8 kg= 320 kg**

Se utilizaran ángulos de soporte de acero A3724 estructural soldable para la instalación del pasillo.



30x30x3 mm

7,68 kg por segmento

10 segmentos lado derecho

10 segmentos lado izquierdo

10 segmentos lado central

10 segmentos lado transversal

Total= 40 segmentos.

Peso segmentos= 7,68 kg/ seg \* 40 seg= **307,2 kg**

**Peso total ángulos= 307,2 kg**

Figura 4.34 Soporte de acero  
Fuente: Catálogo SACK 2015

A petición de la empresa se determinó el peso en kg de cada alternativa propuesta, para determinar el peso total de las mejoras y así analizar la condición estructural de las vigas del recinto por medio de un ingeniero externo, con el fin de determinar si es necesario cambiar las vigas o fortalecer la estructura del recinto. La siguiente tabla muestra el detalle de lo mencionado.

Tabla 4.10 Peso kg de cada alternativa

<b>Producto/Equipo</b>	<b>Cantidad/Superficie</b>	<b>Peso Total</b>
Pasillo/mallas GS	10	320 kg
Ángulos	40	307,2 kg
Planchas/Ductos	4	144 kg
Planchas ductos rejillas	20	96
Ventiladores	2	230 kg
Aislante Poliuretano	1360 m2	1632 kg
<b>Peso Total</b>		<b>2729,2 kg</b>

Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO V: ANALISIS ECONOMICO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORAS

### 5.1 Opción a) y b) Aislante para el cielo y para el techo

**Material aislante = Poliuretano de alta densidad**

Área cielo= ancho \* largo= 11m\* 60,5 m= 665,5 m<sup>2</sup>

Área techo = 2\*(Hip \* largo)= 2\*(5,72\* 60,5 m)= 692,12 m<sup>2</sup>

Área Total = Área cielo + Área techo = 1357,62 → 1360 m<sup>2</sup>

**PANEL MEC-DOGATO** núcleo poliuretano de alta densidad, espesor 50mm, revestimiento interior y exterior de planchas de acero galvanizado prepintado de 0,5mm y 0,5mm de espesor, RAL 9010 ambas caras frisado, C-S3,d0, UNI EN 13501-1, Certificación CE.

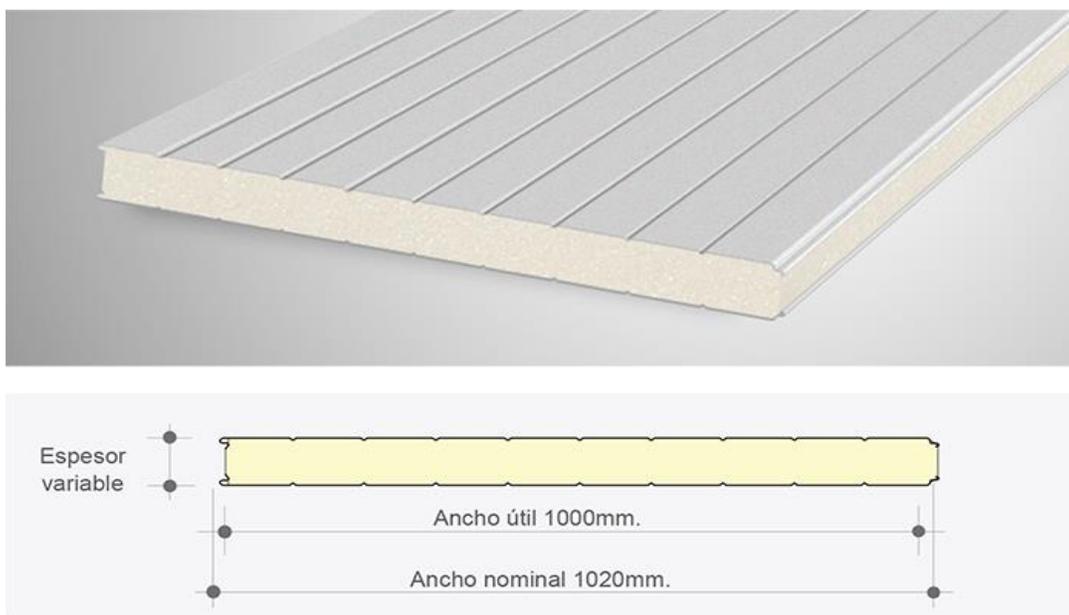


Figura 5.1 Panel Poliuretano

Fuente: Empresa MORINI

La cotización de los extractores se realizó a la empresa MORONI (Anexo C)

Tabla 5.1 Datos de cotización

Producto	Dimensiones mm	m <sup>2</sup>	Cantidad	Precio \$ m <sup>2</sup>	Precio Neto \$	Precio total (IVA)
Panel Poliuretano	1000 x 12000	1360	114	21.000	28.728.000	34.186.320

Fuente: Elaboracion propia

### 5.2 Opción c) Extractores para el tejado y muro ático



Figura 5.2 Extractores seleccionados  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

La cotización de los extractores y las planchas para los ductos se realizó a la empresa SODECA y CACERES respectivamente (Anexo C).

Tabla 5.2 Datos de cotización

Producto	Código	Cantidad	Precio c/u \$	Precio Neto \$	Precio total (IVA)
HTTI-80-4T	VEX-02	2	2.493.907	4.987.814	5.935.500
HC-56-4T/H	VEX-03	1	481.722	481.722	573.250
PL FE NEGRO 1000 x 3000 x 1,5 mm	13010300	5	22.349	111.745	132.977

Fuente: Elaboracion propia

### 5.3 Opción d) Rejillas de ventilación

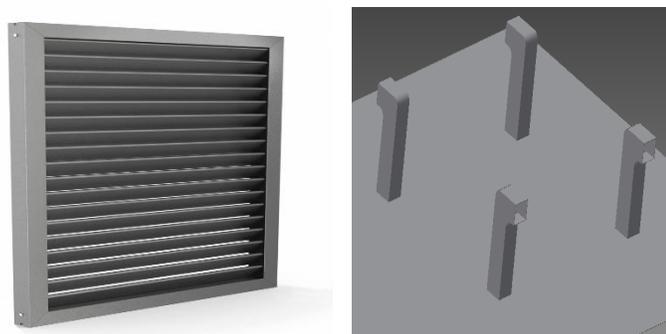


Figura 5.3 Extractores seleccionados  
Fuente: Catálogo SODECA 2016

**N° planchas**= N° ductos\* N°planchas/ducto= 8\* 2,5= 20 planchas

La cotización de las planchas se realizó a la empresa CACERES (Anexo C) y Sodimac.

Tabla 5.3 Datos de cotización

Producto	Código	Cantidad	Precio c/u \$	Precio Neto \$	Precio total (IVA)
PL FE NEGRO 1000 x 2000 x 1,5 mm	13010280	20	14.899.	297.980	354.596
Rejilla 50 x 50 cm	-----	8	10.390	83.120	98.913

Fuente: Elaboracion propia

#### 5.4 Opción e) Extractores para muro del recinto



HEPT

Figura 5.4 Extractores seleccionados

Fuente: Catálogo SODECA 2016

La cotización de los extractores se realizó a la empresa SODECA (Anexo C)

Tabla 5.5 Datos de cotización

Producto	Designación	Cantidad	Precio c/u \$	Precio Neto \$	Precio Total (IVA)
HEPT-35- 4T/H	VEX-01	4	426.749	1.706.996	2.031.325

Fuente: Elaboracion propia

### 5.5 Opción f) Instalación de pasillo entretecho del recinto.

La cotización de las mallad GS y los ángulos se realizó a la empresa AHOSA y CACERES respectivamente (Anexo C)

Tabla 5.6 Datos de cotización

<b>Producto</b>	<b>Designación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio c/u \$</b>	<b>Precio Neto \$</b>	<b>Precio Total (IVA)</b>
GS Fierro 62x3 de 1.00x3.00 Mts	GS62X3-1X3	20	44.400	888.000	1.056.720
ANGULO LAM 30 x 3 1 1/4 x 1/8	04010040	40	4.541.	181.640	216.152

Fuente: Elaboracion propia

## 5.6 Resumen económico

La siguiente tabla muestra el detalle económico de cada una de las opciones recomendadas especificando cantidad, códigos, precio unitario y total de las alternativas.

Tabla 5.7 Datos de cotización

Producto	Código	Cantidad	Precio c/u \$	Precio Neto \$	\$ IVA (19%)
Panel Poliuretano	1000 x 12000	114	21.000	28.728.000	5.458.320
HTTI-80-4T	VEX-02	2	2.493.907	4.987.814	947.685
HC-56-4T/H	VEX-03	1	481.722	481.722	91.527
PL FE NEGRO 1000 x 2000 x 1,5 mm	13010280	20	14.899.	297.980	56.616
PL FE NEGRO 1000 x 3000 x 1,5 mm	13010300	5	22.349	111.745	21.232
HEPT-35-4T/H	VEX-01	4	426.749	1.706.996	324.329
Rejilla 50 x 50 cm	-----	8	10.390	83.120	15.793
GS Fierro 62x3 de 1.00x3.00 Mts	GS62X3-1X3	20	44.400	888.000	168.720
ANGULO LAM 30 x 3 1 1/4 x 1/8	04010040	40	4.541.	181.640	34.512
<b>Inversión Neto</b>			<b>\$ 37.467.017</b>		
<b>Inversión Total (IVA)</b>			<b>\$ 44.585.750,23</b>		

Fuente: Elaboracion propia

Después de analizar y cotizar cada opción recomendada en distintas empresas, se concluye que la inversión total necesaria para la empresa BO PAPER Bio Bio S.A., para implementar cada una de las alternativas y mejorar las condiciones ambientales del recinto de la máquina papelera N°2 es de **\$ 44.585.750,23**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Mediante mediciones de temperatura y humedad relativa en distintos puntos del recinto, máquina papelera N°2 y midiendo la temperatura del cielo, se pudo comprobar mediante cálculos y análisis psicrométrico, apoyándose en el software EES, que efectivamente se produce una gran condensación ( $T_R > T_{sup}$ ) de vapor de agua sobre esta superficie la cual da origen a precipitaciones de agua líquida sobre toda la zona inferior, lo anterior también se puede apreciar visualmente, en diferentes figuras del texto.
- Realizando una inspección del interior del ático, se verificó las malas condiciones estructurales del techo, vigas y madera que protegían el techo, producto de la gran cantidad de vapor que se filtraba a este sector a través de rejillas que daban al interior y que deberían haberse canalizado hacia el exterior.
- Utilizando el software EES se concluyó que se debe reemplazar el cielo falso, eliminar la madera colocada en el techo como “aislante” y aislar tanto el cielo como el techo del recinto. Para lo cual se realizaron varios programas en los cuales se simuló la estructura del recinto (cielo y techo) con distintos aislantes y espesores para determinar la opción más conveniente técnicamente, que garantice las condiciones impuestas ( $T_{sup} > T_R$  y  $T_a > t_{\text{ático}} > t_e$ ) para evitar la condensación. Entre los aislantes utilizados destacan lana mineral, poliestireno y poliuretano, todos cumplían con las condiciones, pero el más seguro y el seleccionado fue el poliuretano ( $T_{sup} = 39,67^\circ\text{C} > T_R = 33,69^\circ\text{C}$  y  $T_{amb} > T_{\text{ático}} = 22,16^\circ\text{C} > T_e$ ) para un espesor de 50 mm. De lo anterior nace la propuesta de cambiar totalmente techo y cielo del recinto, realizando una evaluación económica de estas modificaciones de \$ 34.186.320.
- Se determinó la instalación de dos extractores de tejado modelo HTTI -80-4T SODECA, con una capacidad de  $33300 \text{ m}^3/h$ , ubicados en la zona de prensas y en la salida de la zona de secado respectivamente, los cuales extraerán el aire húmedo desde el recinto hacia el exterior directamente a través de un ducto circular de 820 mm de diámetro y 2 m de alto. Esta opción tiene un costo total de \$ 6.068.477.

- Eliminar las actuales rejillas de ventilación las cuales liberan el aire húmedo hacia el ático y no al exterior, por 8 nuevas rejillas de 50x50 cm conectados directamente a ductos que permitan el escape hacia el exterior. Cuatro rejillas ubicadas en el lado norte antes de la máquina y 4 en el lado sur ubicadas después de la máquina. El costo total de esta opción es de \$ 453.509.
- Reemplazar los 4 extractores actuales del muro derecho del recinto, los cuales se encuentran en malas condiciones producto de la antigüedad y por partículas de papel que transporta el aire que los tienen atorados. Los 4 nuevos extractores HEPT-35-4T/H SODECA con un caudal de trabajo de 3500 m<sup>3</sup>/h permitirán extraer un mayor caudal del recinto ayudando a reducir la masa de aire caliente en el interior. El costo de esta opción es de \$ 2.031.325.
- Se recomienda la instalación de un pasillo en el ático de 0,5 m de ancho formado por mallas GS de 3 m de largo unidos a ángulos de 30x30x3 mm, para tener un acceso seguro en caso de reparación o emergencia. El costo de esta opción es de \$1.272.872.
- Se recomienda la instalación de un extractor mural modelo HC -56-4T/H SODECA con un caudal de trabajo de 13000 m<sup>3</sup>/h en el ático, en caso que sea necesario, para eliminar el vapor que pudiese acumular en su interior. Una vez instaladas las mejoras propuestas. El costo de esta opción es de \$2.031.325. El costo total para estas recomendaciones es de \$3.304.197.

Todas y cada una de estas posibles soluciones para mejorar las condiciones del recinto de la máquina N°2 se cotizaron en distintas empresas por ejemplo Sodeca, Ahosa, Hermanos Caceres, Morini entre otras. Por lo tanto la inversión total para la empresa BO PAPER Bio Bio S.A considerando las mejoras necesarias más las recomendaciones presentadas es de **\$ 44.585.750,23**.

Si bien es un valor alto y no tiene ganancias directamente para la empresa en términos económicos, le brinda otros beneficios como un ambiente seguro y agradable para sus trabajadores, mejor calidad en el producto final, seguridad en el proceso de fabricación y un recinto acondicionado por largo tiempo.

## **BIBLIOGRAFIA.**

- Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. Termodinámica 5° edición. Año 2006.
- Carrier Air Conditioning Company. Manual de Aire Acondicionado. Año 1980.
- SODECCA. Catálogo de Ventiladores Helicoidales y Extractores de Tejado. Año 2016.
- Soler & Palau. Catálogo General S&P. Año 2013.
- SACK. Catálogo Todo un Mundo en Acero. Año 2015.
- AHOSA. Catálogo Grating Standard. Año 2017.
- Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena Oficial: Acondicionamiento Térmico, Envoltura Térmica de Edificios, Cálculos de Resistencias y Transmitancias Térmicas. Norma Nch 853-2007.
- Norma Nch 1078.c73
- SODECA. Cotizaciones y Equipos. Extraído de: <http://www.sodeca.es>
- AHOSA. Cotizaciones Malla GS. Extraído de: <http://www.ahosa.cl/index.php?mod=op1>
- Aceros Reseller. Cotizaciones Planchas Lisas de Acero. Extraído de: <https://www.acerosreseller.cl/>
- MORONI. Cotización de Paneles Poliuretano. Extraído de: <http://panelesyestructurasmoroni.cl/panel-poliuretano/>
- CACERES. Cotizaciones Planchas lisas de acero. Extraído de: <http://www.cacereshermanos.com/>
- Plastigen. Cotizaciones Poliuretano. Extraído de: <http://www.plastigen.cl/index.php?route=common/home>

## Anexo A “PROGRAMAS EES”

### “Cálculo de la masa de vapor disipada al ambiente y demostración del fenómeno de condensación”

$$\rho_{\text{papel}} = 50$$

$$\text{gr/m}^2$$

$$\text{ancho}_{\text{papel}} = 1,68$$

$$\text{m}$$

$$\text{velocidad}_{\text{papel}} = 165$$

$$\text{m/min}$$

$$\text{Area}_{\text{papel};\text{min}} [\text{m}^2/\text{min}] = \text{ancho}_{\text{papel}} [\text{m}] \cdot \text{velocidad}_{\text{papel}} [\text{m}/\text{min}] \quad \text{m}^2/\text{min}$$

$$\text{masa}_{\text{papel};\text{min}} [\text{kg}/\text{min}] = \rho_{\text{papel}} [\text{gr}/\text{m}^2] \cdot \text{Area}_{\text{papel};\text{min}} [\text{m}^2/\text{min}] \quad \text{gr}/\text{min}$$

$$\text{masa}_{\text{papel};\text{hora}} [\text{kg}/\text{h}] = \text{masa}_{\text{papel};\text{min}} [\text{kg}/\text{min}] \cdot \frac{60}{1000} \quad \text{kg}/\text{h}$$

$$\text{Humedad}_{\text{inicial}} = 0,6$$

$$\text{Humedad}_{\text{final}} = 0,07$$

$$\text{agua}_{\text{inicial}} = \text{masa}_{\text{papel};\text{hora}} [\text{kg}/\text{h}] \cdot \text{Humedad}_{\text{inicial}}$$

$$\text{masa}_{\text{papel};\text{seco}} [\text{kg}] = \text{masa}_{\text{papel};\text{hora}} [\text{kg}/\text{h}] - \text{agua}_{\text{inicial}}$$

$$\text{Humedad}_{\text{final}} = \frac{\text{agua}_{\text{final}}}{\text{masa}_{\text{papel};\text{seco}} [\text{kg}] + \text{agua}_{\text{final}}}$$

$$\text{agua}_{\text{extraer};\text{hora}} [\text{kg-v}/\text{h}] = \text{agua}_{\text{inicial}} - \text{agua}_{\text{final}}$$

$$\text{masa}_{\text{agua};\text{evaporada}} [\text{kg-v}/\text{h}] = \text{agua}_{\text{extraer};\text{hora}} [\text{kg-v}/\text{h}]$$

vapor al ambiente

$$\text{Volume}_{\text{recinto}} [\text{m}^3] = 4000 \quad \text{m}^3$$

Propiedades del vapor

$$P [\text{kPa}] = 101,3$$

$$T_2 = 39$$

$$\text{HR}_2 = 0,80$$

$$TR_2 [C] = DP (AIRH2O ; T = T_2 [C]; R = HR_2; P = P [kPa] )$$

$$W_2 [kg v/kg a.s] = \omega (AIRH2O ; T = T_2 [C]; R = HR_2; P = P [kPa] )$$

$$V_2 [m^3/kg a.a] = v (AIRH2O ; T = T_2 [C]; R = HR_2; P = P [kPa] )$$

$$V_2 [m^3/kg a.a] = \frac{\text{Volumen [m}^3]}{\text{mas [kg-a.s]}}$$

$$\text{Volumen [m}^3] = 4000 \text{ m}^3$$

HUMEDAD DEL VAPOR AL AIRE

$$\text{humedad}_{\text{hora}} = 475$$

kg agua/h

$$Mv_{\text{ambiente}} [kg/h] = \text{fracc}_{\text{evap}} \cdot \text{masa}_{\text{agua, evaporada}} [kg-v/h] \text{ kg v/h}$$

$$\text{fracc}_{\text{evap}} = 0,1$$

$$\Delta W [kg-v/kg-a.s] = \frac{Mv_{\text{ambiente}} [kg/h]}{\text{mas [kg-a.s]}} \text{ kgv/h}$$

$$W_1 [kg v/kg a.s] = W_2 [kg v/kg a.s] - \Delta W [kg-v/kg-a.s]$$

$$T_2 [C] = T_1 [C]$$

$$TR_1 [C] = DP (AIRH2O ; w = W_1 [kg v/kg a.s] ; T = T_1 [C]; P = P [kPa] )$$

$$HR_1 = RH (AIRH2O ; T = T_1 [C]; w = W_1 [kg v/kg a.s] ; P = P [kPa] )$$

$$HR_3 = 1$$

$$W_3 [kg v/kg a.s] = W_2 [kg v/kg a.s]$$

$$T_3 [C] = T (AIRH2O ; w = W_3 [kg v/kg a.s] ; R = HR_3; P = P [kPa] )$$

$$HR_4 = 1$$

$$T_4 = 28$$

$$W_4 [kg v/kg a.s] = \omega (AIRH2O ; T = T_4 [C]; R = HR_4; P = P [kPa] )$$

$$mvapor_{\text{cond}} [kg-v/h] = \text{mas [kg-a.s]} \cdot (W_2 [kg v/kg a.s] - W_4 [kg v/kg a.s] ) \text{ kg v/h}$$

**“Cálculo para determinar el espesor del aislante para el cielo en condiciones actuales”**

$$Q_{\text{cielo}} \text{ [W]} = h_i \text{ [W/m}^2\text{-k]} \cdot A_{\text{cielo}} \text{ [m}^2\text{]} \cdot (T_a \text{ [}^\circ\text{C]} - t_{\text{sup}} \text{ [}^\circ\text{C]}) \text{ W}$$

$$h_i = 1/R_{ci}$$

$$R_{ci} = 0,1$$

$$\text{m}^2 \text{ K/W}$$

$$A_{\text{cielo}} = 665,5$$

$$\text{m}^2$$

$$T_a = 40,5$$

$$^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{sup}} = 38$$

$$^\circ\text{C}$$

Temperatura mínima necesaria para evitar la condensación del recinto

$$Q_{\text{cielo}} \text{ [W]} = Q_{\text{techo}} \text{ [W]} \text{ W}$$

$$Q_{\text{techo}} \text{ [W]} = U_{\text{techo}} \text{ [W/m}^2\text{-k]} \cdot A_{\text{techo}} \text{ [m}^2\text{]} \cdot (t_{\text{at}} \text{ [}^\circ\text{C]} - t_e \text{ [}^\circ\text{C]}) \text{ W}$$

$$U_{\text{techo}} = 1,42$$

$$A_{\text{techo}} = 692,2$$

$$\text{m}^2$$

$$t_e = 5$$

$$^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{cielo}} \text{ [W]} = U_{\text{cielo}} \text{ [W/m}^2\text{-k]} \cdot A_{\text{cielo}} \text{ [m}^2\text{]} \cdot (T_a \text{ [}^\circ\text{C]} - t_{\text{at}} \text{ [}^\circ\text{C]}) \text{ W}$$

$$U_{\text{cielo}} \text{ [W/m}^2\text{-k]} = \frac{1}{R_{\text{total\_cielo}} \text{ [m}^2\text{-K/W]}} \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$R_{\text{total\_cielo}} \text{ [m}^2\text{-K/W]} = 2 \cdot R_{ci} \text{ [m}^2\text{-K/W]} + 2 \cdot R_{k_{\text{zinc}}} \text{ [m}^2\text{-k/W]} + R_{\text{aislante}} \text{ [m}^2\text{-k/W]} \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_{k_{\text{zinc}}} \text{ [m}^2\text{-k/W]} = \frac{\text{Espesor} \text{ [m]}}{\text{conduct} \text{ [W/m-K]}}$$

$$\text{Espesor} \text{ [m]} = \frac{1}{1000} \text{ m}$$

$$\text{conduct} \text{ [W/m-K]} = 110 \text{ W/m K}$$

$$R_{\text{aislante}} \text{ [m}^2\text{-k/W]} = \frac{\text{Espesor}_{\text{aislante}} \text{ [m]}}{K_{\text{aislante}} \text{ [W/m-k]}}$$

$$K_{\text{aislante}} \text{ [W/m-k]} = 0,04 \text{ W/m K}$$

$$\text{Espesor}_{\text{cielo,mm}} \text{ [mm]} = \text{Espesor}_{\text{aislante}} \text{ [m]} \cdot 1000$$

**“Cálculo para determinar la temperatura de la superficie del cielo del recinto dado un cierto espesor”**

$$Q_{\text{cielo}} [\text{W}] = h_i \cdot A_{\text{cielo}} [\text{m}^2] \cdot (T_a [\text{C}] - t_{\text{sup}} [^{\circ}\text{C}])$$

$$h_i = 1/R_{ci}$$

$$R_{ci} = 0,1$$

$$A_{\text{cielo}} = 665,5$$

$$\text{m}^2$$

$$T_a = 40,5$$

$$^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{sup}} = 35$$

Temperatura mínima necesaria para evitar la condensación del recinto

$$Q_{\text{cielo}} [\text{W}] = Q_{\text{techo}} [\text{W}]$$

$$Q_{\text{techo}} [\text{W}] = U_{\text{techo}} [\text{W/m}^2\text{-K}] \cdot A_{\text{techo}} [\text{m}^2] \cdot (t_{\text{ático}} [^{\circ}\text{C}] - t_e [^{\circ}\text{C}])$$

$$U_{\text{techo}} = 1,42$$

$$A_{\text{techo}} = 692,2$$

$$\text{m}^2$$

$$t_e = 5$$

$$^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{cielo}} [W] = U_{\text{cielo}} [W/m^2 \cdot K] \cdot A_{\text{cielo}} [m^2] \cdot (T_a [C] - t_{\text{ático}} [^{\circ}C])$$

$$U_{\text{cielo}} [W/m^2 \cdot K] = \frac{1}{R_{\text{total\_cielo}} [m^2 \cdot K / W]}$$

$$R_{\text{total\_cielo}} [m^2 \cdot K / W] = 2 \cdot R_{\text{ci}} [m^2 \cdot K / W] + 2 \cdot R_{K_{\text{zinc}}} [m^2 \cdot K / W] + R_{\text{aislante}} [m^2 \cdot K / W]$$

$$R_{K_{\text{zinc}}} [m^2 \cdot K / W] = \frac{\text{espesor}_{\text{zinc}} [m]}{\text{conduct} [W/m \cdot K]}$$

$$\text{espesor}_{\text{zinc}} [m] = \frac{1}{1000}$$

$$\text{conduct} [W/m \cdot K] = 110$$

$$R_{\text{aislante}} [m^2 \cdot K / W] = \frac{\text{espesor}_{\text{aislante}} [m]}{K_{\text{aislante}} [W/m \cdot K]}$$

$$K_{\text{aislante}} = 0,043$$

$$\text{Espesor}_{\text{Cielo,mm}} [mm] = \text{espesor}_{\text{aislante}} [m] \cdot 1000$$

$$\text{Espesor}_{\text{Cielo,mm}} = 20$$

Espesor del aislante estimado para el cielo

**"Cálculo para determinar el espesor del aislante para el techo según el espesor dado del cielo y la t superficial necesaria para evitar la condensación"**

$$Q_{\text{cielo}} [\text{W}] = h_i [\text{W/m}^2\cdot\text{k}] \cdot A_{\text{cielo}} [\text{m}^2] \cdot (T_a [^\circ\text{C}] - t_{\text{sup}} [^\circ\text{C}])$$

$$h_i = 1/R_{ci}$$

$$R_{ci} = 0,1$$

$$A_{\text{cielo}} = 665,5$$

$$\text{m}^2$$

$$T_a = 40,5$$

$$^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{sup}} = 35$$

Temperatura mínima necesaria para evitar la condensación del recinto

$$Q_{\text{cielo}} [\text{W}] = Q_{\text{techo}} [\text{W}]$$

$$Q_{\text{techo}} [\text{W}] = U_{\text{techo}} [\text{W/m}^2\cdot\text{k}] \cdot A_{\text{techo}} [\text{m}^2] \cdot (t_{\text{ático}} [^\circ\text{C}] - t_e [^\circ\text{C}])$$

$$R_{\text{total}_{\text{techo}}} [\text{m}^2\cdot\text{k/W}] = \frac{1}{U_{\text{techo}} [\text{W/m}^2\cdot\text{k}]}$$

$$A_{\text{techo}} = 692,2$$

$$\text{m}^2$$

$$t_e = 5$$

$$^\circ\text{C}$$

$$R_{\text{total}_{\text{techo}}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}] = R_{\text{ci}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}] + R_{\text{ext}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}] + R_{\text{k}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}]$$

$$R_{\text{ext}} = 0,04$$

$$R_{\text{k}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}] = \frac{\text{Espesor} [\text{m}]}{K_{\text{aislante}} [\text{W/m} \cdot \text{k}]}$$

$$\text{Espesor}_{\text{techo},\text{m}} [\text{m}] = \text{Espesor} [\text{m}]$$

$$Q_{\text{cielo}} [\text{W}] = U_{\text{cielo}} [\text{W/m}^2 \cdot \text{k}] \cdot A_{\text{cielo}} [\text{m}^2] \cdot (T_{\text{a}} [^{\circ}\text{C}] - t_{\text{ático}} [^{\circ}\text{C}])$$

$$U_{\text{cielo}} [\text{W/m}^2 \cdot \text{k}] = \frac{1}{R_{\text{total}_{\text{cielo}}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}]}$$

$$R_{\text{total}_{\text{cielo}}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}] = 2 \cdot R_{\text{ci}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}] + 2 \cdot R_{\text{K}_{\text{zinc}}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}] + R_{\text{aislante}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}]$$

$$R_{\text{K}_{\text{zinc}}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}] = \frac{\text{espesor}_{\text{zinc}} [\text{m}]}{\text{conduct} [\text{W/m} \cdot \text{k}]}$$

$$\text{espesor}_{\text{zinc}} [\text{m}] = \frac{1}{1000}$$

$$\text{conduct} [\text{W/m} \cdot \text{k}] = 110$$

$$R_{\text{aislante}} [\text{m}^2 \cdot \text{k/W}] = \frac{\text{espesor}_{\text{cielo},\text{m}} [\text{m}]}{K_{\text{aislante}} [\text{W/m} \cdot \text{k}]}$$

$$K_{\text{aislante}} = 0,043$$

$$\text{espesor}_{\text{cielo},\text{m}} = 0,02$$

Espesor del aislante estimado para el cielo

**"Cálculo para determinar la  $t_{sup}$  y  $t_{ático}$  según espesores del techo y cielo (Nuevo diseño)"**

$$Q_{cielo} [W] = h_i [m^2 \cdot k/W] \cdot A_{cielo} [m^2] \cdot (T_a [^\circ C] - t_{sup} [^\circ C])$$

$$h_i = 1/R_{ci}$$

$$R_{ci} = 0,1$$

$$A_{cielo} = 665,5$$

$$m^2$$

$$T_a = 40,5$$

$$^\circ C$$

$$T_{sup} = 35$$

Temperatura mínima necesaria para evitar la condensación del recinto

$$Q_{cielo} [W] = Q_{techo} [W]$$

$$Q_{techo} [W] = U_{techo} [W/m^2 \cdot k] \cdot A_{techo} [m^2] \cdot (t_{ático} [^\circ C] - t_e [^\circ C])$$

$$R_{total_{techo}} [m^2 \cdot k/W] = \frac{1}{U_{techo} [W/m^2 \cdot k]}$$

$$A_{techo} = 692,2$$

$$m^2$$

$$t_e = 5$$

$$^\circ C$$

$$R_{total_{techo}} [m^2 \cdot kW] = R_{ci} [m^2 \cdot kW] + R_{ext} [m^2 \cdot kW] + R_k [m^2 \cdot kW]$$

$$R_{ext} [m^2 \cdot kW] = 0,04$$

$$R_k [m^2 \cdot kW] = \frac{\text{Espesor}_{techo} [m]}{K_{aislante} [W/m \cdot k]}$$

$$\text{Espesor}_{techo} = 0,04$$

$$Q_{cielo} [W] = U_{cielo} [W/m^2 \cdot k] \cdot A_{cielo} [m^2] \cdot (T_a [^\circ C] - t_{atico} [^\circ C])$$

$$U_{cielo} [W/m^2 \cdot k] = \frac{1}{R_{total_{cielo}} [m^2 \cdot kW]}$$

$$R_{total_{cielo}} [m^2 \cdot kW] = 2 \cdot R_{ci} [m^2 \cdot kW] + 2 \cdot R_{k_{zinc}} [m^2 \cdot kW] + R_{aislante} [m^2 \cdot kW]$$

$$R_{k_{zinc}} [m^2 \cdot kW] = \frac{\text{espesor}_{zinc} [m]}{\text{conduct} [W/m \cdot k]}$$

$$\text{espesor}_{zinc} [m] = \frac{1}{1000}$$

$$\text{conduct} [W/m \cdot k] = 110$$

$$R_{aislante} [m^2 \cdot kW] = \frac{\text{espesor}_{cielo,m} [m]}{K_{aislante} [W/m \cdot k]}$$

$$K_{aislante} = 0,043$$

$$\text{espesor}_{cielo,m} = 0,04$$

Espesor del aislante estimado para el cielo

### "Cálculo de la temperatura de punto de Rocío ático y temp de la sup del ático"

$$HR_a = 0,6$$

$$TR_a [^\circ C] = DP (AIRH_2O ; T = t_{atico} [^\circ C]; R = HR_a [\%]; P = P [kpa] )$$

$$P [kpa] = 101,3$$

$$Q_{techo} [W] = h_i [m^2 \cdot kW] \cdot A_{techo} [m^2] \cdot (t_{atico} [^\circ C] - t_{sup_{techo}} [^\circ C])$$

## Anexo B “TABLAS Y NORMAS”

A- 9 -

**Nch 853.EOF71**  
**Tabla 2 conductividad térmica válida ( $\lambda$ ) y densidad aparente( $\rho$ ) de materiales de construcción**

N°	Material (M)	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ W/(mK)
<b>M.1</b>	<b>Aislantes térmicos</b>		
M.1.1	En forma de colchonetas y fieltros		
M.1.1.1	Colchoneta aislante de algodón	14	0,35
M1.1.2	Colchoneta de lana minaral,entre papel, según densidades aparentes	35< $\rho$ <40 40< $\rho$ <50 50< $\rho$ <60 60< $\rho$ <70 70< $\rho$ <80 80< $\rho$ <90 90< $\rho$ <110 110< $\rho$ <130	0,047 0,044 0,041 0,040 0,038 0,038 0,037 0,037M.
M.1.1.3	Fibra de lino entre papel	78	0,041
M.1.1.4	Fibra de madera, tratada químicamente y colocada entre capas de cartón	58	0,036
M.1.1.5	Fieltro de vidrio embreado	58	0,05
M.1.2	En forma de planchas (rígidas y semirígidas)		
M.1.2.1	Lanas minerales de vidrio, rígidas o semirígidas	150< $\rho$ <200 200< $\rho$ <300	0,052 0,058
M1.2.2	Madera triturada y cemento	390 480	0,066 0,11
M.1.2.3	Materias plásticas expandidas		
M.1.2.3.1	Caucho espuma	50< $\rho$ <100 200 300 400 500	0,035 0,45 0,06 0,07 0,09
M.1.2.3.2	Cloruro de polivinilo expandido	40< $\rho$ <16	0,036
M.1.2.3.3	Ebonita expandida	64	0,031
M.1.2.3.4	Formaldeido de fenol celular	32	0,042
M.1.2.3.5	Poliestireno expandido, según densidades aparentes	10< $\rho$ <16 20< $\rho$ <25 25< $\rho$ <30	0,036 0,035 0,034
M.1.2.3.6	Poliuretano expandido	24	0,025
M.1.2.4	Panles de amianto	200 300 400 500 600 800	0,056 0,065 0,078 0,084 0,105 0,15

**Nch 853.EOF71  
Tabla 2 (continuación)**

<b>N°</b>	<b>Material (M)</b>	<b><math>\rho</math> kg/m<sup>3</sup></b>	<b><math>\lambda</math> W/(mK)</b>
M1.2.5	Paneles de fibras aglomeradas, con colas orgánicas	200	0,044
		250	0,045
		300	0,047
		350	0,050
		400	0,052
		450	0,055
		500	0,059
		550	0,064
600	0,071		
M.1.2.6	Paneles de fibra de vidrio	16	0,051
		22	0,042
		40	0,040
		54	0,036
M.1.2.7	Plancha de corcho	100	0,040
		200	0,047
		300	0,058
		400	0,066
		500	0,074
M.1.2.8	Plancha de corcho aglomerado con asfalto	230	0,047
M.1.3.4	Plancha de corcho sin aglomerante	96	0,035
		112	0,038
		170	0,043
		224	0,049
M.1.3.	Material suelto ( de relleno)		
M.1.3.1	Aserrín de corcho (≈5 mm)	130	0,044
M.1.3.2	Aserrín de madera	190	0,06
M.1.3.3	Corcho granulado	50	0,035
		100	0,040
		150	0,045
		200	0,050
M.1.3.4	Corteza de pino	80	0,037
M.1.3.5	Escorias de alto horno	---	0,11
M.1.3.6	Fibras de vidrio ( 0,008 a 0,15 mm)	24	0,040
M.1.3.7	Lana de amianto	100	0,061
		200	0,063
		400	0,12
M.1.3.8	Lana de vidrio	50	0,041
		100	0,039
		200	0,041
		300	0,048
		400	0,056

**Nch 853.EOF71**  
**Tabla 2 (continuación)**

<b>N°</b>	<b>Material (M)</b>	<b><math>\rho</math> kg/m<sup>3</sup></b>	<b><math>\lambda</math> W/(mK)</b>
M.1.3.9	Lana mineral granulada, aplicada a mano o a máquina en espesores de 5 a 15 cm, posición horizontal; sin recubrimiento	40< $\rho$ <60	0,043
M.1.3.10	Material fibroso, a base de solomita y sílice	24	0,038
M.1.3.11	Material fibroso, a base de escoria	150	0,038
M.1.3.12	Material granular aislante fabricado con silicato cálcico y alúmina	67	0,035
M.1.3.13	Poliestireno en partículas	15	0,036
M.1.3.14	Vermiculita expandida	100	0,070
M.1.3.15	Vermiculita en partículas	99	0,047
<b>M.2</b>	<b>Cubiertas</b>		
M.2.1	Asbestocemento en planchas onduladas	1800< $\rho$ <2000	0,76
M.2.2	Asbetoscemento en planchas planas	1400< $\rho$ 1800	0,65
M.2.3	Asfalto	2100	0,9
M.2.4	Bitumén (betún)	1050	0,16
M.2.5	Cartón asfaltado	1100	0,14
M.2.6	Fibro cemento (amiento-cemento-celulosa)	1400< $\rho$ <1800 1000< $\rho$ <1400	0,46 0,35
M.2.7	Planchas onduladas metálicas	---	50
M.2.8	Tejas curvas	---	0,76
M.2.10	Tejas y planchas prensadas de fibrocemento	1800	0,76
<b>M.3</b>	<b>Hormigones</b>		
M.3.1	Bloques huecos de hormigón (promedio)	1160 1150 500	0,94 0,76 0,66
M.3.2	Hormigón armado, dosificación normal	2400	1,75(1,50)
M.3.3	Hormigón celular		
M.3.3.1	Hormigón con cenizas	1000	0,41
M.3.3.2	Hormigón con escorias de altos hornos	600 800 1000	0,17 0,22 0,30
M.3.3.3	Hormigón normal, con áridos silíceos	600 800 1000	0,34 0,49 0,67
M.3.4	Hormigón liviano (piedra pómez, escoria dilatada, puzolana, pliestireno expandido es copos, vermiculita, etc.)	600 800 1000 1200 1400	0,17 0,26 0,33 0,43 0,55

**Nch 853.EOF71**  
**Tabla 2 (continuación)**

Nº	Material (M)	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ W/(mK)
M.3.5	Hormigón con grava normal, sin armar		
M.3.5.1	Hórmigón con áridos livianos	1600 1800	0,73 0,93
M.3.5.2	Hormigón con áridos ordianrios, sin virar	2000	0,16
M.3.5.3	Hormigón con áridos ordinarios, virados	2200 2400	1,40 1,75
M.3.6	Hormigón de madera		
M.3.6.1	Hormigón con viruta de madera	450< $\rho$ <650	0,26
M.3.6.2	Hormigón de fibras de madera	300< $\rho$ <400 400< $\rho$ <500 500< $\rho$ <600	0,12 0,14 0,16
M.3.7	Placa de hormigón	2000	0,77
M.3.8	Placa de hormigón de escorias	1350	0,29
<b>M.4</b>	<b>Ladrillos</b>		
M.4.1	Albañilería de ladrillo, incluso las juntas de mortero		
M.4.1.1	Clinker	$\rho \geq 1900$	1,05
M.4.1.2	Clinker hueco	---	0,79
M.4.1.3	Ladrillo hueco	1000 1200 1400	0,46 0,52 0,60
M.4.1.4	Ladrillo macizo	1000 1200 1400 1800 2000	0,46 0,52 0,60 0,79 1,0
M.4.2	Ladrillo hecho a mano	---	0,5
M.4.3	Ladrillo liviano con agregados	600 800	0,25 0,31
M.4.4	Muros de adobes	1100< $\rho$ <1800	0,90
M.4.5	Muros de ladrillos livianos	800 1000 1200	0,34 0,41 0,49
M.4.6	Muros de ladrillos normales	1600 1800 2000	0,76 0,87 1,05
<b>M.5</b>	<b>Maderas</b>		
M.5.1	Maderas livianas, tales como: álamo, pino araucaria, roble, pellín, eucalipto	600< $\rho$ <900	0,23
M.5.3.	Madera terciada	400< $\rho$ <600	0,14
M.5.4	Paneles de fibras de madera prensada	850< $\rho$ <1000	0,20
M.5.5	Viruta de madera	140 210	0,06 0,051

**Nch 853.EOF71**  
**Tabla 2 (continuación)**

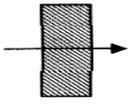
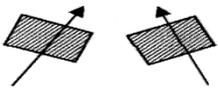
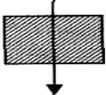
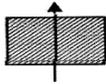
<b>N°</b>	<b>Material (M)</b>	<b><math>\rho</math> kg/m<sup>3</sup></b>	<b><math>\lambda</math> W/(mK)</b>
M.5.6	Viruta de madera mineralizada y con cemento	400	0,066
M.5.7	Viruta de madera prensada	650	0,082
M.6	<b>Materiales a granel o en polvo</b>		
M.6.1	Arena	1600	0,49
M.6.2	Escorias	800 1000 1200 1400	0,25 0,29 0,34 0,41
M.6.3	Grava	1800< $\rho$ <2200	0,8
M.6.4	Ladrillo molido	---	0,4
M.6.5	Productos minerales a granel	200 400 600	0,15 0,18 0,22
M.6.6	Productos minerales en polvo (kiseselgurhr, polvo mineral)	200 400 600 800 1000 1200 1400	0,08 0,12 0,16 0,21 0,27 0,34 0,40
<b>M.7</b>	<b>Metales</b>		
M.7.1	Acero ( 1% C)	7780	50
M.7.2	Aluminio	2700	210
M.7.3	Aluminio duro ( duraluminio95%Al, 5% Cu)	2780	210
M.7.4	Cinc	7140	110
M.7.5	Cobre	8930	380
M.7.6	Fundición ( 4% C)	7400	110
M.7.7	Hierro puro	7870	75
M.7.8	Latón ( 70% Cu, 30% Zn)	8450	105
M.7.9	Plomo	11300	35
<b>M.8</b>	<b>Morteros y enlucidos</b>		
M.8.1	Enlucidos de yeso	800 1000 1200	0,35 0,44 0,56
M.8.2	Enlucidos y morteros de cal o cemento	1600 1800 2000 2200	0,65 0,84 1,05 1,40
M.8.3	Placas celulares o áridos livianos	200 400 600	0,09 0,16 0,25

**Nch 853.EOF71**  
**Tabla 2 (continuación)**

<b>N°</b>	<b>Material (M)</b>	<b><math>\rho</math> kg/m<sup>3</sup></b>	<b><math>\lambda</math> W/(mK)</b>
M.8.4	Placas de yeso	600 800 1000 1200	0,24 0,28 0,35 0,41
<b>M.9</b>	<b>Pavimentos</b>		
M.9.1	azulejos	---	1,05
M.9.2	Baldosas cerámicas	---	1,75
M.9.3	Linóleo	1200	0,19
M.9.4	Madera ( ver M.5)		
M.9.5	Pavimento plástico	---	0,75
M.9.6	Mármol	2500< $\rho$ <2850	2,0-3,5
M.9.7	terrazo	2200	1,75
M.9.8	Tierra natural	1600< $\rho$ <1900	0,3< $\lambda$ <2,8
<b>M.10</b>	<b>Piedras</b>		
M.10.1	Areba secado normal	1500	0,6
M.10.2	arenaisca	2200	1,4
M.10.3	Basaltos	2800< $\rho$ <3000	1,8
M.10.4	Clacáreas		
M.10.4.1	Blandas	1450< $\rho$ <1850	1,05
M.10.4.2	Medias(calizas)	1850< $\rho$ <2150	1,4
M.10.4.3	Duras	2150< $\rho$ <2850	2,2
M.10.4.4.	Mármol	$\rho$ >2590	2,9
M.10.5	granito	2600> $\rho$ <3000	3,5
M.10.6	Grvas	1900	2,3
M.10.7	Lavas	2100< $\rho$ <2400	2,9
M.10.8	mampostería	---	1,6< $\lambda$ <2,5
M.10.9	Piedar pómez	---	0,16< $\lambda$ <0,5
<b>M.11</b>	<b>Varios</b>		
M.11.1	cartón	800	0,14
M.11.2	Cartón piedra	700	0,14
M.11.3	Caucho espuma	50< $\rho$ <100 200 300 400 500	0,035 0,045 0,06 0,07 0,09
M.11.4	Caucho natural	1050 1150	0,16 0,28
M.11.5	Caucho sintético	1150 1250	0,23 0,47
M.11.6	Celuloide	1400	0,22
M.11.7	Papel	1000	0,13
M.11.8	Vidrio para ventanas	---	1,2

**NCh853.53.EOF71**

**Tabla 3 resistencias térmicas de superficie (  $1/h_i$ ,  $1/h_e$ ,  $1/h_i + 1/h_e$  )**

Inclinación de elementos y sentido del flujo de calor	Elementos exteriores			Elementos interiores		
	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$ (*)	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_r}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_r}$
Elementos verticales 	0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Elementos horizontales o ligeramente inclinados (flujos ascendente) 	0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Elementos horizontales (flujo descendente) 	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34
Elementos horizontales (flujo ascendente) 				0,11	0,11	0,22

(\*) Los valores de  $\frac{1}{h_e}$  corresponden a aire exterior movido con velocidad máxima

de 2 m/s, aproximadamente y los demás a aire en reposo. Estos valores se utilizan como base de cálculos comparativos entre las propiedades térmicas de diferentes elementos. Para los cálculos en condiciones reales, se debe consultar la forma referente a condiciones climatológicas.

$h_e = 5,8 + 4\bar{v}$  (W/m<sup>2</sup>K); si  $\bar{v} < 5$  m/s ( 18 km/h)

$h_e = 7,15 \bar{v}^{0,78}$  (W/m<sup>2</sup>K); si  $\bar{v} \geq 5$  m/s ( 18 km/h)

Tabla N°2 NCh1078.c73

A- 23 -

**NCh1078.c73**

**Temperatura exterior de cálculo de ciudades del país**

<b>Lugar</b>	<b>Latitud S</b>	<b>Zona climática</b>	<b>Temperatura ext. de cálculo °C</b>
Achao	42° 28'	F	5
Aisén	45° 24'	D	1
Algarrobo	33° 22'	F	7
Ancud	41° 52'	F	5
Angol	37° 48'	E	3
Antofagasta	23° 42'	F	9
Arica	18° 28'	F	13
Clama	22° 27'	F	5
Cladera	27° 03'	F	9
Cartagena	33° 33'	F	7
Castro	42° 29'	F	5
Cauquenes	35 °58'	E	3
Coyaique	45° 34'	B	-3
Combarbalá	31° 11'	E	3
Concepción	36° 50'	F	5
Constitución	35°20'	F	5
Copiapó	27° 21'	F	7
Coquimbo	29° 56'	F	7
Coronel	37° 01'	F	5
Curacautín	38° 26'	D	1
Curicó	34° 59'	E	3
Chaitén	42° 54'	E	3
Chañaral	26° 20'	F	9
Chile chico	46° 34'	B	-3
Chillán	36° 36'	E	3
Huasco	28° 27'	F	9
Illapel	31° 37'	F	5
Iquique	20° 12'	F	11
Islas Juan F ernandez	33° 37'	F	9
La Calera	32° 48'	E	3
La ligua	32° 27'	F	7
La Serena	29° 55'	F	7
La Unión	40° 15'	E	3
Lautaro	38° 33'	E	3
Lebu	37° 37'	F	5
Limache	33° 01'	F	5
Linares	35° 51'	E	3
Loncoche	39° 23'	E	3
Lonquimay	38° 26'	B	-3

A- 24 -

Lugar	Latitud S	Zona climatica	Temperatura ext. de cálculo °C
Los Andes	32° 50'	D	1
Los Angeles	37° 28'	E	3
Los Vilos	31° 54'	F	7
Lota	37° 05'	F	5
Llolleo	33° 38'	F	7
Melipilla	33° 42'	E	3
Molina	35° 05'	D	1
Navarino	55° 10'	C	-1
Nieva Imperial	38° 43'	E	3
Olmué	33° 00'	F	5
Osorno	40° 35'	E	3
Ovalle	30° 36'	F	5
Palena	43° 38'	C	-1
Panguipulli	39° 41'	D	1
Panimávida	35° 45'	E	3
Papudo	32° 30'	F	7
Parral	36° 09'	E	3
Pichidangui	32° 07'	F	7
Pichilemu	34° 24'	F	5
Pisagua	19° 34'	F	11
Pitrufquén	38° 59'	E	3
Potrerillos	26° 30'	F	5
Pucón	39° 16'	D	1
Puerto Montt	41° 28'	E	3
Puerto Natales	51° 44'	B	-3
Puerto varas	41° 20'	E	3
Punta Arenas	53° 10'	C	-1
Quilpué	33° 04'	F	5
Quillota	32° 54'	F	5
Quintero	32° 47'	F	7
Rancagua	34° 10'	D	1
Rengo	34° 25'	E	3
San Antonio	33° 34'	F	7
San Felipe	32° 45'	E	3
San Fernando	34° 35'	E	3
San José de Maipo	33° 39'	D	1
Santiago	33° 27'	E	3
Santo Domingo	33° 39'	F	7
Talagante	33° 40'	F	5

**Tabla C.1**

**Tabla C.1 - Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas -  
Cámaras de aire verticales, flujo térmico horizontal**

Espesor de la cámara, mm	Emisividad total, E			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	Resistencia térmica, $R_g$ , m <sup>2</sup> x K/W			
5	0,105	0,17	0,20	0,20
10	0,140	0,28	0,32	0,38
15	0,155	0,35	0,43	0,51
20	0,165	0,37	0,46	0,55
25	0,165	0,37	0,46	0,55
30	0,165	0,37	0,46	0,55
35	0,165	0,37	0,46	0,55
e ≥ 40	0,165	0,37	0,46	0,55

**Tabla C.2**

**Tabla C.2 - Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas -  
Cámaras de aire horizontales, flujo térmico ascendente**

Espesor de la cámara, mm	Emisividad total, E			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	Resistencia térmica, $R_g$ , m <sup>2</sup> x K/W			
5	0,10	0,16	0,17	0,19
10	0,13	0,23	0,26	0,29
15	0,13	0,25	0,29	0,32
20	0,14	0,25	0,29	0,33
30	0,14	0,26	0,31	0,35
40	0,14	0,27	0,32	0,36
50	0,14	0,28	0,33	0,37
60	0,14	0,28	0,34	0,38
70	0,14	0,29	0,34	0,39
80	0,15	0,30	0,35	0,40
90	0,15	0,30	0,35	0,40
e ≥ 100	0,15	0,30	0,35	0,40

**Tabla C.3**

**Tabla C.3 - Resistencia térmica por unidad de superficie de cámaras de aire no ventiladas -  
Cámaras de aire horizontales, flujo térmico descendente**

Espesor de la cámara, mm	Emisividad total, E			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	Resistencia térmica, $R_g$ , m <sup>2</sup> x K/W			
5	0,09	0,16	0,20	0,20
10	0,14	0,29	0,34	0,37
15	0,16	0,36	0,45	0,52
20	0,17	0,42	0,55	0,65
25	0,17	0,47	0,63	0,76
30	0,175	0,51	0,68	0,87
40	0,185	0,57	0,77	1,03
50	0,19	0,60	0,84	1,15
60	0,19	0,61	0,89	1,25
70	0,19	0,62	0,94	1,33
80	0,20	0,63	1,00	1,46
90	0,20	0,63	1,00	1,46
e ≥ 100	0,20	0,63	1,00	1,46

Tabla °N3 de NChl 078.c73

A- 21 -

**Nch1078.c73**  
**Tabla 3**  
**Temperatura de locales no calefaccionados**

Local	Temperatura exterior de cálculo				
	+3	+1	-1	-3	-5
Local no calefaccionado, rodeado de otro calefaccionado.	12	11	10	9	8
Sotanos no calefaccionados	13	12	11	11	10
Terreno debajo del suelo del sótano	12	11	10	10	9
Suelo a nivel del terreno	8	6	5	3	2
Atico no calefaccionado, inmediatamente debajo del tejado provisto de aislación térmica.	13	12	11	11	10
Atico no calefaccionado, inmediatamente debajo del tejado sin protección térmica.	8	6	4	2	0
Local auxiliar comunicado directamente con el aire exterior.	6	4	2	0	-2

Tabla N°1

A- 26

**Nch1076.c73**  
**Coficiente “ H” de transmisión térmica por metro de perímetro del muro exterior**

Aislación piso	$R_t$ ( $m^2 K$ )/ W	H W/(m K)
Piso corriente	0,15-0,25	1,4
Piso medianamente aislado	0,26-0,6	1,2
Piso aislado	>0,6	1

## Anexo C “COTIZACIONES”



Sodeca Ventiladores Ltda.  
 Avda. Puerta Sur 03380 - San Bernardo  
 Santiago - Chile  
 Tel. +56 2 2840 5582  
 e-mail: ventas.chile@sodeca.com

SODECA Group

PROYECTO: AXIALES  
 CLIENTE: PAPELES BIOBIO  
 ATENCIÓN: LUIS TORRES  
 PROYECTO:  
 VERSIÓN:

COTIZACION CVT-10384/B

11/09/2017

CÓDIGO PRODUCTO	CANT	DESIG.	DESCRIPCIÓN	MONEDA	UNIT	TOTAL
<u>VENTILADORES (Seleccionados a 550 m.s.n.m y Factor seguridad de 1,15 sobre BHP)</u>						
HEPT-35-4T/H	4	VEX-01	MODELO HEPT-35-4T/H, VENTILADORES HELICOIDALES TUBULARES, CON MOTOR IP-65 CAUDAL M3/hr, PRESIÓN mmca, VEL. DE DESCARGA N/A m/s,	\$	426.749	1.706.996
HTTI-80-4T	2	VEX-02	MODELO HTTI-80-4T, HELICOIDAL DE TEJADO, CON SOPORTE INCLINADO CAUDAL M3/hr, PRESIÓN mmca, VEL. DE DESCARGA N/A m/s,	\$	2.493.907	4.987.814
HC-56-4T/H	1	VEX-03	MODELO HC-56-4T/H, HELICOIDAL MURAL MOTOR TRIFÁSICO CLASE F IP-55 Y HÉLICE EN POLIAMIDA REFORZADA CAUDAL M3/hr, PRESIÓN mmca, VEL. DE DESCARGA N/A m/s,	\$	481.722	481.722
<b>SUBTOTAL</b>						<b>7.176.532</b>
<b>DESCUENTO</b>						<b>15% - 1.076.480</b>
<b>TOTAL</b>						<b>\$ 6.100.053</b>
CANTIDAD TOTAL						

### OBSERVACIONES

Valores netos (no consideran IVA), Entrega sobre camión en nuestras bodegas.

Forma de Pago: ANTICIPO 20%, SALDO DOCUMENTADO 30 DIAS

Plazos de entrega (a contar de la recepción de la Orden de Compra y Pago de anticipo):

Valores: Precios válidos por la compra de la totalidad de los ítems presentes en esta cotización.

Exclusiones: No se incluye cubre poleas ni cubre motores // No se incluyen GABINETES PORTA FILTRO  
 Instalación y cualquier otro elemento que no esté expresamente indicado en la cotización.

Importante: Para equipos de importación y equipos especiales en caso de cancelación de producto no se hará devolución del anticipo.

Motores: Motores eficiencia IE-2, excepto potencias inferiores a 0,75 Kw, monofásicos y 2 velocidades

Bajo demanda: Motores eficiencia IE-3, para potencias iguales o superiores a 7,5 Kw, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos

Garantía: 12 meses, sujeto a mantenimiento periódico realizado por una empresa certificada por SODECA.

Validez de Oferta: 15 Días

ALONSO IBARRA G.  
 INGENIERO SODECA



Soc. Com. Metal. Cáceres Hnos S.A.  
 Barraca de Fierro  
 96.995.990-9  
 Carlos Valdovinos N° 2371 \* P.A.C.  
 Fono: 3532200 Fax: 5639571  
 Sucursal San Eugenio N° 12651  
 San Bernardo \* Santiago  
[www.cacereshermanos.com](http://www.cacereshermanos.com)

Fecha: 12/09/2017

**PRESUPUESTO N° 88147**

Cliente: VENTA WEB  
 Dirección: NN  
 Comuna: Santiago  
 Teléfono:  
 Forma de P. Contado Efectivo

R.U.T.: 3.333.333-1

Ciudad: Santiago  
 Fax:  
 Lista: Estandar

At. Sr. (a): .

Estimados Señores (as)

De acuerdo a su solicitud tenemos el agrado de cotizar los siguientes Productos:

Codigo	Cantidad	Descripción	Precio Unidad\$	Dcto. Unidad\$	Precio c/dcto\$	Valor Total
13010280	20. PL	PL FE NEGRO 1000 x 2000 x 1,5	14,899.		14,899	297,980
13010300	5. PL	PL FE NEGRO 1000 x 3000 x 1,5	22,349.		22,349	111,745
04010040	40. BR	ANGULO LAM 30 x 3 1 1/4 x 1/8	4,541.		4,541	181,640

Observación **yrce**

Neto	591,365
Iva	112,359
<b>Total</b>	<b>703,724</b>

<p><b>Metal Desplegado AHOSA Limitada.</b>                  76.127.865-7                  Las Dalias #2260, Macul, Santiago.                  F: 2238 1911 Fax: 2238 4877</p>	
---	---

**Cotización N° : 10744**

<p><b>Papeles Bio Bio S.A</b>  <b>Atn. Luis Torres Moreno</b>                  Fono : 41 2500000 Fax : 41 2371090</p>
---

Emisión : 12/09/2017	Vencimiento : 27/09/2017	Vendedor : Karin Mennert
----------------------	--------------------------	--------------------------

Item	Codigo	Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unit.	Total	\$
<input type="checkbox"/>	001	GS62X3-1X3 GS Fierro 62x3 de 1.00x3.00 Mts.	C/pl	10	\$ 44,400	444,000	

	\$	444,000
Neto	\$	444,000
IVA	\$	84,360
Total	\$	528,360

