



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA STANDARD KAIZEN EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AISLAMIENTO

Autor: María Begoña Luaces Geijo

Director: Ángel Blanco González

Co-Directora: Susana Ortiz Marcos

Madrid

Julio de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. María Begoña Luaces Geijo DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Aplicación de la Metodología Standard Kaizen en una planta de fabricación de aislamiento, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 18 de Julio de 2019

ACEPTA



Fdo María Begoña Luaces Geijo

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Aplicación de la metodología Standard Kaizen en una planta de fabricación de aislamiento en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: María Begoña Luaces Geijo

Fecha: 18/07/2019

Autorizada la entrega del proyecto
LOS DIRECTORES DEL PROYECTO



Fdo.: Ángel Blanco González

Fecha: 18/07/2019

Fdo.: Susana Ortiz Marcos

Fecha: 18/07/2019

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA STANDARD KAIZEN EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AISLAMIENTO

Autor: Luaces Geijo, María Begoña.

Directores: Blanco González, Ángel, Ortiz Marcos, Susana.

Entidad colaboradora: Saint Gobain Isover Ibérica, SL.

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

El presente proyecto consiste en la aplicación de la metodología *Standard Kaizen* a un proceso de fabricación de material aislante en la planta de Saint Gobain Isover Ibérica, S.L., situada en la localidad de Azuqueca de Henares (Guadalajara).

La fábrica Saint Gobain Isover Ibérica, S.L. forma parte del Grupo Saint-Gobain, una compañía multinacional fundada y administrada en Francia que desarrolla, fabrica y comercializa materiales y soluciones para la construcción, el transporte, las infraestructuras y para numerosas aplicaciones en la industria. Concretamente, esta fábrica se dedica a la producción de lanas minerales aislantes, de vidrio y de roca, para aislamiento térmico, acústico y protección contra el fuego, así como conductos de climatización.

En una de las líneas de fabricación de lana de vidrio (la línea B), interviene una máquina denominada estufa u horno de polimerización. Se ha observado que esta máquina tiene un consumo de energía total (de gas y electricidad) significativamente superior al establecido por diseño, por lo que el objetivo del proyecto consiste en reducir este exceso de energía consumida, que supone una pérdida energética. Para ello, se utiliza la metodología *Standard Kaizen*, que tiene como finalidad principal conseguir que una máquina o un sistema trabaje de forma más eficiente reduciendo sus pérdidas y realizando un mejor ajuste de sus parámetros de funcionamiento. Por lo tanto, los resultados de este proyecto consistirán en introducir mejoras constructivas en la máquina y en determinar sus parámetros de ajuste óptimos en función del producto que se esté fabricando.

La metodología *Kaizen* se enmarca en la Manufactura de Clase Mundial (*World Class Manufacturing, WCM*), que es una filosofía empresarial enfocada a la mejora continua y la obtención de la excelencia industrial eliminando progresivamente las pérdidas, asegurando la calidad del producto y maximizando la flexibilidad en función de las necesidades de los clientes, todo ello integrando y motivando a las personas que trabajan en las plantas. Se trata de un sistema estructurado e integrado en todos los procesos de la planta: producción, seguridad, calidad, mantenimiento, administración, logística, medioambiente, etc.

Para mantener sus posiciones de liderazgo, las empresas que compiten a nivel mundial deben mantener una constante búsqueda de la excelencia mediante prácticas cada vez más eficientes y la incorporación de nuevos conceptos operativos. Así surge la Manufactura de Clase Mundial, cuyo objetivo consiste en aumentar el rendimiento de las compañías y estandarizarlo a nivel mundial.

El modelo WCM es una evolución del sistema japonés Mantenimiento Productivo Total (*Total Productive Maintenance*, TPM), aunque también integra otros métodos, como Control Total de la Calidad (*Total Quality Control*, TQC), Justo a Tiempo (*Just in Time*, JIT) e Ingeniería Industrial Total (*Total Industrial Engineering*, TIE).

Las empresas japonesas han sido pioneras en el desarrollo de estas técnicas y en su implantación mediante la manufactura ajustada (*Lean Manufacturing*), filosofía que busca mejorar y optimizar el sistema de producción eliminando todas las actividades que no añaden valor al proceso. Así, estas empresas consiguieron ser de las más productivas y mantener sus posiciones de liderazgo. En los años 1970, cuando las empresas americanas tienen dificultades para superar la crisis del petróleo, se despierta un interés general por estos métodos, y la Manufactura de Clase Mundial nace al intentar adaptar y aplicar los modelos japoneses a las empresas occidentales. Sin embargo, la evolución de las fábricas hacia la excelencia industrial no es completa si el WCM no se complementa con la evolución tecnológica y la transformación digital que está teniendo lugar hoy en día y que, en el mundo de la manufactura, se manifiesta como la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0.

En definitiva, se prevé que, en los próximos años, las fábricas lleven a cabo un proceso de implementación de la Industria 4.0. Esto posiblemente implicaría para la Manufactura de Clase Mundial que, manteniendo sus principios y valores fundamentales, experimentará cambios para adaptarse a los nuevos modos de operar de las industrias. En este caso, un posible resultado sería la convivencia de la Industria 4.0 con un nuevo o modificado *World Class Manufacturing* que busque alcanzar su objetivo fundamental de la excelencia industrial, pero en el contexto de la Industria Conectada.

Metodología

World Class Manufacturing cuenta con un conjunto de herramientas de identificación de problemas y búsqueda de soluciones (entre ellas, el *Standard Kaizen*) que se diferencian por su nivel de complejidad, pero todas ellas siguen la siguiente estructura general:

1. Definición del problema y descripción del fenómeno.
2. Comprensión del sistema: identificar el sistema objeto de estudio y describir cómo debería funcionar.

3. Análisis de la causa raíz: aplicación del análisis de los cinco porqués para identificar la causa raíz del problema.
4. Contramedidas: implementación de las soluciones.

La metodología *Standard Kaizen* consta de un conjunto de etapas y subetapas que se desarrollan a continuación. Todas las tareas realizadas a lo largo del proyecto se documentan en tres hojas de trabajo o *worksheets*, que tienen un formato Excel estándar predefinido para la metodología *Kaizen*.

La hoja de trabajo 1 consiste en la preparación del proyecto y la definición del problema. Para ello, consta de los siguientes hitos:

En primer lugar, se realiza el despliegue de costes, que consiste en generar un conjunto de gráficos de Pareto estratificados que permiten identificar y cuantificar económicamente las causas de las pérdidas de la planta de Azuqueca de Henares para diferentes niveles de detalle. Cada nivel corresponde a un gráfico, siendo el primer nivel el más genérico y el último nivel, el más específico. En este resumen, sólo se incluye el primer gráfico, pero se explican las conclusiones de todos.

El gráfico del primer nivel (Figura 1) recoge todas las causas que generan pérdidas en la línea B. La suma de todas estas pérdidas constituye la pérdida total de la línea B, y supone un 30% del coste de explotación anual.

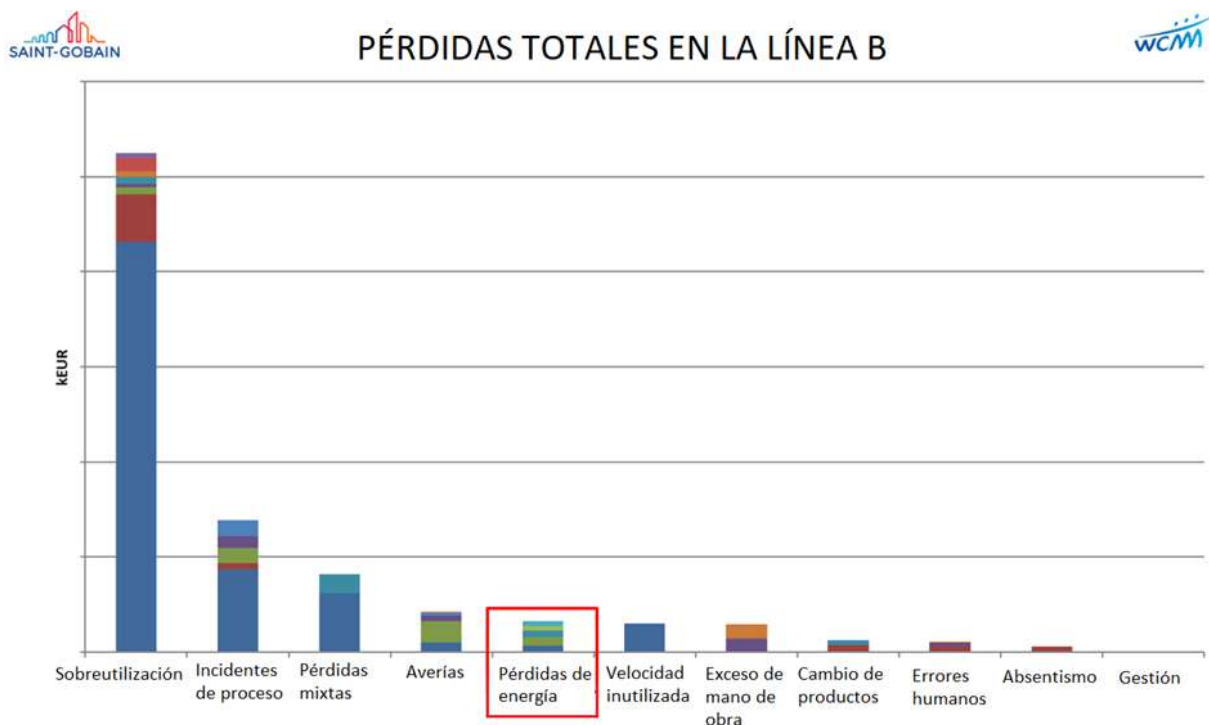


Figura 1: Gráfico de Pareto del primer nivel de pérdidas de la línea B.

El proyecto se centra en las pérdidas de energía, por lo que el segundo gráfico estudia este punto. En él se comprueba que las pérdidas de energía de la línea B ascienden a 652.000 € y que son debidas, de mayor a menor importancia, a la formación de lana primaria, fibraje, estufa, horno eléctrico y línea completa. Como el proyecto estudia la estufa, el tercer gráfico analiza este punto. En él se observa que las pérdidas de energía de la estufa de la línea B suman 135.000 € y son debidas a un consumo excesivo de gas (que se traduce en 111.000 €) y de electricidad (24.000 €). Por lo tanto, el proyecto debe eliminar una parte de estas pérdidas (la cantidad concreta se especificará posteriormente).

La segunda etapa consiste en explicar detalladamente la máquina a la que se aplica el proyecto mediante dibujos, planos o esquemas para facilitar la comprensión de los análisis posteriores.

La Figura 2 representa un modelo en 3D de la estufa u horno de polimerización con indicación de sus elementos principales.

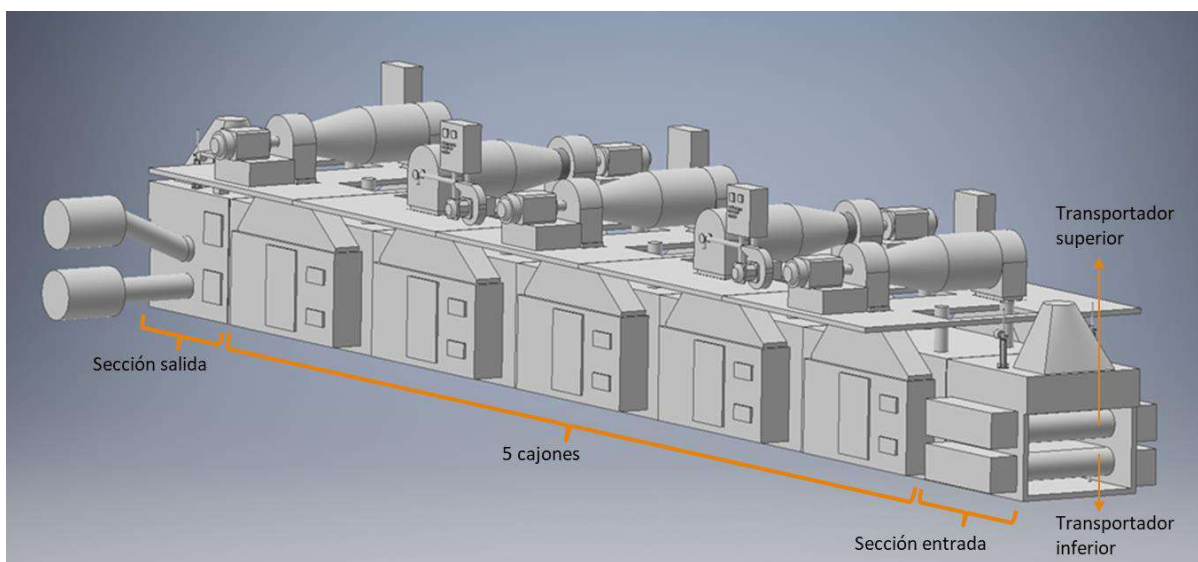


Figura 2: Modelo 3D del horno de polimerización.

El horno se compone de cinco cajones independientes entre sí, pero alineados para formar el conjunto de la estufa. El interior de los cajones es recorrido longitudinalmente y de forma continua por dos transportadores (el superior y el inferior), encargados de desplazar el producto a través de la estufa. De esta forma, el producto entra en la estufa por la sección de entrada, se sitúa en el espacio que hay entre los transportadores, atraviesa los cinco cajones y sale por la sección de salida.

En la entrada de la estufa, el producto está formado por fibras de vidrio, agua y un aditivo denominado encolado o resina. En este punto, el producto se caracteriza porque carece de propiedades mecánicas y sus fibras no están unidas entre sí. A la salida de la estufa, se desea obtener un producto formado únicamente por fibras y encolado y caracterizado por tener

propiedades mecánicas y sus fibras unidas entre sí. Para ello, el horno debe someter al producto a un proceso compuesto por tres fases:

- Evaporación de todo el agua que contiene el producto. Se da en los primeros cajones.
- Incremento de su temperatura hasta que se encuentre entre 180 y 220°C (temperatura de curado mínima y máxima). Se da en los cajones intermedios.
- Polimerización o curado del encolado. Consiste en modificar la estructura química de la resina para que adquiera propiedades adherentes y actúe de aglutinante con las fibras de vidrio. Este fenómeno sólo se produce de forma óptima cuando la temperatura del producto se encuentra entre 180 y 220°C durante entre 10 y 15 segundos. Esta fase se produce en los últimos cajones.

Además, como consecuencia de todo este proceso, el producto adquiere más resistencia mecánica a medida que avanza por la estufa.

Para llevar a cabo este proceso, dentro de cada cajón se hace pasar a través del producto un flujo de aire a elevada presión y temperatura. La Figura 3 muestra un cajón aislado con indicación de los elementos que intervienen en la generación de este flujo.

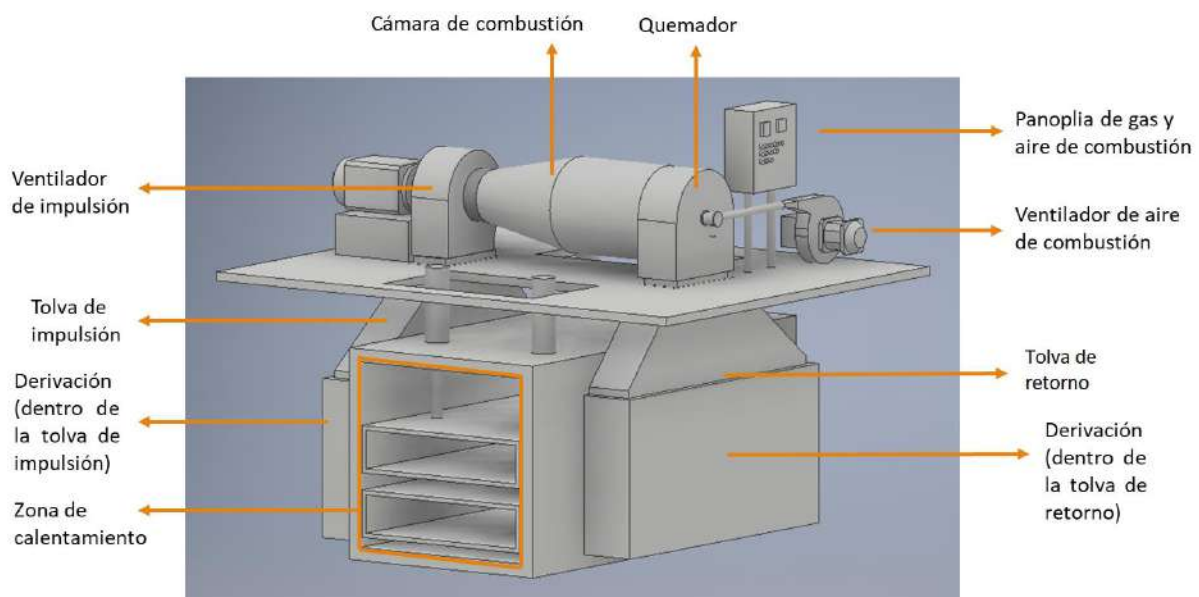


Figura 3: Elementos que intervienen en la generación del flujo de aire.

La Figura 4 ilustra la generación del flujo de aire y su recorrido, representado para un cajón en dos dimensiones. La panoplia suministra, de forma continua, la cantidad adecuada de gas (combustible), y el ventilador de aire de combustión absorbe la cantidad necesaria de aire exterior (comburente). Ambos componentes se inyectan en la cámara de combustión, se produce una combustión completa y, como resultado, se obtiene el aire caliente que atravesará el producto.

El ventilador de impulsión o de circulación impulsa este aire a elevada presión, que realiza el siguiente recorrido: se introduce en la cámara o tolva de impulsión y, como en este caso la derivación derecha está cerrada, el aire está obligado a entrar en la zona de calentamiento por la parte inferior derecha, pasa a través de los agujeros del transportador inferior, atraviesa el producto desde abajo hacia arriba, atraviesa el transportador superior y sale de la zona de calentamiento por la parte superior izquierda. Una vez en la cámara o tolva de retorno, el gas es reinyectado en la cámara de combustión.

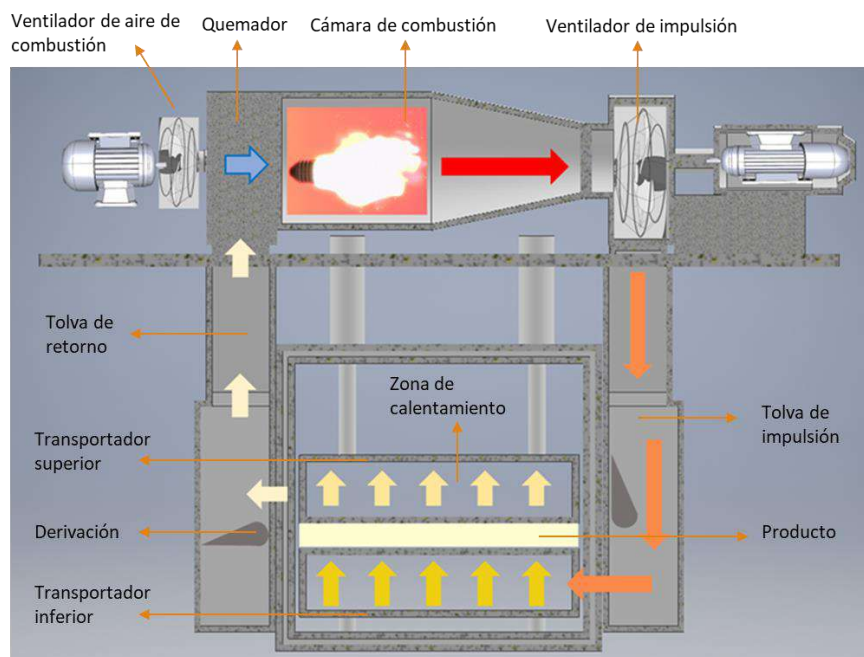


Figura 4: Generación y recorrido del flujo de aire a elevada presión y temperatura que atraviesa el producto.

En los demás cajones se produce un proceso análogo, con la diferencia de que se puede invertir el sentido en el que el flujo de aire atraviesa el producto, lo que depende de la posición de las derivaciones.

Dentro del horno, se dan los tres tipos de transferencia de calor al producto: la convección supone el 75% del calor transferido al material y es debida al movimiento del flujo de aire a través del producto, la conducción supone el 20% y se debe al contacto de los transportadores con el producto, y la radiación supone el 5%.

Al atravesar el producto, el aire arrastra partículas de fibra de vidrio, encolado, H_2O y CO_2 . La resina y el polvo de vidrio no son saludables, por lo que estos humos deben ser evacuados del horno para evitar que salgan al ambiente. Ello se consigue a través de los ventiladores de aspiración de humos (uno en la sección de entrada y otro, en la de salida).

Además de los elementos mencionados anteriormente, el horno contiene otros componentes de relevancia para el proyecto, como los paneles de explosión, que deben liberar la sobrepresión

que se genera en el interior del horno cuando se produce una explosión dentro de él; las puertas de los cajones, las puertas frontales de las secciones de entrada y salida (a través de ellas, el producto entra y sale del horno), el motor del cepillo de limpieza del transportador superior o el detector de atascamiento.

Una vez descrito el funcionamiento del horno, se establece su localización mediante planos.

A continuación, se realiza el balance de potencia del horno. Se trata de una herramienta que permite obtener, a partir de un conjunto de medidas, la cantidad de potencia procedente del gas que se le proporciona a la estufa (potencia de entrada) y a qué se destina cada parte de esa potencia (potencias de salida). Parte de la potencia de salida son pérdidas. De esta forma, el balance permite conocer de forma cuantitativa cómo se emplea la potencia suministrada, y ello se muestra en la Tabla 1.

	Quemador	Aprovechada por el material	Pérdidas en humos aspirados	Pérdidas por superficies horno	Pérdidas por sobrecurado
POTENCIA (kW)	517	165	259	77	16
ENERGÍA (kWh/t fibra)	221,4	70,63	110,92	32,99	6,86
%	100%	31,9%	50,1%	14,9%	3,1%
k€ (t=20.000 ton en 2019)			66,55	19,79	4,12

Tabla 1: Fuentes de pérdidas del horno.

Se observa que la principal fuente de pérdidas son las aspiraciones de humos (50,1% de la energía suministrada por el quemador). Ello se debe a que las aspiraciones evacúan gas del interior de la estufa que se encuentra a una temperatura entre 140 y 200°C, es decir, contiene elevada energía calorífica que no se aprovecha.

Sin embargo, no es posible eliminar completamente todas estas pérdidas debido a las características constructivas del horno. Por eso, se ha estimado la parte de cada pérdida que es posible eliminar (potencial de mejora), y ello se muestra en la Tabla 2. Ahora, la pérdida más importante pasa a ser la que se da en las superficies del horno y la segunda pérdida más importante se da en las aspiraciones de humos.

	Pérdidas en humos aspirados	Pérdidas por superficies horno	Pérdidas por sobrecurado
Potencial de mejora (%)	18,17	79,87	100
Potencial de mejora (kWh/t fibra)	20,15	26,35	6,86
Potencial de mejora (k€)	12,09	15,81	4,12

Tabla 2: Pérdidas del horno eliminables.

Sumando el potencial de mejora de las tres pérdidas, es posible establecer el objetivo del proyecto: reducir el consumo energético del horno en 53,36 kWh/t de fibra (32.016 €/año). Por

lo tanto, se pretende reducir en 32.016 euros los 135.000 euros que suponen las pérdidas energéticas del horno obtenidas en el despliegue de costes, es decir, en un 23,71%.

Finalmente, se define el equipo que llevará a cabo el proyecto y se establece una planificación (que incluye cronograma).

La hoja 2 consiste en el estudio externo y detallado del problema. El primer estudio es el análisis observacional, que consiste en ir físicamente al lugar del problema y percibir sus síntomas a través de los sentidos. En el análisis observacional se detectaron dos tipos de problemas relevantes para el proyecto. Ambos tienen un impacto sobre el consumo energético de la estufa, pero el primero está relacionado con los parámetros de funcionamiento de la máquina y el segundo, con aspectos constructivos, principalmente. Son los siguientes:

- Sobrecurado: se produce cuando se da al producto más energía de la que necesita para polimerizarse de manera óptima. Ello se detectó en el perfil de temperatura que sigue el producto dentro del horno (Figura 5): su temperatura superaba los 220°C o permanecía entre 180 y 220°C durante más de 15 segundos.

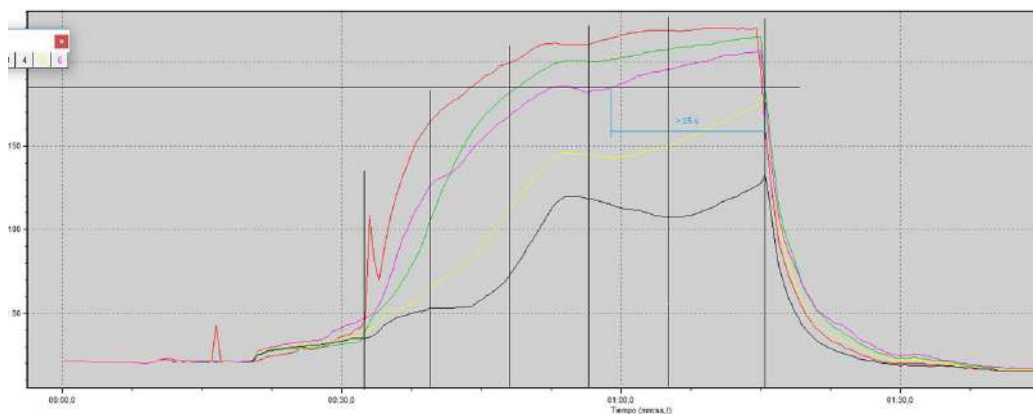


Figura 5: Perfiles de temperatura de varios puntos del producto a su paso por el horno.

- Fugas y pérdidas de energía a través de aquellos elementos del horno que carecen de estanqueidades o las tienen deterioradas. También se dan en las puertas frontales de las secciones de entrada y salida, cuando se encuentran demasiado abiertas y las aspiraciones de humos no están correctamente regladas. Como consecuencia de las fugas, se acumulan fibras de vidrio y encolado en estos elementos, se deterioran y tienen una temperatura significativamente superior al rango aceptable (40 – 50°C). Todo ello se muestra en la Figura 6.



Figura 6: Elementos con fugas, deteriorados y con temperaturas por encima de su rango admisible.

El segundo estudio es el análisis de las 5W, que consiste en generar sucesivos gráficos de Pareto estratificados que recojan los consumos energéticos del horno para cinco niveles: qué, cuándo, dónde, quién y cuál. Dentro de cada nivel se selecciona una variable en función de la cual se expresan los consumos. Así, para el caso del horno, las variables seleccionadas para cada nivel son: los productos fabricados (qué), la duración de las campañas o el tiempo en el que cada producto permanece en línea (cuándo), las pérdidas de cada parte de la máquina (dónde), los consumos en función de los equipos que trabajan en la estufa (quién) y los consumos a lo largo del tiempo (cuál). A continuación se presentan las conclusiones de este estudio:

- Los productos que se fabrican en campañas cortas (≤ 16 h) tienen un consumo superior a la media (Panel Alumisol: 560 kWh/t fibra), y los productos que se fabrican en campañas largas (>16 h) tienen un consumo inferior (Climaver: 300 kWh/t fibra). Ello se muestra en la gráfica de la Figura 7.

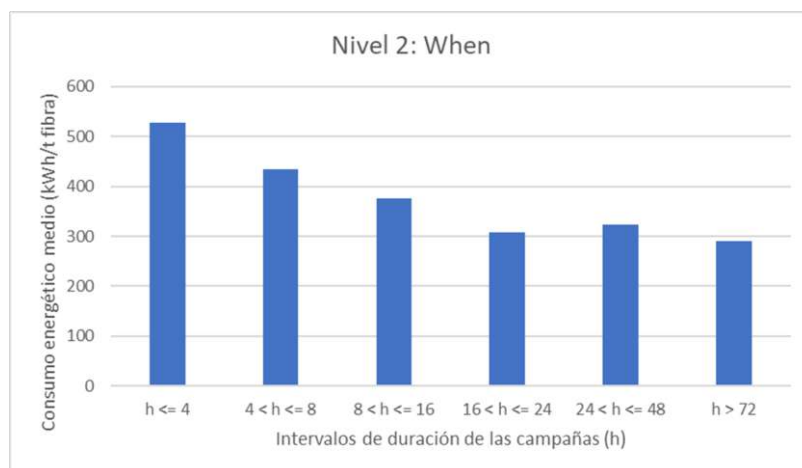


Figura 7: Consumos energéticos de la estufa en función de los rangos de duración de las campañas.

- Los equipos B1 y A1 son menos eficientes al establecer los ajustes de la estufa, lo cual se manifiesta fundamentalmente en los productos de corta duración de campaña, que son los más complicados en lo que se refiere al ajuste de sus reglajes (Figura 8).

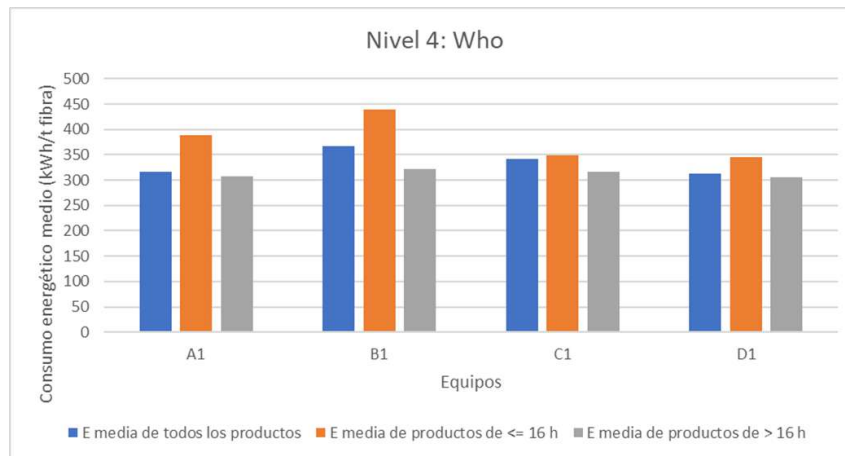


Figura 8: Consumos energéticos de la estufa desglosados para cada equipo.

- Las pérdidas de la estufa son debidas, de mayor a menor importancia, a las aspiraciones de humos, a las superficies de la estufa y al sobrecurado. Las aspiraciones de humos suponen el 73,6% de las pérdidas totales, y el 50,1% de la energía total de gas proporcionada a la estufa. Este resultado procede del balance de potencia.

El tercer análisis es el estudio de las 4M. Los cambios que hayan tenido lugar en la fábrica a lo largo del tiempo pueden guardar importante relación con las causas del problema, pudiendo ayudar a determinar su verdadera causa raíz. Se trata de un estudio histórico para detectar y analizar los cambios que han tenido lugar en la fábrica relacionados con el horno. Se deben considerar los cambios realizados en la mano de obra, los procedimientos, la máquina y los materiales. De ello se extrajo la siguiente conclusión:

- Los CPL o coordinadores polivalentes de línea se encargan de establecer los reglajes de la estufa y de formar a los nuevos CPL para esta función. Sin embargo, no hay una estandarización de los procedimientos para reglar la estufa, por lo que los conocimientos que poseen los CPL varían entre ellos y pueden no ser completamente correctos. Además, no hay un ingeniero de proceso encargado de controlar estos reglajes.

A partir de los tres estudios anteriores, debería ser posible describir detalladamente el fenómeno o problema que se produce en la estufa. Este proyecto tiene como objetivo principal reducir las pérdidas energéticas del horno de polimerización. Por lo tanto, éste es el problema que se pretende solucionar y en el que se centra el fenómeno. La descripción del fenómeno se ha estructurado en función de los tres tipos de pérdidas energéticas eliminables que se producen en el horno, que son, de mayor a menor importancia:

- Pérdidas a través de las superficies de la estufa. Están causadas por:
 - Falta de condiciones básicas en la estufa por la ausencia parcial o total de estanqueidades y la ausencia de telas aislantes entre cajones.

- Consignas de la estufa fuera de su rango estándar: reglaje incorrecto de las aspiraciones de humos y puertas frontales excesivamente abiertas.

En la Figura 9 se resume el valor de esta pérdida y de las causas que la generan.

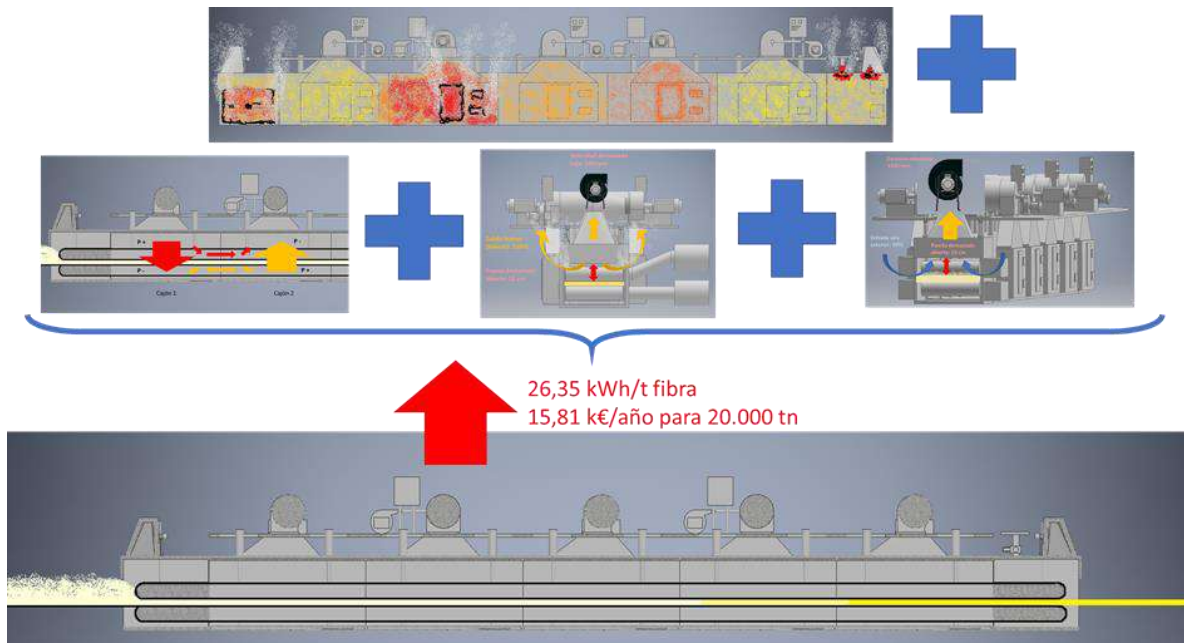


Figura 9: Síntesis de las causas de pérdidas a través de las superficies de la estufa.

- Pérdidas a través de las aspiraciones de humos (Figura 10). Están causadas por:
 - Consignas de la estufa fuera de su rango estándar: aspiraciones de humos excesivas.

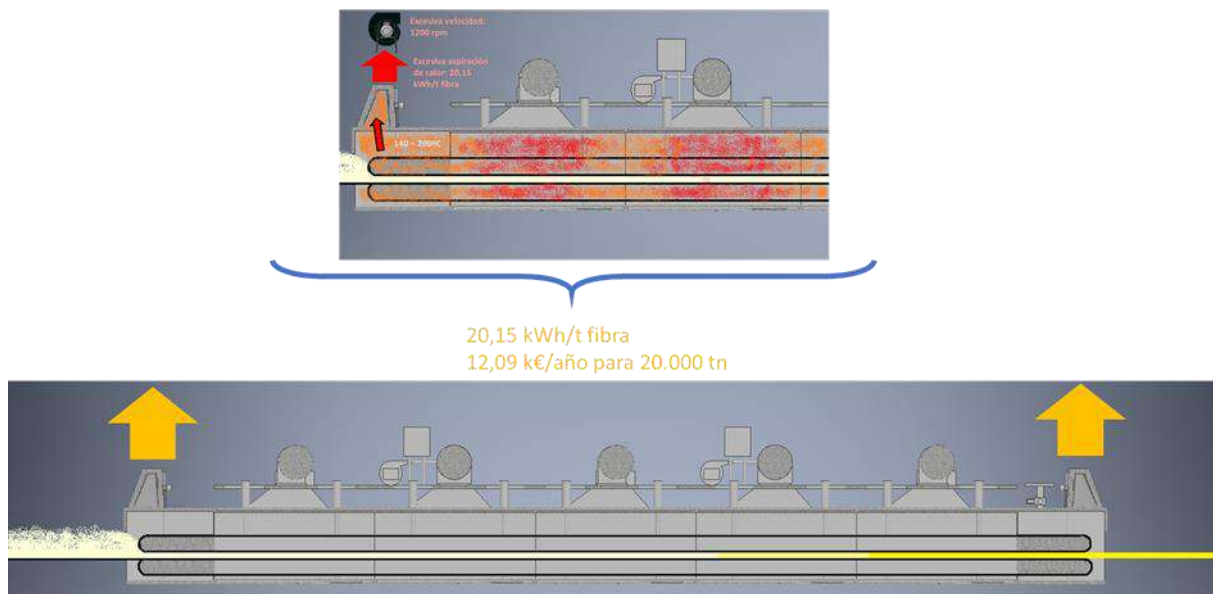


Figura 10: Síntesis de la causa de pérdidas a través de las aspiraciones de humos.

- Pérdidas a través del producto debido al sobrecurado (Figura 11). Se deben a:
 - Consignas de la estufa fuera de su rango estándar: los CPL desconocen los reglajes óptimos de la estufa en función de cada producto.

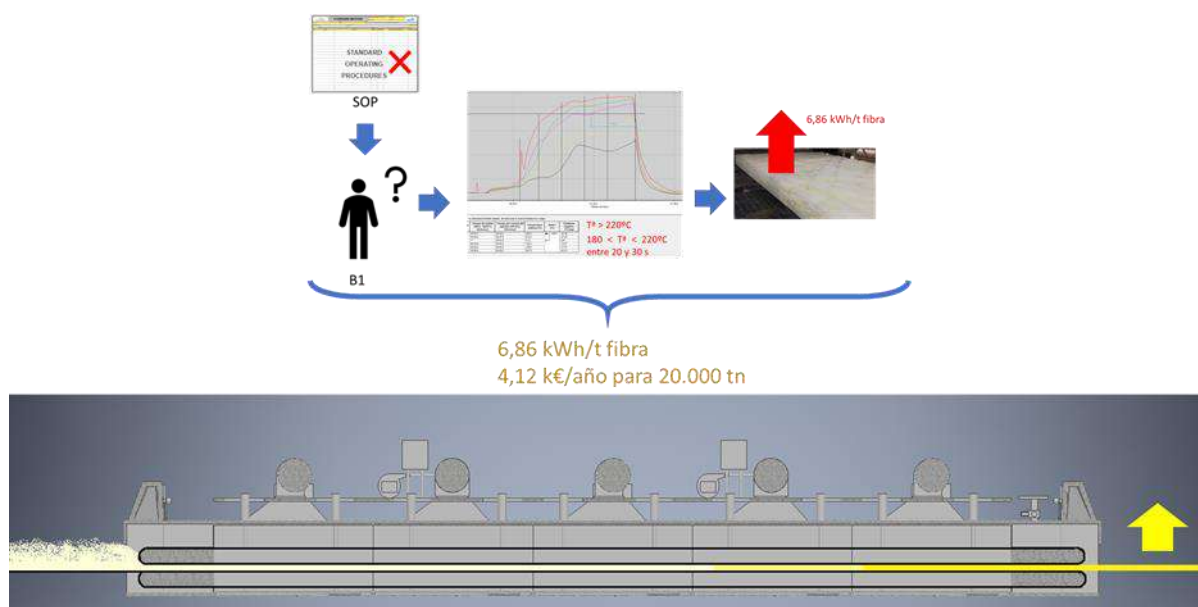


Figura 11: Síntesis de la causa de pérdidas del sobrecurado en el producto.

Una vez descrito el fenómeno, se inicia la hoja 4, que consiste en buscar la causa raíz del problema, proponer soluciones y un plan de acción. En la Tabla 3, en la Tabla 4 y en la Tabla 5 se muestra cada hecho descrito en el fenómeno, su causa raíz y la solución propuesta.

Hecho del fenómeno	Falta de condiciones básicas.
Causa raíz	Hay programa de mantenimiento preventivo, pero no contempla los elementos defectuosos, o no hay plan de mantenimiento preventivo de esos elementos.
Solución	Revisión y ejecución de los programas de mantenimiento preventivo existentes o elaboración de éstos.

Tabla 3: Hecho del fenómeno, causa raíz y solución (1).

Hecho del fenómeno	Consignas fuera del rango estándar.
Causa raíz	No hay una estandarización de los procedimientos de reglaje de la estufa durante la formación a los CPL.
Solución	Elaboración de un procedimiento de operación estándar (SOP) con explicación de los procedimientos de reglaje de la estufa en función de cada familia de productos. En el Anexo III se incluye esta SOP y en la Memoria hay una explicación más detallada de los reglajes de la estufa.

Tabla 4: Hecho del fenómeno, causa raíz y solución (2).

Hecho del fenómeno	Consumos excesivos para algunos productos.
Causa raíz	Por motivos de planificación de la producción, se organizan varias campañas de corta duración para un mismo producto.
Solución	Elaboración de una lección puntual (OPL) con propuestas para organizar la planificación de los productos de forma que haya menos campañas de más duración. En el Anexo III se incluye esta OPL.

Tabla 5: Hecho del fenómeno, causa raíz y solución (3).

Resultados

Cuando se apliquen todas las soluciones propuestas en el apartado anterior, se obtendrá el ahorro energético de 53,36 kWh/t de fibra (32.016 euros menos de pérdidas al año).

La SOP ha supuesto la estandarización del procedimiento de reglaje de la estufa, que también se está utilizando en otra fábrica del Grupo Saint-Gobain. Estos reglajes contribuyen a mejorar la calidad percibida del producto.

Conclusiones

Las tres causas de pérdidas eliminables del horno de polimerización son, de mayor a menor importancia, las superficies de la estufa (26,35 kWh/t de fibra, 15,81 k€/año), las aspiraciones de humos (20,15 kWh/t de fibra, 12,09 k€/año) y el sobrecurado del producto (6,86 kWh/t de fibra, 4,12 k€/año). En total, suman 53,36 kWh/t de fibra o 32.016 euros al año.

Las causas raíz de estas pérdidas son: la falta de un programa de mantenimiento preventivo que incluya los elementos problemáticos, la ausencia de un procedimiento estándar para establecer

los reglajes de la estufa y la corta duración de las campañas de algunos productos (menor o igual que 16 horas).

Por lo tanto, las soluciones propuestas son: revisar y ejecutar los programas de mantenimiento preventivo, elaborar una SOP sobre los reglajes de la estufa y elaborar una OPL con propuestas para organizar la planificación de los productos de forma que haya menos campañas de mayor duración.

La aplicación total de estas soluciones conllevará un ahorro energético de 53,36 kWh/t de fibra (32.016 euros al año).

Referencias

Para la realización del proyecto, se han utilizado documentos propios de ISOVER, páginas web, programas informáticos y recursos de la fábrica de Azuqueca.

Los documentos propios de ISOVER incluyen información sobre la metodología *Standard Kaizen*, sobre la línea B y sobre el horno de polimerización. Esta información sobre el horno sirvió para explicar su funcionamiento y características, que es una de las tareas de la hoja 1.

Las páginas web se emplearon, principalmente, para recopilar información sobre el Grupo Saint-Gobain y la fábrica de Azuqueca de Henares.

Con respecto a los programas informáticos, AutoCAD 2019 se utilizó para elaborar los planos de situación y del horno. Autodesk Inventor sirvió para crear el modelo en 3D del horno que, a su vez, permitió elaborar gran parte de los dibujos que explican el horno o describen el fenómeno. Microsoft Excel se utilizó para elaborar todos los formatos estándar requeridos para el proyecto (hojas 1, 2 y 4, SOP y OPL) y para realizar el balance de potencia y el análisis de las 5W. En Microsoft Word se redactó el proyecto y Microsoft PowerPoint se utilizó para preparar las presentaciones que se expondrán en la auditoría WCM del proyecto y que se recogen en cada uno de los Anexos.

APPLICATION OF STANDARD KAIZEN METHODOLOGY IN A PLANT OF MANUFACTURE OF ISOLATION

Introduction

The present project consists in the application of the Standard Kaizen methodology to a manufacturing process of insulating material in the Saint Gobain Isover Ibérica, S.L., plant located in the town of Azuqueca de Henares (Guadalajara).

The Saint Gobain Isover Ibérica, S.L. factory is part of the Saint-Gobain Group, a multinational company founded and managed in France that develops, manufactures and markets materials and solutions for construction, transport, infrastructures and for numerous applications in

industry. Specifically, this factory is dedicated to the production of mineral wool insulation, of glass and rock, for thermal, acoustic and anti-fire protection, as well as for air conditioning ducts.

In one of the production lines of glass wool (line B), a machine called polymerization or curing oven is involved. It has been observed that this machine has a total energy consumption (gas and electricity) significantly higher than the established consumption by design, so the objective of the project is to reduce this excess of energy consumed, which is an energy loss. For this, the Standard Kaizen methodology is used, which has as its main purpose to get a machine or a system to work more efficiently by reducing its losses and making a better adjustment of its operating parameters. Therefore, the results of this project will consist of introducing constructive improvements in the machine and in determining its optimal adjustment parameters depending on the product being manufactured.

The Kaizen methodology is part of the World Class Manufacturing (WCM), which is a business philosophy focused on continuous improvement and obtaining industrial excellence by progressively eliminating losses, ensuring product quality and maximizing flexibility according to the needs of clients, all this integrating and motivating the people who work in the plants. It is a system structured and integrated in all the processes of the plant: production, safety, quality, maintenance, administration, logistics, environment, etc.

To maintain their leadership positions, companies that compete on a global level must maintain a constant search for excellence through increasingly efficient practices and the incorporation of new operational concepts. This is how the World Class Manufacture comes about, whose objective is to increase and standardize companies' performance worldwide.

The WCM model is an evolution of the Japanese system Total Productive Maintenance (TPM), although it also integrates other methods, such as Total Quality Control (TQC), Just in Time (JIT) and Total Industrial Engineering (TIE).

Japanese companies have been pioneers in the development of these techniques and their implementation through Lean Manufacturing, a philosophy that seeks to improve and optimize a production system by eliminating all activities that do not add value to the process. Thus, these companies managed to be the most productive and maintain their leadership positions. In the 1970s, when American companies had difficulty in overcoming the oil crisis, a general interest for these methods was aroused, and World Class Manufacturing was born while trying to adapt and apply Japanese models to Western companies. However, the evolution of the factories towards industrial excellence is not complete if the WCM is not complemented by the technological evolution and the digital transformation that is taking place today and which, in the world of manufacturing, manifests itself as the Fourth Industrial Revolution or Industry 4.0.

In short, it is expected that, in the coming years, factories will carry out an implementation process for Industry 4.0. This would possibly imply for the World Class Manufacturing that, while maintaining its fundamental principles and values, it will undergo changes to adapt to the new modes of operation of the industries. In this case, a possible result would be the coexistence of Industry 4.0 with a new or modified World Class Manufacturing that seeks to achieve its fundamental objective of industrial excellence, but in the context of Connected Industry.

Methodology

World Class Manufacturing has a set of tools to identify problems and search for solutions (including Standard Kaizen) that differ in their level of complexity, but all of them follow the following general structure:

1. Definition of the problem and description of the phenomenon.
2. Understanding of the system: identify the system under study and describe how it should work.
3. Analysis of the root cause: application of the analysis of the five whys to identify the root cause of the problem.
4. Countermeasures: implementation of the solutions.

The Standard Kaizen methodology consists of a set of stages and sub-stages that are detailed below. All the tasks carried out throughout the project are documented in three worksheets which have a predefined standard Excel format for the Kaizen methodology.

Worksheet 1 consists of the preparation of the project and the definition of the problem.

Firstly, the cost deployment is carried out, which consists of generating a set of stratified Pareto charts that allow to identify and quantify economically the causes of the losses of the Azuqueca de Henares plant for different levels of detail. Each level corresponds to a graph: the first level is the most generic and the last one is the most specific. In this summary, only the first chart is included, but the conclusions of all are explained.

The graph of the first level (Figure 1) includes all the causes that generate losses in line B. The sum of all these losses constitutes the total loss of line B and represents 30% of its annual operating cost.

TOTAL LOSSES OF LINE B

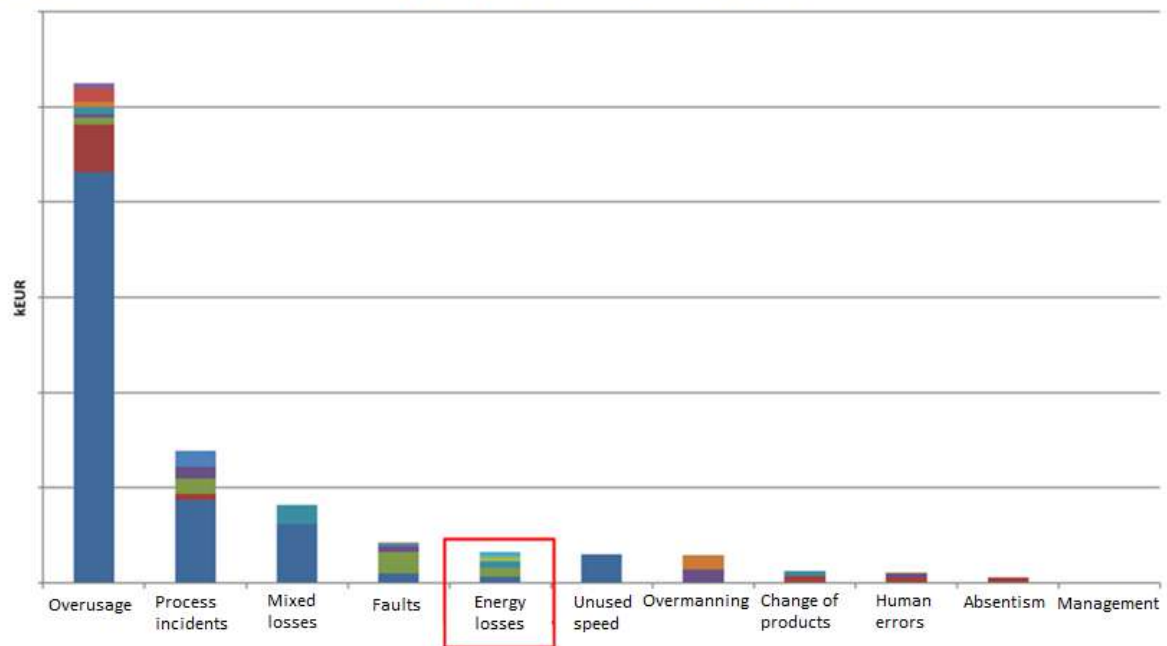


Figure 1: Pareto graph of the first level of losses of line B.

The project focuses on energy losses, so the second graph breaks this down. It shows that the energy losses of line B amount to 652,000€ and that they are due, from greater to lesser importance, to the formation of primary wool, fiberizing, curing oven, electric oven and full line. As the project studies the curing oven, the third graph studies this point. It shows that the energy losses of the line B's curing oven add up to 135,000€ and are due to an excessive consumption of gas (which translates into 111,000€) and electricity (24,000€). Therefore, the project must eliminate part of these losses (the specific amount will be specified later).

The second stage consists of explaining in detail the machine to which the project is applied by means of drawings or diagrams to facilitate the understanding of the subsequent analyses.

Figure 2 represents a 3D model of the polymerization oven and indicates its main elements.

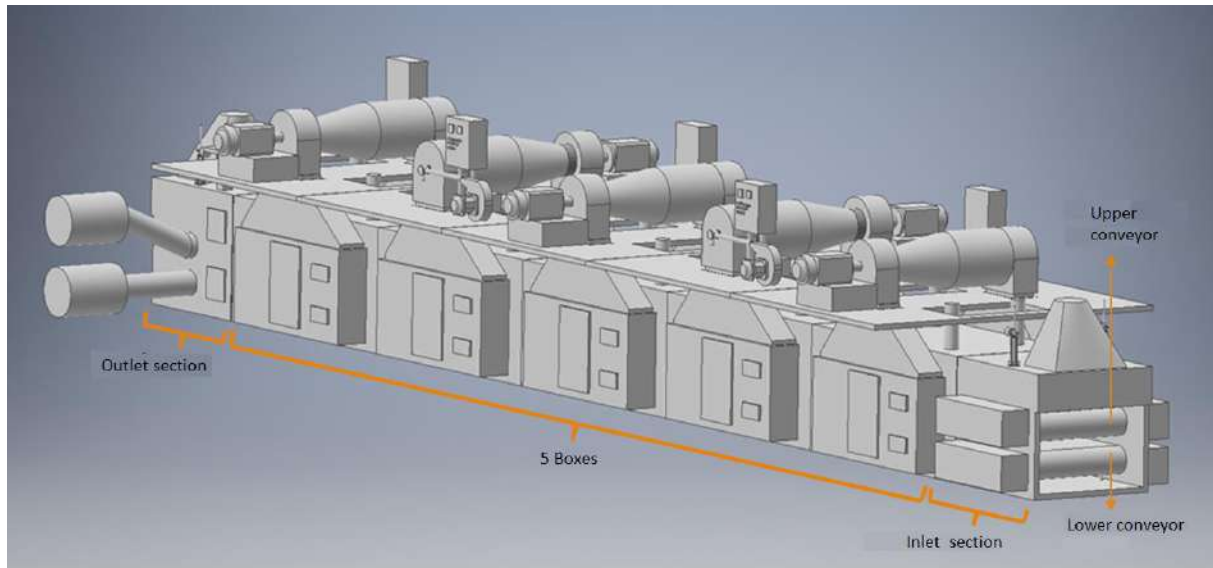


Figure 2: 3D model of the polymerization oven.

The oven consists of five boxes each independent from the others, but aligned together to form the whole machine. The interior of the boxes is traversed longitudinally and continuously by two conveyors (the upper and lower), responsible for moving the product through the oven. In this way, the product enters the oven through the inlet section, it is placed between the conveyors, crosses the five boxes and exits through the outlet section.

At the entrance to the oven, the product is made up of glass fibers, water and an additive called binder or resin. At this point, the product lacks mechanical properties and its fibers are not linked together. At the exit of the oven, it is desired to obtain a product formed solely by fibers and resin and characterized by having mechanical properties and their fibers joined together. For this, the oven must submit the product to a process consisting of three phases:

- Evaporation of all the water contained in the product. This occurs in the first boxes.
- Increase in temperature until it is between 180 and 220°C (minimum and maximum curing temperature). This occurs in the intermediate boxes.
- Polymerization or curing of resin. This consists in modifying the chemical structure of the resin so that it acquires adherent properties and acts as a binder with the glass fibers. This phenomenon only occurs optimally when the temperature of the product is between 180 and 220°C for between 10 and 15 seconds. This happens in the last boxes.

In addition, as a consequence of this whole process, the product acquires more mechanical resistance as it moves through the oven.

To carry out this process, an air flow at high pressure and temperature is passed through the product inside each box. Figure 3 shows an isolated box with the elements that intervene in the generation of this flow.

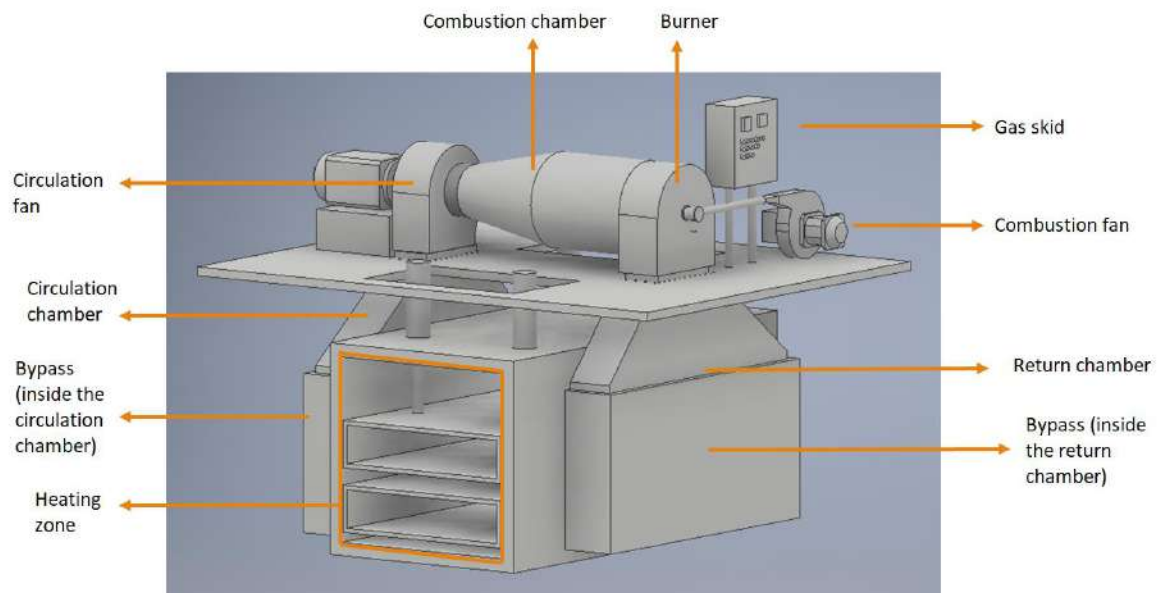


Figure 3: Elements that intervene in the generation of air flow.

Figure 4 illustrates the generation of the air flow and its path, represented for a box in two dimensions. The gas skid continuously provides the appropriate amount of gas (fuel), and the combustion air fan absorbs the necessary amount of outside air (comburent). Both components are injected into the combustion chamber, a complete combustion is produced and, as a result, the hot air that will pass through the product is obtained.

The circulation fan drives this air at high pressure, taking it through the following route: it is introduced into the circulation chamber and, since in this case the right bypass is closed, the air is forced to enter the heating zone by the lower right, passes through the holes of the lower conveyor, passes through the product from bottom to top, passes through the upper conveyor and leaves the heating zone at the top left. Once in the return chamber, the gas is reinjected into the combustion chamber.

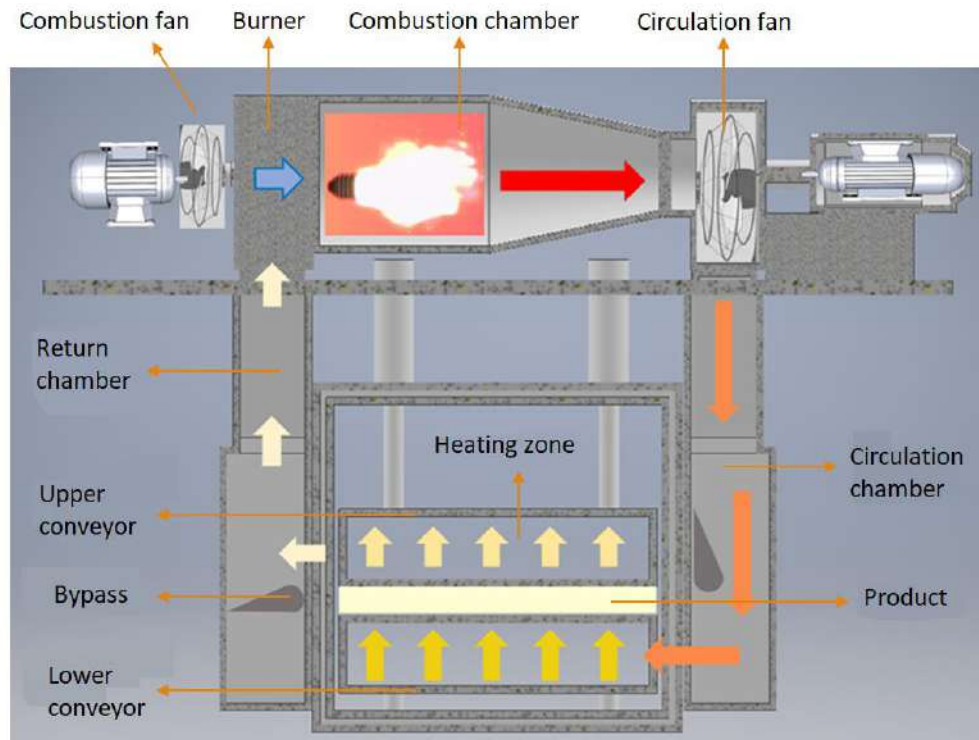


Figure 4: Generation and route of the air flow at high pressure and temperature that passes through the product.

In the other boxes an analogous process takes place, with the difference that the direction in which the flow of air passes through the product can be reversed, which depends on the position of the bypasses.

Inside the oven, the three types of heat transfer to the product are present: convection accounts for 75% of the heat transferred to the material and is due to the movement of air flow through it, conduction accounts for 20% and is due to the contact of the transporters with the product, and radiation accounts for 5%.

When passing through the product, the air drags particles of fiberglass, binder, H_2O and CO_2 . The resin and the glass dust are not healthy, so these fumes must be evacuated from the oven to prevent them from leaking into the environment. This is achieved by the exhaust fans (one in the inlet section and another in the outlet section).

In addition to the elements mentioned above, the oven contains other components of relevance to the project, such as explosion plots, which must release the overpressure that is generated inside the oven when an explosion occurs inside it; the doors of the boxes, the front doors of the entrance and exit sections (through them, the product enters and leaves the oven); the cleaning brush motor of the upper conveyor; and the clog detector.

Once the oven operation has been described, its location is established by means of plans.

Next, the oven power balance is performed. This is a tool used to figure out, from a set of measurements, the amount of power coming from the gas that is provided to the oven (input power) and to which each part of that power is destined (power outputs). Part of the output power are losses. In this way, the balance quantitatively accounts for how the power supplied is used, and this is shown in Table 1.

	Burner	Useful for the material	Losses in exhaust fumes	Losses by oven surfaces	Losses in product (overcuring)
POWER (kW)	517	165	259	77	16
ENERGY (kWh/t fibra)	221,4	70,63	110,92	32,99	6,86
%	100%	31,9%	50,1%	14,9%	3,1%
k€ (t=20.000 ton in 2019)			66,55	19,79	4,12

Table 1: Sources of oven losses.

It is observed that the main source of losses are exhaust fumes (50,1% of the energy supplied by the burner). This is because the exhaust fans evacuate gas from the interior of the oven that is at a temperature between 140 and 200°C, that is gas which contains high heat energy that is not used.

However, it is not possible to completely eliminate all these losses due to the constructive characteristics of the oven. Therefore, the part of each loss that can be eliminated has been estimated (potential for improvement), and this is shown in Table 2. Now, the most important loss happens to be the one that occurs in the surfaces of the oven and the second most important loss occurs in the exhaust fumes.

	Losses in exhaust fumes	Losses by oven surfaces	Losses in product (overcuring)
Potential for improvement (%)	18,17	79,87	100
Potential for improvement (kWh/t fiber)	20,15	26,35	6,86
Potential for improvement (k€)	12,09	15,81	4,12

Table 2: Removable oven losses.

Adding together the potential for improvement of the three losses, it is possible to establish the objective of the project: to reduce the energy consumption of the oven by 53.36 kWh/t fiber (32,016 €/year). Therefore, it is intended to reduce by 32,016 euros the 135,000 euros that represent the energy losses of the oven obtained in the cost deployment (23.71%).

Finally, the team that will carry out the project is defined and a plan is established (which includes a timetable).

Worksheet 2 consists of the external and detailed study of the problem. The first study is the observational analysis, which consists of physically going to the place of the problem and

perceiving its symptoms through the senses. In the observational analysis, two types of problems relevant to the project were detected. Both have an impact on the energy consumption of the oven, but the first is related to the operating parameters of the machine and the second relates mainly to its constructive aspects. They are the following:

- Overcuring: occurs when the product is given more energy than it needs to polymerize optimally. This was detected in the temperature profile that the product follows inside the oven (Figure 5): its temperature exceeded 220°C or remained between 180 and 220°C for more than 15 seconds.

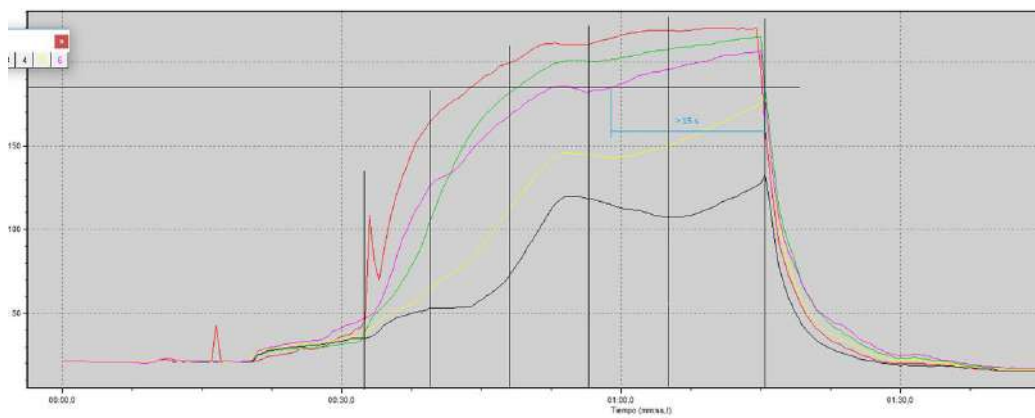


Figure 5: Temperature profiles of several points of the product as it passes through the oven.

- Leaks and energy losses through those elements of the oven that lack sealing or have it deteriorated. This also occurs in the front doors of the entry and exit sections, when they are too open and the exhaust fans are not correctly regulated. As a result of the leaks and the fiberglass and resin accumulated in these places, they deteriorate and have a temperature significantly higher than the acceptable range (40 - 50°C). All this is shown in Figure 6.



Figure 6: Elements deteriorated with leaks and with temperatures above their admissible range.

The second study is the analysis of the 5W, which consists in generating successive stratified Pareto graphs that represent the energy consumption of the oven for five levels: what, when,

where, who and which. Within each level, a variable is selected and the consumptions are represented according to it. Thus, in the case of the oven, the variables selected for each level are: the products manufactured (what), the production campaigns or time in which each product remains in the line (when), the losses of each part of the machine (where), the consumption depending on the team that works on the oven (who) and the consumption over time (which). The conclusions of this study are presented below:

- Products manufactured in short campaigns (≤ 16 h) have a higher consumption than the average (Alumisol Panel: 560 kWh/t fiber), and products that are manufactured in long campaigns (> 16 h) have a lower consumption (Climaver: 300 kWh/t fiber). This is shown in the graph of Figure 7.

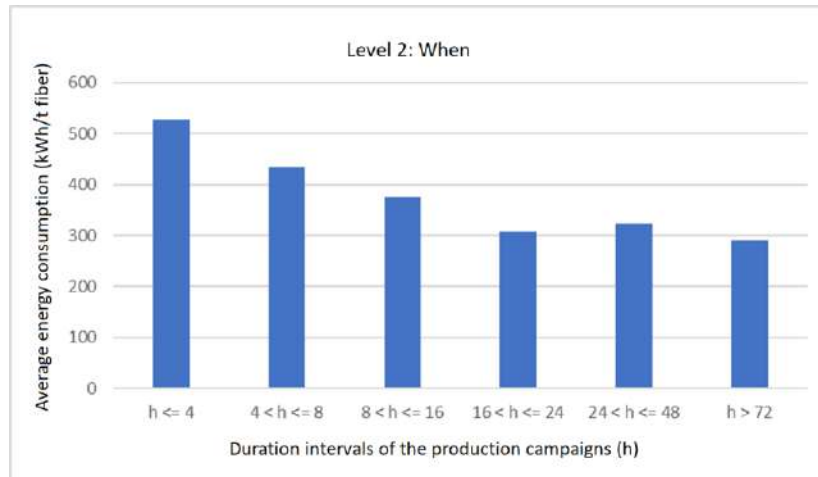


Figure 7: Energy consumption of the oven according to the duration ranges of the campaigns.

- Teams B1 and A1 are less efficient when establishing the oven settings, which is manifested mainly through the products of short duration of the campaign, which are the most complicated in terms of the adjustment of their settings (Figure 8).

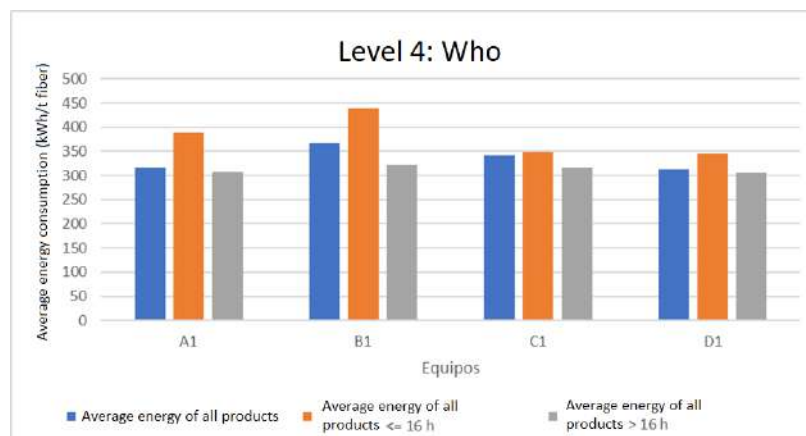


Figure 8: Energy consumptions of the oven broken down for each equipment.

-
- Oven losses are due, from greater to lesser importance, to exhaust fumes, oven surfaces and over-curing. Exhaust fumes account for 73.6% of the total losses, and 50.1% of the total gas energy supplied to the oven. This number is obtained from the power balance.

The third analysis is the study of the 4M. Changes that have taken place in the factory over time can be important in relation to the causes of the problem, and can help determine its true root cause. This is a historical study to detect and analyze the changes related to the oven that have taken place in the factory. Changes in man, method, machine and materials must be considered. From this the following conclusion was drawn:

- The CPL or polyvalent line coordinators are responsible for establishing the settings of the oven and for training the new CPLs for this function. However, there is no standardization of procedures to regulate the oven, so the knowledge that the CPLs have varies and may not be completely correct. In addition, there is no process engineer in charge of controlling these settings.

From the three previous studies, it should be possible to describe in detail the phenomenon or problem that occurs in the oven. The main objective of this project is to reduce the energy losses of the polymerization oven. Therefore, this is the problem that is intended to be solved and on which the phenomenon is focused. The description of the phenomenon has been structured according to the three types of eliminable energy losses that occur in the oven, which are, from greater to lesser importance:

- Losses through the surfaces of the oven. They are caused by:
 - Lack of basic conditions in the oven due to the partial or total absence of tightness and the absence of insulating fabrics between boxes.
 - Adjustments of the oven outside its standard range: improper setting of exhaust fans and excessively open front doors.

Figure 9 summarizes the value of this loss and the causes that generate it.

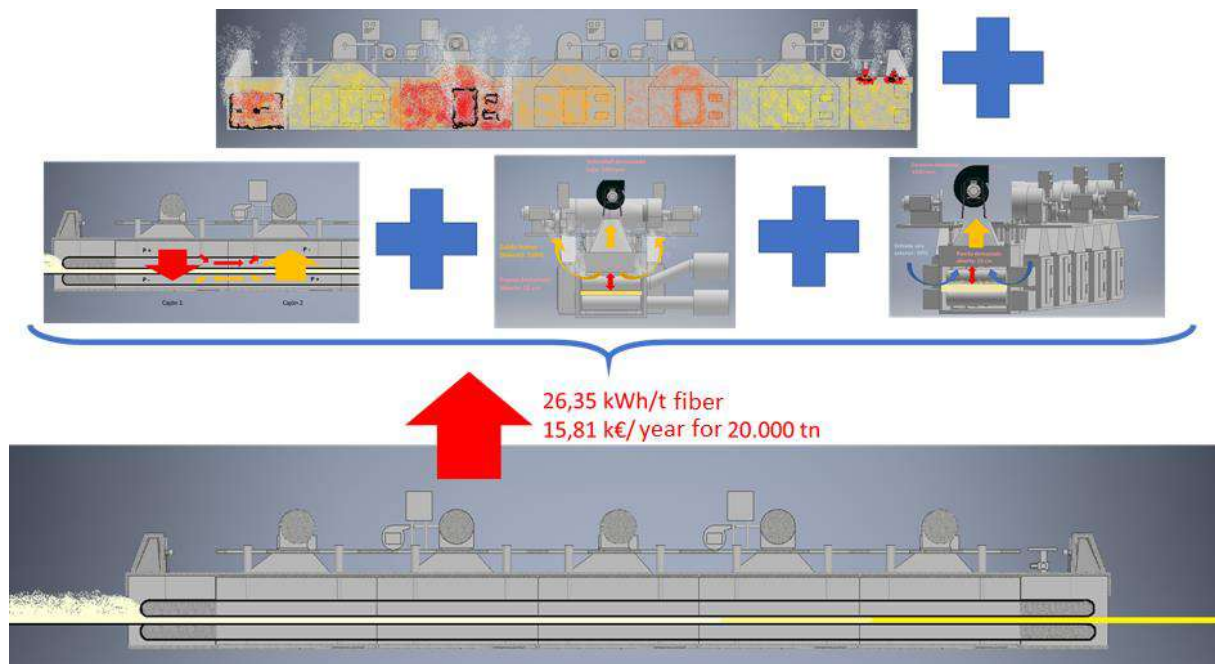


Figure 9: Synthesis of the causes of losses through the surfaces of the oven.

- Losses through exhaust fumes (Figure 10). They are caused by:
 - Adjustments of the oven outside its standard range: excessive setting of exhaust fans.

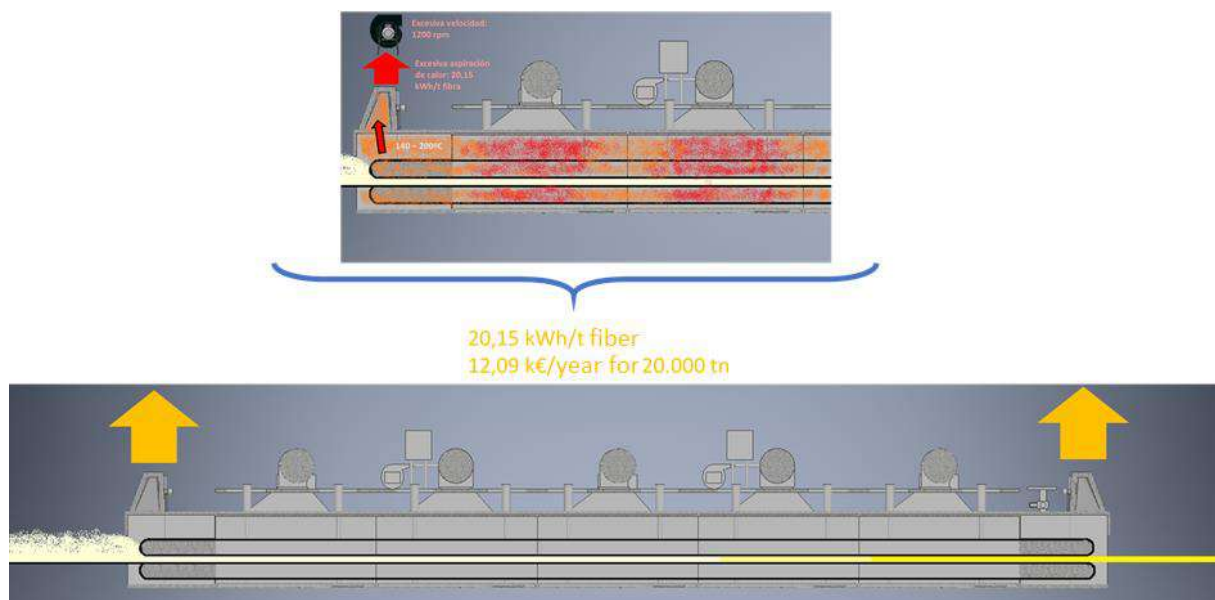


Figure 10: Synthesis of the cause of losses through exhaust fumes.

- Losses through the product due to overcuring (Figure 11). They are due to:
 - Adjustments of the oven outside its standard range: the CPLs do not know the optimal settings of the oven depending on each product.

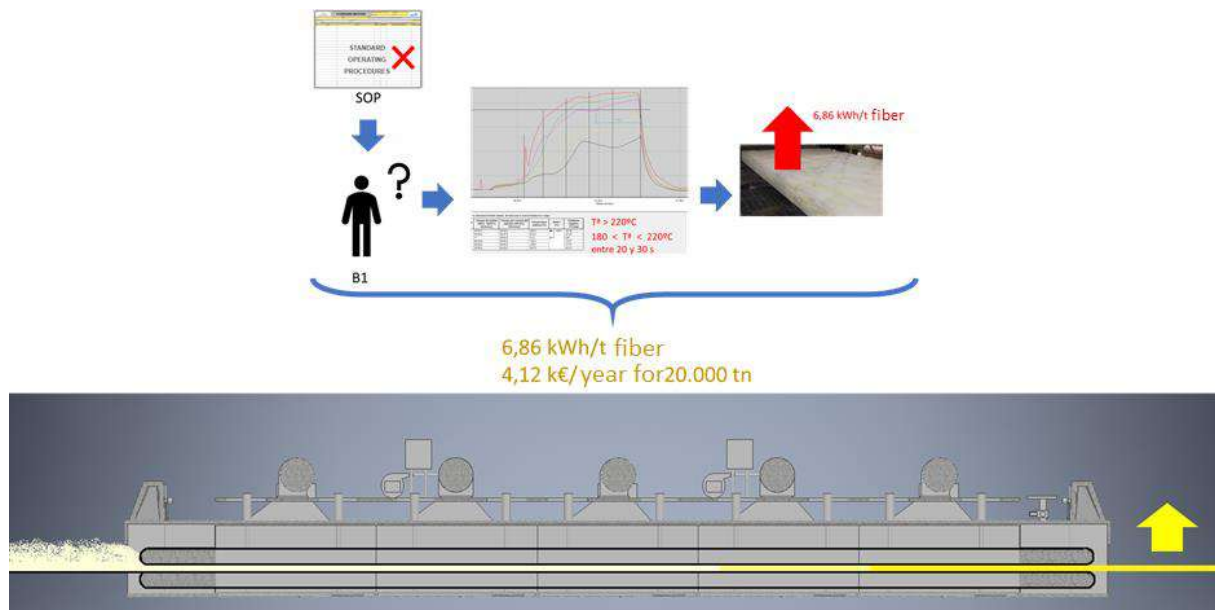


Figure 11: Synthesis of the cause of losses of the overcuring in the product.

Once the phenomenon is described, worksheet 4 begins, which consists of finding the root cause of the problem, proposing solutions and an action plan. Table 3, Table 4 and Table 5 show each event described in the phenomenon, its root cause and the proposed solution.

Fact of the phenomenon	Lack of basic conditions.
Root cause	There is a preventive maintenance program, but it does not contemplate defective equipment or there is no preventive maintenance plan for that equipment.
Solution	Review and execution of existing preventive maintenance programs or their preparation.

Table 3: Fact of the phenomenon, root cause and solution (1).

Fact of the phenomenon	Adjustments outside the standard range.
Root cause	There is no standardization of oven setting procedures during CPL training.
Solution	Development of a standard operating procedure (SOP) with explanation of oven setting procedures according to each family of products. This SOP is included in Annex III and a more detailed explanation of oven settings is included in the Report.

Table 4: Fact of the phenomenon, root cause and solution (2).

Fact of the phenomenon	Excessive consumption for some products.
Root cause	For reasons of production planning, several campaigns of short duration are organized for the same products.
Solution	Preparation of a specific lesson (OPL) with proposals to organize the planning of the products so that there are fewer campaigns of longer duration. This OPL is included in Annex III.

Table 5: Fact of the phenomenon, root cause and solution (3).

Results

When all the solutions proposed in the previous section are applied, energy savings of 53.36 kWh/t fiber will be obtained (losses per year will be reduced by 32,016 euros).

The SOP has led to the standardization of the oven setting procedure, which is also being used in another factory of the Saint-Gobain Group. These adjustments contribute to improve the perceived quality of the product.

Conclusions

The three causes of eliminable losses of the polymerization oven are, from greater to lesser importance, the surfaces of the oven (26.35 kWh/t fiber, 15.81 k€/year), the exhaust fumes (20.15 kWh/t of fiber, 12.09 k€/year) and the over-curing of the product (6.86 kWh/t fiber, 4.12 k €/year). In total, add 53.36 kWh/t of fiber or 32,016 euros per year.

The root causes of these losses are: the lack of a preventive maintenance program that includes the problematic elements, the absence of a standard procedure to establish oven settings and the short duration of campaigns for some products (less than or equal to 16 hours).

Therefore, the proposed solutions are: review and execute the preventive maintenance programs, prepare an SOP on the settings of the oven and develop an OPL with proposals to organize the planning of the products so that there are fewer longer campaigns.

The total application of these solutions will lead to energy savings of 53.36 kWh/t fiber (32,016 euros per year).

References

For the realization of the project, ISOVER documents, web pages, computer programs and resources of the Azuqueca factory have been used.

The ISOVER documents include information on the Standard Kaizen methodology, on the line B and on the polymerization oven. This information about the oven was used to explain its operation and characteristics, which is one of the tasks of worksheet 1.

The web pages were used, mainly, to gather information about the Saint-Gobain Group and the Azuqueca de Henares factory.

With respect to computer programs, AutoCAD 2019 was used to prepare the situation and oven plans. Autodesk Inventor was used to create the 3D model of the oven which, in turn, allowed to elaborate a large part of the drawings that explain the oven or describe the phenomenon. Microsoft Excel was used to elaborate all the standard formats required for the project (sheets 1, 2 and 4, SOP and OPL) and to perform the power balance and the analysis of the 5W. In Microsoft Word the project was written and Microsoft PowerPoint was used to prepare the presentations that will be exposed in the WCM audit of the project and that are included in the Annexes.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)**

DOCUMENTOS DEL PROYECTO

I. MEMORIA

II. ANEXOS

**III. BIBLIOGRAFÍA Y
RECURSOS**



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROYECTO DE FIN DE MÁSTER
APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA
STANDARD KAIZEN EN UNA PLANTA DE
FABRICACIÓN DE AISLAMIENTO**

Autora: María Begoña Luaces Geijo

Directores:

Susana Ortiz Marcos

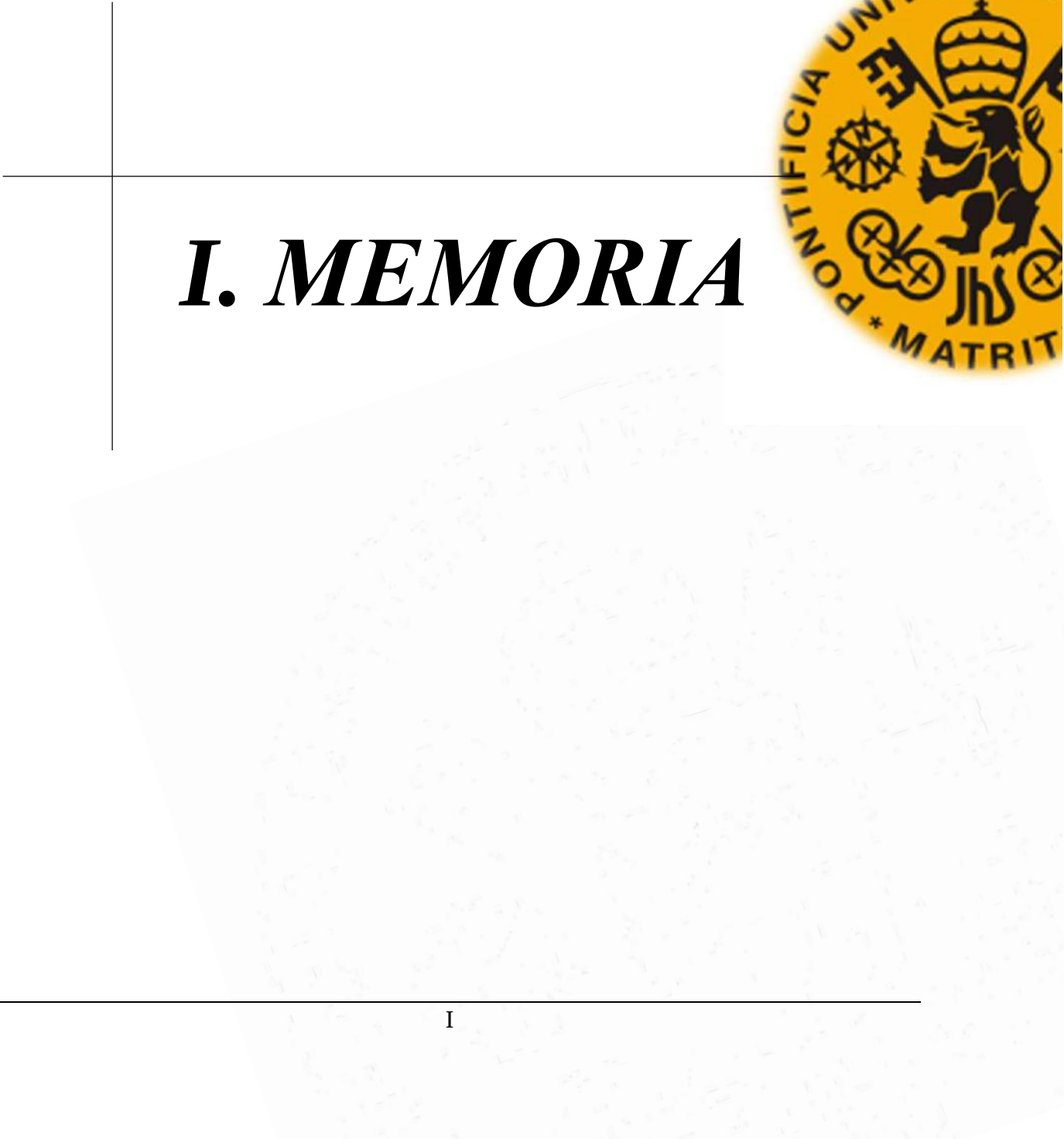
Ángel Blanco González

Madrid, julio 2019



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)



I. MEMORIA





ÍNDICE DE LA MEMORIA

I. MEMORIA	I
1. MEMORIA DESCRIPTIVA.....	7
1.1 INTRODUCCIÓN.....	7
1.2 OBJETIVO	8
1.3 EL GRUPO SAINT-GOBAIN	8
1.3.1 Actividades	9
1.3.1.1 Materiales innovadores	9
1.3.1.2 Productos para la construcción	10
1.3.1.3 Distribución de materiales de construcción	11
1.3.2 Mercados en España	12
1.3.2.1 Automoción	12
1.3.2.2 Construcción	13
1.3.2.3 Industria	13
1.3.3 Historia de Saint-Gobain en el sur de Europa.....	14
1.4 LA FÁBRICA SAINT GOBAIN ISOVER IBÉRICA	17
1.5 LA LÍNEA B.....	21
1.5.1 El horno eléctrico	22
1.5.2 Las máquinas de fibraje	23
1.5.3 El horno de polimerización.....	25
1.5.4 Revestimientos	26
1.5.5 Operaciones de corte, empaquetado y paletizado	26
1.6 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN A UN PRODUCTO.....	31
1.6.1 Parámetros de la línea.....	31
1.6.1.1 Tirada de vidrio fibrado	31
1.6.1.2 Velocidad de la línea.....	31
1.6.2 Dimensiones del producto	31
1.6.2.1 Longitud.....	31
1.6.2.2 Anchura.....	32
1.6.2.3 Espesor.....	32
1.6.3 Características del producto.....	33
1.6.3.1 Densidad	33
1.6.3.2 Gramaje.....	34
1.6.3.3 Micronaire.....	34
1.6.3.4 Tipo de encolado.....	36
1.6.3.5 Pérdida al fuego	36
1.6.3.6 Humedad de la lana antes de la estufa	36
1.7 EL HORNO DE POLIMERIZACIÓN	37
1.7.1 Estructura y elementos principales	37
1.7.1.1 Transportadores superior e inferior.....	37
1.7.1.2 Cajones de calentamiento	46



1.7.1.3 Secciones de entrada y salida.....	47
1.7.2 Funcionamiento	50
1.7.2.1 Generación del flujo de aire caliente.....	51
1.7.2.2 El proceso de secado y curado	53
1.7.2.3 Intercambio de calor en el proceso	55
1.7.2.4 Sistema de lavado de humos	56
1.7.3 Funciones.....	58
1.7.3.1 Secar el producto	58
1.7.3.2 Curar el producto	58
1.7.3.3 Dar al producto su forma final	59
1.7.3.4 Conferir al producto sus propiedades mecánicas	62
1.7.3.5 Evacuar los gases al sistema de lavado de humos.....	62
1.7.3.6 Establecer la velocidad de referencia para la línea	63
1.7.3.7 Transportar el producto a través de la estufa	63
1.7.3.8 Aislar el conjunto de la estufa.....	63
1.7.3.9 Minimizar el consumo de energía y las emisiones.....	64
1.8 WORLD CLASS MANUFACTURING (WCM)	67
1.8.1 Introducción.....	67
1.8.2 Historia de la manufactura de clase mundial	67
1.8.3 El modelo WCM del Grupo Saint-Gobain	68
1.9 LA METODOLOGÍA STANDARD KAIZEN (SK).....	71
1.9.1 Introducción.....	71
1.9.2 Objetivo de la herramienta Standard Kaizen	71
1.9.3 Metodología.....	71
1.9.3.1 Hoja 1: preparación del proyecto y definición del problema	72
1.9.3.2 Hoja 2: estudio externo y detallado del problema.....	73
1.9.3.3 Hoja 3: estudio interno y detallado del problema	76
1.9.3.4 Hoja 4: causa raíz, soluciones y plan de acción	78
1.9.4 Aplicación del Standard Kaizen al horno de polimerización.....	80
1.10 HOJA 1: PREPARACIÓN DEL PROYECTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	80
1.10.1 Despliegue de costes.....	80
1.10.1.1 Nivel 1: pérdidas de la línea B	81
1.10.1.2 Nivel 2: pérdidas de energía	82
1.10.1.3 Nivel 3: pérdidas de energía del horno de polimerización.....	82
1.10.1.4 Nivel 4: pérdidas procedentes del gas y la electricidad	83
1.10.2 Funcionamiento de la estufa	85
1.10.2.1 Elementos del horno que intervienen en el SK	85
1.10.2.2 Funcionamiento	87
1.10.3 Localización del proyecto.....	91
1.10.4 Toma de medidas para el balance de potencia.....	94
1.10.5 Balance de potencia de la estufa	95
1.10.6 Objetivo del proyecto	97
1.10.6.1 Pérdida económica.....	97



1.10.6.2 Presupuesto	97
1.10.6.3 Ahorro.....	98
1.10.7 Equipo	98
1.10.7.1 Líder, integrantes y colaboradores	98
1.10.7.2 Normas del equipo	99
1.10.7.3 Matriz de habilidades.....	100
1.10.8 Planificación.....	101
1.11 HOJA 2: ESTUDIO EXTERNO Y DETALLADO DEL PROBLEMA	104
1.11.1 Análisis observacional	104
1.11.1.1 Seguridad	104
1.11.1.2 Sobrecurado	105
1.11.1.3 Fugas, pérdidas de energía y suciedad	106
1.11.1.4 Ausencia de elementos.....	110
1.11.2 Estudio estadístico de las 5W	110
1.11.2.1 What (qué)	110
1.11.2.2 When (cuándo).....	111
1.11.2.3 Where (dónde)	113
1.11.2.4 Who (quién)	114
1.11.2.5 Which (cuál)	115
1.11.3 Estudio histórico de las 4M	116
1.11.3.1 Machine changes (máquina)	116
1.11.3.2 Material changes (materiales)	116
1.11.3.3 Method changes (métodos)	116
1.11.3.4 Man changes (personal)	116
1.11.4 Hechos del fenómeno	116
1.11.4.1 Hechos del análisis observacional.....	117
1.11.4.2 Hechos del análisis de las 5W.....	117
1.11.4.3 Hechos del estudio de las 4M	117
1.11.5 Descripción del fenómeno	118
1.11.5.1 Superficies de la estufa	119
1.11.5.2 Aspiraciones de humos	123
1.11.5.3 Producto (sobrecurado).....	124
1.12 HOJA 4: CAUSA RAÍZ, SOLUCIONES Y PLAN DE ACCIÓN.....	126
1.12.1 Análisis de la causa raíz.....	126
1.12.2 Contramedidas	128
1.12.3 Evaluación de riesgos de las contramedidas	129
1.12.4 Plan de implementación.....	129
1.12.5 Mantenimiento de los resultados	129
1.12.5.1 Gestión del cambio	129
1.12.5.2 Beneficios tangibles.....	130
1.12.5.3 Beneficios intangibles.....	130
1.12.5.4 Expansión horizontal	130
1.12.6 Procedimiento para el reglaje del horno de polimerización.....	131
1.12.6.1 Parámetros que intervienen en el proceso.....	131



1.12.6.2 Metodología general para establecer los reglajes.....	133
1.12.6.3 Calidad del material antes de la estufa.....	133
1.12.6.4 Reglajes en función del producto y de las condiciones de la línea	134
1.12.6.5 Ajuste de los parámetros teniendo en cuenta consideraciones energéticas	140
1.12.6.6 Ajustes para casos excepcionales.....	140
2. MEDIDAS PARA EL BALANCE DE POTENCIA	143
2.1 BLOQUES DE MEDIDAS	143
2.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS	143
2.3 PROCEDIMIENTO Y MEDIDAS OBTENIDAS	144
2.3.1 Condiciones ambientales	144
2.3.2 Características del producto y de la línea	145
2.3.3 Parámetros de la estufa	147
2.3.4 Temperaturas de todas las superficies del horno	152
2.3.5 Temperaturas de las paletas de los transportadores	154
2.3.6 Perfil de temperatura del producto en el horno (Datapaq).....	156
2.3.7 Presiones y temperaturas de los humos aspirados	157
3. CÁLCULOS DEL BALANCE DE POTENCIA	162
3.1 BLOQUES DE POTENCIAS.....	162
3.2 FUNCIONES	163
3.3 VARIABLES.....	166
3.3.1 Transportadores	166
3.3.2 Superficies de la estufa	167
3.3.3 Humos aspirados	169
3.3.4 Producto.....	173
3.3.5 Condiciones ambientales	176
3.3.6 Encolado	178
3.4 POTENCIAS.....	179
3.4.1 Potencia útil para el producto	179
3.4.2 Potencia procedente del gas.....	187
3.4.3 Potencia perdida a través de los humos	189
3.4.4 Potencia procedente del aire precalentado.....	194
3.4.5 Potencia perdida a través de las superficies del horno.....	198
3.4.6 Balance global de potencia	203
3.4.7 Balance global de masa	206
3.4.8 Consumos	209
3.4.9 Eficiencia.....	210
4. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE LAS 5W.....	211
4.1 CONSUMOS DE GAS.....	211
4.1.1 Datos de partida.....	211
4.1.2 Cálculos	212
4.1.3 Resultados	213



4.2	CONSUMOS DE ELECTRICIDAD	215
4.2.1	Datos de partida.....	215
4.2.2	Cálculos	216
4.2.3	Resultados	217
4.3	CONSUMOS TOTALES (GAS Y ELECTRICIDAD)	219



1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consiste en la aplicación de la metodología *Standard Kaizen* a un proceso de fabricación de material aislante en la planta de Saint Gobain Isover Ibérica, S.L., situada en la localidad de Azuqueca de Henares (Guadalajara).

Saint Gobain Isover Ibérica, S.L. forma parte del Grupo Saint-Gobain, una compañía multinacional fundada y administrada en Francia que desarrolla, fabrica y comercializa materiales y soluciones para la construcción, el transporte, las infraestructuras y para numerosas aplicaciones en la industria.

En gestión de la producción, la metodología *Kaizen* (del japonés, “mejora continua”) es una herramienta *World Class Manufacturing (WCM)*. La Manufactura de Clase Mundial o *WCM* es una filosofía empresarial enfocada a la mejora continua y a la obtención de la excelencia industrial eliminando progresivamente las pérdidas, asegurando la calidad del producto y maximizando la flexibilidad en función de las necesidades de los clientes, todo ello integrando y motivando a las personas que trabajan en las fábricas. Se trata de un sistema estructurado e integrado en todos los procesos de la planta: producción, seguridad, calidad, mantenimiento, administración, logística, medioambiente, etc.

La metodología *Kaizen* tiene como objetivo principal la eliminación de ineficiencias del proceso productivo a través de la mejora continua, entendida como una mejora incremental y constante. Este método se fundamenta en el Ciclo PDCA o Círculo de Deming (Figura 1), que consta de los siguientes cuatro pasos:

1. *Plan* (Planear): se identifica el problema susceptible de mejora, se fija la meta y los indicadores de control y se define el plan de acción.
2. *Do* (Hacer): se ejecuta el plan de acción y se registra en los documentos correspondientes.
3. *Check* (Verificar): después de cierto tiempo, se comparan los resultados obtenidos con los objetivos marcados.
4. *Act* (Actuar): se decide si se requiere alguna acción correctiva para mejorar. En caso de que así sea, se estandariza.

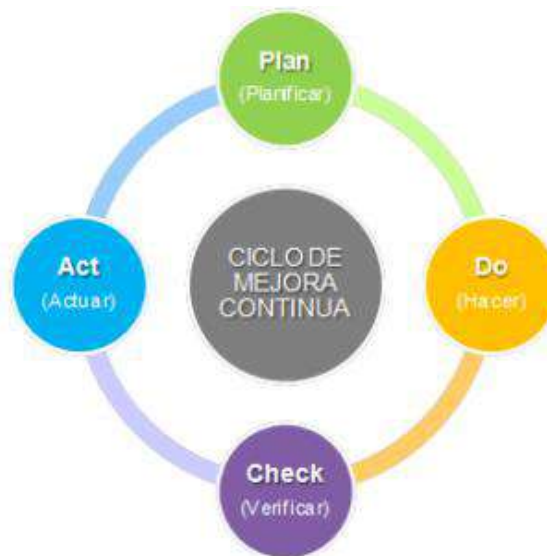


Figura 1: Ilustración del Ciclo PDCA o Círculo de Deming.

1.2 OBJETIVO

La herramienta *Standard Kaizen* tiene como finalidad principal conseguir que una máquina o un sistema trabaje de forma más eficiente reduciendo sus pérdidas y realizando un mejor ajuste de sus parámetros de funcionamiento. En este proyecto, la metodología *Kaizen* se aplica a uno de los elementos que intervienen en la línea de producción de lana de vidrio: el horno de polimerización. Se ha observado que esta máquina tiene un consumo de energía total (de gas y electricidad) significativamente superior al establecido por diseño, por lo que el objetivo consiste en reducir esas pérdidas energéticas.

Para ello, se introducirán mejoras constructivas y se establecerán los parámetros de ajuste de la máquina en función del tipo de producto que se esté fabricando. Como consecuencia de ello, se obtendrán dos resultados: en primer lugar, se minimizarán las pérdidas energéticas anuales del horno asociadas a los dos tipos de combustible que utiliza, actualmente estimadas en 111.000 euros de gas y 24.000 euros de electricidad y, en segundo lugar, se mejorará el funcionamiento de la máquina al tiempo que se obtendrán unos productos de mejor calidad.

1.3 EL GRUPO SAINT-GOBAIN

Saint Gobain Isover Ibérica, S.L. forma parte del Grupo Saint-Gobain, una compañía multinacional fundada y administrada en Francia que desarrolla, fabrica y comercializa materiales y soluciones para construcción, transporte, infraestructuras y para numerosas aplicaciones en la industria, como muestra la Figura 2.



Figura 2: Ilustración de las diversas aplicaciones de los productos del Grupo Saint-Gobain.

Es uno de los 100 mayores grupos industriales del mundo y, con 354 años de historia, es la compañía más antigua del CAC 40. Está presente en 67 países, cuenta con, aproximadamente, 180.000 empleados y en 2015 alcanzó una facturación de 39.600 millones de euros.

1.3.1 ACTIVIDADES

El conjunto de actividades del Grupo se organiza en torno a tres polos: Materiales innovadores, Productos para la construcción y Distribución de materiales para la construcción. Cada polo posee su propio eje de crecimiento y contribuye al desarrollo global de la compañía.

1.3.1.1 Materiales innovadores

El eje de Materiales Innovadores comprende la actividad del vidrio plano y de los materiales de altas prestaciones para la industria, la construcción, el transporte y la salud. De especial importancia es la actividad de I+D, cuyos centros están ubicados en Europa, Estados Unidos, China e India.

Este eje incluye diversas marcas comerciales y Sociedades como las siguientes (cuyos logotipos se muestran en la Figura 3):

- GLASS INDUSTRY: fabricación de soluciones en vidrio para fachadas e interiores de viviendas y de edificación no residencial.
- CLIMALIT PLUS: gama de vidrios de altas prestaciones, con aislamiento térmico reforzado y control solar.
- GLASSOLUTIONS: transformación y comercialización de soluciones en vidrio para un hábitat sostenible.
- VETROTECH: desarrollo de soluciones en vidrio para protección contra el fuego.



- BUILDING GLASS: comercialización de soluciones en vidrio que ofrecen confort y permiten rehabilitar y construir bajo la premisa de la sostenibilidad.
- SAINT-GOBAIN SEKURIT: diseño, desarrollo, fabricación y distribución de acristalamientos SEKURIT y de soluciones modulares para automoción y transportes.
- SAINT-GOBAIN AUTOVER: comercialización de acristalamientos SEKURIT para turismos y vehículos industriales, así como productos para el segmento de recambio (sellantes, accesorios y herramientas).
- GLASSDRIVE: reparación y sustitución de lunas de automóvil.
- INCUSA: extracción de arenas de sílice y feldespatos potásicos para la fabricación de materiales y productos para la construcción y para diversas aplicaciones en la industria.
- ADFORS: desarrollo de soluciones textiles y productos de refuerzo para incrementar la durabilidad de los materiales de construcción y para diversas aplicaciones en el transporte y en la industria.
- NORTON: fabricación de discos de corte y desbaste, muelas de rectificado, lijas y otros productos abrasivos para la industria.
- SAINT-GOBAIN PERFORMANCE PLASTICS: producción de componentes plásticos para electrodomésticos, electrónica y automoción.



Figura 3: Logotipos de las marcas del eje “Materiales Innovadores” del Grupo Saint-Gobain.

1.3.1.2 Productos para la construcción

Este eje ofrece soluciones de eficiencia energética para la edificación: aislamiento térmico y acústico, protección contra incendios, productos para fachadas, suelos, techos, cubiertas y sistemas de canalización.

Abarca las siguientes marcas de la compañía, cuyos logotipos se muestran en la Figura 4:

- SAINT-GOBAIN SEFPRO: fabricación de productos cerámicos refractarios para la industria.



- SAINT-GOBAIN ISOVER: producción de lanas minerales aislantes, de vidrio y de roca, para aislamiento térmico, acústico y protección contra el fuego, así como conductos de climatización.
- SAINT GOBAIN TRANSFORMADOS (ACH): producción de paneles sándwich de lana mineral, PUR y PIR, para aislamiento térmico, acústico y protección contra incendios de fachadas y cubiertas, además de la comercialización de cerramientos metálicos en fachadas y cubiertas.
- EUROCOUSTIC: comercialización de techos acústicos y decorativos (fabricados con yeso y lanas minerales aislantes) y techos metálicos para edificación no residencial.
- ECOPHON: desarrollo de soluciones de acondicionamiento acústico interior para edificación residencial.
- SAINT-GOBAIN PLACO: fabricación de yesos y placas de yeso laminadas para tabiquería y compartimentación interior.
- SAINT-GOBAIN WEBER: desarrollo de aislamientos y revestimientos de fachadas; colocación y rejuntado de cerámica; tratamiento y decoración de suelos; impermeabilización y tratamiento de humedades; reparación y protección de estructuras.
- SAINT-GOBAIN PAM: producción de tuberías y sistemas completos de canalización de aguas en fundición dúctil para obra civil.



Figura 4: Logotipos de las marcas del eje “Productos para la construcción” del Grupo Saint-Gobain.

1.3.1.3 Distribución de materiales de construcción

Se trata de una red de enseñanzas de distribución generalistas y especializadas, dirigidas al profesional de la construcción, tanto al pequeño empresario como a la mediana y gran empresa.

Comprende las siguientes marcas del Grupo, cuyos logotipos se muestran en la Figura 5:

- DISCESUR: distribución de cerámica, sanitarios, accesorios, muebles de baño, muebles de cocina y suelos de madera.



- DISTRIPAC: distribución de sistemas de tabiquería, aislamiento, techos y calorifugados.
- DP MATERIALES: distribución de materiales generalistas para la construcción.
- SANIGRIF: distribución de materiales de fontanería, calefacción y sanitarios.
- SANIPLAST: distribución de canalizaciones para edificación y obra civil.
- LA PLATAFORMA DE LA CONSTRUCCIÓN: distribución de materiales de construcción.



Figura 5: Logotipos de las marcas del eje “Distribución de materiales de construcción” del Grupo Saint-Gobain.

1.3.2 MERCADOS EN ESPAÑA

1.3.2.1 Automoción

1.3.2.1.1 Acristalamiento

Saint-Gobain SEKURIT fabrica acristalamientos templados y laminados (parabrisas, vidrios laterales, lunetas traseras y techos solares), acristalamientos especiales (blindados, para vehículos industriales...) y acristalamientos modulares. Además, ofrece servicios de premontaje de otros componentes y una variedad de piezas encapsuladas y extrusionadas.

Saint-Gobain AUTOVER distribuye los acristalamientos SEKURIT para turismos y vehículos industriales, así como productos de recambio (sellantes, accesorios y herramientas).

GLASSDRIVE es la red de talleres de reparación y sustitución de lunas de automóvil del Grupo.

1.3.2.1.2 Componentes

Saint-Gobain PERFORMANCE PLASTICS fabrica y comercializa piezas plásticas de precisión para el sector de la automoción: componentes de ingeniería que forman parte del



motor (sistema de refrigeración, sistema antipolución, sistema de frenado, lubricación, climatización...) o elementos que se integran en mecanismos de confort interior (elevallas, ajuste de asientos, amortiguación...).

1.3.2.1.3 Acabados

Saint-Gobain Abrasivos fabrica productos abrasivos para el rectificado de piezas y componentes, y también fabrica lijas para el acabado de la chapa y la pintura en la industria del transporte.

1.3.2.2 Construcción

1.3.2.2.1 Fachadas

A través de sus diferentes empresas, Saint-Gobain ofrece una gama de soluciones constructivas para muros y paredes, que ofrecen prestaciones de aislamiento acústico, aislamiento térmico, resistencia a impactos o resistencia al fuego.

En cuanto a la parte acristalada de las fachadas, el Grupo ofrece una gama de ventanas con doble acristalamiento de baja emisividad y altas prestaciones, como aislamiento acústico.

1.3.2.2.2 Suelos

Se trata de soluciones que ofrecen aislamiento al ruido de impacto y resistencia a impactos.

1.3.2.2.3 Cubiertas

Para el acondicionamiento de techos, buhardillas y cubiertas exteriores, Saint-Gobain ofrece trasdosados con aislamiento acústico y resistentes al fuego y a los impactos, rollos de lana de vidrio o paneles de lana mineral.

1.3.2.3 Industria

1.3.2.3.1 Arenas y feldespatos

Industrias del Cuarzo S.A.-INCUSA se encarga de la extracción de arenas de sílice y feldespatos potásicos que se emplean en la fabricación de materiales y productos para la construcción, como lanas minerales aislantes, morteros, vidrios, baldosas cerámicas, pinturas, grifería y cerámica sanitaria. Las arenas de sílice y los feldespatos potásicos también se utilizan en la fabricación de vidrio y moldes de fundición para la automoción, la industria auxiliar de componentes, la industria de envases de vidrio o en la industria eólica.

1.3.2.3.2 Soluciones de refuerzo

Saint-Gobain ADFORS fabrica soluciones textiles y productos de refuerzo para acondicionar y reparar paredes y para incrementar la durabilidad de los materiales de construcción (morteros, hormigones, cerámicas, mármoles o materiales para revestir paredes y suelos). Otras soluciones se emplean en la industria aeronáutica, marítima, eléctrica, electrónica y en los transportes.



1.3.2.3.3 Productos abrasivos

Saint-Gobain ABRASIVOS fabrica y comercializa productos abrasivos para el rectificado y el pulido de componentes de los transportes, para el acondicionamiento y el acabado de superficies y para herramientas del sector de la construcción.

1.3.2.3.4 Piezas plásticas

Saint-Gobain PERFORMANCE PLASTICS fabrica y comercializa piezas plásticas de precisión para el equipamiento del hábitat, electrodomésticos, electrónica de consumo, motores y mecanismos de confort interior en automóviles y vehículos ligeros.

1.3.2.3.5 Productos cerámicos refractarios

Saint-Gobain CERAMICS fabrica productos cerámicos refractarios como ladrillos, bloques y hormigones para hornos altos, acerías y equipamiento industrial. En éstos, a su vez, se fabrican materiales y productos para la construcción.

1.3.3 HISTORIA DE SAINT-GOBAIN EN EL SUR DE EUROPA

El Grupo Saint-Gobain se fundó en 1665 por encargo de Luis XIV con objeto de revestir de espejos el “salón de los espejos” del Palacio de Versalles. Cuenta con catorce Delegaciones para dirigir y coordinar la actividad de sus empresas en los 67 países en los que está presente. Una de ellas es la Delegación General Mediterránea de Saint-Gobain para España, Italia, Portugal, Grecia, Marruecos, Argelia, Túnez y Libia. Los orígenes de esta delegación se remontan a 1889 en Italia, y a 1905 en España.

En 1889, se constituye la Fabbrica Pisana di Specchi e Lastre Colate di Vetro en Pisa, hoy Saint-Gobain Glass Italia, para la fabricación de vidrio plano para la construcción.

En 1905, un emprendedor y empresario aragonés, propietario de un taller de manufactura de espejos (La Veneciana), se asocia con su proveedor francés la Compagnie de Saint-Gobain, constituyéndose así Cristalería Española (actualmente, Saint-Gobain Cristalería) en Burgos para fabricar vidrio.

A partir de estas dos primeras implantaciones en Italia y España, se inicia la expansión industrial de Saint-Gobain en el Mediterráneo, que comienza en 1912 y dura hasta la actualidad. Durante este período, Saint-Gobain funda algunas de sus fábricas, se asocia con otras y toma participación en algunas empresas. A continuación, se muestra un conjunto de hitos destacados que tuvieron lugar a lo largo de la historia del Grupo.

- 1917: Saint-Gobain se asocia con la fábrica de vidrio del Real Sitio de La Granja de San Ildefonso (Segovia), para la fabricación de vidrio plano.
- 1925: fundación de Vidriera Mecánica del Norte, en Cantabria, para la fabricación de vidrios impresos decorativos.



- 1949: Saint-Gobain toma participación en VIS, empresa dedicada a la actividad del vidrio para la automoción y los transportes en Italia.
- 1959: constitución de Vidriera de Castilla, S.A. (Vicasa) para la fabricación de vidrio hueco. Se convertirá en el motor del conjunto de empresas fabricantes de tarros, botellas y envases de vidrio templado para uso doméstico (Duralux) en España.
- 1962: Cristalería Española se implanta en Portugal mediante la toma de participación en la Companhia Vidreira Nacional S.A. (Covina), dedicada a la fabricación de vidrio plano.
- 1963: Cristalería Española inaugura la fábrica de Isover, en Guadalajara, que comienza a fabricar lanas de vidrio aislantes.
- 1966: Cristalería toma participación en Industrias del Cuarzo, S.A. (Incusa), dedicada a la extracción de arenas y otras materias primas para la fabricación de vidrio.
- 1972: en Italia, Saint-Gobain adquiere Refradige, empresa líder en material refractario para la construcción de hornos de vidrio.

A partir de 1975, la compañía se abre a nuevos mercados. Son relevantes los siguientes hechos:

- 1976: Saint-Gobain se inicia en la industria papelera en Vizcaya, actividad que mantendrá hasta 1994.
- 1982: en Francia, la Compagnie de Saint-Gobain es nacionalizada.
- 1986: la compañía se privatiza, entrando a cotizar en la bolsa de París.
- 1988: en Italia, Saint-Gobain adquiere Euroglass, empresa fabricante de vidrio para electrodomésticos.
- 1989: la compañía compra Norton Industries. En España, se inicia la actividad de abrasivos y de cerámicas industriales.
- 1996: Saint-Gobain refuerza su posición como fabricante de materiales de altas prestaciones, con la adquisición de cerámicas del Ter y de Calmar. Además, el Grupo integra nuevas actividades: la de morteros industriales y la de distribución de materiales de construcción.
- 1999: Saint-Gobain se implanta en Marruecos mediante la compra de una filial de Norton. Además, Cristalería Española deja de cotizar en bolsa.

En la última década del siglo XX, destaca la expansión en América Latina y en Asia de la que era entonces la Delegación General de Saint-Gobain para España, Portugal y Marruecos. Por otro lado, Saint-Gobain se desmarca del negocio del vidrio para vajillas a nivel mundial.



- 2000: la empresa matriz del Grupo en la Península, Cristalería Española, cambia su denominación social por la actual, Saint-Gobain Cristalería. A continuación, las empresas industriales del Grupo integrarán la mención “Saint-Gobain” en sus razones sociales, reflejando así su origen y pertenencia a la multinacional francesa.
- 2005: Saint-Gobain adquiere la multinacional británica British Plaster Board (BPB) y Saint-Gobain Cristalería refuerza su estructura industrial, integrando canteras de mineral de yeso, fábricas de yeso en polvo y de placas de yeso laminado.
- 2010: Saint-Gobain modela su estrategia de negocio hacia el concepto de “hábitat sostenible”, al integrar el aspecto de la preservación del medioambiente y la sostenibilidad.
- 2011: Saint-Gobain arranca su primer horno de vidrio solar fotovoltaico para la industria europea. La Delegación General de Saint-Gobain para España, Portugal y Marruecos refuerza su posición en el norte de África.
- 2013: la Delegación General de Saint-Gobain para España, Portugal y Marruecos amplía sus fronteras, integrando Argelia y Túnez en su perímetro de gestión.
- 2015: Saint-Gobain vende la actividad de envases de vidrio para alimentación y bebidas (Verallia) a nivel mundial. En España, adquiere la sociedad Lunared-Glassdrive en la que participaba. Con más de 400 talleres, Glassdrive se configura como la red de reparación y sustitución de lunas de automóvil más amplia de la Península Ibérica.
- 2016: Saint-Gobain reorganiza la gestión de su actividad en todo el mundo a través de sus Delegaciones Generales. Fruto de ello, en enero comienza su andadura la nueva Delegación General de Saint-Gobain para España, Italia, Portugal, Grecia, Marruecos, Argelia, Túnez y Libia, con sede principal en Madrid.
- 2019: Saint Gobain lanza el programa “Transformation & Grow”, cuyo fin es desarrollar una organización más ágil, eficiente y con una presencia más cercana al cliente.

En la actualidad, la planta de Azuqueca de Henares se integra en la Actividad de Aislamiento, cuya denominación comercial, Isover, engloba las soluciones de aislamiento térmico, acústico, protección contra el fuego y conductos de climatización, como muestra la Figura 6. En dicha planta industrial, se fabrican lanas minerales aislantes de vidrio y de roca. El presente proyecto se va a aplicar en una de las líneas de fabricación de aislamiento de lana de vidrio, concretamente la línea B. Para ello, se empleará la metodología *Standard Kaizen*.



Figura 6: Ilustración de las soluciones de la marca ISOVER.

1.4 LA FÁBRICA SAINT GOBAIN ISOVER IBÉRICA

La fábrica de Azuqueca de Henares se dedica a la producción de lanas de vidrio y de roca. Se encuadra dentro de la Actividad de Aislamiento del Grupo Saint-Gobain y forma parte de la entidad jurídica Saint Gobain Isover Ibérica, S.L. Se trata de una de las 41 plantas de fabricación de lanas minerales de las que el grupo Saint-Gobain dispone en todo el mundo y una de las más importantes debido a la capacidad de producción instalada y a la diversidad de los productos que está preparada para fabricar.

Se ubica en la localidad de Azuqueca de Henares (Guadalajara) y tiene una superficie de 90.000 m².

La historia de la planta se remonta a 1963, cuando se construye en este entorno industrial el primer horno de gas y las primeras líneas dedicadas a la producción de lanas de vidrio para aislamiento. Posteriormente, en 1986, se reubica en esta misma área industrial una línea de lana de roca adquirida por el Grupo Saint-Gobain en Alcalá de Henares.

En 1999, la planta de Azuqueca de Henares da un importante paso hacia la sostenibilidad y la reducción de emisiones, construyendo su primer horno eléctrico. El respeto por el medio ambiente ha sido uno de los ejes fundamentales de la compañía, que culmina en 2007 con la construcción de una chimenea única, agrupando todos los focos en uno con un dispositivo de control de emisiones en continuo y una reducción significativa de las inmisiones atmosféricas.

La planta está dotada de cuatro líneas de producción y fabrica lana de vidrio y lana de roca según el esquema de la Figura 7.

Saint Gobain Isover Ibérica S.L.- Azuqueca Plant

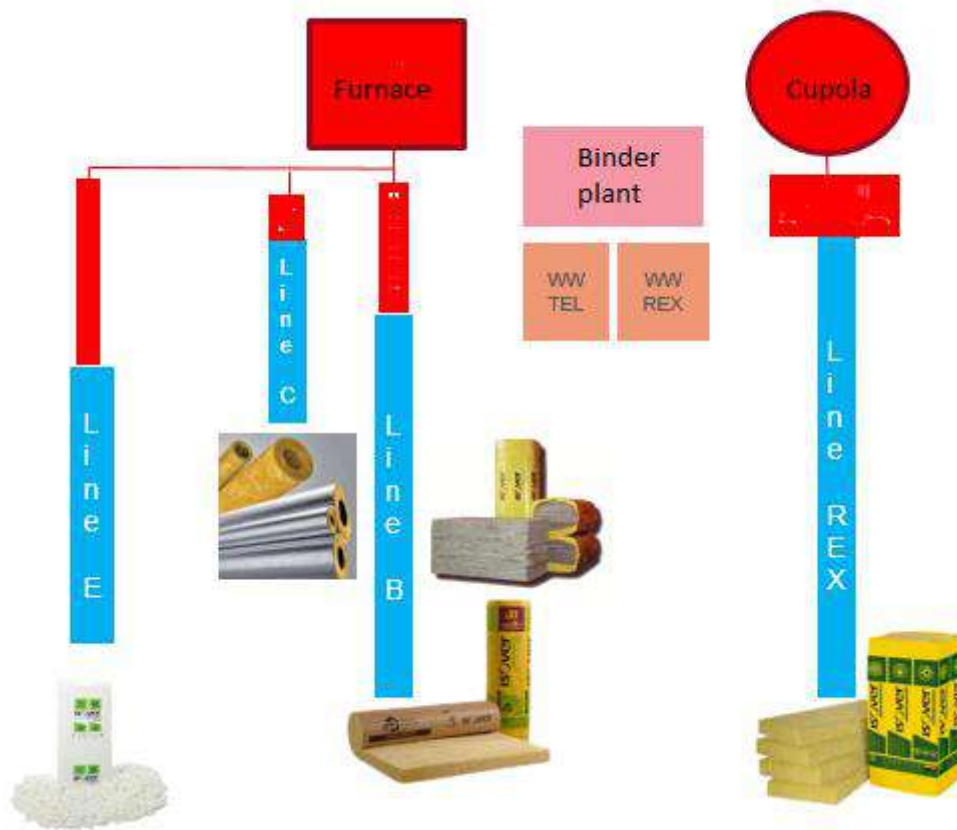


Figura 7: Esquema de producción de la planta de Azuqueca de Henares.

No sólo se fabrica, sino que también se comercializan y distribuyen otros materiales y sistemas necesarios para la instalación de sus soluciones de aislamiento, como muestra la Figura 8.

**Fabricación
Lanas Minerales**



Comercialización

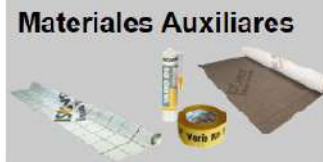


Figura 8: Materiales que se fabrican y comercializan en la planta.

Los segmentos de mercado a los que dedica su producción y distribución son:

- Aislamiento para edificación residencial o comercial (Figura 9). Este segmento incluye:
 - Techos y cubiertas planas o inclinadas.
 - Aislamientos verticales externos e internos.
 - Aislamiento de suelos y techos.
- Climatización (Figura 10).
- Aislamiento industrial y aislamientos especiales (Figura 11): puertas cortafuegos, electrodomésticos, industria naval, ferroviaria o solar.



Figura 9: Ejemplos de aislamiento para edificación residencial o comercial.



Figura 10: Ejemplos de climatización.



Figura 11: Ejemplos de aislamiento industrial y aislamientos especiales.

1.5 LA LÍNEA B

La fábrica de Saint Gobain Isover Ibérica posee en funcionamiento, actualmente, cuatro líneas de producción de material aislante: tres fabrican lana de vidrio (las líneas B, C y E) y una fabrica lana de roca.

Este proyecto se aplica a la estufa u horno de polimerización, que es una de las máquinas que interviene en la línea B de producción de lana de vidrio. De esta línea se obtienen, aproximadamente, 35 familias de productos, en forma de paneles o rollos, destinados al aislamiento térmico y acústico, a la protección contra el fuego y a conductos de climatización.

A continuación, se describe el funcionamiento de la línea B, centrándose en los subprocesos más importantes que tienen lugar en ella. La Figura 12 muestra el plano de la línea B aislada, y la Figura 13 ilustra, de forma esquemática, la sucesión de máquinas que intervienen en ella.

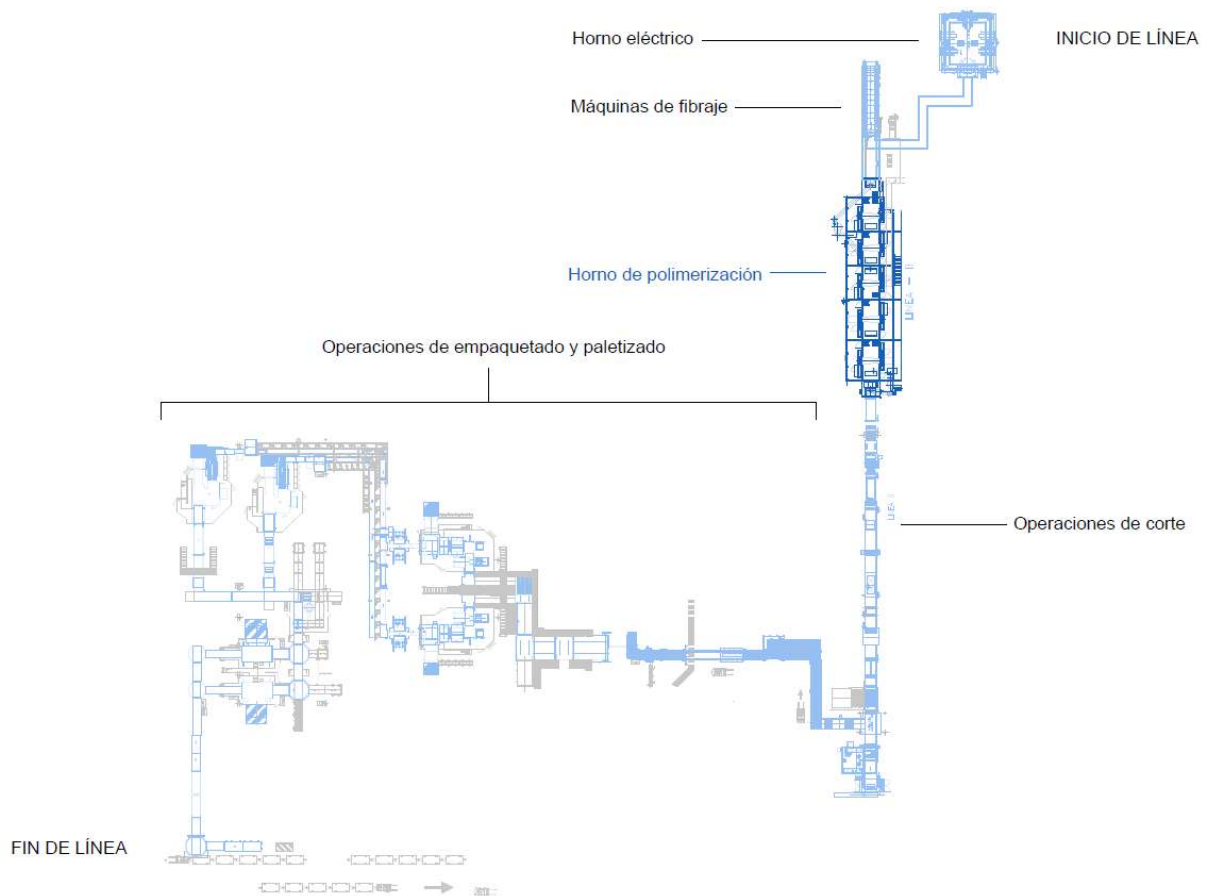


Figura 12: Plano de la línea B.

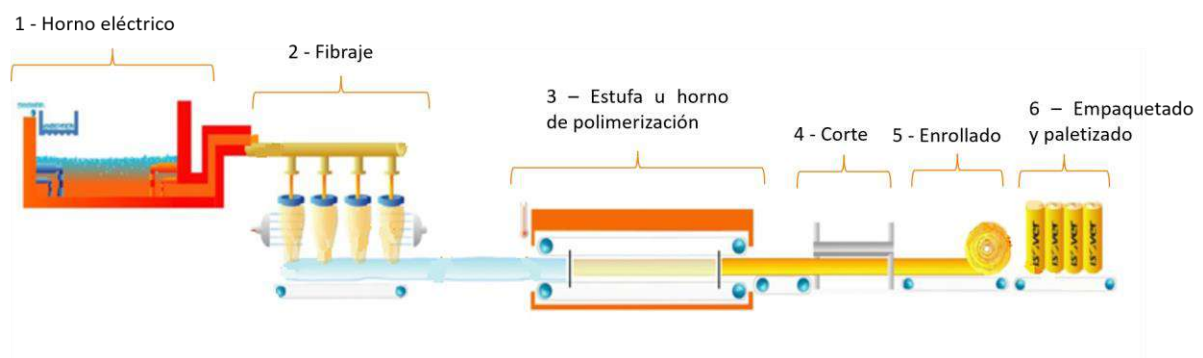


Figura 13: Representación esquemática de las principales máquinas que intervienen en la línea B.

1.5.1 EL HORNO ELÉCTRICO

Aproximadamente, el 80% de las materias primas que se introducen en el horno se componen de vidrio reciclado de origen controlado (parabrisas de coches y ventanas), y el 20% restante se compone, principalmente, de carbonato de calcio, óxido de silicio y, en menor cantidad, de otros óxidos aditivos. Todas ellas se funden en el horno eléctrico a 1380°C y la mezcla se

remueve por convección natural. De esta forma, las moléculas de ambos compuestos interaccionan entre sí, dando lugar al vidrio.

El horno, representado en la Figura 14, se calienta de la siguiente forma: se aplica una diferencia de potencial de entre 120 y 380 V sobre los 24 electrodos que contiene, lo que genera una intensidad de entre 1.000 y 2.000 amperios por cada uno de ellos. Estas corrientes eléctricas circulan a través de las materias primas contenidas en el horno, que tienen buena conductividad en estado líquido. Al actuar como resistencias para la corriente, se libera una potencia calorífica (efecto Joule) que eleva su temperatura. A continuación, el vidrio fundido es conducido a las máquinas de fibraje.



Figura 14: Representación real y esquemática del horno eléctrico.

1.5.2 LAS MÁQUINAS DE FIBRAJE

La línea B posee, en total, cuatro máquinas de fibraje. Cada una de ellas está formada por un cilindro abierto en una de sus bases, de 60 mm de altura y 400 mm de diámetro, que gira a unas 3.000 rpm y que posee entre 20.000 y 30.000 agujeros distribuidos en sus generatrices. Los agujeros de la parte superior tienen el máximo diámetro, igual a 0,8 mm, y éste disminuye a medida que su posición se aproxima a la parte inferior.

Cuando el flujo de vidrio fundido se vierte en el disco giratorio, la elevada fuerza centrífuga obliga al fluido a salir del cilindro a través de los pequeños agujeros, haciendo que el vidrio adquiera la forma de filamentos finos y alargados.

Cuando los filamentos salen del disco, se soplan perpendicularmente a presiones medias (hasta 500 mbar) y a muy altas temperaturas (1.300 a 1.400°C), haciendo que los filamentos se estiren y adquieran el diámetro deseado (inferior a 10 μm). Así se obtienen las fibras de vidrio. La Figura 15 representa una máquina de fibraje y un conjunto de fibras extraídas de la máquina.

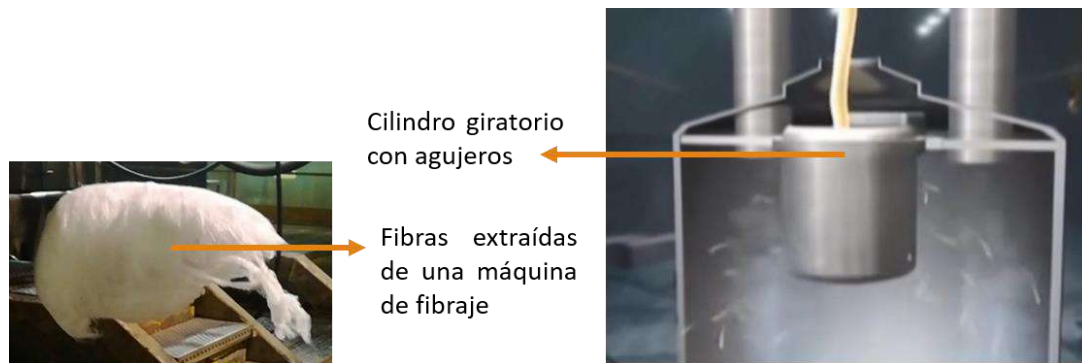


Figura 15: Conjunto de fibras extraídas de una máquina de fibraje y representación esquemática de una de las máquinas.

Posteriormente, las fibras se rocían con un agente aglutinante termoendurecible diluido en agua denominado resina o encolado. Como resultado, se obtiene un colchón formado por fibras, agua y encolado que tiene un aspecto y una textura muy similares a la lana. Por tanto, se trata de un colchón de poca consistencia, sin apenas resistencia mecánica y cuyas fibras no están bien adheridas entre sí. Para dotar al material de las propiedades adecuadas, debe atravesar el horno de polimerización. La Figura 16 muestra el colchón de lana obtenido a la salida de estas máquinas, zona también denominada recepción.



Figura 16: Colchón de lana obtenido en la recepción o salida de las máquinas de fibraje.

Las máquinas de fibraje están situadas en fila y a una cota por encima de la altura de paso de la línea, de forma que las fibras que salen de cada máquina caen hacia la línea por la acción conjunta de la gravedad y de unos ventiladores de aspiración, evitando así que las fibras del colchón resultante queden excesivamente sueltas y volátiles. La máquina 1 es la que se encuentra más aguas arriba de la línea, y la máquina 4 es la que se encuentra más aguas abajo. Por lo tanto, las fibras de vidrio de la primera máquina son las primeras que caen, colocándose en la parte más inferior del colchón de lana. En cambio, las fibras obtenidas en la cuarta máquina son las últimas en caer, colocándose en la parte más superior del colchón. Sin embargo, se pueden seleccionar las máquinas de fibraje que se desea tener en funcionamiento, de forma que no siempre están todas trabajando simultáneamente.

Aunque los hilos de vidrio son malos conductores, es el aire conferido entre ellos el que convierte al material en buen aislante.

1.5.3 EL HORNO DE POLIMERIZACIÓN

La principal función del horno de polimerización es secar y curar el material calentándolo a una temperatura comprendida entre 180 y 220°C para el encolado R232, y entre 200 y 250°C para el encolado R225. El proceso que tiene lugar en el horno de polimerización comprende los siguientes pasos:

- Secar el producto, es decir, extraer el agua que contiene.
- Incrementar su temperatura hasta alcanzar los 180 o los 200°C (según el tipo de resina).
- Curar o polimerizar el encolado: debido a las propiedades termoendurecibles del encolado, la alta temperatura tiene como efecto la creación de enlaces moleculares entre las fibras y la resina, que quedan adheridas entre sí.

Como resultado, se obtiene (idealmente) un colchón de fibras de vidrio con superficies lisas, de color homogéneo y carente de imperfecciones. Además, las fibras de vidrio se encuentran unidas entre sí y el material tiene consistencia y propiedades mecánicas (tracción y compresión).

La Figura 17 representa un modelo del horno de polimerización creado con Autodesk Inventor, y la Figura 18 muestra el producto en la entrada y en la salida del horno.

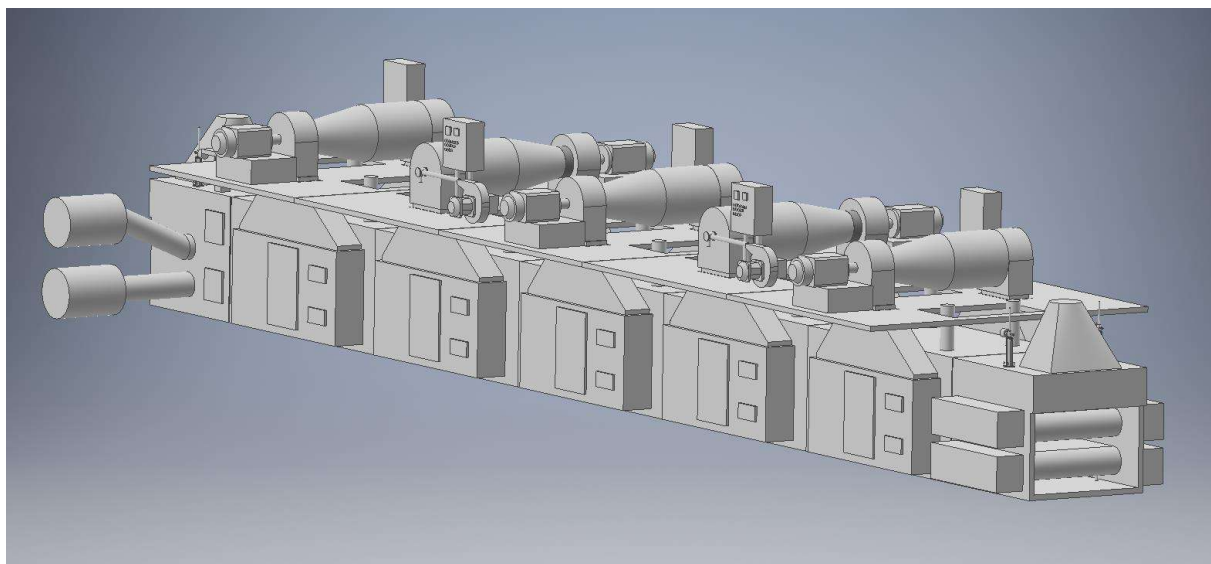


Figura 17: Modelo en 3D del horno de polimerización.



Figura 18: A la izquierda, entrada del producto en el horno y a la derecha, salida del producto del horno.

1.5.4 REVESTIMIENTOS

Hasta la salida del horno de polimerización, el producto es un panel continuo de 1380 mm de anchura, es decir, está constituido por una sola pieza y todas las operaciones realizadas sobre él también son continuas (no discretas).

Es posible recubrir una o las dos caras del panel con diferentes tipos de revestimientos: papel, tejido de vidrio, velo de vidrio y aluminio. Estos revestimientos se adhieren a las superficies del panel mediante resinas termoendurecibles o polietileno, y confieren al producto propiedades mecánicas, estéticas y barreras de vapor.

1.5.5 OPERACIONES DE CORTE, EMPAQUETADO Y PALETIZADO

En este punto de la línea, el material ya posee todas las características propias del producto final, excepto las dimensionales. Por lo tanto, la siguiente etapa del proceso consiste en dar al producto sus dimensiones finales mediante las siguientes operaciones de corte:

- Corte de las bandas o bordes: mediante dos chorros de agua de 0,15 mm de diámetro y 2.000 bar de presión, se cortan de forma continua los laterales izquierdo y derecho del producto, de forma que su anchura total final mide, normalmente, 1.200 mm y sus caras laterales quedan uniformes y lisas. La Figura 19 muestra el producto con las bandas recién cortadas. Este material se tritura y se reinyecta en las máquinas de fibraje, existiendo la posibilidad de seleccionar en qué máquinas de fibraje se introduce.



Figura 19: Corte y separación de las bandas del producto.

- Cortes transversales y longitudinales para darle la longitud y anchura final: el colchón de fibras se corta, por un lado, en el sentido transversal de la línea, proporcionándole así la longitud que corresponde al producto que se esté fabricando. Por otro lado, el colchón también puede recibir cero, uno o dos cortes en el sentido longitudinal, dependiendo de si el producto final tiene una anchura de 1200, 600 o 400 mm, respectivamente. En el primer caso, se obtiene una sola pieza por unidad de tiempo; en el segundo caso, se obtienen dos piezas simultáneamente y, en el tercer caso, se obtienen tres piezas al mismo tiempo. El corte transversal se realiza mediante una guillotina (Figura 20), y los cortes longitudinales se realizan igual que el corte de bandas (mediante los chorros de agua).

La Figura 21 representa la guillotina en dos momentos diferentes: a la izquierda, cuando todavía no se ha realizado el corte (la cuchilla está en la parte superior) y, a la derecha, en el momento de realizar el corte (la cuchilla ya descendió).



Figura 20: La guillotina realizando el corte transversal.



Figura 21: Movimiento de corte transversal del producto.

La Figura 22 muestra el producto cortado en todas las direcciones, pero en dos puntos diferentes de la línea: antes de separar cada pieza y en el momento de separarlas.



Figura 22: Producto cortado lateral, transversal y longitudinalmente.

Cada una de estas unidades puede tener la forma de panel o rollo. En el primer caso, después de cortar el producto para darle la forma a los paneles, éstos se apilan en seis columnas (Figura 23).



Figura 23: Seis columnas de 16 paneles cada una.

Cada columna de paneles se empaqueta y se comprime, quedando como muestra la Figura 24.



Figura 24: Paquete de 16 paneles.

A continuación, se colocan varios paquetes en una fila, se comprimen todavía más y se envuelven en un plástico (Figura 25).



Figura 25: Conjunto de cuatro paquetes.

Después, un robot apila varias filas, obteniendo un conjunto de paquetes distribuidos en cuatro filas y un número variable de columnas, como se observa en la Figura 26.



Figura 26: Conjunto de 28 paquetes distribuidos en cuatro filas y siete columnas.

Finalmente, este conjunto de paquetes se envuelve en un embalaje y el producto resultante es recogido, al final de la línea, por una carretilla (Figura 27).



Figura 27: Paquete final con embalaje.

En el caso de tratarse de un rollo, el colchón de fibras se somete a una elevada compresión al enrollarlo para reducir el volumen que ocupa. Después, el rollo se empaqueta y sigue un proceso análogo al de los paneles: se agrupan varios paquetes en una fila, se comprimen, un robot apila varias filas de paquetes y se envuelven en un embalaje.



1.6 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN A UN PRODUCTO

Los productos se diferencian entre sí por un conjunto de características que se pueden agrupar bajo las siguientes categorías: parámetros de la línea, dimensiones del producto y características del producto.

1.6.1 PARÁMETROS DE LA LÍNEA

Esta categoría incluye los siguientes parámetros: tirada de vidrio fibrado y velocidad de la línea.

1.6.1.1 Tirada de vidrio fibrado

La tirada de vidrio fibrado o, simplemente, tirada, se define como la masa de vidrio total que se obtiene en las máquinas de fibraje por unidad de tiempo. Habitualmente, se expresa en toneladas al día (t/día). La tirada así definida excluye la cantidad de agua y encolado que contiene el material porque estas cantidades pueden variar significativamente de unos productos a otros. Por tanto, si se incluye en la definición la cantidad de agua y encolado, se harían difícilmente comparables las tiradas de diferentes productos.

1.6.1.2 Velocidad de la línea

Se define como la velocidad nominal de un producto. Cada producto tiene asociado una velocidad nominal, que es la que se ajusta en los transportadores del horno de polimerización, y constituye la velocidad de referencia para el resto de los transportadores de la línea. De esta forma, todos los equipos que se encuentran aguas arriba de la estufa deben funcionar a una velocidad igual o menor que la del horno de polimerización para estirar las fibras, y todos los equipos que se encuentran aguas abajo de la estufa deben funcionar a una velocidad igual o ligeramente mayor para estirar el producto.

Por lo tanto, el horno de polimerización marca la velocidad de la línea y constituye la velocidad de referencia para el resto de los elementos que intervienen en ella.

1.6.2 DIMENSIONES DEL PRODUCTO

Las dimensiones que caracterizan a cada producto son la longitud, la anchura y el espesor.

1.6.2.1 Longitud

La longitud (habitualmente expresada en mm) es la dimensión que se mide en la dirección paralela al sentido de la línea, y queda determinada por dos cortes transversales sucesivos.



1.6.2.2 Anchura

La anchura (normalmente expresada en mm) es la dimensión que se mide en la dirección perpendicular al sentido de la línea después del corte de las bandas, y queda determinada por el número de cortes longitudinales:

- Cero cortes: la anchura del producto es máxima e igual a la anchura nominal de la línea (1200 mm). Se obtiene una sola unidad de producto al mismo tiempo.
- Un corte: el material queda dividido en dos piezas iguales con la misma anchura (600 mm). Se obtienen dos unidades simultáneamente.
- Dos cortes: el material queda dividido en tres unidades iguales con la misma anchura (400 mm). Se obtienen tres piezas por unidad de tiempo.

1.6.2.3 Espesor

El espesor nominal del producto o, simplemente, espesor, se refiere a la distancia que existe entre la cara superior y la cara inferior del producto, medida después de desempaquetar el producto (espesor comercial). Se suele expresar en mm.

Según muestra la Figura 28, el espesor del material no es constante en toda la línea, sino que varía a medida que avanza por ella, distinguiéndose los siguientes espesores:

- Espesor antes de la estufa: antes de entrar en el horno de polimerización, el material tiene el máximo espesor de toda la línea. Ello se debe a que el colchón de lana está constituido por fibras de vidrio sin adherir, sin apenas consistencia y con gran volatilidad, especialmente en la parte superior del producto por ser la zona que menos recibe la aspiración de los ventiladores que conforman el colchón.
- Espesor dentro de la estufa: dentro del horno de polimerización, el material se encuentra comprimido por los transportadores y, además, el encolado se polimeriza. Todo ello hace que las fibras de vidrio queden adheridas entre sí y permanezcan en la posición tomada dentro del horno. Por lo tanto, el espesor del producto dentro del horno queda determinado por la distancia entre los transportadores superior e inferior de la estufa y ello, a su vez, condiciona el espesor del producto en las siguientes etapas (que no tiene por qué coincidir con el espesor dentro del horno).
- Espesor en la línea (al salir de la estufa): al dejar de estar sometido a la compresión de los transportadores, el producto aumenta ligeramente de espesor.
- Espesor tras la compresión: si el producto fabricado tiene forma de rollo, éste queda sometido a una compresión muy elevada después de ser enrollado (con el objetivo de reducir el volumen que ocupa). Si se mide la distancia entre sus caras superior e inferior en este estado, se obtiene el espesor tras la compresión. Si pasado un tiempo suficiente, el producto se desenrolla, debe recuperar espesor de forma natural hasta alcanzar su espesor nominal (ensayo de recuperación de espesor). Sin embargo, hay ocasiones en

las que la recuperación de espesor no es suficiente y el producto no alcanza su espesor nominal. Para evitarlo, en lugar de ajustar la distancia entre los transportadores de la estufa a un valor igual al espesor nominal del producto, se ajusta a un valor superior, de forma que el producto dentro del horno tiene sobreespesor, pero, tras el ensayo de recuperación de espesor, el producto alcanza el espesor adecuado.

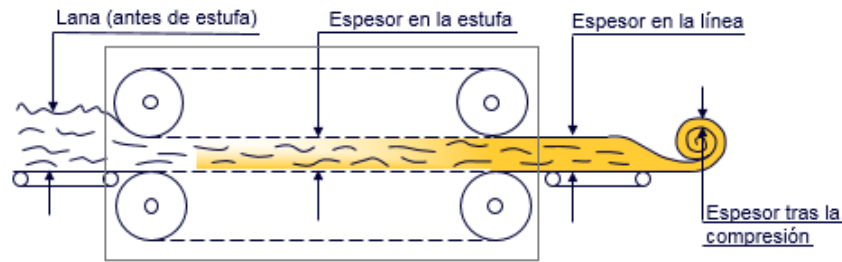


Figura 28: Variación del espesor del producto a lo largo de la línea.

1.6.3 CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Cada producto queda caracterizado por los siguientes parámetros: densidad, gramaje, micronaire, tipo de encolado, pérdida al fuego (*loss of ignition, LOI*) y humedad de la lana.

1.6.3.1 Densidad

La densidad nominal o densidad de un producto se define como la cantidad de masa total que contiene por unidad de volumen (kg/m^3), medida después de salir del horno de polimerización y a espesor nominal. Antes de la estufa, el producto se compone de fibras de vidrio, agua y encolado; después de la estufa, el producto se compone de fibras de vidrio y encolado polimerizado (el agua se evaporó). La densidad depende del espesor del producto de forma que, a mayor espesor, mayor volumen ocupado por la misma cantidad de masa, por lo que menor densidad. El producto varía su densidad a medida que avanza por la línea. Las principales medidas de densidad son las siguientes:

- Densidad antes de la estufa:

$$\rho_{\text{lana}} = \frac{\text{Masa}_{\text{fibras+agua+encolado}}}{\text{Espesor}_{\text{lana}} \cdot \text{Longitud} \cdot \text{Anchura}}$$

- Densidad dentro del horno de polimerización:

$$\rho_{\text{horno}} = \frac{\text{Masa}_{\text{fibras+encolado}}}{\text{Espesor}_{\text{horno}} \cdot \text{Longitud} \cdot \text{Anchura}}$$



- Densidad nominal:

$$\rho_{\text{lana}} = \frac{\text{Masa}_{\text{fibras+encolado}}}{\text{Espesor}_{\text{nominal}} \cdot \text{Longitud} \cdot \text{Anchura}}$$

Por otro lado, todas estas densidades son, en realidad, densidades medias. La densidad del material no es uniforme a lo largo de su espesor, sino que va disminuyendo desde su cara inferior, donde es máxima, hasta su cara superior, donde es mínima. El motivo de ello es el modo en que se obtiene el colchón de lana en la recepción: las fibras de vidrio, impregnadas de agua y encolado, caen por la acción conjunta de la gravedad y de unos ventiladores que aspiran las fibras hacia abajo para que permanezcan en el colchón y no se volatilicen. Sin embargo, el efecto de la aspiración es muy superior en las primeras capas de fibra que caen que en las últimas capas, de forma que en las primeras se concentra más cantidad de fibras, agua y encolado en menos espacio, y en las últimas se concentra menos cantidad de masa en más espacio.

1.6.3.2 Gramaje

Se define como el producto de la densidad por el espesor del material y tiene unidades de masa por unidad de superficie (kg/m^2). Para ajustar los parámetros de funcionamiento del horno de polimerización, se debe tener en cuenta la densidad y el espesor del producto. Sin embargo, es preferible basarse en el gramaje porque considera simultáneamente los dos parámetros anteriores.

1.6.3.3 Micronaire

Es una medida del grosor de las fibras de vidrio y, por tanto, de la resistencia que oponen al ser atravesadas por un flujo de aire. Para determinarlo, se toma una muestra de 5 g de lana antes de la estufa, se introduce en una cápsula cerrada y se somete a un flujo de aire. Al atravesar la lana, el aire sufre una caída de presión tanto mayor cuanto menor es el grosor de las fibras (y, por tanto, mayor es la cantidad de fibras que hay conferidas dentro de la cápsula). Cuanto mayor es la caída de presión, más resistencia oponen las fibras al paso del aire. Esta caída de presión se convierte a alguna de las unidades en que se expresa esta medida, que son L/min y /5g. La conversión entre ambas unidades se muestra en la Figura 29 y Figura 30.

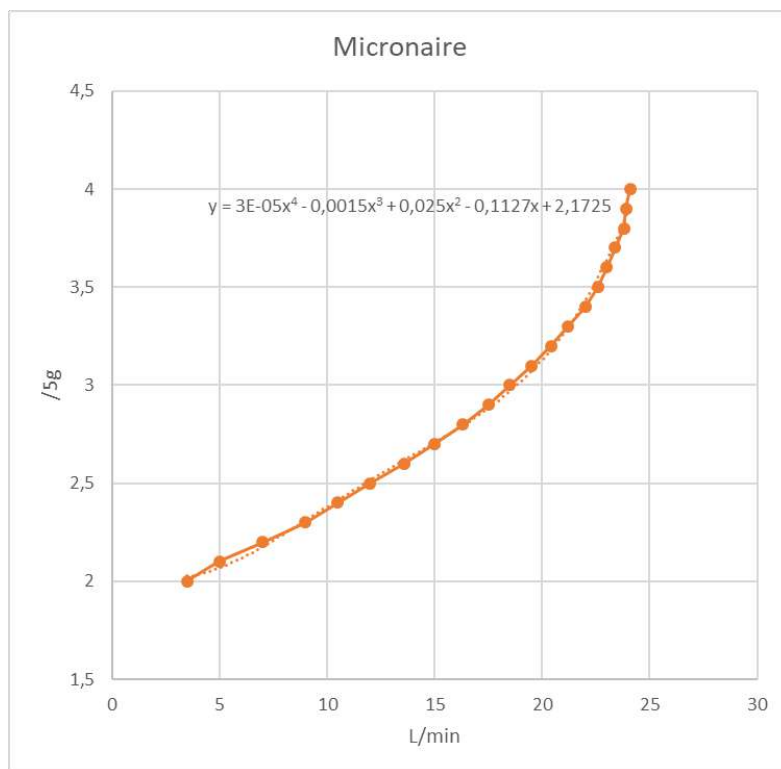


Figura 29: Obtención del micronaire en /5g a partir de L/min.

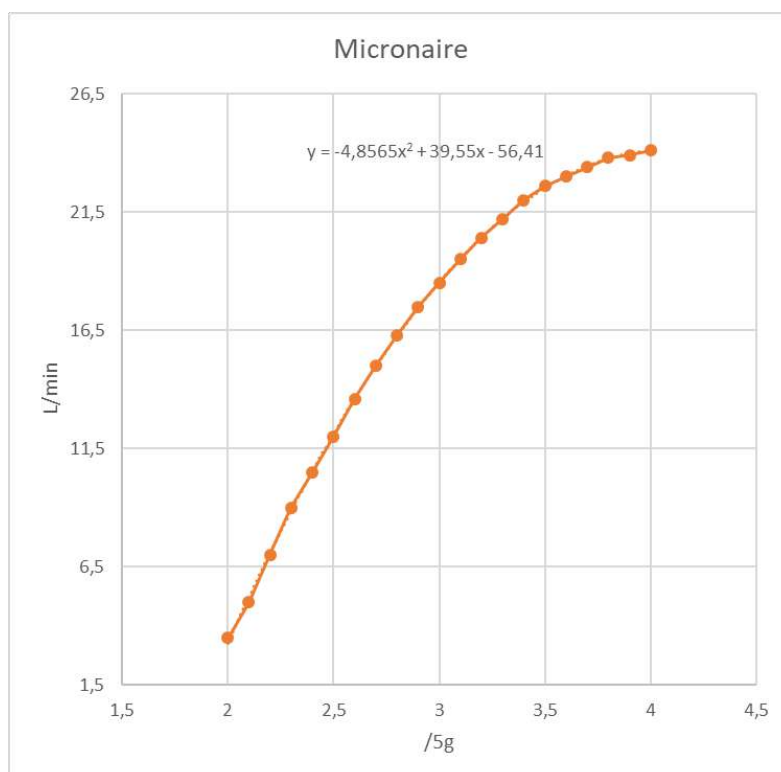


Figura 30: Obtención del micronaire en L/min a partir de /5g.



1.6.3.4 Tipo de encolado

- Formofenólico: compuesto por resinas formofenólicas (60%) y urea, aceite, silicona, sulfato de amonio y silano. Las más utilizadas son los códigos R232 y R225.
- Resinas verdes: compuestas por malitol y ácido cítrico en su mayor parte, y aceites, siliconas y silanos como aditivos. Las más utilizadas son los códigos GB3 y GB4.

1.6.3.5 Pérdida al fuego

La pérdida al fuego (*loss of ignition, LOI*) expresa, en tanto por ciento en masa, la cantidad de resina o encolado que contiene el producto sobre su masa total. Se calcula de la siguiente forma:

$$LOI = \frac{m_{encolado}}{m_{total}} \cdot 100$$

Siendo:

- $m_{encolado}$ (kg): masa de encolado que contiene el material.
- m_{total} (kg): masa total del material después de salir de la estufa.

La composición del producto es la siguiente:

- En masa:
 - Vidrio: supone la mayor parte de la masa (entre el 87,5 y el 97,4%).
 - Encolado: el resto (entre el 2,6 y el 12,5%). Todos los productos de la línea B se encuentran dentro de este rango.
- En volumen:
 - Aire: 98%.
 - Vidrio: 1,8%.
 - Encolado: 0,2%.

1.6.3.6 Humedad de la lana antes de la estufa

Expresa el porcentaje en masa de agua que contiene la lana antes de entrar en la estufa, sobre la masa total de producto. Se calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ agua} = \frac{m_{agua}}{m_{total}} \cdot 100$$

Siendo:

- m_{agua} (kg): masa de agua que contiene el material. Una parte de este agua se encuentra diluida con el encolado, y otra parte es inyectada directamente en el material por las máquinas de dilución.
- m_{total} (kg): masa total del material antes de entrar en la estufa.

1.7 EL HORNO DE POLIMERIZACIÓN

El horno de polimerización es la máquina de la línea B sobre la que se aplica la herramienta *Standard Kaizen*.

A continuación, se describe su estructura y sus componentes más importantes y después, se explica su funcionamiento y sus funciones.

1.7.1 ESTRUCTURA Y ELEMENTOS PRINCIPALES

El horno de polimerización, cuyas vistas en alzado, planta y perfil se muestran en la Figura 31, tiene una longitud de 38,61 metros, una anchura de 4,64 metros y una altura de 5,69 metros.

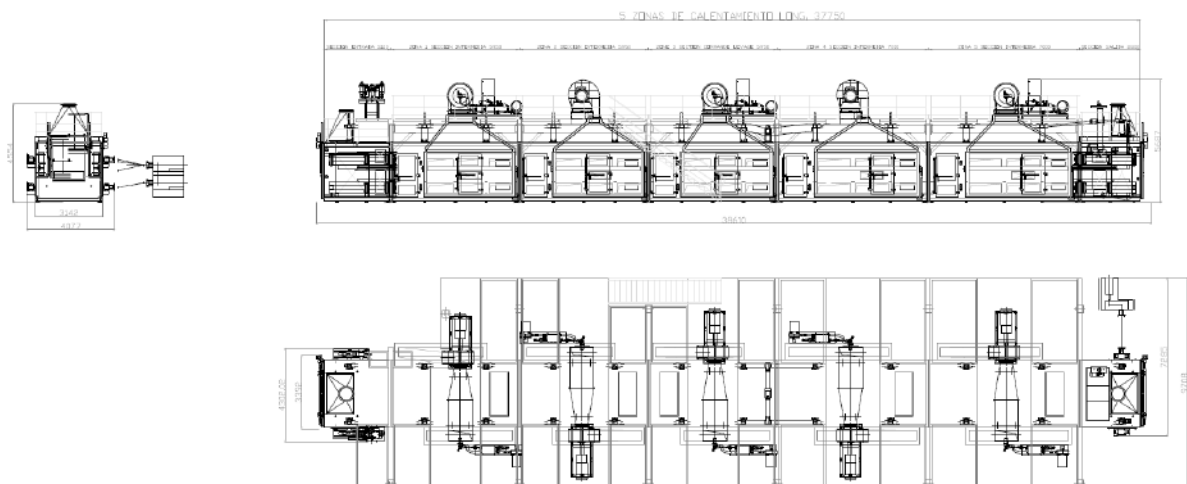


Figura 31: Vistas del horno de polimerización en alzado, planta y perfil.

La estructura general del horno se clasifica en las siguientes partes:

- Transportadores superior e inferior.
- Cajones de calentamiento.
- Secciones de entrada y salida.

1.7.1.1 Transportadores superior e inferior

El interior de la estufa está recorrido, longitudinalmente y de forma continua, por dos transportadores horizontales (el superior y el inferior) entre los cuales se encuentra el producto. (Figura 32). El producto se desplaza a través del horno debido al movimiento de los transportadores, que lo arrastran desde la sección de entrada a la sección de salida. A lo largo de este recorrido, se produce un contacto continuo entre las superficies de los transportadores y la superficie del producto (la cara superior del colchón de fibra está en contacto con la

superficie del transportador superior y la cara inferior del colchón de fibra está en contacto con la superficie del transportador inferior).

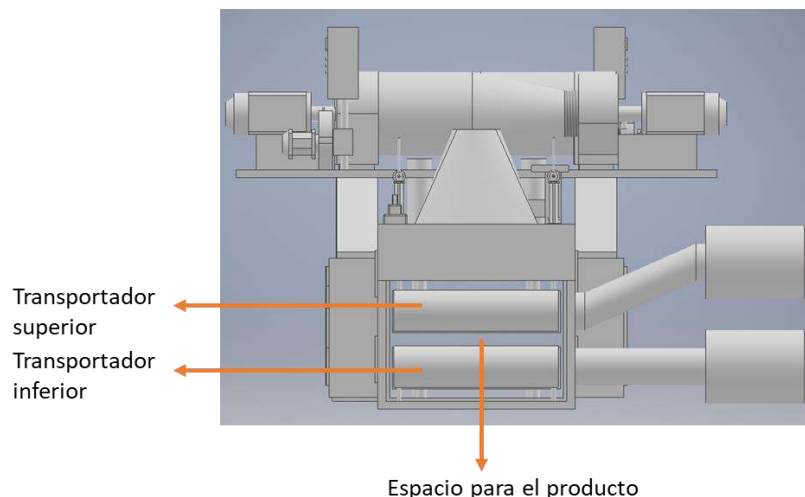


Figura 32: Representación en 3D del horno de polimerización, con indicación de los transportadores.

Cada transportador, superior e inferior, consta de dos cadenas de accionamiento en bucle cerrado, cada una situada a un lado del horno y lo recorren de forma continua en toda su longitud. Las cadenas disponen de ruedas que se desplazan por los carriles guía en toda la longitud del horno y que, al final del recorrido, se acoplan a los dientes de un engranaje (o corona) de tracción, accionado por un motor. El movimiento de giro del engranaje (o corona) de tracción confiere el movimiento al conjunto del transportador. La superficie de los transportadores está constituida por paletas atornilladas a las cadenas y perforadas por agujeros para permitir el paso del aire a través de ellas. Todo ello se muestra en la Figura 33 y en la Figura 34.

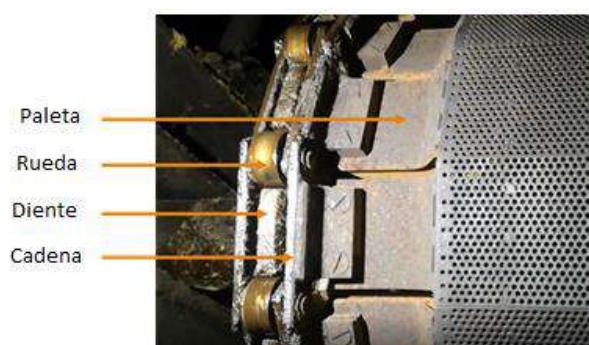


Figura 33: Vista de detalle del transportador, con indicación de los elementos que lo constituyen.



Paleta del transportador inferior

Figura 34: Vista de los transportadores, con indicación de una paleta.

Otros elementos relacionados con los transportadores son:

- Accionamiento de los transportadores.
- Cepillos de limpieza de los transportadores.
- Husillos o verines.
- Sistema de lubricación de las cadenas de los transportadores.
- Sistema de limpieza de las cadenas de los transportadores.
- Sistema de tensado de las cadenas de los transportadores.
- Detector de adherencia o de atascamiento del producto.
- Detector de paletas dañadas.

1.7.1.1.1 Accionamiento de los transportadores

Cada transportador está impulsado por una unidad motorreductora controlada por reguladores de velocidad. El conjunto está formado por un motor eléctrico, un regulador de velocidad, una caja de engranajes, un eje conductor (el del motor) y un eje conducido (el del transportador que mueve la corona). Como estos dos ejes no son coaxiales, deben estar acoplados mecánicamente mediante articulaciones de tipo cardán. El conjunto de los accionamientos de los transportadores se muestra en la Figura 35 y en la Figura 36, cada una desde un punto de vista.



Figura 35: Vista lateral de las unidades motorreductoras que accionan los transportadores.



Figura 36: Vista frontal de las unidades motorreductoras que accionan los transportadores.

El acoplamiento entre los sistemas de accionamiento y los transportadores tiene lugar en la sección de salida, aunque los accionamientos son exteriores a la estufa.

1.7.1.1.2 Cepillos de limpieza de los transportadores

Los cepillos de limpieza se encuentran en la sección de salida, y hay uno para cada transportador. Su función consiste en retirar de las superficies de los transportadores posibles acumulaciones de encolado y fibras pegadas, que taponan los agujeros e impiden el paso del flujo de aire caliente a través de ellos.

Cada cepillo es accionado por un motor eléctrico, y puede desplazarse verticalmente para aproximarlo al transportador y realizar su función, o para alejarlo de él cuando no es necesario limpiarlo.

1.7.1.1.3 Husillos o verines

El transportador inferior está fijado a la altura de paso de la línea, y el transportador superior se encuentra suspendido por un conjunto de 24 husillos distribuidos a lo largo de todo el techo de la estufa, que permiten variar la altura del transportador y, por tanto, el espesor del producto dentro del horno. Todos los husillos se encuentran acoplados mecánicamente entre sí y accionados por un único motor eléctrico, de forma que todos ellos varían la altura del transportador en la misma cantidad. Esto permite mantener al transportador superior paralelo permanentemente al inferior.

La Figura 37 muestra el husillo completo: la parte fija, que se encuentra sobre el techo del horno y atornillada a él, y la parte móvil, que se desplaza verticalmente por el interior de la parte fija, atraviesa el techo del horno y se encuentra unida en su extremo inferior al transportador superior. Cuando esta parte se desplaza verticalmente, el transportador superior se mueve solidario a ella.

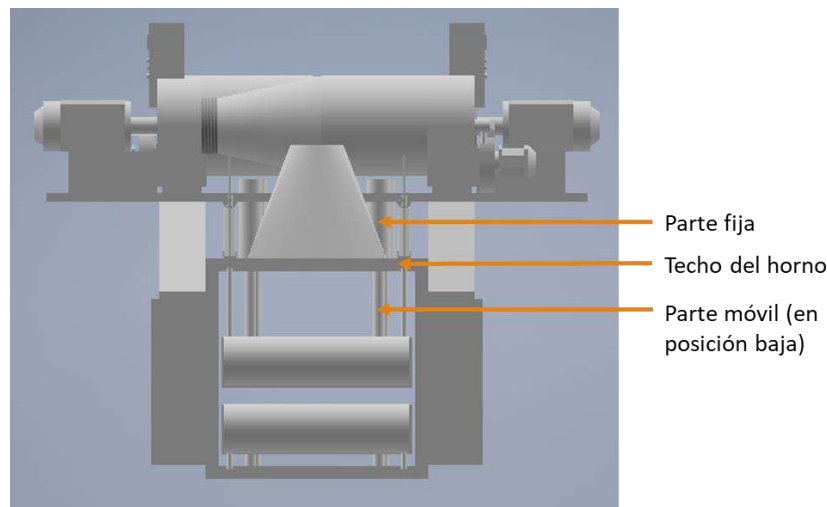


Figura 37: Vista frontal del horno, con indicación del husillo y sus partes principales.

La Figura 38 representa la parte fija de un husillo y la parte móvil en su posición alta (que sobresale), así como una parte de los acoplamientos mecánicos.

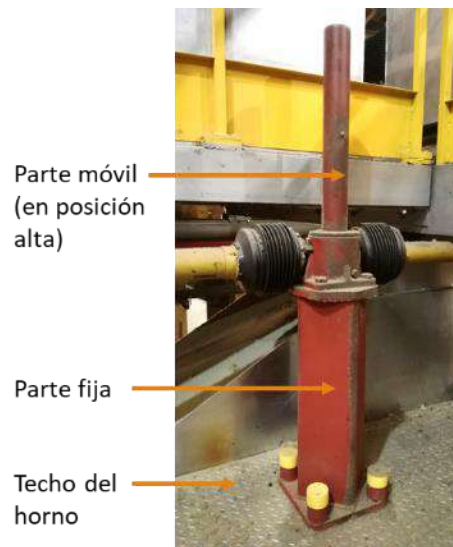


Figura 38: Husillo con indicación de sus partes principales.

1.7.1.1.4 Sistema de lubricación de las cadenas de los transportadores

Para engrasar las cadenas, el aceite es conducido desde un depósito a través de unos conductos que se introducen en la sección de salida y alimentan a las boquillas, que vierten las gotas de aceite sobre las cadenas. Un exceso de engrase (como el mostrado en la Figura 39) puede provocar acumulaciones de aceite (incluso mezclado con fibras de vidrio) en la sección de salida y, si se produce una chispa o cualquier fenómeno que genere una llama en el aceite, se puede generar un incendio. Para evitarlo, se debe mantener el engrase en los niveles adecuados.



Figura 39: Aceite acumulado en el suelo del interior de la estufa.

1.7.1.1.5 Sistema de limpieza de las cadenas de los transportadores

Las cadenas se limpian con agua a presión (hasta 1.000 bar). Para ello, se conectan las boquillas de limpieza a un equipo externo de agua a presión. Las boquillas están dispuestas en la sección de salida y orientadas hacia cada cadena.

1.7.1.1.6 Sistemas de tensado de las cadenas de los transportadores

Cada transportador tiene asociado un sistema de tensado para compensar la expansión térmica de sus cadenas y la expansión mecánica causada por el desgaste. El sistema de tensado del transportador superior (mostrado en la Figura 40) se encuentra adherido al exterior de la pared izquierda de la sección de entrada, y el sistema de tensado del transportador inferior se encuentra adherido al exterior de la pared derecha de la sección de entrada.



Figura 40: Sistema de tensado de las cadenas del transportador superior.

Las cadenas se desgastan progresivamente debido al rozamiento entre cada rueda de la cadena y su eje de giro. Esto genera una elongación generalizada de la cadena. En ausencia de los sistemas de tensado, las cadenas se destensarían progresivamente, perderían la condición óptima de planeidad requerida por el producto y podrían colisionar con las partes internas del horno de polimerización por un desplazamiento lateral incontrolado de éstas.

Para evitarlo, los sistemas de tensado estiran constantemente las cadenas a través de un sistema hidráulico situado sobre el techo de la sección de entrada, como muestra la Figura 41. De esta forma, las cadenas se alargan permanentemente, manteniéndose planas y guiadas.



Figura 41: Grupo hidráulico que actúa sobre los sistemas de tensado de las cadenas.

Existe un dispositivo de sincronización mecánica que permite controlar y mantener la alineación de los ejes izquierdo y derecho del sistema para que las cadenas tengan una tensión uniforme. Así, las paletas de los transportadores permanecen perpendiculares a la dirección de la línea (y no oblicuas a ella).

Cada sistema de tensado también cuenta con una escala graduada que muestra de forma visual la expansión acumulada o el aumento de longitud de las cadenas desde que comenzó el funcionamiento del sistema. El sistema de tensado permite conocer el estado real de elongación, avisando mediante alarma al operario en caso de fallo hidráulico o de elongación máxima permitida. Cuando la expansión alcanza el límite máximo admitido por la máquina, acciona un final de carrera de seguridad que para el equipo a fin de evitar un fallo mecánico. Esto implica que las cadenas son demasiado largas y deben acortarse.

1.7.1.1.7 Detector de adherencia o de atascamiento del producto

En cada transportador hay instalado un sistema formado por una solapa o placa de seguridad y un final de carrera que debe detectar la adherencia de producto a las paletas o atascamientos del producto. Para ello, el sistema debe estar instalado en la parte exterior de los transportadores, por encima del transportador superior y por debajo del transportador inferior, en la sección de salida.

La Figura 42 ilustra el funcionamiento de este sistema, así como sus vistas en perfil, alzado, planta y en perspectiva para el caso del transportador inferior.

El principio de funcionamiento es el siguiente: en estado normal, la solapa se mantiene en posición vertical a medida que el transportador inferior se mueve. Pero cuando el producto se

adhiera a la superficie del transportador o se atasca, hace que la solapa se incline y un sensor inductivo detecta este movimiento.

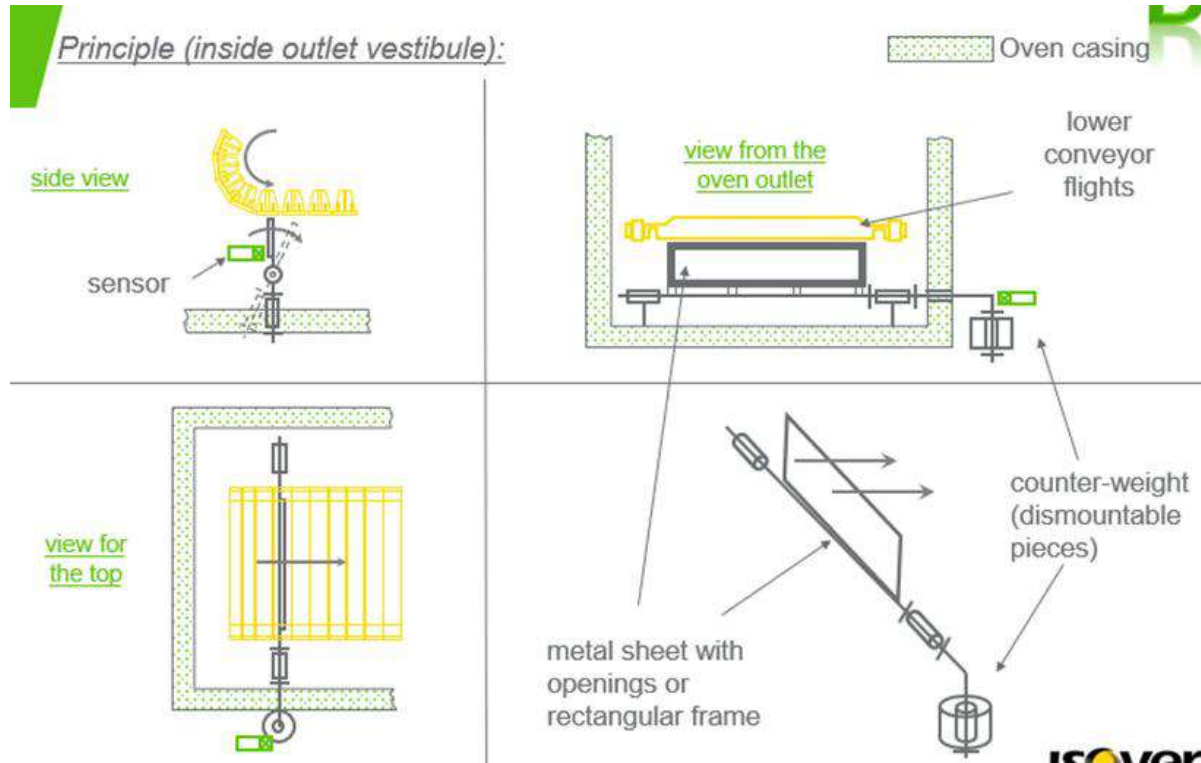


Figura 42: Funcionamiento y vistas del detector de adherencia y de atascamiento de producto.

1.7.1.1.8 Detector de paletas dañadas

Se trata de un sistema constituido por los mismos elementos que el detector de atascamiento: una solapa o placa de seguridad y un final de carrera que debe detectar cualquier paleta suelta, dañada, deformada o rota como consecuencia de una compresión excesiva. Para ello, el sistema debe estar instalado en la parte interior de los transportadores, en la sección de salida.

La Figura 43 ilustra el funcionamiento de este sistema, así como sus vistas en perfil, alzado, planta y en perspectiva para el caso del transportador inferior.

El principio de funcionamiento es el siguiente: en estado normal, la solapa se mantiene en posición vertical a medida que el transportador inferior se mueve. Pero cuando una paleta se daña, hace que la solapa se incline y un sensor inductivo detecta este movimiento.

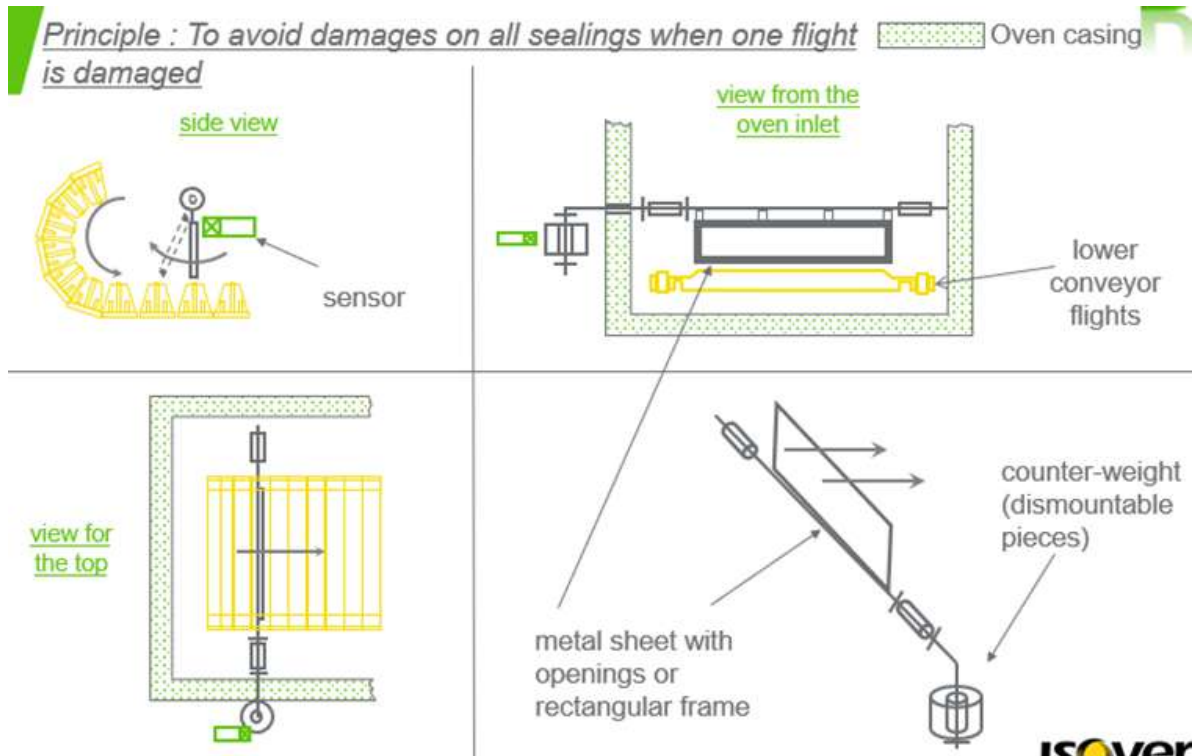


Figura 43: Funcionamiento y vistas del detector de paletas dañadas.

1.7.1.2 Cajones de calentamiento

El horno de polimerización se compone de un número variable de cajones independientes entre sí, pero alineados para formar el conjunto de la estufa. El horno de la línea B consta de cinco cajones, tal y como muestra la Figura 44.

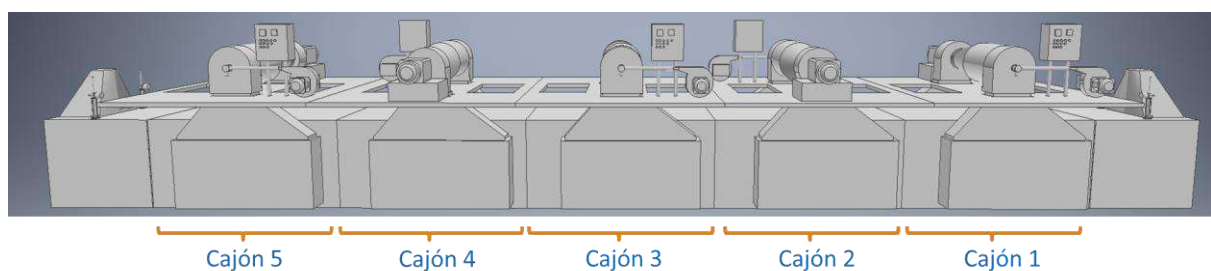


Figura 44: Indicación de los cajones del horno de la línea B.

En cada cajón tiene lugar el proceso de generación de aire caliente y su paso a través del producto. Un cajón se compone de las siguientes partes:

- Sistema de generación de aire caliente.
- Elementos que intervienen en el recorrido del aire caliente.

1.7.1.2.1 Sistema de generación de aire caliente

El sistema de generación de aire caliente se encuentra sobre una plataforma construida por encima del techo del cajón y paralela a él, ya que el techo de la estufa no es capaz de soportar el peso de los equipos que lo forman. Este sistema genera el flujo de aire caliente que atravesará el producto, y está constituido por los siguientes elementos, ilustrados en la Figura 45: un ventilador de aire de combustión para aspirar el aire exterior; una panoplia para introducir el gas; un quemador para generar la llama; una cámara de combustión en la que se quema el gas y un ventilador de impulsión o circulación para impulsar el aire caliente.

1.7.1.2.2 Elementos que intervienen en el recorrido del aire caliente

Dentro de la zona de calentamiento, el flujo de aire caliente atraviesa perpendicularmente el producto, evaporando el agua que contiene y polimerizando el encolado. Para ello, intervienen los siguientes elementos, ilustrados en la Figura 45: cámara de impulsión, por la que el aire caliente accede a la zona de calentamiento; derivación de la cámara de impulsión, que desvía parte o todo el flujo de aire; zona de calentamiento, en la que el aire atraviesa el producto; cámara de retorno, por la que el aire sale de la zona de calentamiento; y derivación de la cámara de retorno, que desvía parte o todo el flujo de aire.

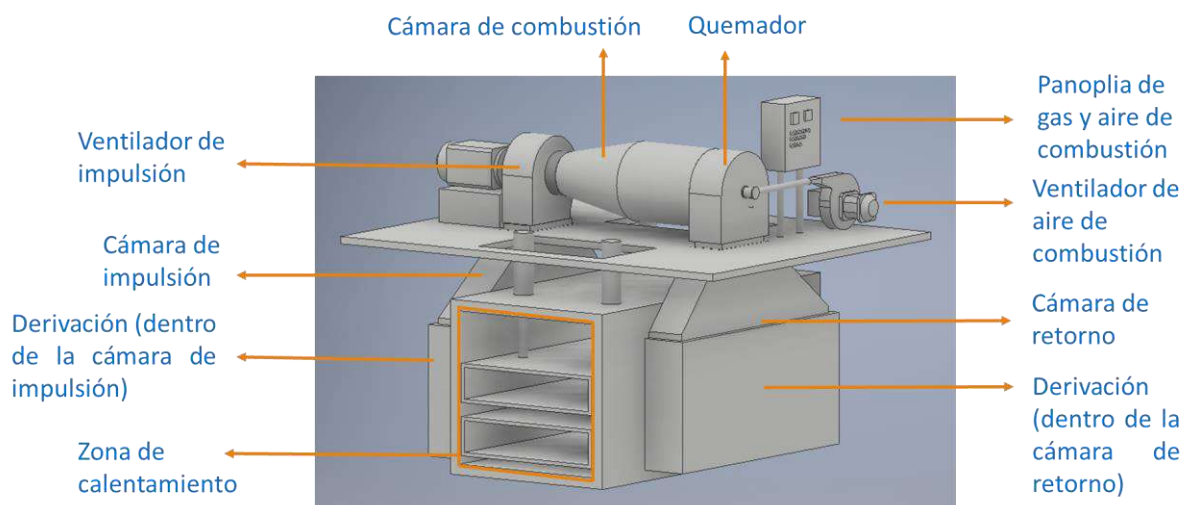


Figura 45: Representación de un cajón con indicación de los elementos que intervienen en la generación del aire caliente y su recorrido.

1.7.1.3 Secciones de entrada y salida

Según se observa en la Figura 46, al principio y al final del horno se encuentran, respectivamente, las secciones de entrada y salida, de forma que la sección de entrada está al lado del primer cajón y la sección de salida está al lado del último cajón. Estas secciones tienen como principal función evitar que los humos generados en el interior de la estufa salgan al ambiente. Para ello, cada sección cuenta con dos elementos principales:

- Puerta frontal.

- Conducto de extracción de los humos.

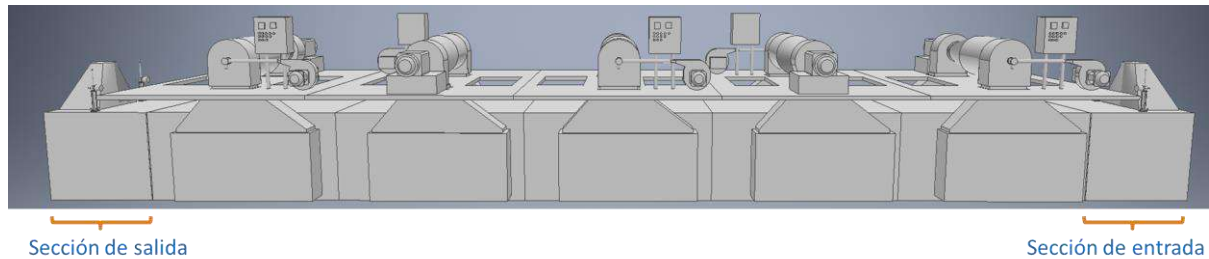


Figura 46: Indicación de las secciones de entrada y salida del horno de la línea B.

1.7.1.3.1 Puerta frontal

El producto entra en la estufa por la puerta frontal de la entrada, atraviesa los cinco cajones de calentamiento y sale por la puerta frontal de la salida. La Figura 47 muestra cada una de las puertas.



Figura 47: Puerta frontal de la sección de entrada (izquierda) y puerta frontal de la sección de salida (derecha).

El movimiento de las puertas es vertical, de forma que la altura a la que queda cada puerta determina la abertura por la que pasa el producto. Cuanto mayor es el espesor del colchón de lana que entra en el horno, mayor deberá ser la altura a la que quede la puerta de la entrada. Y cuanto mayor es el espesor del material que sale del horno, mayor deberá ser la altura a la que quede la puerta de la salida. Sin embargo, estas aberturas deben ser lo más pequeñas posible, es decir, la altura de las puertas debe quedar lo más ajustada posible al espesor del producto para evitar, por un lado, que los humos que se generan en el interior del horno salgan al ambiente y, por otro lado, que se pierda energía calorífica. El ajuste de las puertas se realiza de forma manual en una botonera adyacente a cada puerta.

Según muestra la Figura 48, la parte inferior de la puerta de la salida está equipada con una cortina flexible que cierra el hueco entre la puerta y el producto y está diseñada para que, en

caso de que el producto se pegue o acumule en la sección de salida, éste empuje la cortina, ésta se abra y haga entrar al sistema en modo “fallo”, parando el equipo.

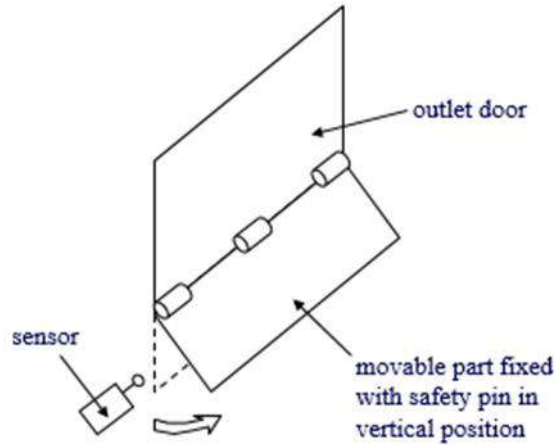


Figura 48: Sistema de seguridad de la puerta de la sección de salida.

1.7.1.3.2 Conducto de extracción de los humos

En el techo de cada sección, de entrada y de salida, se encuentra la campana de extracción de humos unida al conducto por el que se evacúan los humos, según muestra la Figura 49. Este conducto conecta el interior del horno con el sistema de lavado de humos. Cada sección cuenta con un conducto y un sistema de lavado de humos.



Figura 49: Campana de los conductos extractores de las secciones de entrada (izquierda) y salida (derecha).

El ventilador de extracción de cada una de las secciones (entrada o salida) aspira el gas que se escapa a través de las estanqueidades internas del horno, ya que el horno está sometido

permanentemente a sobrepresión en su interior. El gas extraído se compone de aire, H_2O , polvo de vidrio, restos de encolado y CO_2 . La misión de la aspiración de humos es evitar que este gas salga al ambiente, pues es perjudicial para la salud.

En la

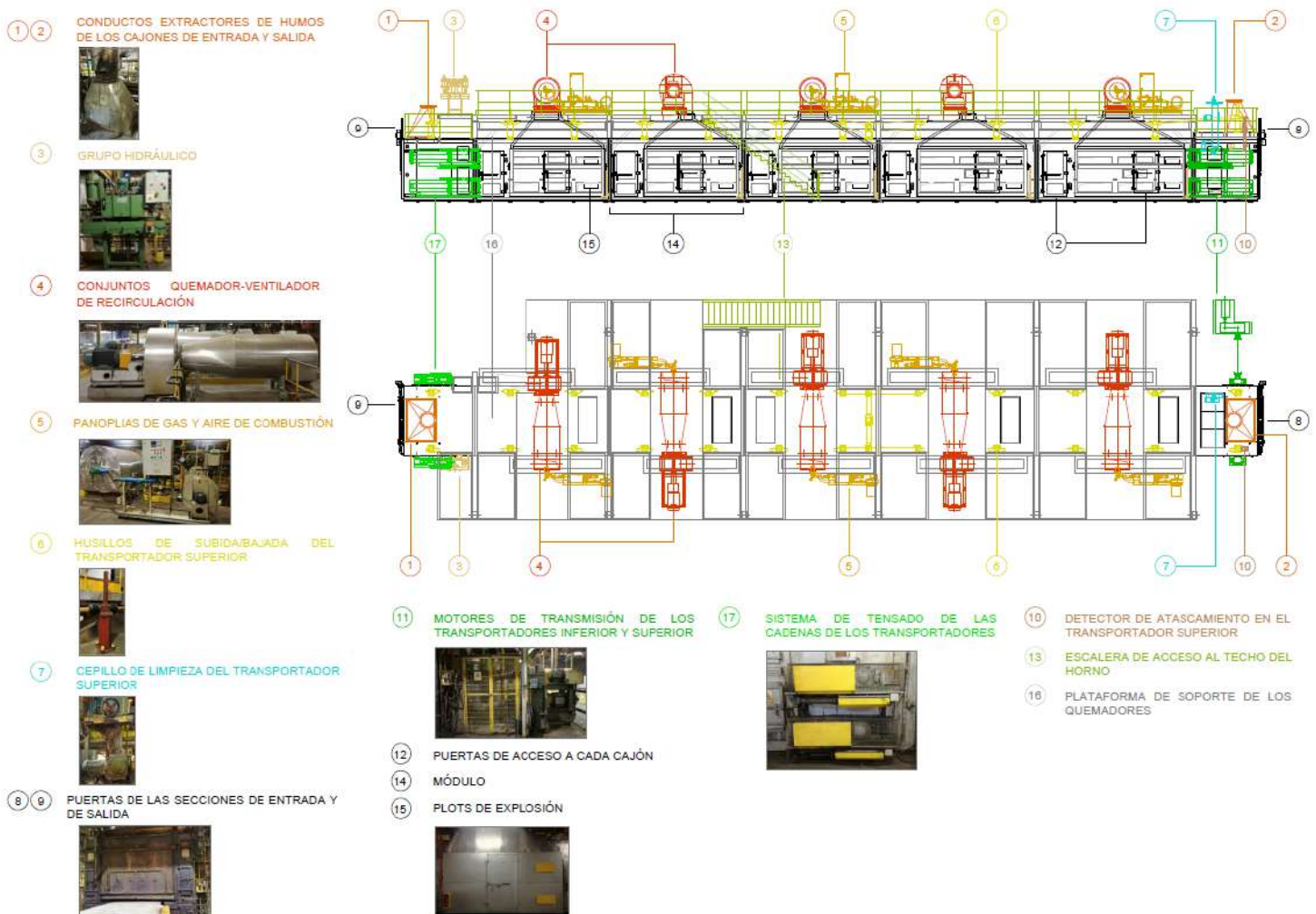


Figura 50 se muestra el plano del horno de polimerización con indicación de sus elementos principales, descritos en los apartados anteriores.

Figura 50: Plano del horno de polimerización con representación de sus elementos principales.

1.7.2 FUNCIONAMIENTO

El principal objetivo del horno de polimerización consiste en someter al producto al proceso de secado, calentamiento y curado. El secado es la primera etapa que tiene lugar dentro del horno, por lo que se produce en las primeras zonas de calentamiento, y consiste en evaporar

toda la humedad que contiene el producto. A continuación, es necesario continuar elevando la temperatura del material. Es la segunda parte del proceso, que se produce en las siguientes zonas de calentamiento. Con ello se consigue que el producto alcance una temperatura comprendida entre la temperatura de curado mínima y máxima. Entre estas temperaturas se produce la última fase del proceso, que tiene lugar en las últimas zonas de calentamiento: la homogeneización, es decir, la polimerización del encolado. Consiste en modificar la estructura química de la resina para que adquiera propiedades adherentes y las fibras queden unidas entre sí. Por lo tanto, las temperaturas de curado dependen del tipo de encolado. El encolado utilizado en los productos de la línea B es el R232, cuya temperatura de curado mínima es 180°C y su temperatura de curado máxima es 220°C.

Para que en el horno tenga lugar el proceso anterior, se somete al producto a un flujo de aire en cada cajón, caracterizado por tener una caída de presión entre las caras del producto de hasta 30 mmca, y una temperatura comprendida habitualmente entre 250 y 260°C. Esto se ilustra en la Figura 51.

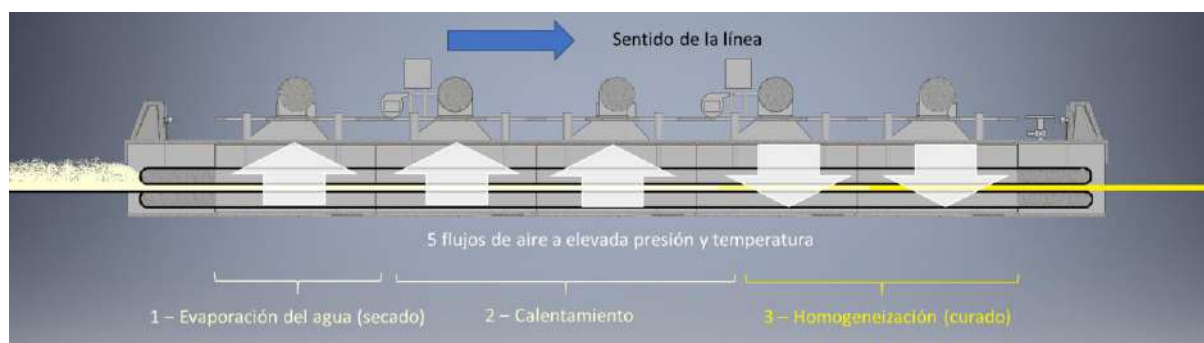


Figura 51: Fases del proceso que tiene lugar en el horno.

El colchón de lana antes de entrar en la estufa está formado por fibras, agua y encolado y se caracteriza porque sus fibras no están adheridas, es blando y carece de consistencia y propiedades mecánicas. Como resultado del proceso anterior, se consigue a la salida de la estufa un producto formado por fibras y encolado polimerizado, y caracterizado porque sus fibras están cohesionadas, tiene consistencia, propiedades mecánicas y el espesor correspondiente.

A continuación, se explica cómo se genera esta corriente de aire, basándose en el esquema de la Figura 52.

1.7.2.1 Generación del flujo de aire caliente

La panoplia suministra, de forma continua, la cantidad adecuada de gas (combustible), y el ventilador de aire de combustión absorbe la cantidad necesaria de aire exterior (comburente). Ambos componentes se inyectan en la cámara de combustión, se produce la combustión y, como resultado, se calienta el aire contenido en su interior, que atravesará el producto.

La reacción de combustión es completa con exceso de oxígeno para garantizar que se quema todo el gas y que los productos obtenidos son CO₂ y H₂O. El exceso de aire de la reacción constituye el flujo de aire caliente que atravesará el producto. Este aire carece de CO y de

combustible sin quemar debido a que la combustión es perfecta. De lo contrario, los humos generados en el horno serían más tóxicos por la presencia del CO y, además, contendrían gas. Si se acumula la cantidad adecuada de gas y de oxígeno dentro del horno y se produce una chispa o cualquier fenómeno que aporte la temperatura suficiente a ambos compuestos, se produciría una combustión espontánea dentro del horno que podría resultar en una explosión. Por tanto, se debe evitar la entrada de gas incontrolada en los cajones.

El ventilador de circulación impulsa este aire a elevada presión, que realiza el siguiente recorrido: se introduce en la cámara de impulsión y, como en este caso la derivación derecha está abierta, el aire entra en la zona de calentamiento por la parte superior derecha, pasa a través de los agujeros del transportador superior, atraviesa el producto desde arriba hacia abajo, atraviesa el transportador inferior y sale de la zona de calentamiento por la parte inferior izquierda. Una vez en la cámara de retorno, el gas es reinyectado en la cámara de combustión. El flujo de aire sigue el recorrido indicado por las flechas.

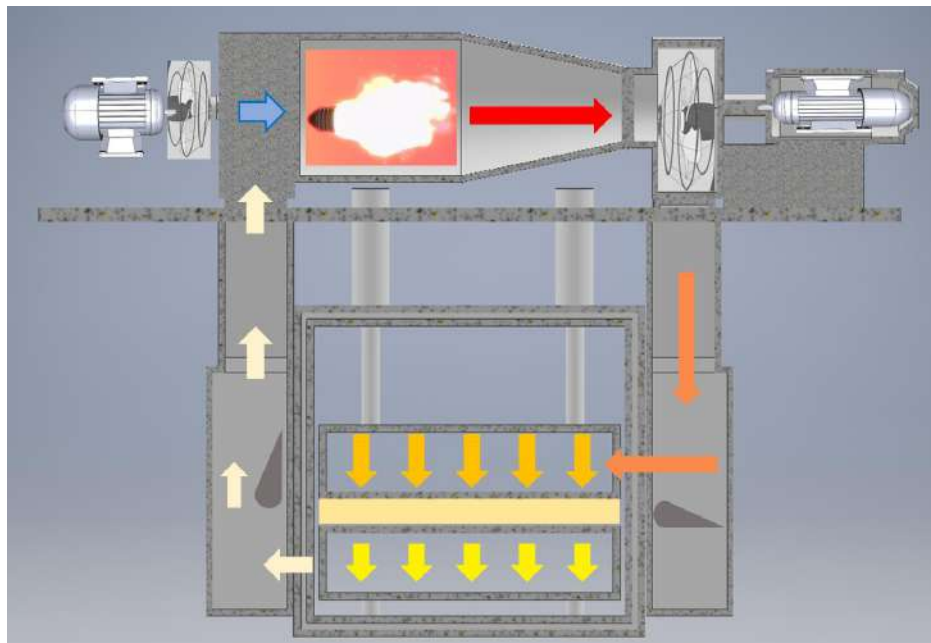


Figura 52: Recorrido del flujo de aire atravesando el producto desde arriba hacia abajo (cajón 4).

Se puede invertir el sentido del flujo abriendo la derivación izquierda y cerrando la derecha, de forma que el aire estaría obligado a entrar en la cámara de calentamiento por la parte inferior derecha, atravesaría el producto desde abajo hacia arriba, saldría de la cámara por la parte superior izquierda y sería reinyectado en la cámara de combustión. Este recorrido se muestra en la Figura 53.

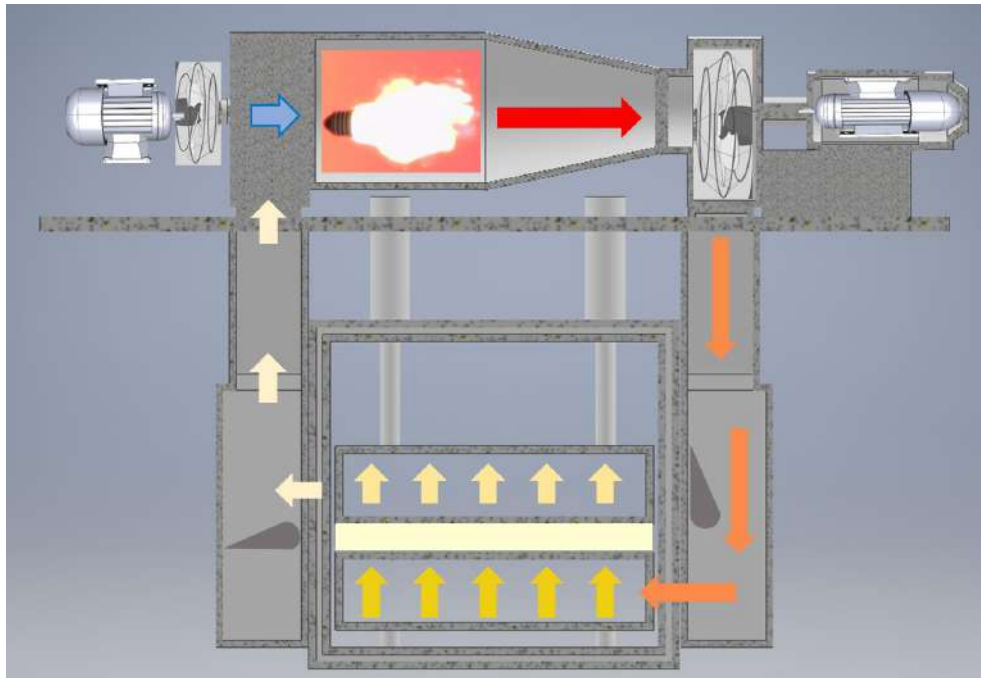


Figura 53: Recorrido del flujo de aire atravesando el producto desde abajo hacia arriba (cajón 2).

Estos esquemas representan una sección transversal de un cajón, pero este proceso se produce en 3D, replicándose de forma análoga en el resto de los cajones.

1.7.2.2 El proceso de secado y curado

1.7.2.2.1 Puntos de medida para la temperatura

Convencionalmente, se definen las siguientes posiciones de referencia para el seguimiento de la temperatura en el interior de los productos (Figura 54):

- En el espesor:
 - Cara inferior: superficie en contacto con el transportador inferior.
 - Cara central: localizada en la mitad del espesor.
 - Cara superior: superficie en contacto con el transportador superior.
- En el ancho:
 - Borde izquierdo: situado a 100 mm del extremo izquierdo del producto.
 - Posición del medio: localizada en el medio del ancho.
 - Borde derecho: situado a 100 mm del extremo derecho del producto.

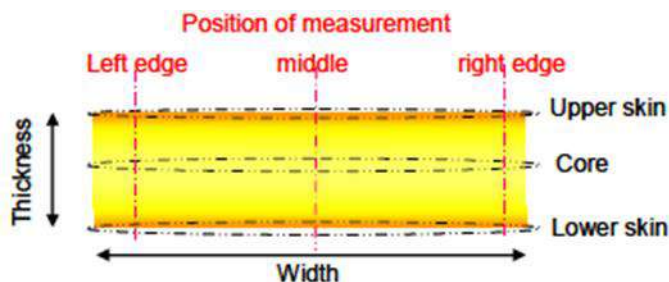


Figura 54: Posiciones de referencia para seguir la temperatura dentro del volumen de producto.

1.7.2.2.2 Medidas de temperatura

Temperatura de curado mínima: límite de temperatura inferior que todos los puntos del volumen de producto deben alcanzar durante la fase de curado.

Temperatura de curado máxima: límite de temperatura superior que ningún punto del volumen de producto debe superar durante el proceso.

El rango de temperaturas comprendido entre la temperatura de curado mínima y la temperatura de curado máxima constituye el rango aceptable de temperaturas, que debería ser alcanzado por todos los puntos del producto.

Temperatura de evaporación: temperatura alcanzada por un punto del volumen cuando la evaporación ha finalizado. Convencionalmente, se establece esta temperatura a 120°C.

1.7.2.2.3 Fases del proceso

Se definen tres fases en el proceso que tiene lugar en el producto a medida que atraviesa el horno de polimerización.

1. **Fase de evaporación del agua:** esta fase empieza cuando entra el producto en el horno y comienza a elevarse su temperatura, y finaliza cuando todos los puntos del volumen de producto han alcanzado la temperatura de evaporación.
2. **Fase de calentamiento:** si se divide el espesor del producto en diez partes iguales, esta fase empieza cuando todos los puntos de las dos partes más superficiales (la décima parte que se encuentra en contacto con la cara superior y la décima parte que se encuentra en contacto con la cara inferior) exceden la temperatura de evaporación. Finaliza cuando todos los puntos alcanzan la temperatura de curado mínima.
3. **Fase de homogeneización:** esta fase comienza cuando todos los puntos de ambas caras alcanzan la temperatura de curado mínima, y finaliza cuando el producto sale de la estufa.

Tiempo de homogeneización: mínimo tiempo en segundos que debe durar la fase de homogeneización. La temperatura de cada punto de todo el volumen de material debe estar comprendida entre la temperatura de curado mínima y máxima durante, al menos, este tiempo. Convencionalmente, se ha definido el inicio del tiempo de homogeneización cuando la

temperatura de la cara central, medida en el medio del ancho, alcanza la temperatura de curado mínima, y finaliza cuando el producto abandona la última zona de calentamiento de la estufa.

La Figura 55 muestra una gráfica con el perfil de temperatura que sigue cada parte del producto a medida que avanza por la estufa. En ella se representan las tres fases del proceso.

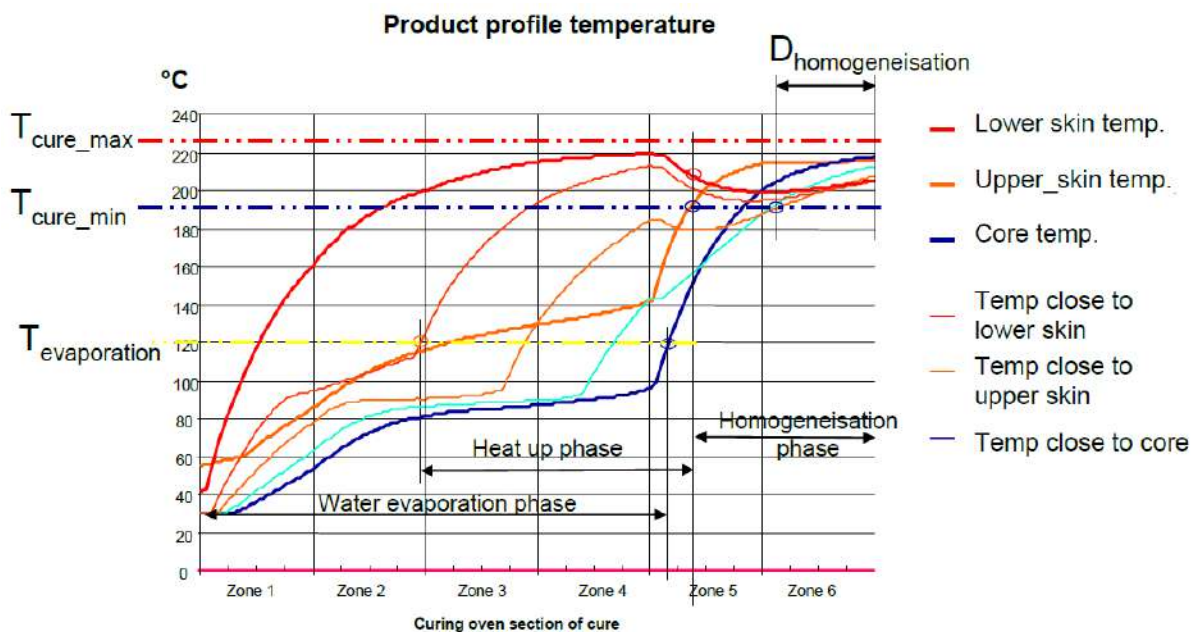


Figura 55: Fases del curado representadas en las curvas Datapaq del producto.

1.7.2.3 Intercambio de calor en el proceso

Dentro del horno, se dan tres tipos de transferencia de calor al producto, según se ilustra en la Figura 56.

- Convección forzada (75%): el principal intercambio de calor que se produce en el horno es debido al movimiento del flujo de aire a través del producto.
- Conducción (20%): este intercambio de calor se produce debido al contacto de las superficies de los transportadores con el material. A su vez, las paletas de los transportadores se calientan por el movimiento del aire, que pasa a través de sus agujeros (convección).
- Radiación (5%): se debe a la proximidad entre la superficie caliente de los transportadores y el producto.

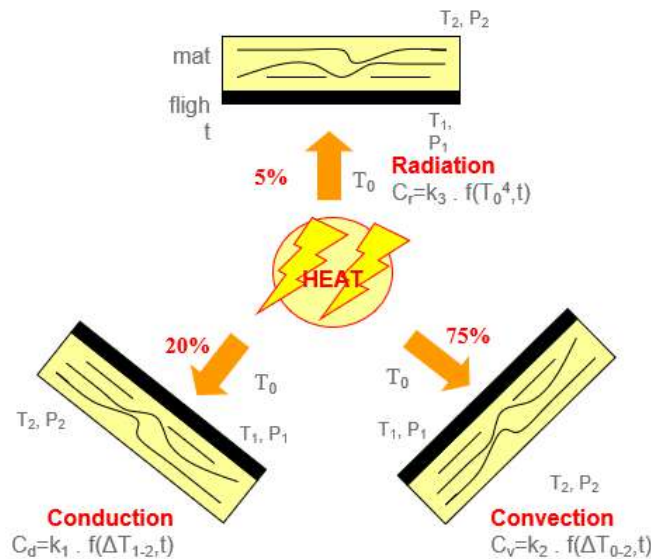


Figura 56: Tipos de transferencia de calor que se dan en el interior del horno de polimerización.

Para que la transferencia de calor sea lo más eficiente posible, hay que tener en cuenta el peso que tiene cada forma de transferencia de calor dentro de la estufa. El modo predominante es la convección forzada, que supone el 75% del calor transmitido al material, por lo que es importante ajustar, en primer lugar, el gradiente de presión al máximo permitido por el producto para favorecer la convección. Ello se consigue aumentando las revoluciones por minuto de los ventiladores de circulación de cada cajón, ya que son los encargados de impulsar el aire caliente a través del producto. En segundo lugar, se debe ajustar la temperatura de los quemadores para que las paletas de los transportadores se encuentren a una temperatura suficiente para favorecer la transmisión de calor por conducción, que supone el 20% del calor transferido al producto.

1.7.2.4 Sistema de lavado de humos

Al atravesar el producto, el aire arrastra partículas de fibra de vidrio, encolado, H_2O y CO_2 . A continuación, este aire se reinyecta en la cámara de combustión, al tiempo que entra aire nuevo en ella. Esto implica que, si no se evacúa de alguna forma parte del aire que entra dentro del horno, éste se acumularía en él y saldría al ambiente a través de las puertas frontales de las secciones de entrada y de salida y a través de las fugas. Los humos contienen muy poca cantidad de CO_2 , pero el polvo de vidrio y la resina no son saludables y están presentes en los humos en suficiente cantidad, por lo que deben ser retirados de los gases antes de enviarlos a la atmósfera. Para ello, en las secciones de entrada y salida hay sendos conductos por los que se evacúan los gases de la estufa mediante unos ventiladores de aspiración, que los conducen al sistema de tratamiento de humos.

Existen dos sistemas de lavado de humos que funcionan igual: uno para los humos extraídos en la sección de entrada y otro para los humos extraídos de la sección de salida.

Los objetivos de este sistema son:

- Lavar los humos de combustión y extraer los contaminantes procedentes del horno de forma controlada.
- Enfriar los humos.
- Mantener limpios los demás equipos del sistema de lavado de humos, que se encuentran aguas abajo (ducto, ventiladores...).
- Evitar incendios en los equipos situados aguas abajo.

El ventilador de aspiración o extractor aspira los humos por el conducto de la sección de entrada o salida hasta llegar a la caja de enfriamiento, donde se inyectan varios chorros de agua pulverizada para lavar y enfriar los humos de 140-200°C a 45-50°C. Cada uno de estos chorros forma una cortina de agua que cubre una sección transversal del conducto, de forma que es atravesada por los humos perpendicularmente.

La mezcla de gases, ahora con agua pulverizada, atraviesa un Venturi. A su salida, los humos se deceleran, lo que facilita que las gotas de agua pulverizada atrapen las partículas de resina y polvo de vidrio.

Los humos y las gotas de agua contaminadas continúan el recorrido hasta llegar a un ciclón, donde las gotas de agua impactan contra sus paredes y caen por gravedad. El agua impregnada de polvo y resina que se acumula en su base es recogida y conducida a una estación de filtrado para separar las fibras, por un lado, y el agua con la resina, por otro.

Tanto las fibras como la resina disuelta en el agua se reciclan: las fibras se compactan para retirar el agua restante y se reutilizan en la línea de producción de lana de roca; una parte del agua con la resina se introduce en las inyecciones de agua pulverizada del sistema de lavado de humos y, otra parte, se emplea como materia prima para fabricar encolado noble.

Finalmente, los humos restantes (compuestos por vapor de agua y CO₂) son conducidos a la chimenea, que los envía a la atmósfera. La Figura 57 representa esquemáticamente los sistemas de lavado de humos.

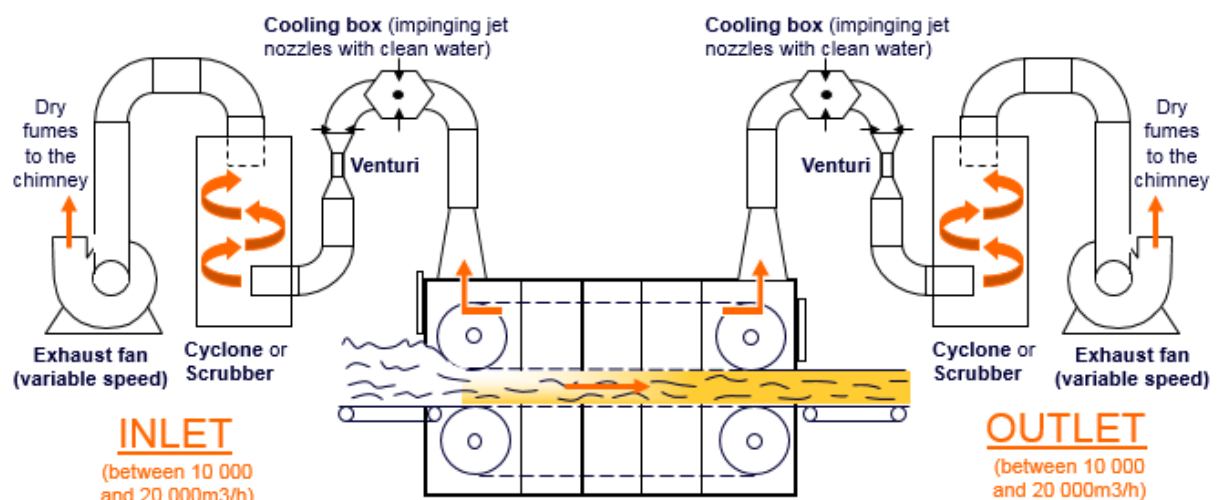


Figura 57: Representación de los sistemas de lavado de humos de las secciones de entrada y salida.



1.7.3 FUNCIONES

A continuación, se enumeran las funciones del horno de polimerización, empezando por las más importantes:

1. Secar el producto.
2. Curar el producto.
3. Dar al producto su forma final.
4. Dar al producto sus propiedades mecánicas.
5. Evacuar los humos generados al sistema de tratamiento de humos.
6. Establecer la velocidad de referencia de la línea.
7. Transportar el producto a través de la estufa de forma continuada y a tirada nominal.
8. Mantener el aislamiento entre el interior y el exterior de la estufa.
9. Minimizar el consumo de energía y el balance de CO₂.

1.7.3.1 Secar el producto

La primera etapa del proceso que tiene lugar en el producto a su paso por el horno es la evaporación del agua que contiene, ya que el producto final (material aislante) no debe contener humedad. Una parte de este agua está diluida en el encolado, y el resto, es añadida al material en el proceso de conformado de la lana (fibraje). Esta etapa finaliza cuando el producto supera la temperatura de evaporación (convencionalmente establecida en 120°C), que es cuando se da por evaporada todo el agua del producto. A partir de ese punto, comienza la fase de calentamiento, en la que la temperatura del material continúa elevándose hasta alcanzar la temperatura de curado mínima.

1.7.3.2 Curar el producto

Curar el producto significa polimerizar el encolado, es decir, modificar la estructura química de la resina para que sus moléculas se transformen en una red. Este cambio se activa con la temperatura, y la red resultante tiene una estructura química tan compleja, que es muy complicado determinar el rendimiento de la reacción (% de conversión). Una vez polimerizado, el encolado adquiere propiedades adhesivas, lo que permite aglomerar las fibras de vidrio.

El curado se produce en la tercera etapa del proceso que tiene lugar en el producto a su paso por el horno, que es la fase de homogeneización. Esta fase se inicia cuando el producto alcanza la temperatura de curado mínima, que es la temperatura a partir de la cual la resina se polimeriza. Por tanto, para polimerizar correctamente el encolado, el producto debe alcanzar una temperatura por encima de la temperatura de curado mínima, sin exceder la temperatura de curado máxima, en todo su volumen, a su tirada nominal y durante el tiempo de homogeneización. El valor de estos parámetros depende del tipo de encolado, según se muestra en la Tabla 1.



Encolado	Tª curado mínima	Tª curado máxima	Tiempo homog.
R232	180°C	220°C	10s
R225	200°C	250°C	5s
GB3 o R225F	205°C	240°C	5s
GB4	205°C	250°C	5s

Tabla 1: Temperaturas de curado y tiempo de homogeneización en función del tipo de encolado.

1.7.3.3 Dar al producto su forma final

El horno de polimerización proporciona al producto su forma final en cuanto a su espesor, a su geometría y a la planeidad de sus superficies.

1.7.3.3.1 Espesor

La distancia entre los transportadores superior e inferior del horno determina el espesor del producto en su interior. Ello se debe, por un lado, a que el encolado se polimeriza y, por otro, a que el producto se encuentra comprimido por los transportadores. Todo ello hace que las fibras de vidrio se adhieran entre sí y permanezcan en la posición tomada dentro del horno. Por lo tanto, el espesor ajustado dentro de la estufa condiciona el espesor del producto en las etapas posteriores (que no coincide necesariamente con el espesor proporcionado en el horno).

Dentro del horno, al producto se le da un sobreespesor cuyo valor es, aproximadamente, del 20% en los paneles y del 50% en los rollos para que, tras las compresiones en los procesos de enrollado y embalaje posteriores, el material recupere grosor hasta alcanzar su espesor nominal una vez desembalado. De lo contrario, el material no conseguiría alcanzar su espesor nominal. El sobreespesor proporcionado a los productos que irán enrollados es mayor que en los paneles porque los rollos están sometidos a una compresión mayor.

No es posible desplazar verticalmente el transportador inferior, que está fijo a la altura de paso de la línea, mientras que sí se puede modificar la posición vertical del transportador superior, que es móvil. Por lo tanto, el ajuste de la distancia entre los transportadores se realiza variando la altura del transportador superior. Este desplazamiento vertical lo realizan los husillos, que se encuentran distribuidos por el techo del horno. Los husillos se encuentran acoplados mecánicamente entre sí para que un solo motor eléctrico los accione a todos simultáneamente, de forma que todos los husillos varían por igual la altura del transportador y, por tanto, éste se encuentra siempre paralelo al plano horizontal.

El producto debe estar en contacto con los transportadores para garantizar que el aire pase a través de él.

1.7.3.3.2 Geometría

Los productos destinados a la fabricación de conductos de climatización (por ejemplo, los de la familia Climaver) tienen una característica geométrica especial. Se trata de una huella practicada en cada borde, dando una forma machihembrada que permita la unión de varias unidades alineadas. Para obtener dicha huella, se coloca un taco o talón en uno de los extremos de cada paleta del transportador superior y otro en el extremo opuesto de cada paleta del transportador inferior, tal y como muestra la Figura 58. Como resultado, se obtiene el producto con una de las dos formas mostradas en la Figura 59.

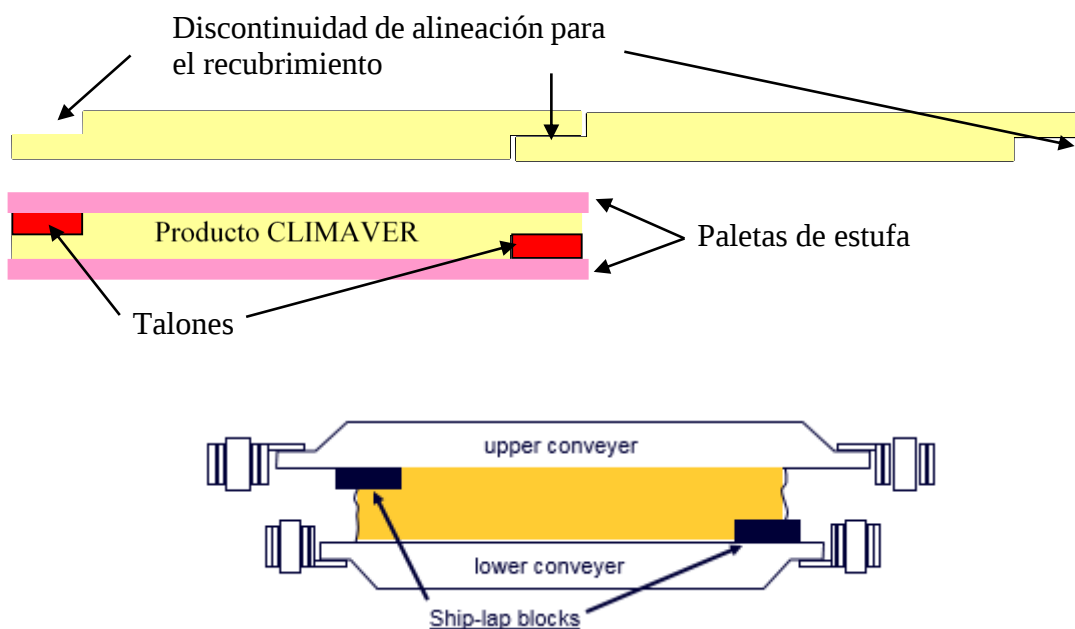


Figura 58: Posición en la que se colocan los tacos en los transportadores.

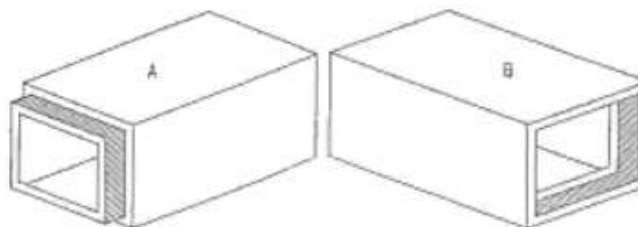


Figura 59: Geometría de los productos destinados a la fabricación de conductos de climatización.

1.7.3.3.3 Planeidad de las superficies

En algunos productos, se desea que una de las dos caras del producto sean muy lisa e uniforme. Esto se consigue con un movimiento relativo entre el transportador y el producto que genera

un efecto de pulido sobre la superficie del producto. Por lo tanto, este efecto deslizante se consigue generando una desincronización controlada de velocidad entre los dos transportadores.

Deslizamiento superior

- La velocidad del transportador inferior de la estufa será la referencia de la velocidad de la línea y de los demás transportadores. El producto viajará solidario al transportador inferior (en la Figura 60 se observan las marcas que dejan las paletas en la cara inferior del producto).
- La velocidad del transportador superior es del 2 al 5 % menor que la del transportador inferior. El transportador desliza sobre el producto y lo pule. Las paletas no dejan marcas sobre esta cara del producto.
- La dirección de soplado del primer cajón es de arriba hacia abajo para permitir que el producto se despegue y que se produzca el deslizamiento.

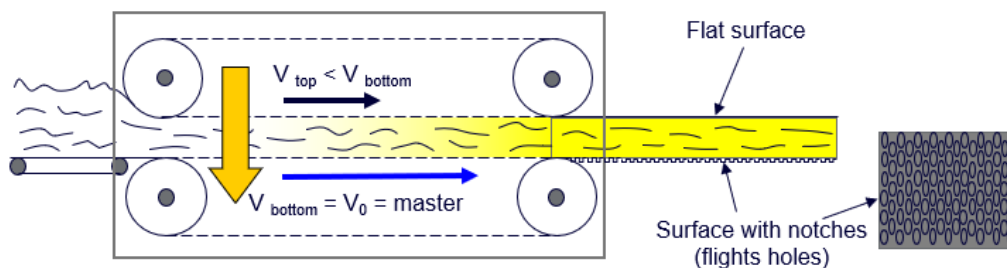


Figura 60: Representación del efecto deslizante en la cara superior.

Deslizamiento inferior

- La velocidad del transportador superior de la estufa es la referencia para los demás transportadores de la línea (Figura 61).
- La velocidad del transportador inferior es del 2 al 5 % menor que la del transportador superior.
- La dirección de soplado del primer cajón es de abajo hacia arriba.

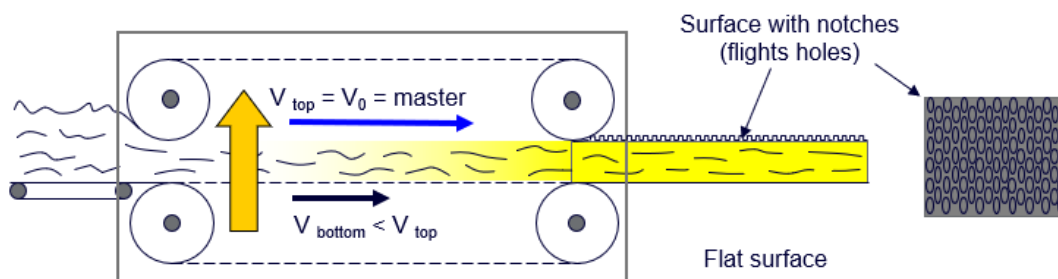


Figura 61: Representación del efecto deslizante en la cara inferior.



Obtención del efecto deslizante

1. Las paletas de los transportadores deben estar muy limpias, planas y niveladas (sin escalones entre ellas).
2. Rociar con aceite o silicona el transportador que deslizará por el producto, a fin de suavizar y lubricar las superficies.
3. Ajustar la dirección de soplado en los primeros 2/3 de la longitud de calentamiento, de forma que se separe la cara del producto que se desea alisar de las paletas y pueda deslizar por ellas. La dirección de soplado será hacia arriba para pulir la cara inferior, y hacia abajo para pulir la cara superior.
4. Comenzar con la densidad nominal del producto, pero ajustar la distancia entre los transportadores para conseguir una densidad dentro de la estufa no mayor de 40 kg/m³. Cuando el deslizamiento aparezca, ajustar la altura de la estufa para obtener la densidad correcta dentro de ella. Si el efecto desaparece, repetir los ajustes.

La diferencia de velocidad entre los transportadores superior e inferior debe ser la longitud de dos o tres paletas (2 o 3 x 175 mm).

1.7.3.4 Conferir al producto sus propiedades mecánicas

En la entrada del horno de polimerización, el producto no tiene cohesión porque las fibras de vidrio no están adheridas entre sí, especialmente las de la parte superior del colchón, que son más volátiles porque reciben menos aspiración por parte de los ventiladores durante el proceso de conformado. Además, el material carece de consistencia y de resistencia mecánica, y es blando y frágil.

Durante el proceso que tiene lugar dentro del horno, el producto se seca y el encolado se polimeriza. Ello hace que las fibras de vidrio se adhieran entre sí y mantengan su posición, lo que confiere consistencia y rigidez al producto. Por tanto, a medida que el producto se va curando, se va haciendo cada vez más resistente.

1.7.3.5 Evacuar los gases al sistema de lavado de humos

Al atravesar el producto, el aire arrastra partículas de fibra de vidrio, resina, H₂O y CO₂. A continuación, este aire se reinyecta en la cámara de combustión, al tiempo que entra aire nuevo en ella. Esto implica que, si no se evacúa de alguna forma parte del aire que entra dentro del horno, éste se acumularía en él y saldría al ambiente a través de las puertas frontales de las secciones de entrada y de salida y a través de las fugas. Los humos contienen muy poca cantidad de CO₂, pero el polvo de vidrio y la resina no son saludables y están presentes en los humos en suficiente cantidad, por lo que deben ser retirados de los gases antes de enviarlos a la atmósfera. Para ello, en las secciones de entrada y salida hay sendos conductos por los que se evacúan los gases de la estufa mediante unos ventiladores de aspiración, que los conducen al sistema de tratamiento de humos.

1.7.3.6 Establecer la velocidad de referencia para la línea

La velocidad de la estufa constituye la velocidad de referencia para el resto de los transportadores de la línea. Todos los equipos que se encuentran aguas abajo de la estufa (v_4 , v_5 y v_6 en la Figura 62) deben funcionar a una velocidad igual o sucesivamente mayor, y todos los equipos que se encuentran aguas arriba de la estufa (v_1 , v_2 y v_3 en la Figura 62) debe funcionar a una velocidad igual o menor.

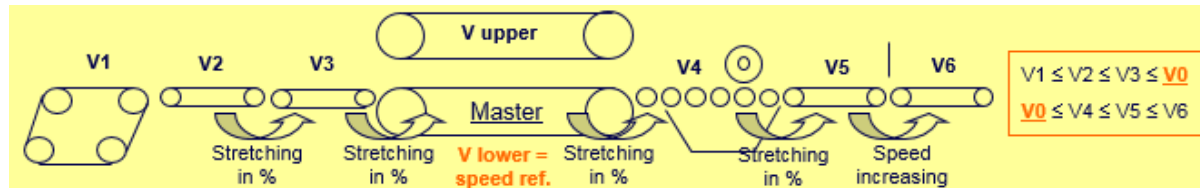


Figura 62: Representación esquemática de las diferentes velocidades de los transportadores de la línea.

El transportador inferior del horno es el maestro, y el transportador superior está regulado en velocidad y par para sincronizarlo con el transportador inferior (excepto cuando se genera el deslizamiento).

1.7.3.7 Transportar el producto a través de la estufa

El producto debe ser transportado a través de la estufa de forma continuada. Ello se consigue mediante dos transportadores paralelos, el superior y el inferior, que portan el producto entre medias. Cada transportador debe permitir el paso del aire caliente a través de él.

La falta de sincronización entre los transportadores inferior y superior es causante de:

- Daños en la superficie del producto (hendiduras).
- Aumento del par de los motores de los transportadores.
- Aumento del esfuerzo de los transportadores.

Para evitarlo, la sincronización se debe realizar permanentemente con una desviación máxima del 0,01%.

1.7.3.8 Aislar el conjunto de la estufa

Como muestra la Figura 63, se trata de mantener un buen aislamiento entre el interior y el exterior de la estufa evitando las fugas. Ello se consigue aislando con los materiales adecuados todas aquellas partes de la estufa susceptibles de generar pérdidas energéticas, especialmente las uniones y juntas. También, manteniendo lo más cerradas posible las puertas frontales.

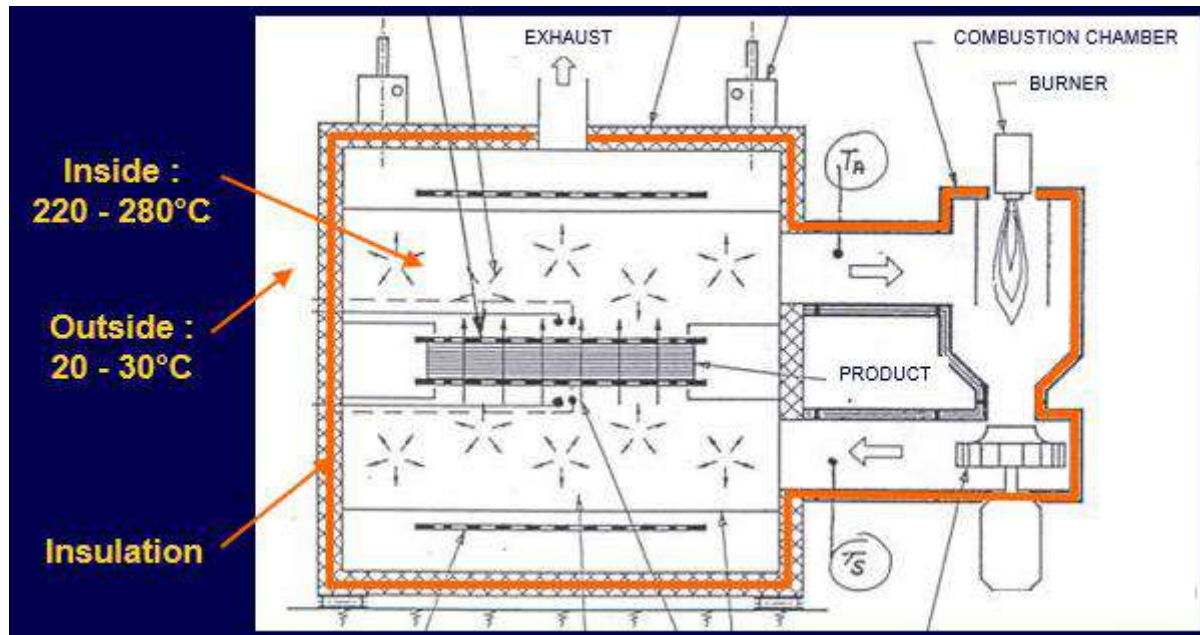


Figura 63: Representación esquemática del aislamiento del horno de polimerización.

1.7.3.9 Minimizar el consumo de energía y las emisiones

Todas las funciones anteriores deben realizarse de forma segura y con el mínimo impacto medioambiental en términos de emisiones y consumos de energía.

1.7.3.9.1 Emisiones

Los humos generados en el interior del horno contienen aire, CO_2 , vapor de agua, polvo de vidrio y resina. El aire es inyectado en las cámaras de combustión por los ventiladores de combustión, que aspiran el aire ambiental. El CO_2 y parte del vapor de agua son productos generados en la reacción de combustión del gas. La otra parte del agua en estado gaseoso procede de la evaporación de la humedad que contiene el producto al entrar en el horno. El polvo de vidrio y la resina son arrastrados por el flujo de aire al atravesar el producto.

La estufa está diseñada para minimizar el impacto de CO_2 , por lo que sus emisiones se encuentran dentro de los límites establecidos. Sin embargo, la resina y el polvo de vidrio no son saludables y se encuentran en los humos en cantidades no despreciables. Por otro lado, si los humos no se extraen de la estufa, se acumularían dentro de ella y saldrían a través de las fugas y de las aberturas que comunican el interior y el exterior, como las puertas frontales de las secciones de entrada y salida. Por lo tanto, es necesario evacuar los humos del horno y enviarlos a un sistema de lavado de humos antes de emitirlos a la atmósfera. Este sistema tiene como objetivo principal retirar de los humos la resina y el polvo de vidrio para ser reutilizados en la línea.



1.7.3.9.2 Balance de energía

El consumo total del horno de polimerización supone entre el 15 y el 20% del consumo total de la línea B. De toda esa energía, entre el 65% y el 90% procede del gas y del 35% al 10% proviene de la electricidad. A continuación, se muestra el reparto medio de la energía consumida procedente del gas (quemadores):

- 50%: pérdidas debidas a las extracciones de los humos de las secciones de entrada y salida (Q_h).
- 16%: pérdidas a través de las superficies de la estufa, como paredes, techo, suelo o puertas (Q_s).
- 3%: pérdidas en el producto por exceso de curado (sobrecurado).
- 31%: energía útil o aprovechada por el producto para evaporar la humedad, calentarse y curarse (Q_u).

Por lo tanto, el horno presenta unas pérdidas energéticas que suponen el 69% de la energía que consume, mientras que sólo aprovecha el 39% de esa energía.

1.7.3.9.3 Eficiencia

Teniendo en cuenta el reparto anterior de la energía y despreciando las pérdidas por exceso de energía aportado al producto (sobrecurado), se definen los siguientes conceptos de eficiencia:

Eficiencia en la conversión de la energía (η_u)

Se trata de la energía que es empleada de forma útil por el producto (Q_u) en relación con la energía (procedente del gas) que es necesario proporcionar (Q_g). Una parte de la energía útil se destina a evaporar el agua que contiene el producto (Q_{ev}), otra parte se emplea en continuar elevando su temperatura (Q_{T^a}) y el resto de la energía se utiliza para curar el producto (Q_{cu}).

$$\eta_u = \frac{Q_u}{Q_g} = \frac{Q_{ev} + Q_{T^a} + Q_{cu}}{Q_g}$$

La estufa debería estar diseñada para que el valor de la eficiencia en la conversión de la energía sea mayor o igual que 0,35.

Eficiencia en la conversión de la combustión (η_c)

Es la parte de la energía que está disponible de forma efectiva en el interior de la estufa, y se calcula como la energía proporcionada por el gas (Q_g) menos la energía que se pierde en los humos (Q_h) con respecto a la energía proporcionada por el gas. También se puede obtener como la suma de la energía útil (Q_u) y la energía perdida a través de las superficies del horno (Q_s) en relación con la energía total proporcionada (Q_g).

$$\eta_c = \frac{Q_g - Q_h}{Q_g} = \frac{Q_u + Q_s}{Q_g}$$

El diseño de la estufa debe garantizar que el valor de la eficiencia en la conversión de la combustión sea mayor o igual que 0,4.

Eficiencia en la conversión de la estufa (η_e)

Se trata de la eficiencia en la utilización de la energía disponible en el interior de la estufa, y se calcula como la energía que es empleada de forma útil por el producto respecto de la energía que está disponible de forma efectiva en el interior de la estufa.

$$\eta_e = \frac{Q_u}{Q_g - Q_h}$$

El diseño de la estufa debe garantizar que el valor de la eficiencia en la conversión de la estufa sea mayor o igual que 0,8.

Las eficiencias anteriores están relacionadas entre sí mediante la siguiente expresión:

$$\eta_u = \eta_c \cdot \eta_e$$

Y también se cumple que la energía proporcionada por el gas es la suma de la energía útil, de la energía perdida a través de las superficies del horno y de la energía perdida en las aspiraciones de los humos:

$$Q_g = Q_u + Q_s + Q_h = Q_{ev} + Q_{T^a} + Q_{cu} + Q_s + Q_h$$

Todos los conceptos anteriores se ilustran en la Figura 64.

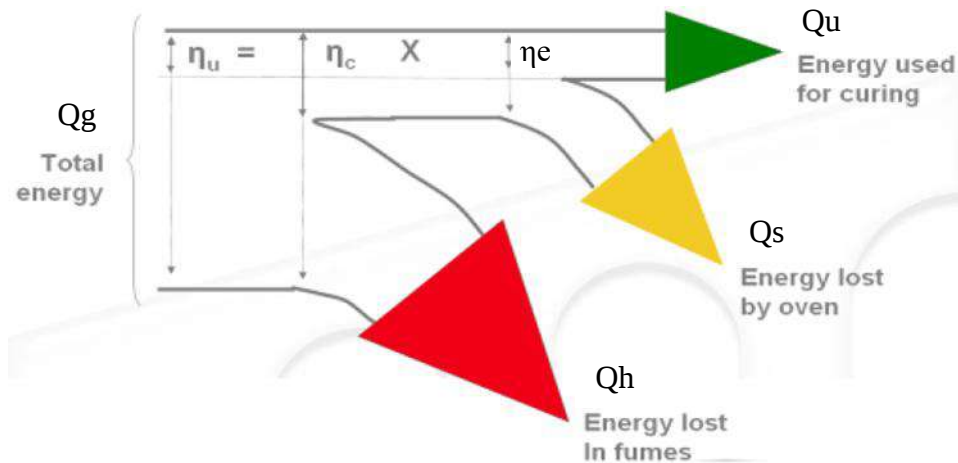


Figura 64: Ilustración de las eficiencias del horno y del reparto de la energía consumida (del gas).



1.8 WORLD CLASS MANUFACTURING (WCM)

1.8.1 INTRODUCCIÓN

La metodología *Kaizen* se enmarca en la Manufactura de Clase Mundial (*World Class Manufacturing*, WCM), que es una filosofía empresarial enfocada a la mejora continua y la obtención de la excelencia industrial eliminando progresivamente las pérdidas, asegurando la calidad del producto y maximizando la flexibilidad en función de las necesidades de los clientes, todo ello integrando y motivando a las personas que trabajan en las plantas. Se trata de un sistema estructurado e integrado en todos los procesos de la planta: producción, seguridad, calidad, mantenimiento, administración, logística, medioambiente, etc.

Para mantener sus posiciones de liderazgo, las empresas que compiten a nivel mundial deben mantener una constante búsqueda de la excelencia mediante prácticas cada vez más eficientes y la incorporación de nuevos conceptos operativos. Así surge la Manufactura de Clase Mundial, cuyo objetivo consiste en aumentar el rendimiento de las compañías y estandarizarlo a nivel mundial.

1.8.2 HISTORIA DE LA MANUFACTURA DE CLASE MUNDIAL

El modelo WCM es una evolución del sistema japonés Mantenimiento Productivo Total (*Total Productive Maintenance*, TPM), aunque también integra otros métodos, como Control Total de la Calidad (*Total Quality Control*, TQC), Justo a Tiempo (*Just in Time*, JIT) e Ingeniería Industrial Total (*Total Industrial Engineering*, TIE).

El Mantenimiento Productivo Total es una filosofía de mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos o, en otras palabras, mantener los equipos en el estado adecuado para producir a su capacidad máxima productos de la calidad necesaria, sin paradas no programadas. Por lo tanto, se trata de un mantenimiento que aporta una productividad máxima o total.

TPM identifica seis grandes pérdidas: fallos del equipo, puesta a punto y ajustes de las máquinas, marchas en vacío, esperas y averías menores, funcionamiento por debajo de su capacidad máxima, defectos en el proceso y pérdidas de tiempo debidas a la puesta en marcha de un nuevo proceso. Al implementar TPM, se busca alcanzar los tres ceros del TPM: cero averías, cero defectos y cero accidentes.

El Control Total de la Calidad es un sistema de gestión del conjunto de una organización para maximizar la eficiencia, eficacia y flexibilidad de todos sus recursos. Por lo tanto, implica la mejora de la calidad de todas las funciones y procesos de una empresa.

Justo a Tiempo es una filosofía de producción orientada a la demanda, de forma que los proveedores entregan las materias primas o componentes a la fábrica “justo a tiempo” para ser



utilizados, es decir, a medida que se van necesitando. Para ello, desarrolla el *Kanban*, que es un sistema de información visual para controlar la cantidad de producto y los tiempos entre operaciones. Como resultado, la ventaja competitiva adquirida por una empresa “ajustada” a la demanda consistirá en su capacidad para entregar al mercado el producto en un tiempo adecuado y en la cantidad requerida, evitando la sobreproducción (que carece de valor añadido y genera un exceso de inventario).

La Ingeniería Industrial Total es un sistema que busca maximizar el rendimiento del trabajo mediante la reducción de los tres enemigos principales de la productividad: *Muri* (sobrecarga de personas o equipos); *Mura* (variabilidad en el proceso); y *Muda* (los siete desperdicios, que son: transporte, inventario, movimiento, esperas, sobreproducción, sobreproceso y defectos).

Las empresas japonesas han sido pioneras en el desarrollo de estas técnicas y en su implantación mediante la manufactura ajustada (*Lean Manufacturing*), filosofía que busca mejorar y optimizar el sistema de producción eliminando todas las actividades que no añaden valor al proceso. La manufactura ajustada fue concebida en Japón por Taiichi Ohno, director y consultor de Toyota. Por ello, también se le denomina Sistema de Producción de Toyota (*Toyota Production System, TPS*). De esta forma, las empresas japonesas consiguieron ser de las más productivas y mantener sus posiciones de liderazgo. En los años 1970, cuando las empresas americanas tienen dificultades para superar la crisis del petróleo, se despierta un interés general por estos métodos, y la Manufactura de Clase Mundial o WCM nace al intentar adaptar y aplicar los modelos japoneses a las empresas occidentales. Por lo tanto, el *Lean Manufacturing* es la aplicación práctica de las herramientas anteriores en las empresas japonesas, y el *World Class Manufacturing* es la adaptación e implementación de esas herramientas en las empresas occidentales. Ambas filosofías se basan en las mismas técnicas organizativas, productivas y de gestión, pero con diferentes enfoques.

En este contexto, cinco socios fundan en 2006 la Asociación WCM: Grupo Arcelor Mittal, Grupo Fiat, Grupo Saint-Gobain, Campbells y la Universidad de Kyoto. Su objetivo consiste en promover el uso de las técnicas WCM para mejorar el rendimiento y la competitividad de la industria manufacturera. Para ello, ha elaborado un protocolo auditable para valorar lo que han avanzado las empresas en el despliegue del modelo WCM y el nivel de resultados. Esto se traduce en un reconocimiento internacional de su nivel de gestión y posición de liderazgo. De esta forma, la Asociación WCM se está configurando como referente y órgano oficial de WCM.

1.8.3 EL MODELO WCM DEL GRUPO SAINT-GOBAIN

No existe regulación ni estandarización a nivel global de las herramientas WCM. Cada compañía o grupo de compañías utiliza diferentes métodos para lograr el nivel de excelencia, por lo que lleva a cabo los proyectos WCM según establece la propia empresa. Sin embargo, todos estos proyectos se basan en el conjunto de herramientas de *Lean Manufacturing*, como 5S, SMED, *poka yoke*, etc., y todas las empresas tienen como objetivo común ser WCM.

El modelo de WCM que desarrolla el Grupo Saint-Gobain está basado en siete pasos, de forma que el paso anterior sustenta a los siguientes y avanzar en el paso siguiente implica haber avanzado más en el anterior, tal y como se ilustra en la Figura 65. Son seguridad y salud laboral,



fiabilidad, rendimiento, calidad, racionalización en logística y plantilla (planta productiva), sincronización entre ventas y producción (planta *lean*) y automatización plena (planta de clase mundial). Para el Grupo Saint-Gobain, el paso más importante y que sustenta a todos los demás es el de seguridad y salud laboral, y el último paso es el de obtener una planta de clase mundial, cuyo predecesor es tener una planta *lean*. Por eso, el Grupo Saint-Gobain entiende que *Lean Manufacturing* es la precuela de *World Class Manufacturing*.

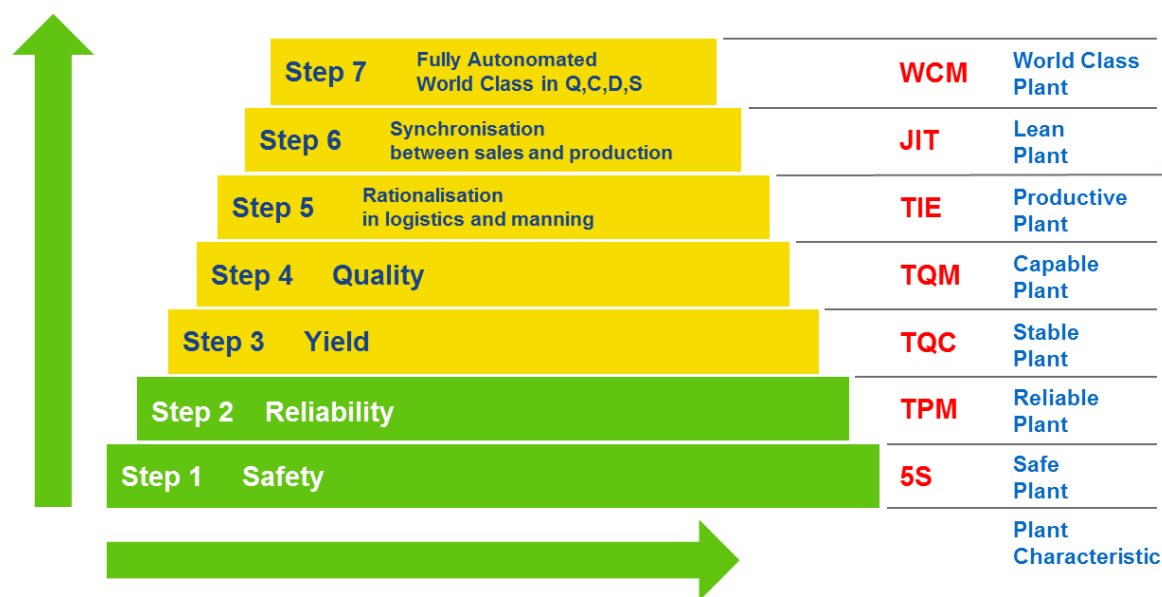


Figura 65: Los siete pasos del modelo WCM del Grupo Saint-Gobain.

Como resultado de la aplicación de *World Class Manufacturing* en diversas fábricas del Grupo Saint-Gobain, algunas de ellas han recibido premios y reconocimientos, como las siguientes: el premio *World Class Manufacturing* a la fábrica Saint-Gobain Sekurit de Avilés (Asturias) en 2017, a la fábrica Saint-Gobain Sekurit de L'Arboç (Tarragona) en 2015 y a la fábrica Saint-Gobain Placo Ibérica de San Martín de la Vega (Madrid) en 2011.

Por lo tanto, la metodología Kaizen es una de las herramientas que utiliza la filosofía *World Class Manufacturing*, cuyo objetivo fundamental es alcanzar la excelencia industrial en todos los niveles de la organización eliminando las pérdidas, asegurando la calidad del producto y maximizando la flexibilidad. Sin embargo, la evolución de las fábricas hacia la excelencia no es completa si el WCM no se complementa con la evolución tecnológica y la transformación digital que está teniendo lugar hoy en día y que, en el mundo de la manufactura, se manifiesta como la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0.

La Figura 66 muestra esquemáticamente las cuatro revoluciones industriales que se han producido hasta la actualidad: la primera, con el desarrollo de la máquina de vapor y la mecanización; la segunda, caracterizada por la producción en masa y la electricidad; la tercera, con la introducción de los ordenadores y la automatización; y la cuarta, con la Industria 4.0. Ésta implica un elevado grado de automatización y digitalización de toda la cadena de valor, desde los proveedores hasta los clientes, mediante el uso de sistemas ciber-físicos e Internet de las cosas (redes virtuales capaces de controlar objetos físicos) para transformar las industrias

en “fábricas inteligentes”, caracterizadas por la interconexión permanente e instantánea de todos los elementos que intervienen. El funcionamiento sería el siguiente: se captura la información del mundo físico y se registra en forma digital; la información se comparte e interpreta y, por último, se aplican algoritmos para traducir las decisiones del mundo digital a acciones concretas en el mundo físico. Por lo tanto, no sólo permitiría optimizar toda la cadena de valor, sino que también supondría una transformación de las empresas y su organización.

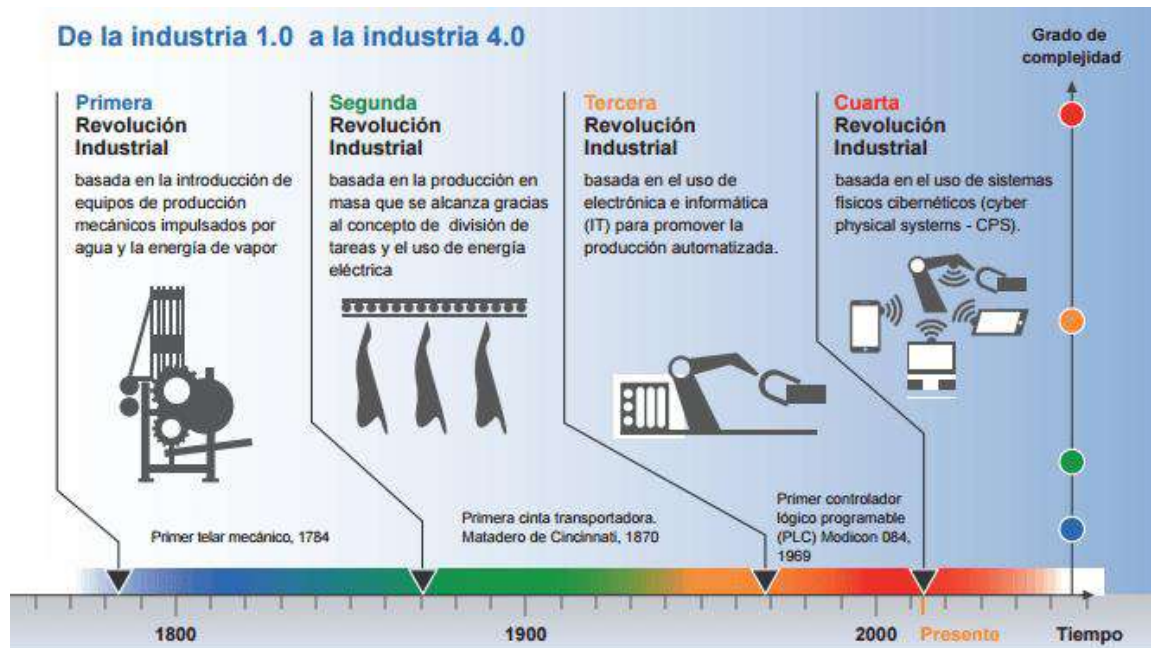


Figura 66: Esquema de las cuatro revoluciones industriales.

En definitiva, se prevé que, en los próximos años, las fábricas lleven a cabo un proceso de implementación de la Industria 4.0. Esto posiblemente implicaría para la Manufactura de Clase Mundial que, manteniendo sus principios y valores fundamentales, experimentara cambios para adaptarse a los nuevos modos de operar de las industrias. En este caso, un posible resultado sería la convivencia de la Industria 4.0 con un nuevo o modificado *World Class Manufacturing* que busque alcanzar su objetivo fundamental de la excelencia industrial, pero en el contexto de la Industria Conectada.

Este proyecto se enmarca en el paso siete del modelo WCM desarrollado por el Grupo Saint-Gobain, correspondiente a obtener una planta de clase mundial, es decir, alcanzar la excelencia industrial en todos los niveles de la organización eliminando las pérdidas, asegurando la calidad del producto y maximizando la flexibilidad. Para ello, se empleará la metodología *Kaizen*, que tiene como objetivo principal la eliminación de ineficiencias del proceso productivo a través de la mejora continua, entendida como una mejora incremental y constante. Concretamente, este proyecto se aplicará a uno de los elementos que intervienen en la línea de producción de lana de vidrio (el horno de polimerización), para reducir sus pérdidas energéticas. Idealmente, el objetivo consiste en obtener pérdidas nulas (excelencia industrial).



1.9 LA METODOLOGÍA STANDARD KAIZEN (SK)

1.9.1 INTRODUCCIÓN

En gestión de la producción, la metodología *Kaizen* (del japonés, “mejora continua”) se enmarca en *World Class Manufacturing* y tiene como objetivo principal la eliminación de ineficiencias del proceso productivo a través de la mejora continua, entendida como una mejora incremental y constante. Este método se fundamenta en el Ciclo PDCA o Círculo de Deming (Figura 1), que consta de los siguientes cuatro pasos: planear, hacer, verificar y actuar.

1.9.2 OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA STANDARD KAIZEN

En términos generales, la metodología *Kaizen* tiene como finalidad principal la eliminación de ineficiencias del proceso productivo a través de la mejora continua, entendida como una mejora incremental y constante.

En este proyecto, la metodología *Kaizen* se aplica a uno de los elementos que intervienen en la línea de producción de lana de vidrio: el horno de polimerización. Se ha observado que esta máquina tiene un consumo de energía total (de gas y electricidad) superior al establecido por diseño y superior al de otros equipos similares de las fábricas del Grupo, por lo que el objetivo consiste en reducir esas pérdidas energéticas. Para ello, se introducirán mejoras constructivas y se establecerán los parámetros de ajuste de la máquina en función del tipo de producto que se esté fabricando. Como consecuencia, se obtendrán dos resultados: en primer lugar, se reducirán las pérdidas anuales del horno asociadas a los dos tipos de combustible que utiliza (gas y electricidad) y, en segundo lugar, se mejorará el funcionamiento de la máquina.

Si el horno cuenta con los elementos constructivos correspondientes y en buen estado y, además, se ajustan sus parámetros de funcionamiento correctamente según el tipo de producto que se fabrica, su rendimiento será mejor.

1.9.3 METODOLOGÍA

World Class Manufacturing cuenta con un conjunto de herramientas de identificación de problemas y búsqueda de soluciones (entre ellas, el *Standard Kaizen*) que se diferencian por su nivel de complejidad, pero todas ellas siguen la siguiente estructura general:

1. Definición del problema y descripción del fenómeno.
2. Comprensión del sistema: identificar el sistema objeto de estudio y describir cómo debería funcionar.
3. Análisis de la causa raíz: aplicación del análisis de los cinco porqués para identificar la causa raíz del problema.

4. Contramedidas: implementación de las soluciones.

En la Figura 67 se muestra gráficamente la estructura anterior particularizada para el *Standard Kaizen*, que cuenta con una herramienta concreta para cada uno de esos pasos.

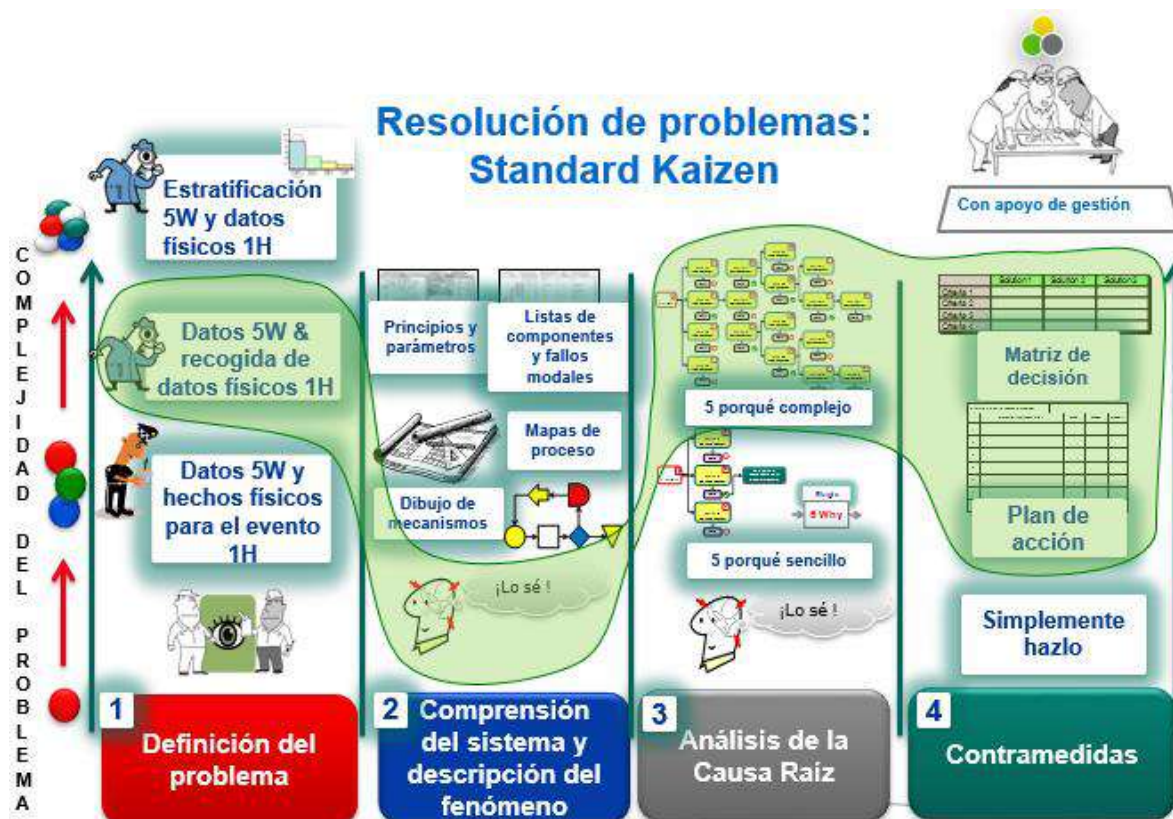


Figura 67: Ilustración gráfica de la estructura del Standard Kaizen.

A continuación, se explican las etapas de las que consta el *Standard Kaizen*, que se documentan en hojas de trabajo elaboradas con un formato estándar preestablecido en Microsoft Excel.

1.9.3.1 Hoja 1: preparación del proyecto y definición del problema

En primer lugar, se realiza la preparación del proyecto y la definición del problema, que comprende los siguientes hitos:

- El despliegue de costes consiste en un conjunto de gráficos de Pareto estratificados que permiten identificar y cuantificar económicamente las causas de las pérdidas en los diferentes niveles de la planta. Cada nivel corresponde a un gráfico, siendo el primer nivel el más general y el último nivel, el más específico. Para este proyecto, los niveles de pérdidas son: causas de pérdidas en la línea B, causas de pérdidas de energía en la línea B, causas de pérdidas de energía en el horno de polimerización y pérdidas de energía del horno relacionadas con sus consumos de gas y electricidad. Por lo tanto, el despliegue de costes permite conocer las pérdidas económicas asociadas al consumo de gas y electricidad del horno de polimerización.



-
- Funcionamiento de la estufa: explicar el funcionamiento de la máquina paso a paso, mediante dibujos, planos o esquemas.
 - Localización del proyecto: establecer la estación de trabajo en la que se va a llevar a cabo (el horno de polimerización de la línea B). Se debe ilustrar mediante planos o dibujos.
 - Balance de potencia: es una herramienta que aplica un conjunto de ecuaciones a una serie de medidas tomadas en la línea, para obtener la cantidad de potencia procedente del gas que se le proporciona a la estufa (potencia de entrada) y a qué se destina cada parte de esa potencia (potencias de salida). Parte de la potencia de salida son pérdidas. De esta forma, el balance permite conocer de forma cuantitativa las fuentes de pérdidas del horno.
 - Objetivo del proyecto: a partir de los resultados del balance de potencia, se puede definir el objetivo del proyecto mediante un KPI. El objetivo debe ser SMART (específico, medible, alcanzable, realista y acotado en el tiempo). En este caso, consistirá en reducir las pérdidas energéticas del horno, expresadas en kWh/tonelada de fibra. Con ello, se debe justificar que se obtendrá un ahorro económico. Este ahorro se calcula como la diferencia entre la pérdida y el presupuesto.
 - Equipo: seleccionar al líder y a los integrantes, describir su cargo dentro de la fábrica, describir la función que desempeñará cada uno en el proyecto, establecer las normas del equipo y elaborar la matriz de habilidades. Esta matriz recoge las diferentes habilidades requeridas para el proyecto, el nivel de conocimientos que cada miembro posee de ellas y la formación que necesita cada uno para alcanzar el nivel deseado. Se debe incluir una foto con todos los miembros del equipo.
 - Planificación: establecer el inicio, cierre y duración del proyecto, y elaborar un cronograma que incluya todas las etapas del proyecto, quiénes las van a realizar, los hitos importantes y un espacio destinado a anotaciones para, por ejemplo, justificar posibles retrasos.

1.9.3.2 Hoja 2: estudio externo y detallado del problema

El objetivo de esta etapa consiste en estudiar el problema en profundidad desde fuera, es decir, tratando al sistema como una caja negra, analizando lo que se percibe por los sentidos para inferir lo que pasa dentro de él. Se lleva a cabo mediante la combinación de las 3G: ir a *Gemba* (lugar del problema), observar *Gembutsu* (la máquina) y obtener así *Genjitsu* (las percepciones de los sentidos, es decir, datos y hechos). Una vez recogida y analizada toda la información, debería ser posible realizar la descripción del fenómeno (resultado de esta etapa). Todo ello se realiza mediante los siguientes estudios:

- Análisis observacional: percibir el problema a través de los sentidos y observar sus efectos.
- Análisis de los datos: estudio estadístico de las 5W y estudio histórico de las 4M.

- Descripción del fenómeno (1H, 1 how): descripción de los hechos observados a través de los cuales se manifiesta el problema.

1.9.3.2.1 Análisis observacional

Consiste en ir físicamente al lugar del problema para percibir mediante los sentidos todos los hechos que evidencian la existencia del problema (sus síntomas). Se trata de condiciones anómalas de temperatura, olor, ruido, color, apariencia, forma, textura, etc. Se debe registrar la observación realizada, el lugar donde se detectó, el valor o estado de referencia, la medida obtenida y la causa de ese problema. Para ello, se toman medidas, se sacan fotos, se realizan grabaciones y se inspeccionan los componentes.



Para cada observación, es necesario tomar medidas de una variable (longitud, presión, temperatura, cantidad, revoluciones por minuto...), dependiendo de la variable que intervenga en la observación. De esta forma, se cuantifica la observación realizada (el valor real de la variable analizada) y el valor correcto o de referencia que debería tomar la variable. También se pueden utilizar rangos para estas variables.

Las fotos deben ser generales y estar tomadas desde distintos puntos de vista para mostrar toda la zona y las posiciones relativas de los objetos, y también deben ser cercanas para capturar los detalles relevantes que son temporales. También se pueden tomar fotos de zonas o elementos no afectados por el problema para futuras comparaciones.

Se deben grabar hechos o situaciones relevantes para el estudio, como las condiciones de operación cuando se está produciendo el problema o el estado de la máquina antes, durante y después del fallo.

Mediante la inspección de los elementos se deben detectar cambios de tamaño, forma, color y, en definitiva, cualquier alteración con respecto a su estado original. Se debe adquirir un nuevo elemento del mismo tipo para compararlos entre sí y para compararlos con las especificaciones del fabricante. En caso de que el componente esté roto, se deben analizar las fuerzas que debieron ser ejercidas para romperlo.

1.9.3.2.2 Análisis de los datos

Estudio estadístico de las 5W

Consiste en generar sucesivos gráficos de Pareto estratificados que recojan los consumos energéticos del horno para cinco niveles: qué, cuándo, dónde, quién y cuál. Dentro de cada nivel se selecciona una variable en función de la cual se expresan los consumos. Así, para el caso del horno, las variables seleccionadas para cada nivel son: los productos fabricados (qué), el tiempo en el que los productos permanecen en línea (cuándo), las pérdidas de cada parte de



la máquina (dónde), los consumos en función de los equipos que trabajan en la estufa (quién) y los consumos a lo largo del tiempo (cuál).

Cada gráfico sirve como base para elaborar el siguiente. Si en el gráfico de un nivel se observa que una o algunas de las variables generan consumos significativamente superiores que el resto, sólo estas variables se tienen en cuenta para elaborar el gráfico del siguiente nivel. Si todas las variables generan consumos similares, se las debe tener en cuenta a todas para generar el siguiente gráfico.

WHAT => WHEN => WHERE => WHO => WHICH

- *What* (qué): ¿con qué producto se produjo el problema? Para determinarlo, se genera un gráfico de Pareto que muestra los consumos totales del horno para cada producto fabricado. Si uno o varios productos conllevan consumos significativamente superiores que el resto, aquéllos servirán de base para generar el siguiente gráfico; si todos los productos contemplados tienen asociados consumos similares, todos ellos deberán tenerse en cuenta al elaborar el gráfico del *when*.
- *When* (cuándo): ¿cuándo sucede el problema? Ello se muestra mediante uno o varios gráficos de Pareto que representan los consumos del horno en función del tiempo en el que los productos permanecen en línea. Para realizarlos, se habrán tenido en cuenta los productos que más consumen, de forma que habrá un gráfico para cada producto considerado.
- *Where* (dónde): ¿dónde tiene lugar el problema? Ello se muestra a través de uno o varios gráficos de Pareto que contienen las pérdidas de la estufa en función de las distintas zonas del horno en las que hay pérdidas.
- *Who* (quién): ¿a quién le sucedió el problema? Se representa con uno o varios gráficos de Pareto que muestran los consumos asociados a cada equipo que trabaja en la máquina.
- *Which* (cuál): determina si existe algún patrón o tendencia en las respuestas a los interrogantes anteriores. Para ello, se representan todos los datos de consumos recogidos en función del tiempo.

Idealmente, se deben registrar los consumos para todos los productos que se han ido fabricando a lo largo del tiempo. Para que el análisis estadístico sea significativo, se debe tener un amplio volumen de datos.

Cuando el problema no se produce, los datos recogidos no son válidos para realizar el estudio. En el caso del horno, el problema de las pérdidas energéticas está presente permanentemente, por lo que todos los datos son válidos. Si no fuera posible acumular una cantidad suficiente de datos, habría que utilizar todos los datos (tanto los recogidos cuando se da el problema, como los recogidos cuando todo funciona correctamente).



Estudio histórico de las 4M

Los cambios que hayan tenido lugar en la fábrica a lo largo del tiempo pueden guardar importante relación con las causas del problema, pudiendo ayudar a determinar su verdadera causa raíz. Se trata de un estudio histórico para detectar y analizar los cambios que han tenido lugar en la fábrica relacionados con el horno. Se deben considerar los cambios realizados en la mano de obra, los procedimientos, la máquina y los materiales.

- *Man changes* (cambios humanos): cambios en el personal que trabaja en la máquina, nuevas incorporaciones o uso de mano de obra temporal.
- *Method changes* (cambios en los métodos): cambios en la forma de trabajar en la máquina desde que está instalada.
- *Machine changes* (cambios en la máquina): cualquier cambio o mejora que se haya realizado en la máquina desde que se instaló hasta la actualidad (cambios constructivos, de diseño, de apariencia...).
- *Material changes* (cambios en los materiales): modificación de sus especificaciones (formulación, composición, tolerancias, empaquetamiento...), de las materias primas o fabricación de nuevos productos.

Una vez finalizado el análisis de los datos, se hace un resumen de cada estudio (5W y 4M).

1.9.3.2.3 Descripción del fenómeno

A partir del análisis observacional y del análisis de los datos, debería ser posible describir detalladamente el fenómeno, es decir, la sucesión de hechos a través de los cuales se manifiesta el problema, y ello permitirá identificar su causa raíz posteriormente. La descripción del fenómeno se debe realizar mediante dibujos, planos o esquemas.

Si en este punto no se entiende el fenómeno, habrá que elaborar una hoja adicional (la 3) y el proyecto pasará de ser un *Standard Kaizen* a ser un *Major Kaizen*. Si se ha conseguido entender el problema, se pasa directamente a la hoja 4 y el proyecto se mantendrá como *Standard Kaizen*.

1.9.3.3 Hoja 3: estudio interno y detallado del problema

Esta hoja sólo está presente en el *Major Kaizen*. Tiene como objetivo la total comprensión del sistema.

En esta etapa, deja de tratarse al sistema como una caja negra y pasa a analizarse su interior: se identifican las partes que lo componen que son significativas para el proyecto, se estudia su funcionamiento y los parámetros y ajustes que deben cumplir. También se estudian sus fallos modales (potenciales problemas que pueden sufrir), cómo se podrían manifestar y sus consecuencias. Se debe comprobar si esos problemas teóricos identificados son los que realmente se producen. Como resultado de esta etapa, debería haberse conseguido entender el fenómeno.



Este estudio se compone de tres fases:

- Análisis del mecanismo.
- Principios y parámetros.
- Análisis de los componentes.

1.9.3.3.1 Análisis del mecanismo

La metodología define “mecanismo” como un sistema de componentes que trabajan juntos en una máquina para lograr el resultado deseado.

El análisis del mecanismo, que consiste en el repaso del funcionamiento del sistema, consta de las siguientes etapas:

1. Identificar con precisión el sistema.
2. Identificar los pasos de transformación clave para obtener el resultado deseado del sistema.
3. Dibujar cada paso de transformación.
4. Identificar subconjuntos o partes clave del sistema que necesitarán ser estudiados.

1.9.3.3.2 Principios y parámetros

“Principio”: función de transformación actual del sistema que genera el resultado deseado y que ha fallado.

“Parámetro”: factor numérico o cualquier otro factor medible que define las condiciones requeridas para que el principio de un sistema opere correctamente.

Esta etapa consta de los siguientes pasos:

1. Identificar el principio que ha fallado.
2. Estudiar el principio para entender cómo genera la respuesta deseada.
3. Dibujar el subconjunto para explicar cómo funciona el principio.
4. Identificar los parámetros numéricos u otros parámetros medibles clave y determinar sus puntos de ajuste para que el principio funcione correctamente.
5. Medir los valores actuales de los parámetros, anotar las diferencias con respecto a los valores de referencia determinados anteriormente y entender a qué se deben.

1.9.3.3.3 Análisis de los componentes

Consiste en la comprensión de cada elemento que compone el mecanismo, de cómo puede influir en los parámetros críticos de operación y de cómo puede deteriorar y afectar al mecanismo. También comprende la inspección de los componentes para identificar elementos dañados o desgastados.

1. Identificar las partes que componen el mecanismo y que influyen en sus parámetros de funcionamiento.
2. Definir la función que cada parte desempeña en el mecanismo.



3. Entender los modos de deterioro de cada parte: vibración, sonido, desgaste y temperatura anómalos, fugas, corrosión, deterioro de aislamiento eléctrico, lubricación pobre, grietas, pérdidas, etc.
4. Entender cómo el modo de deterioro de cada parte puede afectar al mecanismo y al principio.
5. Proporcionar evidencias para justificar la parada o apertura de la máquina para inspeccionarla en busca de daños o componentes gastados.

1.9.3.4 Hoja 4: causa raíz, soluciones y plan de acción

Habiéndose entendido perfectamente el problema, hay que buscar la causa raíz, proponer soluciones y aplicarlas.

1.9.3.4.1 Análisis de la causa raíz

La diferencia entre “causa” y “causa raíz” es que la segunda es la razón más básica de que algo suceda de forma que, si se elimina, se evita que el problema que genera vuelva a suceder. Sin embargo, la eliminación de una “causa” de un problema no evita que éste se vuelva a producir.

Las diversas causas del problema se determinan mediante los tres análisis del estudio externo y detallado del problema (análisis observacional, de las 5W y de las 4M). Pero la identificación de la causa raíz se realiza mediante el análisis de los 5 porqués. Este análisis consiste en preguntar “¿por qué?” varias veces. La respuesta al primer “¿por qué?” se convierte en la primera causa, que pasa a ser un nuevo interrogante. Se continúa preguntando hasta llegar a la causa raíz. Se trata de un análisis deductivo.

Consta de las siguientes etapas:

1. Identificar todas las posibles causas.
2. Verificar cuáles son causas reales (*Gemba*).
3. Establecer la causa raíz.

1.9.3.4.2 Contramedidas

Se debe distinguir entre “contramedida” y “medida de contención”: una contramedida es una acción que elimina de forma permanente la causa raíz del problema, mientras que una medida de contención es una acción que sólo controla la causa raíz, pero no la elimina.

Una solución es buena cuando elimina la causa raíz del problema en lo que se refiere a costes e impacto y, además, es de fácil implementación y operación.

El desarrollo de la solución se lleva a cabo de la siguiente forma:

1. Se elabora una lista con las principales soluciones potenciales, y se dibuja un boceto de cada una de ellas.
2. Se construye la matriz de decisión de la solución:



- a. Se establecen un conjunto de criterios de decisión: esfuerzo, coste, tiempo de implementación y riesgo.
- b. Se define una escala de puntuación para valorar todos los criterios de decisión de cada solución. Se trata de una escala comparativa entre soluciones: solución mucho mejor (++), mejor (+), peor (-) y mucho peor (--).
- c. Se elige una de las soluciones como referencia y las demás se comparan con ésta para cada criterio de decisión, asignándoles puntuaciones de la escala previamente definida. Este punto es iterativo, es decir, se puede intentar mejorar la solución de referencia y volver a compararla con las demás hasta que las demás tengan una valoración significativamente inferior a ésta.

1.9.3.4.3 Evaluación de riesgos de las contramedidas

Antes de implementar medidas de contención o contramedidas, se debe realizar un análisis de riesgos para asegurarse de que cada solución es segura para:

- Personas: influencia en la seguridad de las personas.
- Máquinas: influencia en el diseño de los mecanismos y en los principios y parámetros de la máquina.
- Productos: influencia en la seguridad de los productos.
- Procesos: influencia en la capacidad o estabilidad de un proceso o procedimiento.

El análisis de riesgos se realiza midiendo el impacto de la contramedida y su probabilidad de ocurrencia. Se realiza en los siguientes pasos:

1. Peligro: identificar peligros adicionales relacionados con las contramedidas.
2. Impacto: identificar los efectos negativos que puede tener una contramedida y qué o quién puede ser perjudicado por ellos.
3. Evaluación: evaluar el impacto y la probabilidad de que se produzcan esos efectos: $\text{riesgo} = \text{impacto} \cdot \text{probabilidad}$.
4. Contramedidas adicionales: identificar más contramedidas para reducir el riesgo y reevaluar.

1.9.3.4.4 Plan de implementación

Monitoriza el estado de implementación de las contramedidas. Contiene, entre otras cosas, test para garantizar que la solución funciona y planes de entrenamiento para los operarios.

1.9.3.4.5 Mantenimiento de los resultados

Comprende las siguientes actividades:

1. Comprobar los resultados: se deben recoger tanto los beneficios tangibles como los intangibles y demostrar que se mantienen en el tiempo (como mínimo, deben durar tres meses). Si no se tiene éxito, se debe revisar el proyecto antes de desarrollar nuevas soluciones.



2. Gestión del cambio: se deben expandir horizontalmente las mejoras, es decir, investigar si existen problemas similares en algún otro lugar de la fábrica. También se deben mejorar las cualificaciones profesionales de los equipos que utilizan la solución (definir matrices de habilidades y planes de entrenamiento) y actualizar los documentos existentes a los que ha podido afectar el proyecto.
3. Cierre del proyecto: revisar el proyecto con el líder y añadir nuevas lecciones de aprendizaje a la planta.

1.9.4 APLICACIÓN DEL STANDARD KAIZEN AL HORNO DE POLIMERIZACIÓN

Los tres siguientes apartados corresponden a cada una de las hojas de trabajo desarrolladas en este proyecto. Se trata de las hojas 1, 2 y 4. La hoja 3 se omite porque, finalizada la hoja 2, fue posible comprender perfectamente el fenómeno. Por lo tanto, el proyecto es un *Standard Kaizen* en vez de un *Major Kaizen*.

1.10 HOJA 1: PREPARACIÓN DEL PROYECTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La hoja 1 comprende un conjunto de tareas que se documentan en la hoja Excel correspondiente con el formato estándar establecido para la metodología *Standard Kaizen*. Dichas tareas son las siguientes:

- Despliegue de costes.
- Funcionamiento de la estufa.
- Localización.
- Toma de medidas para el balance de potencia.
- Balance de potencia.
- Objetivo del proyecto.
- Equipo.
- Planificación.

En el Anexo I se incluye la hoja 1 en el formato Excel y en formato PowerPoint (para facilitar su lectura).

1.10.1 DESPLIEGUE DE COSTES

Dentro de los gastos de una empresa, las pérdidas engloban todo aquello que no aporta valor al producto o por lo que el cliente no está dispuesto a pagar. Las pérdidas se pueden producir en la eficacia de la línea (paradas, cambios de material, producto no válido, velocidad de la línea inferior...), en la organización (gestión, logística, explotación...) y en los recursos (calidad, energía, consumibles...).



Para identificar y cuantificar económicamente las pérdidas, se realiza el despliegue de costes (*cost deployment*), que consiste en expresar las pérdidas mediante sucesivos gráficos de Pareto estratificados. Cada gráfico corresponde a un nivel de pérdidas y recoge, por un lado, las causas de esas pérdidas (eje horizontal) y, por otro lado, el valor económico de la pérdida asociada a cada una de esas causas (eje vertical). Cada gráfico sucesivo se genera a partir del anterior, es decir, desglosa las causas de pérdidas de una de las causas del gráfico anterior. Por lo tanto, el primer gráfico es el más genérico y cada uno de los siguientes, más específico.

A continuación, se explica el despliegue de costes desarrollado para la estufa de la línea B en el año 2018, por lo que utiliza los datos del año anterior.

1.10.1.1 Nivel 1: pérdidas de la línea B

El primer gráfico de Pareto, mostrado en la Figura 68, corresponde al primer nivel, es decir, a la línea B. Por lo tanto, este gráfico recoge todas las causas que generan pérdidas en la línea B. Estas causas son, de mayor a menor implicación económica: sobreconsumo, incidentes en el proceso, pérdidas por mix de productos, averías, pérdidas de energía, velocidad de línea inferior, exceso de mano de obra, cambios de productos, errores humanos, absentismo y gestión. La suma de todas estas pérdidas constituye la pérdida total de la línea B, y asciende a un total del 30% del coste de explotación anual.

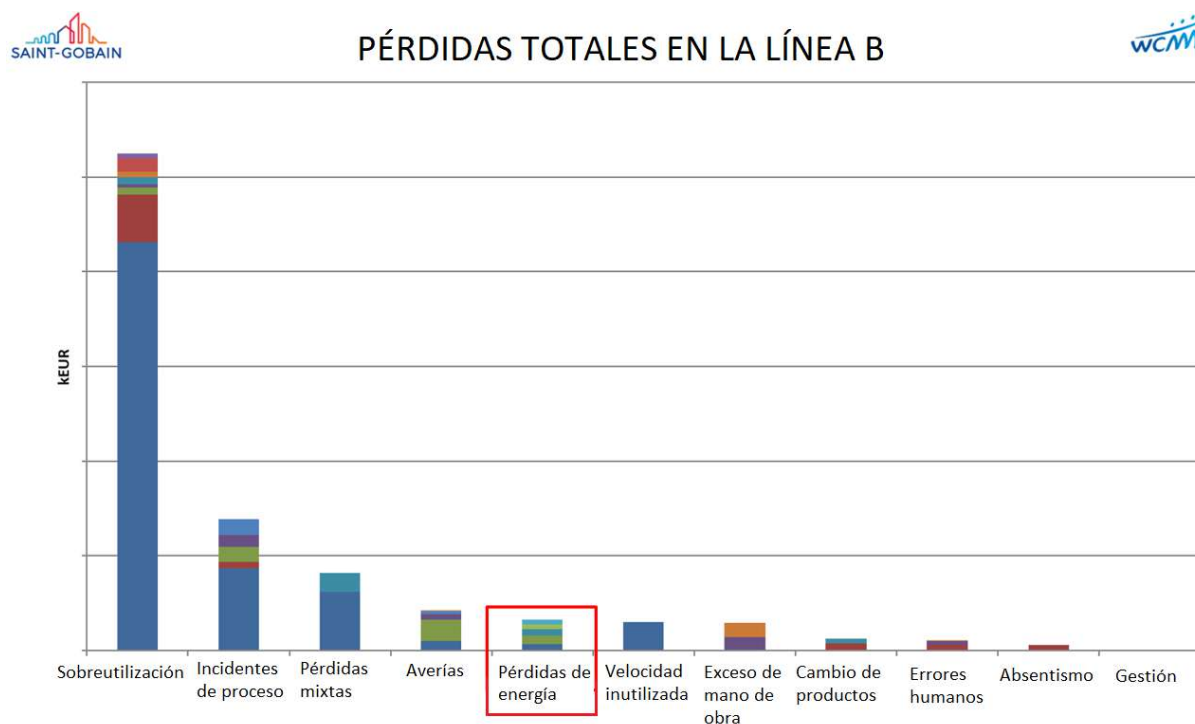


Figura 68: Gráfico de Pareto del primer nivel de pérdidas de la línea B.

El proyecto se centra en las pérdidas de energía, por lo que el segundo nivel de pérdidas desglosará este punto. Las pérdidas de energía suponen la quinta causa más importante de pérdidas en la línea B. Si bien la lógica *World Class Manufacturing* priorizaría un mayor

número de proyectos sobre la causa más importante de pérdidas (sobreconsumo), el proyecto se centra en la quinta causa de pérdidas por los siguientes motivos: por un lado, por su finalidad didáctica, pues el nivel de complejidad y prioridad del proyecto se ajusta a los conocimientos, experiencia y grado de responsabilidad del equipo que lo lleva a cabo; y, por otro lado, porque la planta desea generalizar la utilización de la herramienta *Standard Kaizen*, siendo éste el cuarto proyecto realizado con esta metodología. Además, el ratio beneficio/esfuerzo es elevado.

1.10.1.2 Nivel 2: pérdidas de energía

El segundo gráfico de Pareto (Figura 69) corresponde al segundo nivel, es decir, a las pérdidas de energía. Para generarlo, se han desglosado las causas que generan las pérdidas de energía, que es una de las causas del anterior nivel. De esta forma, se han obtenido las siguientes causas de pérdidas de energía en la línea B, de mayor a menor implicación económica: formación de lana primaria, fibraje, estufa u horno de polimerización, horno eléctrico y línea completa. En total, suponen 652.000 euros, que es el valor económico de la pérdida de energía de la línea B.

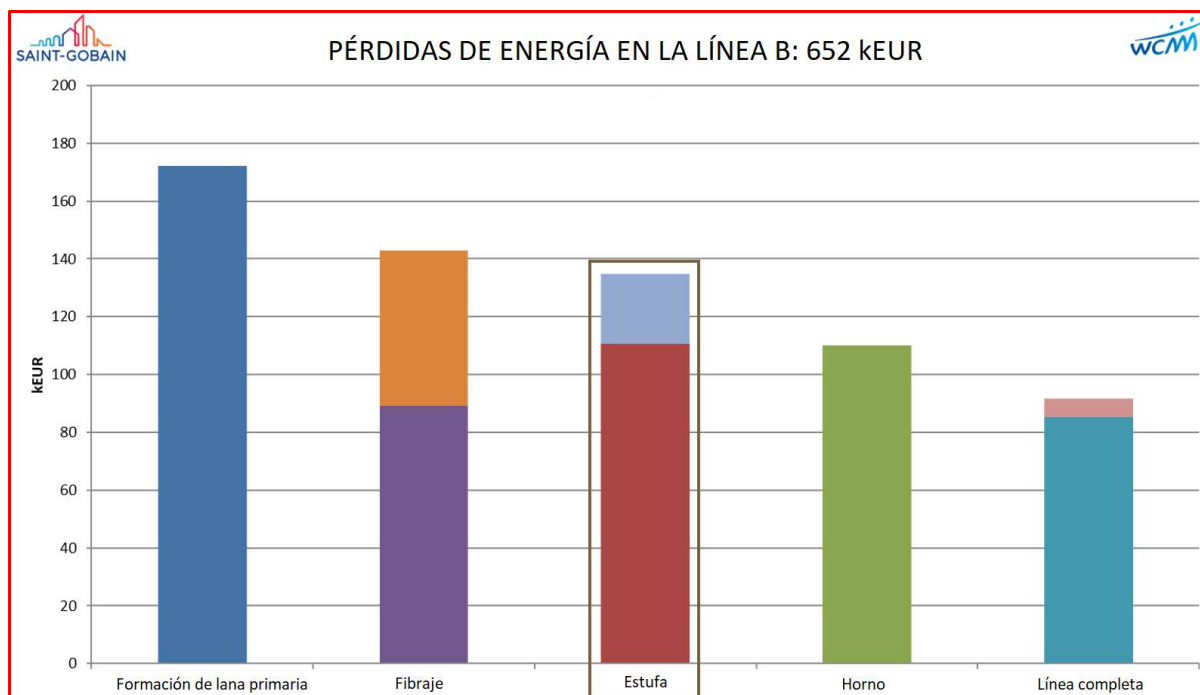


Figura 69: Gráfico de Pareto del segundo nivel de pérdidas de la línea B.

El proyecto se centra en el horno de polimerización, por lo que el gráfico del tercer nivel desglosará este punto.

1.10.1.3 Nivel 3: pérdidas de energía del horno de polimerización

El tercer gráfico de Pareto (Figura 70) corresponde al tercer nivel, es decir, al horno de polimerización. Para generarlo, se han desglosado las causas que generan las pérdidas en el horno, que es una de las causas de pérdidas del anterior nivel. De esta forma, se han obtenido las siguientes causas de pérdidas de energía en el horno (de mayor a menor implicación

económica): pérdidas de energía procedente del gas y pérdidas de energía procedente de la electricidad. En total, suponen 135.000 euros, que es el valor económico de la pérdida de energía en la estufa.

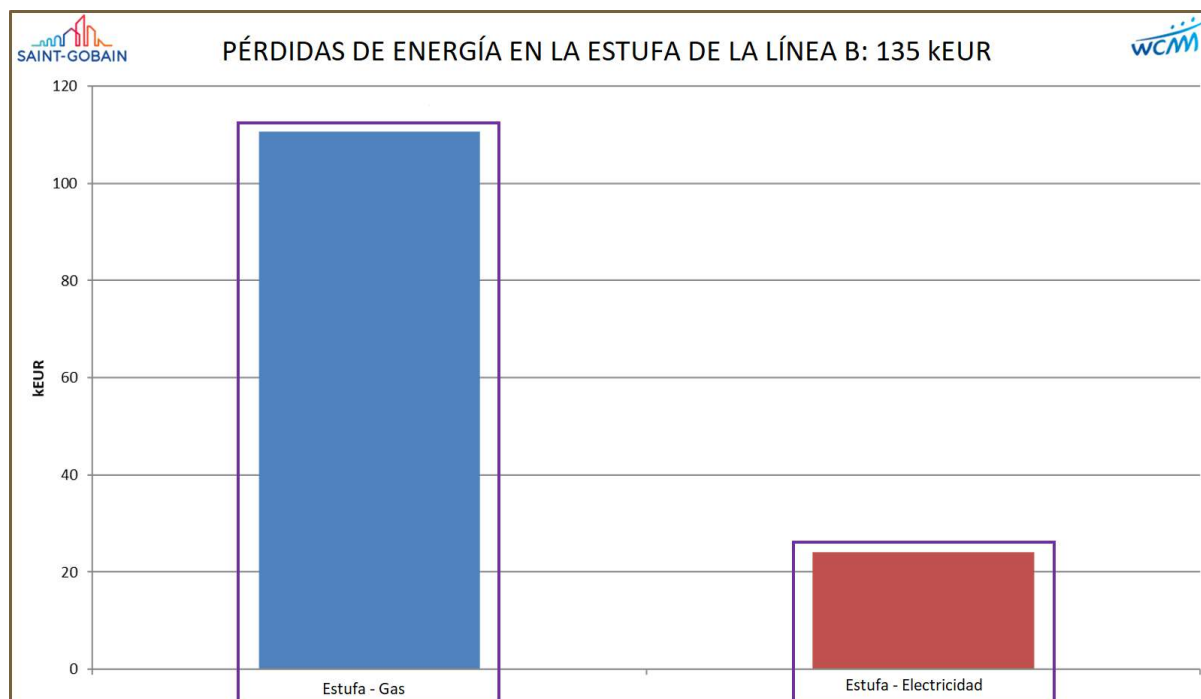


Figura 70: Gráfico de Pareto del tercer nivel de pérdidas de la línea B.

Para el proyecto, son de interés tanto las pérdidas de energía procedentes del gas como las pérdidas de energía procedentes de la electricidad, por lo que se desglosan ambas causas de pérdidas en el cuarto y último nivel.

1.10.1.4 Nivel 4: pérdidas procedentes del gas y la electricidad

El cuarto gráfico de Pareto (Figura 71) corresponde al cuarto y último nivel, es decir, a las pérdidas de energía de la estufa procedentes del gas y de la electricidad. En este caso, se generan dos gráficos porque se desglosan las causas de pérdidas de las dos causas del nivel anterior. Al tratarse del nivel más concreto, no es posible desglosar más las causas de las pérdidas. Por eso, la información que proporciona cada gráfico es el valor económico de la pérdida de energía procedente del gas (111.000 euros) y el valor económico de la pérdida de energía procedente de la electricidad (24.000 euros). En total, suman los 135.000 euros de pérdida energética de la estufa.

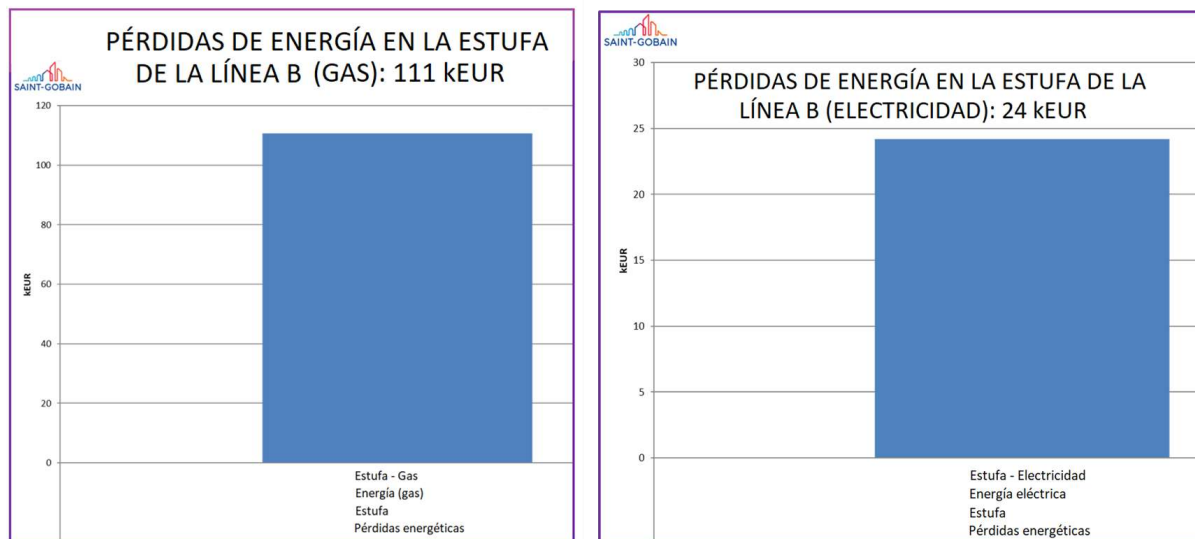


Figura 71: Gráficos de Pareto del cuarto nivel de pérdidas de la línea B.

Existen dos formas de calcular estas pérdidas:

- La diferencia entre el consumo del horno de polimerización de la línea B de la fábrica de Azuqueca de Henares y el consumo del mejor horno de polimerización de todas las fábricas del Grupo Saint-Gobain equiparable a éste (el que menos consume).
- La diferencia entre el consumo del horno de polimerización de esta fábrica y el consumo nominal o establecido por diseño.

El consumo energético de referencia para el horno de polimerización de la línea B es 212 kWh/tonelada de fibra, de los cuales 189 proceden del gas y 23, de la electricidad. El consumo medio de gas de la estufa de la línea B en el año 2017 fue 453,28 kWh/tonelada de fibra, y el consumo medio de electricidad fue 42,05 kWh/tonelada de fibra (en total, 495,33 kWh/tonelada de fibra). La diferencia entre los consumos de la estufa de la línea B y los consumos de referencia son 264,28 kWh/tonelada (gas) y 19,05 (electricidad). Considerando un precio de 0,03 €/kWh para el gas, de 0,09 €/kWh para la electricidad y teniendo en cuenta que en el año 2017 se produjeron 14.000 toneladas en total, las anteriores diferencias de consumo suponen el siguiente valor económico:

$$\text{Gas: Diferencia consumo} \cdot \text{Precio gas} \cdot \text{Toneladas 2017} = 264,28 \cdot 0,03 \cdot 14.000 \\ = 111.000 \text{ €}$$

$$\text{Electricidad: Diferencia consumo} \cdot \text{Precio electricidad} \cdot \text{Toneladas 2017} \\ = 19,05 \cdot 0,09 \cdot 14.000 = 24.000 \text{ €}$$

Por lo tanto, el despliegue de costes muestra que las pérdidas de energía del horno de polimerización ascienden a 135.000 euros, de los cuales 111.000 corresponden a la energía procedente del gas, y 24.000 corresponden a la energía procedente de la electricidad.

1.10.2 FUNCIONAMIENTO DE LA ESTUFA

Aunque en el apartado “El horno de polimerización” se describieron detalladamente los principales elementos del horno, su funcionamiento y sus funciones, en este apartado se exponen de nuevo las explicaciones que es necesario incluir en la metodología *Standard Kaizen*.

1.10.2.1 Elementos del horno que intervienen en el SK

La Figura 72 muestra un modelo del horno de polimerización de la línea B creado en Autodesk Inventor.

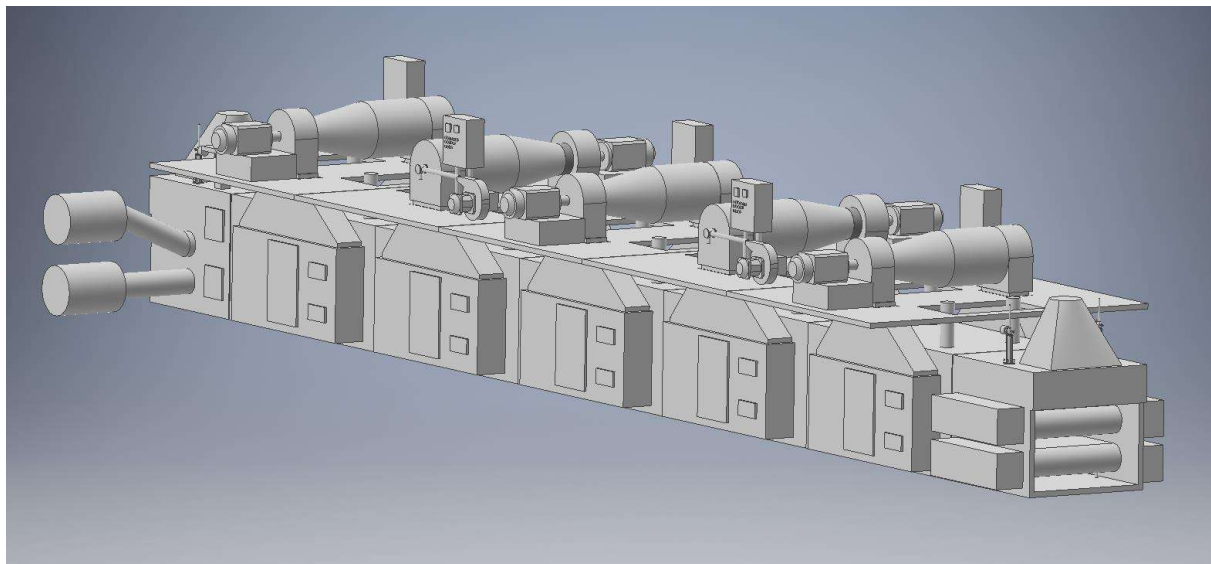


Figura 72: La estufa u horno de polimerización de la línea B.

A continuación, se explican únicamente los elementos que intervienen en el proyecto.

1.10.2.1.1 Transportadores superior e inferior

El interior de la estufa está recorrido, longitudinalmente y de forma continua, por dos transportadores horizontales (el superior y el inferior) entre los cuales se encuentra el producto. El producto se desplaza a través del horno debido al contacto de sus caras con las superficies de los transportadores, que se encuentran en movimiento (la cara superior del colchón de fibra está en contacto con la superficie del transportador superior y la cara inferior del colchón de fibra está en contacto con la superficie del transportador inferior).

Cada transportador consiste en dos cadenas de accionamiento en bucle cerrado, cada una situada a un lado del horno y lo recorren de forma continua en toda su longitud. Las cadenas están unidas a las ruedas, que desplazan todo el conjunto por unos carriles guía. La superficie de los transportadores está constituida por paletas atornilladas a las cadenas y perforadas por agujeros para permitir el paso del aire a través de ellas.



1.10.2.1.2 Cepillos de limpieza de los transportadores

Los cepillos de limpieza se encuentran en la sección de salida, y hay uno para cada transportador. Su función consiste en retirar de las superficies de los transportadores posibles acumulaciones de encolado, que taponan los agujeros e impiden el paso del flujo de aire caliente a través de ellos.

Cada cepillo es accionado por un motor eléctrico, y puede desplazarse verticalmente para aproximar al transportador y realizar su función, o para alejarlo de él cuando no es necesario limpiarlo.

1.10.2.1.3 Sistema de tensado de las cadenas de los transportadores

Cada transportador tiene asociado un sistema de tensado para compensar la expansión térmica de sus cadenas y la expansión mecánica causada por el desgaste. El sistema de tensado del transportador superior se encuentra adherido al exterior de la pared izquierda de la sección de entrada, y el sistema de tensado del transportador inferior se encuentra adherido al exterior de la pared derecha de la sección de entrada.

Las cadenas se desgastan progresivamente debido al rozamiento entre cada rueda de la cadena y su eje de giro. Esto genera una elongación generalizada de la cadena. En ausencia de los sistemas de tensado, las cadenas se destensarían progresivamente, perderían la condición óptima de planeidad requerida por el producto y podrían colisionar con las partes internas del horno de polimerización por un desplazamiento lateral incontrolado de éstas.

Para evitarlo, los sistemas de tensado estiran constantemente las cadenas a través de un sistema hidráulico situado sobre el techo de la sección de entrada. De esta forma, las cadenas se alargan permanentemente, manteniéndose planas y guiadas.

1.10.2.1.4 Detector de atascamiento del transportador superior

El transportador superior tiene instalado un sistema formado por una solapa o placa de seguridad y un final de carrera que debe detectar la adherencia de producto a las paletas o atascamientos del producto. Para ello, el sistema debe estar instalado en la parte exterior de los transportadores, por encima del transportador superior y por debajo del transportador inferior, en la sección de salida.

En estado normal, la solapa se mantiene en posición vertical a medida que el transportador inferior se mueve. Pero cuando el producto se adhiere a la superficie del transportador o se atasca, hace que la solapa se incline y un sensor detecta este movimiento.

1.10.2.1.5 Cajones de calentamiento

El horno de polimerización se compone de un número variable de cajones independientes entre sí, pero alineados para formar el conjunto de la estufa. El horno de la línea B consta de cinco cajones. Los cajones tienen puertas y paneles de explosión. Éstos últimos sirven para liberar la sobrepresión que se genera dentro del horno cuando se produce una explosión en su interior. Además, evitan que se dañen otros elementos del horno.



En cada cajón tiene lugar el proceso de generación de aire caliente y su paso a través del producto.

1.10.2.1.6 Secciones de entrada y salida

Al principio y al final del horno se encuentran, respectivamente, las secciones de entrada y salida, de forma que la sección de entrada está al lado del primer cajón y la sección de salida está al lado del último cajón. Estas secciones tienen como principal función evitar que los humos generados en el interior de la estufa salgan al ambiente.

1.10.2.1.7 Puertas frontales de las secciones de entrada y salida

El producto entra en la estufa por la puerta frontal de la entrada, atraviesa los cinco cajones de calentamiento y sale por la puerta frontal de la salida.

El movimiento de las puertas es vertical, de forma que la altura a la que queda cada puerta determina la abertura por la que pasa el producto. Cuanto mayor es el espesor del colchón de lana que entra en el horno, mayor deberá ser la altura a la que quede la puerta de la entrada. Y cuanto mayor es el espesor del material que sale del horno, mayor deberá ser la altura a la que quede la puerta de la salida. Sin embargo, estas aberturas deben ser lo más pequeñas posible, es decir, la altura de las puertas debe quedar lo más ajustada posible al espesor del producto para evitar, por un lado, que los humos que se generan en el interior del horno salgan al ambiente y, por otro lado, que entre aire del exterior (más frío). Aunque se puede establecer manualmente la altura de las puertas, ambas cuentan con un sistema de ajuste automático.

1.10.2.1.8 Conductos de extracción de humos de las secciones de entrada y salida

En el techo de cada sección se encuentra el inicio del conducto por el que se evacúan los humos. Este conducto conecta el interior del horno con el sistema de lavado de humos. Cada sección cuenta con un conducto y un sistema de lavado de humos.

El ventilador de extracción aspira el gas contenido en el horno, que se compone de aire, H_2O , polvo de vidrio, encolado y CO_2 . Este gas contiene la mayor parte de la energía calorífica que se desea transmitir al material, pero parte de él abandona el horno a través de los conductos de aspiración. Por lo tanto, estas aspiraciones tienen un doble efecto: por un lado, evitan la acumulación de los humos dentro de la estufa y su fuga al exterior y, por otro lado, suponen una pérdida de energía. Por eso, se debe ajustar la velocidad de cada ventilador de aspiración al mínimo para evitar que los humos se escapen por las puertas frontales.

1.10.2.2 Funcionamiento

1.10.2.2.1 Principio de funcionamiento

Según se muestra en la Figura 73, el principal objetivo del horno de polimerización consiste en someter al producto al proceso de secado, calentamiento y curado. El secado es la primera etapa que tiene lugar dentro del horno, por lo que se produce en las primeras zonas de calentamiento, y consiste en evaporar toda la humedad que contiene el producto. A continuación, es necesario continuar elevando la temperatura del material. Es la segunda parte del proceso, que se produce

en las siguientes zonas de calentamiento. Con ello se consigue que el producto alcance una temperatura comprendida entre la temperatura de curado mínima y máxima. Entre estas temperaturas se produce la última fase del proceso, que tiene lugar en las últimas zonas de calentamiento: la homogeneización, es decir, la polimerización del encolado. Consiste en modificar la estructura química de la resina para que adquiera propiedades adherentes y las fibras queden unidas entre sí. Por lo tanto, las temperaturas de curado dependen del tipo de encolado. El encolado utilizado en los productos de la línea B es el R232, cuya temperatura de curado mínima es 180°C y su temperatura de curado máxima es 220°C.

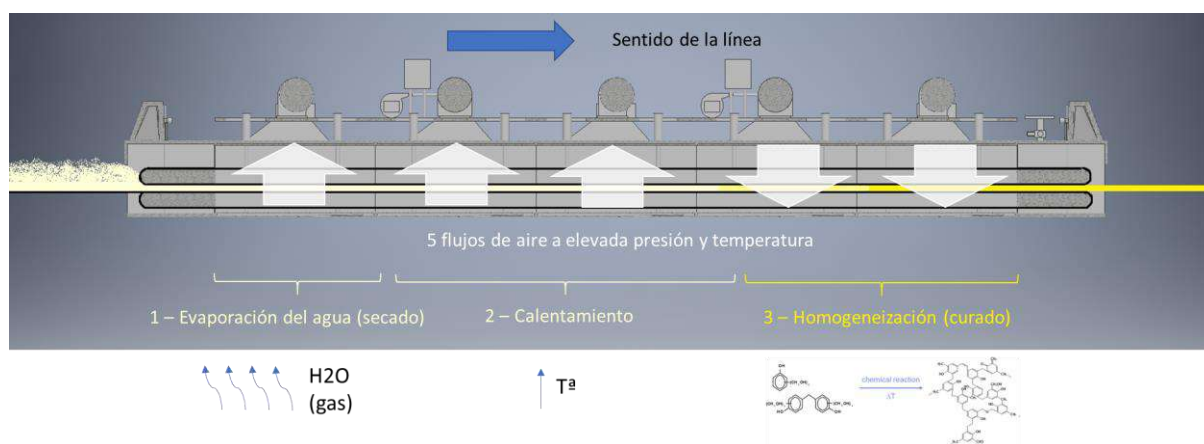


Figura 73: Principio de funcionamiento de la estufa.

La fase de evaporación del agua empieza cuando entra el producto en el horno y comienza a elevarse su temperatura, y finaliza cuando todos los puntos del volumen de producto han alcanzado la temperatura de evaporación.

Si se divide el espesor del producto en diez partes iguales, la fase de calentamiento empieza cuando todos los puntos de las dos partes más superficiales (la décima parte que se encuentra en contacto con la cara superior y la décima parte que se encuentra en contacto con la cara inferior) exceden la temperatura de evaporación. Finaliza cuando todos los puntos alcanzan la temperatura de curado mínima.

La fase de homogeneización comienza cuando todos los puntos de ambas caras alcanzan la temperatura de curado mínima, y finaliza cuando el producto sale de la estufa.

El tiempo de homogeneización es el mínimo tiempo en segundos que debe durar la fase de homogeneización. La temperatura de cada punto de todo el volumen de material debe estar comprendida entre la temperatura de curado mínima y máxima durante, al menos, este tiempo. Convencionalmente, se ha definido el inicio del tiempo de homogeneización cuando la temperatura de la cara central, medida en el medio del ancho, alcanza la temperatura de curado mínima, y finaliza cuando el producto abandona la última zona de calentamiento de la estufa.

Para que en el horno tenga lugar el proceso anterior, se somete al producto a un flujo de aire en cada cajón, caracterizado por tener una caída de presión entre las caras del producto de hasta 30 mmca, y una temperatura comprendida habitualmente entre 250 y 260°C.

El colchón de lana antes de entrar en la estufa está formado por fibras, agua y encolado y se caracteriza porque sus fibras no están adheridas, es blando y carece de consistencia y propiedades mecánicas. Como resultado del proceso anterior, se consigue a la salida de la estufa un producto formado por fibras y encolado polimerizado y caracterizado porque sus fibras están cohesionadas, tiene consistencia, propiedades mecánicas y el espesor correspondiente.

1.10.2.2.2 Generación del flujo de aire caliente

El proceso se representa esquemáticamente en la Figura 74. La panoplia suministra, de forma continua, la cantidad adecuada de gas (combustible), y el ventilador de aire de combustión absorbe la cantidad necesaria de aire exterior (comburente). Ambos componentes se inyectan en la cámara de combustión, se produce una combustión completa y, como resultado, se obtiene el aire caliente que atravesará el producto.

El ventilador de circulación impulsa este aire a elevada presión, que realiza el siguiente recorrido: se introduce en la cámara de impulsión y, como en este caso la derivación derecha está cerrada, el aire está obligado a entrar en la zona de calentamiento por la parte inferior derecha, pasa a través de los agujeros del transportador inferior, atraviesa el producto desde abajo hacia arriba, atraviesa el transportador superior y sale de la zona de calentamiento por la parte superior izquierda. Una vez en la cámara de retorno, el gas es reinyectado en la cámara de combustión.

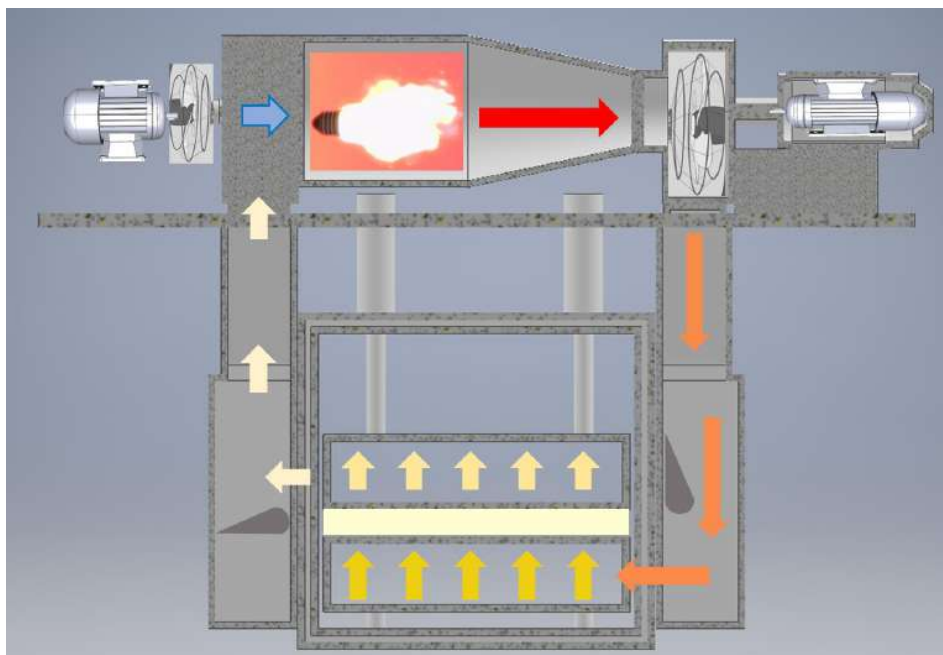


Figura 74: Representación esquemática del recorrido del flujo de aire caliente para el cajón 2.

En los demás cajones se produce un proceso análogo, con la diferencia de que se puede invertir el sentido en el que el flujo de aire atraviesa el producto, lo que depende de la posición de las derivaciones.



1.10.2.2.3 Intercambio de calor en el proceso

Dentro del horno, se dan tres tipos de transferencia de calor al producto:

- Convección forzada (75%): el principal intercambio de calor que se produce en el horno es debido al movimiento del flujo de aire a través del producto. Al ser el intercambio de calor predominante dentro del horno, el objetivo principal a la hora de establecer los reglajes de la estufa debe ser favorecer este fenómeno.
- Conducción (20%): este intercambio de calor se produce debido al contacto de las superficies de los transportadores con el material, y se potencia incrementando la temperatura de los quemadores o abriendo las derivaciones. A su vez, las paletas de los transportadores se calientan por el movimiento del aire, que pasa a través de sus agujeros (convección).
- Radiación (5%): se debe a la proximidad entre la superficie caliente de los transportadores y el producto.

1.10.2.2.4 Sistema de lavado de humos

El ventilador de aspiración o extractor aspira los humos por el conducto de la sección de entrada o salida hasta llegar a la caja de enfriamiento, donde se inyectan varios chorros de agua pulverizada para lavar y enfriar los humos de 140-200°C a 45-50°C. Cada uno de estos chorros forma una cortina de agua que cubre una sección transversal del conducto, de forma que es atravesada por los humos perpendicularmente.

La mezcla de gases, ahora con agua pulverizada, atraviesa un Venturi. A su salida, los humos se deceleran, lo que facilita que las gotas de agua pulverizada atrapen las partículas de resina y polvo de vidrio.

Los humos continúan el recorrido hasta llegar a un ciclón, donde las gotas de agua impactan contra sus paredes y caen por gravedad. El agua impregnada de polvo y resina que se acumula en su base es recogida y conducida a una estación de filtrado para separar las fibras, por un lado, y el agua con la resina, por otro.

Tanto las fibras como la resina disuelta en el agua se reciclan: las fibras se compactan para retirar el agua restante y se reutilizan en la línea de producción de lana de roca; una parte del agua con la resina se introduce en las inyecciones de agua pulverizada del sistema de lavado de humos y, otra parte, se emplea como materia prima para fabricar la resina noble.

Finalmente, los humos restantes (compuestos por vapor de agua y CO₂) son conducidos a la chimenea, que los envía a la atmósfera.

1.10.3 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La estación de trabajo a la que se aplica el *Standard Kaizen* es el horno de polimerización, que es una de las máquinas que interviene en la línea B de producción de lana de vidrio.

La Figura 75 muestra la situación de Azuqueca de Henares, un municipio español que se encuentra en la provincia de Guadalajara (Castilla-La Mancha). Dentro de este municipio y colindante con el núcleo urbano, se extiende un polígono industrial, que es donde se encuentra la fábrica de Saint Gobain Isover Ibérica.



Figura 75: Situación de Azuqueca de Henares y de la fábrica.

La Figura 76 representa la fábrica y distingue las tres zonas principales en las que se divide: la zona de fabricación de lana de vidrio, la zona de fabricación de lana de roca y la plataforma logística. La primera zona aparece resaltada en el plano porque en ella se encuentra la línea B.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

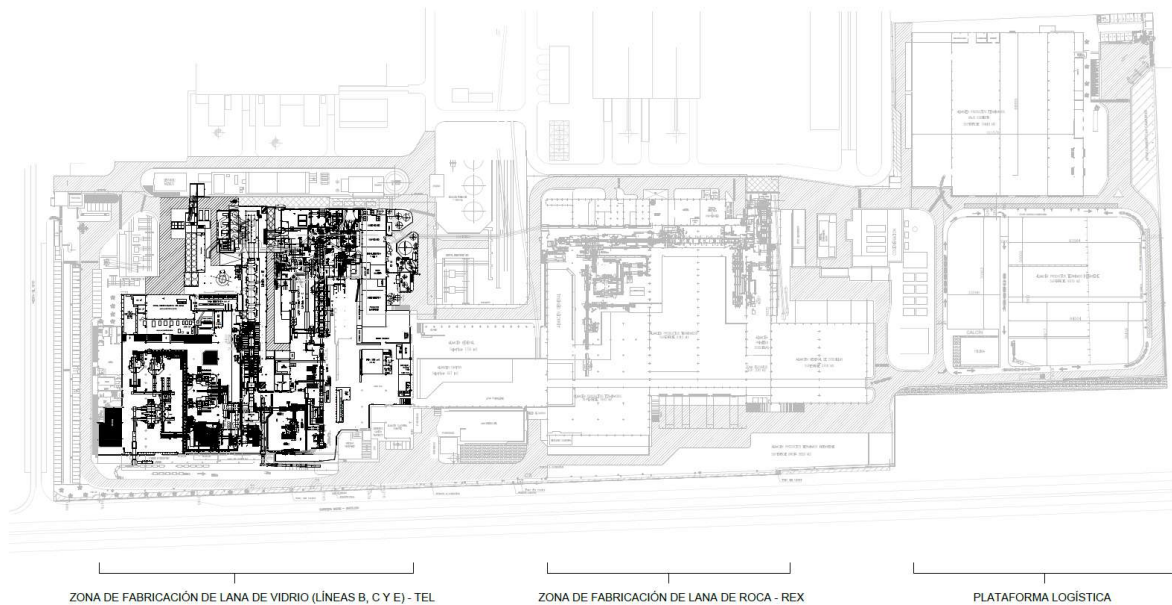


Figura 76: Plano de la fábrica.

La Figura 77 muestra la zona de fabricación de lana de vidrio, con indicación de las tres líneas que se encuentran en este espacio: las líneas B, C y E.



Figura 77: Plano de la zona de fabricación de lana de vidrio.

La Figura 78 muestra la línea B aislada, distinguiendo sus principales partes o elementos: el principio de línea, el horno eléctrico, las máquinas de fibraje, el horno de polimerización, las operaciones de corte, empaquetado y paletizado y el fin de línea.

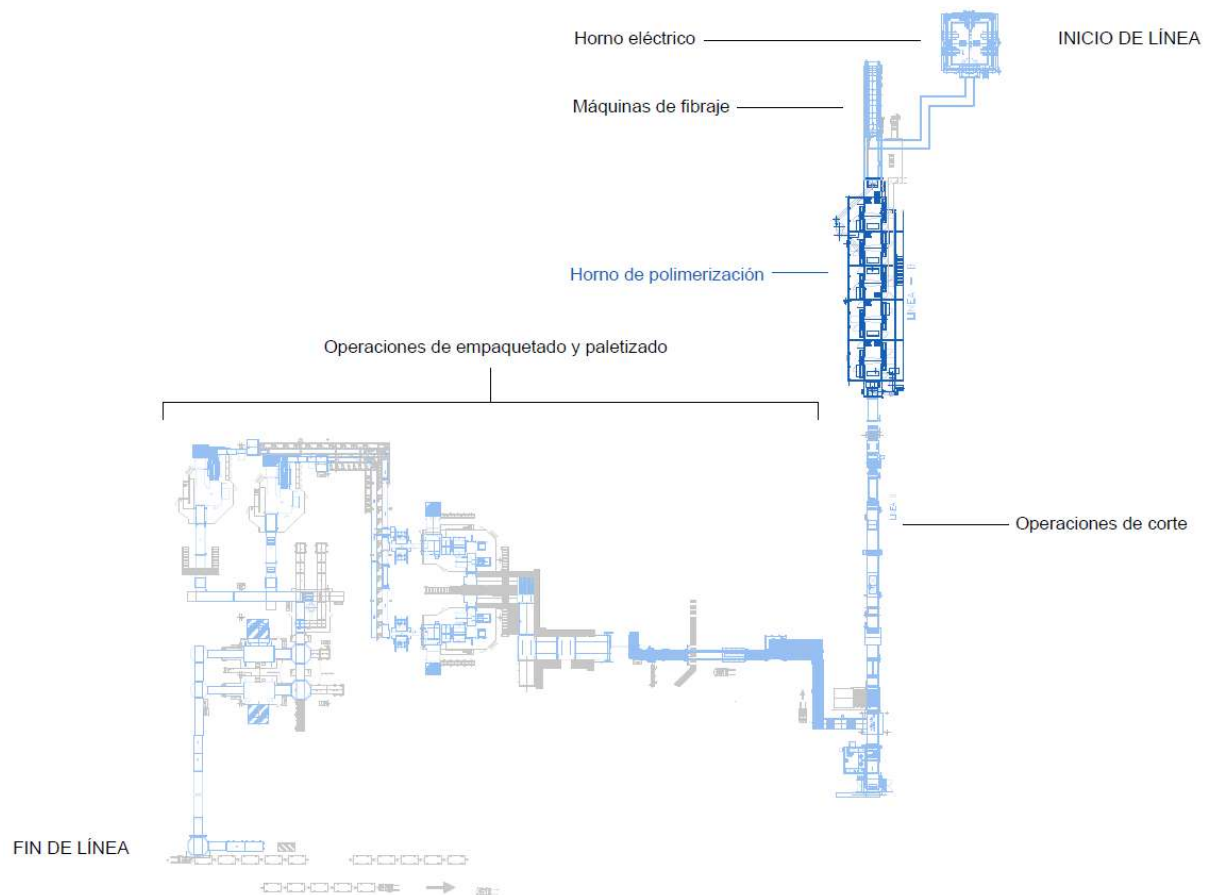


Figura 78: Plano de la línea B de fabricación de lana de vidrio.

Por último, la Figura 79 representa el detalle de la línea B donde se encuentra la estufa, que aparece destacada en él.

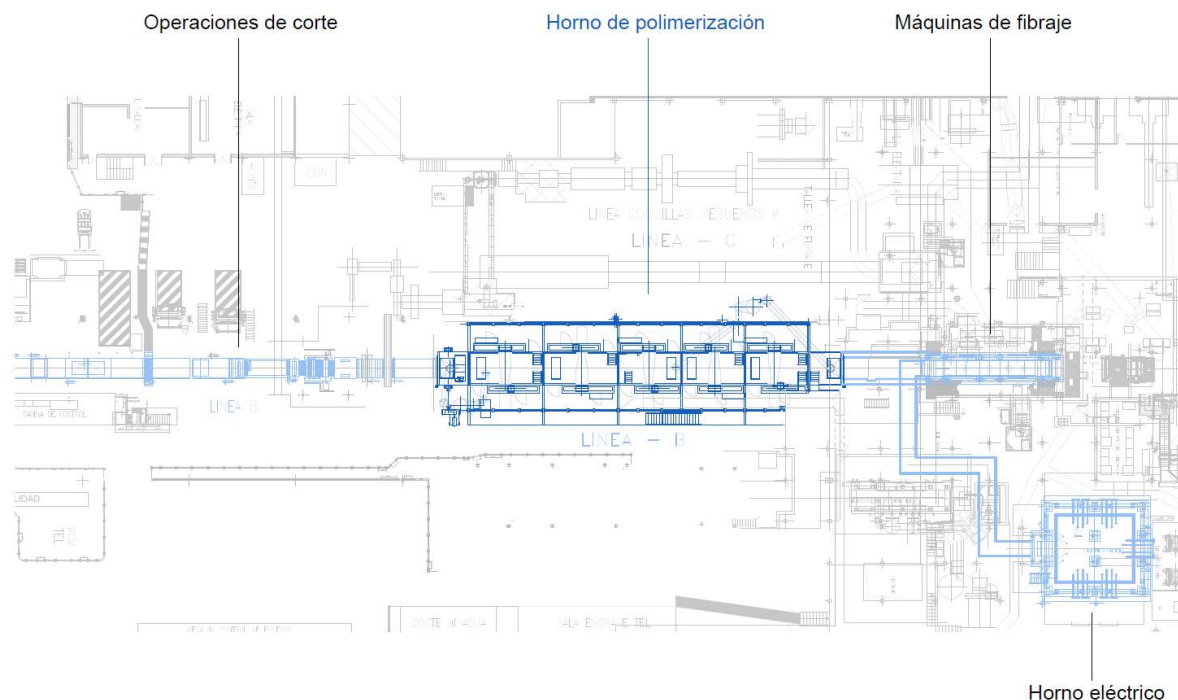


Figura 79: Plano de detalle de la línea B.

1.10.4 TOMA DE MEDIDAS PARA EL BALANCE DE POTENCIA

Para realizar el balance de potencia de la estufa, es necesario tomar un conjunto de medidas en la línea relacionadas con la estufa y con el producto para el que se va a realizar el balance. Por lo tanto, es necesario que se esté fabricando ese producto mientras se toman las medidas.

El requisito que se debe cumplir para que el balance sea válido es que debe mantenerse la producción estable mientras duren las mediciones y, como mínimo, durante cuatro horas antes de empezar a realizarlas. De esta forma, se garantiza que no se va a producir ningún cambio que pueda alterar alguna de las variables que influye en el balance. Esto se traduce en que no se cambiará el producto que se está fabricando, no habrá cambios en las características de ese producto, perturbaciones (paradas de la línea, atascos o averías), cambios en los ajustes del horno ni cambios en los parámetros de la línea o de otras máquinas.

Sin embargo, en la línea se producen con asiduidad y de manera imprevista perturbaciones, cambios de productos y cambios en los parámetros de las máquinas. Esto, sumado a la cantidad de medidas que hay que tomar, la complejidad que supone conseguir algunas de ellas y el tiempo que se tarda en completarlas dificulta significativamente la obtención de todas las medidas de forma satisfactoria.

El conjunto de medidas que hay que tomar se puede clasificar en siete bloques, que son los siguientes:

- Condiciones ambientales.



- Características del producto y de la línea.
- Parámetros de la estufa.
- Temperaturas de todas las superficies del horno.
- Temperaturas de las paletas de los transportadores.
- Perfil de temperatura del producto en el horno (Datapaq)
- Presiones y temperaturas de los humos aspirados.

Además de los bloques anteriores, se debe registrar el tiempo de duración de las mediciones. En el caso de la toma de medidas para el producto PV Acustiver, la duración fue de 3,333 horas.

En el apartado “Medidas para el balance de potencia” se muestran todas las medidas realizadas y la explicación de cómo obtenerlas.

1.10.5 BALANCE DE POTENCIA DE LA ESTUFA

A partir de todas las medidas anteriores, es posible realizar el balance de potencia del horno de polimerización. El objetivo de esta herramienta consiste en identificar y cuantificar en términos de potencia las diferentes fuentes de pérdidas de energía presentes en el horno.

El consumo energético medio de un horno de polimerización instalado en una línea de 1,2 metros de anchura (como es el caso de la línea B) es de 540 kWh/tonelada de vidrio fibrado. Para hornos ya existentes (como es el caso de éste), lo deseable sería reducir este consumo a entre 300 y 400 kWh/tonelada de vidrio fibrado. El consumo concreto al que se debe optar y, por tanto, el nivel de pérdidas aceptable para el horno depende de un conjunto de variables relacionadas con el diseño del horno y el modo en que es operado. Algunas de estas variables son: estado del horno, quemadores compactos o externos, anchura de la línea (1,2 o 2,4 metros), productos que fabrica, capacidad, tipo de encolado utilizado, cantidad de encolado que lleva el producto, frecuencia de arranques y paradas, ajustes del horno, tipo de gas o nivel de precisión de los instrumentos de medida.

Son tres las fuentes de pérdidas que se producen, en general, en un horno de polimerización. Cada una de esas categorías posee un rango de valores dentro del cual se enmarcan todos los hornos de polimerización de los que se ha registrado esta información, y las diferencias de valores tomados entre un horno y otro se deben a las variables mencionadas anteriormente. Las categorías son las siguientes:

- Extracción de humos: 60 – 80% de las pérdidas totales.
- Estructura del horno: 5 – 20% de las pérdidas totales.
- Producto (sobrecurado): 15 – 35% de las pérdidas totales.

Por lo tanto, con el balance de potencia se determinan las proporciones anteriores para la estufa de la línea B y para un determinado producto (PV Acustiver). Se ha seleccionado el PV Acustiver para realizar el balance porque las proporciones de las pérdidas anteriores son similares entre los diferentes productos (lo que varía significativamente de un producto a otro



son los consumos energéticos) y porque es un producto de fabricación frecuente y de producción estable, lo que facilitó la toma de medidas para el balance.

El balance supone que la potencia total suministrada al horno procede exclusivamente del gas y se omite la procedente de la electricidad. Por lo tanto, las proporciones de pérdidas de potencia y de potencia útil se presentan sobre el total de la potencia de gas.

A continuación, se muestran las proporciones de pérdidas y de potencia útil obtenidas por el balance y sus valores de referencia.

- Extracción de humos: 50% de la potencia de gas suministrada. Referencia: 41 – 45%.
- Estructura del horno: 15% de la potencia de gas suministrada. Referencia: 3 – 10%.
- Producto (sobrecurado): 3% de la potencia de gas suministrada. Referencia: 0 – 5%.
- Potencia útil para el producto: 32%.

En la Figura 80 se muestra un gráfico de Pareto con las diferentes fuentes de pérdidas de energía procedentes del gas que presenta la estufa de la línea B.

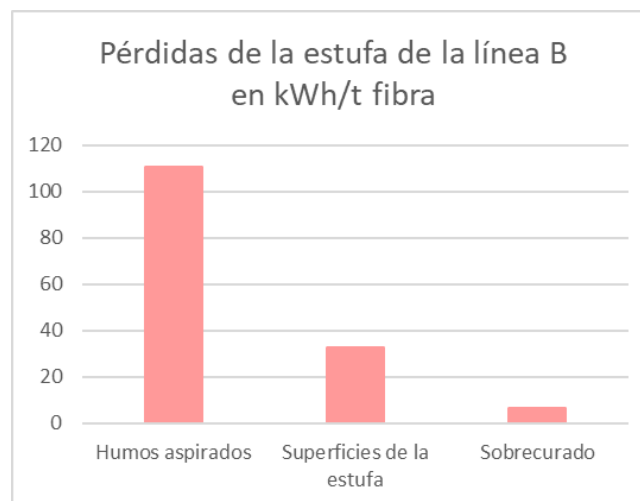


Figura 80: Gráfico de Pareto con las fuentes de pérdidas energéticas de la estufa de la línea B.

Sin embargo, no es posible eliminar la totalidad de estas pérdidas: las aspiraciones de humos son necesarias, por diseño, para evacuar los humos generados en la estufa, y la superficie de la estufa, también por diseño, tendrá unas pérdidas inevitables relacionadas con el espesor del aislante utilizado en su construcción. Por eso, se ha calculado, según los niveles de referencia que maneja el centro de investigación de Saint Gobain Isover, qué parte de cada una de estas pérdidas es posible reducir. En la gráfica izquierda de la Figura 81 se representan las pérdidas de la misma forma que en la Figura 80, pero distinguiendo dos partes: la parte de la pérdida que no es posible eliminar (negro) y la parte de la pérdida que sí es posible eliminar (rosa). Teniendo esto en cuenta, se obtiene un nuevo gráfico de Pareto para las pérdidas eliminables, que se muestra en la gráfica derecha de la Figura 81. La diferencia entre este gráfico de Pareto y el anterior es que en éste, la pérdida más importante y que es posible eliminar es la que se da en las superficies de la estufa, y la segunda pérdida eliminable más importante pasa a ser las aspiraciones de humos.

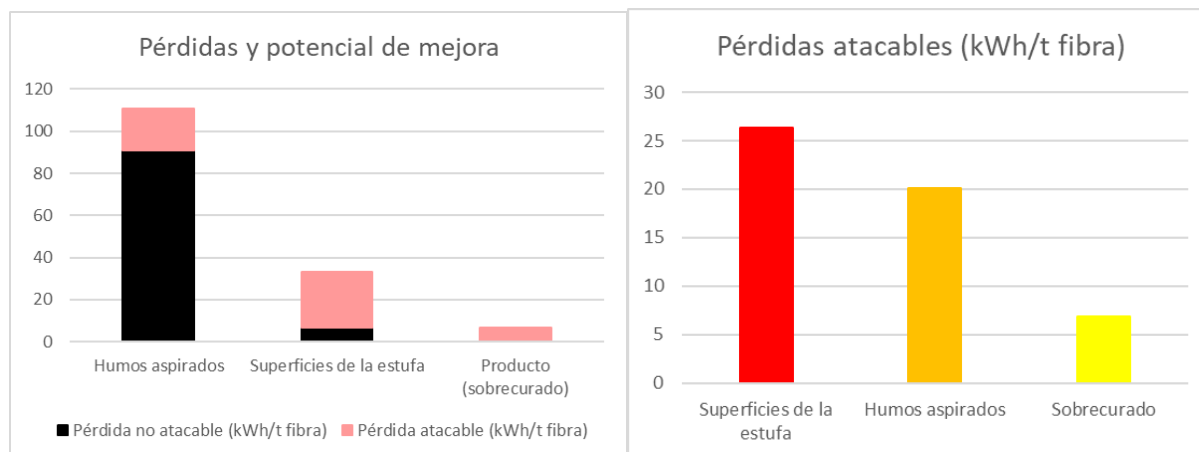


Figura 81: Gráfico de Pareto con las pérdidas de la estufa (izquierda), y gráfico de Pareto con las pérdidas eliminables de la estufa (derecha).

Por lo tanto, las pérdidas atacables suponen 26,35 kWh/tonelada de fibra para las superficies de la estufa, 20,15 kWh/tonelada de fibra para las aspiraciones de humos y 6,86 kWh/tonelada de fibra para el sobrecurado del producto. Se ha considerado que las pérdidas por sobrecurado son las únicas completamente eliminables. Todas estas pérdidas suponen 53,36 kWh/tonelada de fibra o 32.016 € para un precio del gas de 0,03 €/ kWh y una producción de 20.000 toneladas en el año 2019. A partir de estos datos, ya se puede establecer el objetivo del proyecto.

Los cálculos realizados en el balance de potencia se detallan en el apartado “Cálculos del balance de potencia”.

1.10.6 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto consiste en reducir las pérdidas energéticas de la estufa en 53,36 kWh/tonelada de fibra (32.016 €).

Se debe justificar que, como resultado del proyecto, se obtendrá un ahorro económico. Este ahorro se calcula como la diferencia entre la pérdida definida en el objetivo del proyecto (en términos económicos) y el presupuesto.

1.10.6.1 Pérdida económica

Según se definió en el objetivo del proyecto, la pérdida que se pretende eliminar es de 53,36 kWh/tonelada de fibra, lo que se traduce en 32.016 euros.

1.10.6.2 Presupuesto

El presupuesto estimado del proyecto asciende a 15.140 euros, repartidos de la siguiente forma:

- Mano de obra (7.150 euros): se calculó teniendo en cuenta un precio de 36 euros/h.

- Agujeros para las mediciones (600 euros): se calculó considerando un precio de 24 euros/h.
- Repuestos (7.390 euros): incluye las telas aislantes que se deben instalar dentro de la estufa, así como el resto de las estanqueidades que se deben instalar.
- Producto no válido (0 euros): el producto no válido resultante de los ensayos se incluye en la parte del presupuesto que la fábrica ya destina a este efecto.

1.10.6.3 Ahorro

Como resultado del proyecto, se obtendrá un ahorro potencial de 16.876 euros en el año 2019 y de 32.016 euros en los años siguientes.

En la Figura 82 se resume la pérdida, el presupuesto y el ahorro.

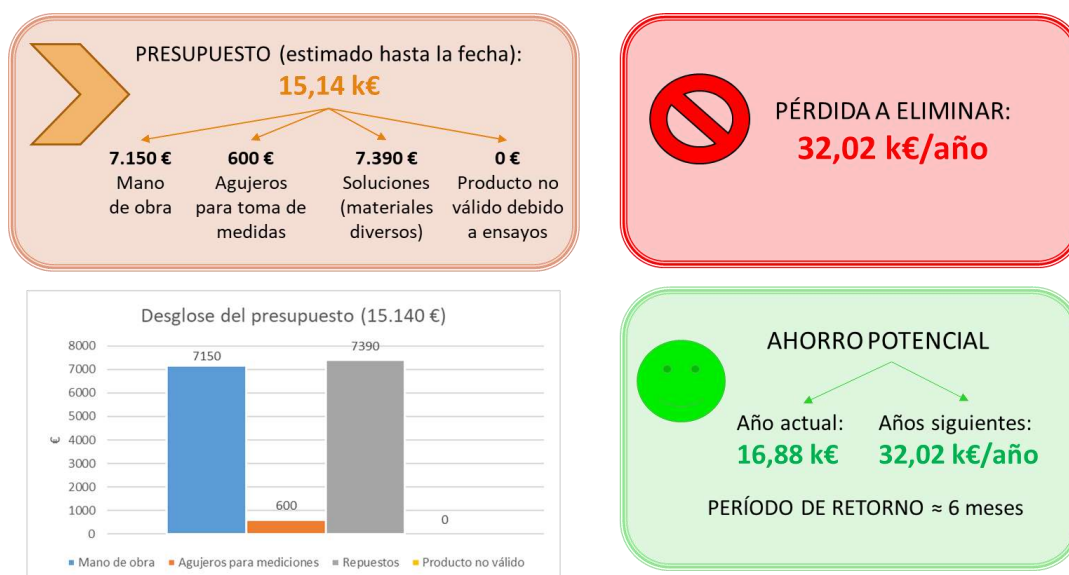


Figura 82: Pérdida, presupuesto y ahorro del proyecto.

1.10.7 EQUIPO

1.10.7.1 Líder, integrantes y colaboradores

El equipo del proyecto está formado por la líder y los integrantes. Los colaboradores participaron de forma puntual en él, pero no son miembros del equipo.

- Líder:
 - Soledad Montejo Hernández: coordinadora WCM de la fábrica. Participará en la preparación del proyecto, análisis observacional, estudio histórico de las 4M, implementación de algunas contramedidas, comprobación de los resultados, revisión general y cierre del proyecto.



- **Integrantes:**
 - Santiago García Álvarez: responsable de turno de la zona de fabricación de lana de vidrio o TEL. Realizará una parte de la toma de datos para el análisis estadístico de las 5W.
 - Fernando Calvo Hernández: responsable de turno de TEL. Realizará la parte restante de la toma de datos para el análisis de las 5W.
 - Sofía Plaza Arranz: ingeniera de proceso de TEL. Colaborará en la toma de medidas para el balance de energía, realización del balance y ensayos para la determinación de algunas contramedidas.
 - María Begoña Luaces Geijo: becaria. Realizará o colaborará en todas las actividades que comprende el proyecto.
- **Colaboradores:**
 - Ángel Blanco González: Director Industrial de Aislamiento para España, Portugal, Italia, Colombia, Brasil y Argentina. Realizará la revisión general, el cierre del proyecto y participará en los ensayos para la determinación de algunas contramedidas.
 - Pablo Lloves Guntín: coordinador WCM internacional. Participará en la revisión general y cierre del proyecto.
 - Gil González Calvente: jefe de mantenimiento de TEL. Participará en el análisis observacional y estudio de las 4M.
 - Juan José Orta Martínez: auditor de energía térmica. Colaborará en el análisis observacional. Concretamente, en la realización de las termografías.
 - Fernando Cano Ceinos: Jefe de Oficina Técnica. Colaborará en el análisis observacional. Concretamente, en la determinación de la causa de dos fugas de la estufa.

1.10.7.2 Normas del equipo

Son las normas establecidas por el equipo para realizar satisfactoriamente el proyecto:

1. Trabajar con seguridad.
2. Trabajar en equipo: escuchar y respetar las opiniones de los demás.
3. Tener la mente abierta: mi camino no es siempre el correcto.
4. Honestidad.
5. Puntualidad.
6. Respetar los estándares.



1.10.7.3 Matriz de habilidades

La matriz de habilidades recoge las diferentes habilidades requeridas para el proyecto, el nivel de conocimientos que cada miembro posee de ellas y la formación que necesita cada uno para alcanzar el nivel deseado.

Las habilidades establecidas para este proyecto son:

- Metodología Standard Kaizen.
- Funcionamiento de la línea.
- Funcionamiento de la estufa.
- Componentes de la estufa.
- Toma de medidas para el balance de energía.
- Balance de energía de la estufa.
- Toma de datos para el análisis de las 5W.
- Gestión de proyectos.
- AutoCAD.
- Autodesk Inventor.
- Herramientas básicas WCM.

Al comienzo del proyecto, se rellena con color negro el nivel de conocimientos que tiene cada miembro de cada habilidad (si necesita tenerla), siguiendo el siguiente criterio:

- Circunferencia: habilidad no requerida.
- Una barra: nuevo en la formación.
- Dos barras: parcialmente formado. Capaz de realizar el trabajo bajo supervisión.
- Tres barras: totalmente formado. Capaz de trabajar sin supervisión.
- Cuatro barras: totalmente formado. Cualificado para impartir formación.

A lo largo del proyecto, cada miembro deberá haber alcanzado el nivel requerido de conocimientos para las diferentes tareas que debe realizar. Este avance se rellena con color verde. La matriz de habilidades se muestra en la Figura 83.



13. Análisis de la causa raíz: Begoña.
14. Contramedidas: Begoña.
15. Evaluación de riesgos de las contramedidas: Begoña.
16. Revisión del proyecto, comprobación de los resultados y gestión del cambio: Soledad, Ángel, Pablo y Begoña.
17. Cierre del proyecto: Soledad, Ángel, Pablo y Begoña.

Finalmente, el cronograma también debe recoger los hitos importantes y un apartado de comentarios. El principal hito que se debe destacar es la decisión de que el proyecto sea un *Standard Kaizen* y no un *Major Kaizen*.

A continuación, se presenta el cronograma adaptado para la fábrica.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

PROJECT PLAN - This is an overview plan of the project. If more detail is required use the standard 100 Day Plan form as well.

Action	Responsibility	Week Beginning	14/01/19	28/01/19	11/02/19	25/02/19	04/03/19	01/04/19	06/05/19	03/06/19	17/06/19	01/07/19	15/07/19			Complete	Comments
		Week	3	5	7	9	10	14	19	23	25	27	29				
1 Preparación del proyecto (planificación, equipo, objetivo)	Soledad, Begoña	Plan Actual															
2 Despliegue de costes	Begoña	Plan Actual															
3 Planos de localización del proyecto	Begoña	Plan Actual															
4 Funcionamiento de la estufa	Begoña	Plan Actual															
5 Toma de medidas y balance de energía	Sofía, Begoña	Plan Actual															Sólo el 24 de abril se pudieron tomar todas las medidas (fabricación estable del PV Acustiver).
6 Análisis observacional	Soledad, Begoña	Plan Actual															
7 Estudio estadístico de las 5W	Santiago, Fernando, Begoña	Plan Actual															Santiago y Fernando sí pudieron tomar datos para las 5W durante todos los meses.
8 Estudio histórico de las 4M	Soledad, Begoña	Plan Actual															Marzo: pausa en el proyecto por fabricación del Climaver, paradas en la línea y auditorías.
9 Descripción del fenómeno	Begoña	Plan Actual															Abril: pausa en el proyecto por fabricación del Climaver. Decisión: Standard Kaizen.
10 Análisis de la causa raíz	Begoña	Plan Actual															Mayo: pausa en el proyecto por fabricación del Climaver, paradas en la línea y auditorías.
11 Contramedidas	Sofía, Begoña	Plan Actual															
12 Evaluación de riesgos de las contramedidas	Begoña	Plan Actual															
13 Plan de implementación	Begoña	Plan Actual															
14 Comprobación de los resultados	Soledad, Begoña	Plan Actual															
15 Gestión del cambio (expansión horizontal)	Begoña	Plan Actual															
16 Cierre del proyecto	Soledad, Begoña	Plan Actual															
17		Plan Actual															

Planning Key

Plan

Actual

= Scheduled Planned Time Line for each action

= Actual Time Line for each action

Date

= Planned Milestone

= Date Action completed

Date

= Behind Schedule

Date

= Date Delayed Action Completed



1.11 HOJA 2: ESTUDIO EXTERNO Y DETALLADO DEL PROBLEMA

Las tareas de la hoja 2 se documentan en la hoja Excel con el formato estándar preestablecido para la metodología *Standard Kaizen*. Estas tareas son el análisis observacional, el estudio estadístico de las 5W, el estudio histórico de las 4M y la descripción del fenómeno. En el Anexo II se muestra el desarrollo completo de la hoja 2 en el formato Excel estándar y, adicionalmente, se presenta con mayor detalle el análisis observacional, el estudio estadístico de las 5W y la descripción del fenómeno en formato PowerPoint (para facilitar su lectura).

1.11.1 ANÁLISIS OBSERVACIONAL

Este análisis consiste en ir físicamente al lugar del problema para percibir mediante los sentidos sus síntomas, es decir, aquellas condiciones anómalas de temperatura, olor, ruido, color, etc.

Las observaciones realizadas en la estufa de la línea B se pueden clasificar en cuatro bloques:

- Seguridad.
- Sobrecurado.
- Fugas, pérdidas de energía y suciedad.
- Ausencia de elementos.

En la hoja Excel se encuentran registradas todas las observaciones realizadas, la descripción detallada de los fenómenos observados, el estado de referencia o correcto en el que se deberían encontrar los elementos, las medidas obtenidas y los motivos que provocaron los problemas. En formato PowerPoint se recoge, además de lo anterior, la solución requerida para cada observación y fotos que muestran los problemas, su localización, los elementos deteriorados, los elementos en buen estado y la inspección de los componentes. También se grabaron vídeos que evidencian los problemas observados.

A continuación, únicamente se explican las observaciones más relevantes para el proyecto.

1.11.1.1 Seguridad

Este bloque comprende la siguiente observación:

- Ausencia de barandilla en el Venturi de la aspiración de humos de la sección de entrada.

Este proyecto no tiene como finalidad centrarse en los problemas de seguridad que pudieran detectarse en el horno de polimerización, sino que se centra en los problemas energéticos; sin embargo, dada la importancia de la seguridad, se incluye en este análisis la observación realizada relacionada con este ámbito.

El Venturi del sistema de lavado de humos de la sección de entrada se encuentra en altura, por lo que es imprescindible una barandilla que proteja la zona. Se comprobó que faltaban 50 cm

de barandilla (Figura 84), lo que genera un alto riesgo de caída por este espacio y la lesión con otros elementos.



Figura 84: Ausencia de una parte de la barandilla que hay en la zona del Venturi de la entrada.

El motivo de este problema es que, cuando se realizó la evaluación de riesgos de la estufa, se omitió esta zona. Por lo tanto, se debe instalar la parte de la barandilla que falta o una nueva. Para reportar este tipo de incidentes en la fábrica, se elabora un documento denominado TF5 que recoge toda la información sobre el problema: localización, momento en el que se detectó, persona que lo detectó y descripción de la observación.

1.11.1.2 Sobrecurado

Este bloque comprende la siguiente observación realizada:

- Sobrecurado del producto.

El sobrecurado se detecta analizando el perfil de temperatura seguido por el producto según atraviesa el horno (curva Datapaq). Existe sobrecurado cuando el producto se encuentra entre las temperaturas de curado mínima y máxima más tiempo del establecido (tiempo de homogeneización), o cuando supera la temperatura de curado máxima. En el caso de la resina R232 (la más utilizada en la línea B), la temperatura de curado mínima es 180°C, la temperatura de curado máxima es 220°C y el tiempo de homogeneización es 10 s.

La Figura 85 muestra la curva Datapaq analizada, donde se observa que los perfiles de temperatura representativos (rojo, verde y magenta) superan los 220°C o permanecen entre las temperaturas de curado entre 20 y 30 s. Según lo obtenido en el balance de potencia, la energía empleada en sobrecurar el producto supone el 3% de la energía suministrada a la estufa (6,86 kWh/t fibra).

Los perfiles amarillo y negro no son fiables porque no midieron correctamente o no estaban bien situados en el producto. Esto se sabe porque el producto obtenido cumplía los requisitos de calidad.

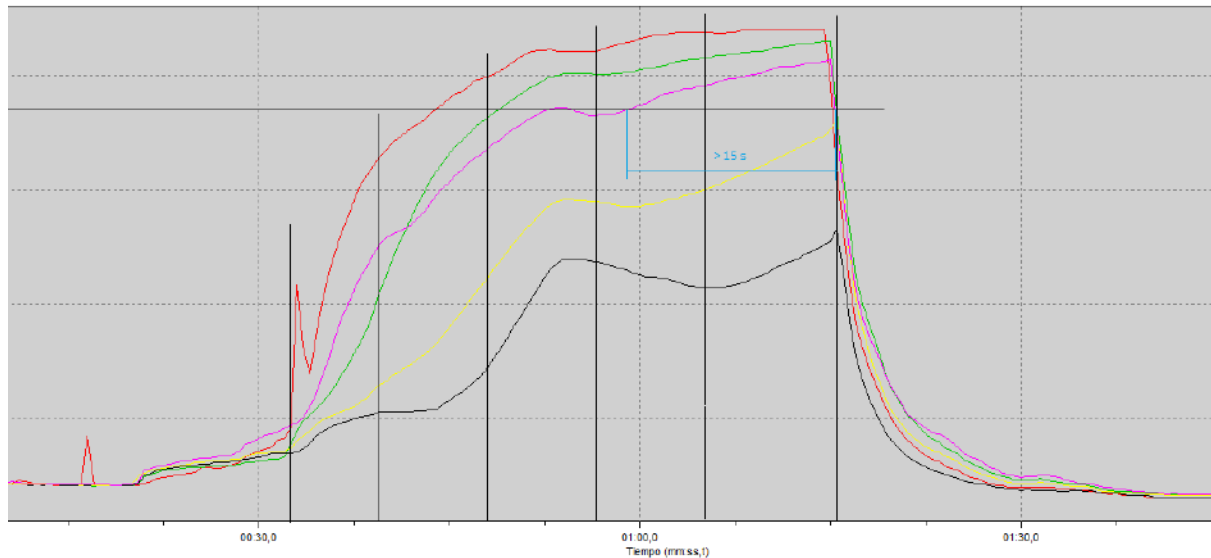


Figura 85: Perfiles de temperatura del producto a su paso por la estufa.

La causa del problema es que no se establecen las consignas adecuadas para los parámetros de la estufa en función del producto fabricado (presiones, temperaturas, apertura de las derivaciones y sentidos de los flujos de aire). Ello se debe a que la persona encargada de establecer estas consignas (el CPL o coordinador polivalente de línea) carece de los conocimientos necesarios porque la formación impartida sobre la estufa no incluye un procedimiento estándar de ajuste de los reglajes. Por lo tanto, se debe establecer dicho procedimiento estándar e incluirlo en la formación que reciben los CPL.

1.11.1.3 Fugas, pérdidas de energía y suciedad

Este bloque incluye las siguientes observaciones:

- Entrada del aire exterior en la estufa a través de la puerta frontal.
- Salida de los humos de la estufa a través de la puerta frontal.
- Fugas y pérdidas de energía en el motor del cepillo de limpieza del transportador superior.
- Fugas y pérdidas de energía en el detector de atascamiento del transportador superior.
- Fugas y pérdidas de energía en los paneles de explosión.
- Fugas y pérdidas de energía en las puertas de los cajones.
- Fugas en el sistema de tensado de las cadenas del transportador superior.
- Fugas en la tolva de retorno del primer cajón.
- Fugas en el conducto del lavado de humos de la sección de entrada.
- Pérdidas de energía y acumulación de lana y suciedad en la zona del transportador inferior.

- Ausencia de las telas aislantes entre las zonas de calentamiento.
- Suciedad y lana acumulada en las secciones de entrada y salida.
- Lana acumulada en el interior del segundo cajón.

Las dos primeras observaciones están relacionadas con la apertura de las puertas frontales y con la velocidad de los ventiladores de aspiración de humos de las secciones de entrada y salida.

En la primera observación, el fenómeno observado es la entrada de aire exterior en la estufa a través de la puerta frontal debido, por un lado, al establecimiento por parte del CPL de una velocidad del ventilador de aspiración demasiado elevada y, por otro lado, a la excesiva apertura de la puerta frontal de la sección de entrada (mostrada en la Figura 86).



Figura 86: Apertura excesiva de la puerta frontal de la sección de entrada.

En el segundo caso, el fenómeno observado es el contrario: la salida de los humos de la estufa a través de la puerta frontal. Ello se debe al establecimiento por parte del CPL de una velocidad del ventilador de aspiración insuficiente y, además, a la excesiva apertura de la puerta frontal de la sección de entrada (Figura 86).

Ambos fenómenos suponen pérdidas de energía para la estufa porque la entrada de aire ambiental contribuye a enfriar su interior y la salida de los humos implica la salida de calor. La solución es doble: por un lado, establecer correctamente la velocidad de los ventiladores de aspiración. Para ello, se parte de un valor pequeño y se aumenta progresivamente hasta comprobar visualmente que los humos dejan de salir y que no entra aire de fuera. Y, por otro lado, mantener las puertas frontales lo más cerradas posible.

Además de lo anterior, en el balance de potencia se obtuvo que el 50% de la energía suministrada a la estufa (110,92 kWh/t fibra) se pierde porque es absorbida por las aspiraciones de humos. Las aspiraciones de humos no se pueden eliminar porque son necesarias para absorber los humos generados en el interior de la estufa, pero este porcentaje de pérdidas aumenta cuando las velocidades de las aspiraciones de humos son excesivas porque se absorbe

más calor del inevitable. Por lo tanto, las aspiraciones de humos deben funcionar a la mínima velocidad posible para evitar que entre aire en la estufa, que salga humo al exterior y que se evacúe excesivo calor por las extracciones.

Se observó que en el cepillo de limpieza y en el detector de atascamiento del transportador superior se producía el mismo fenómeno: el escape de humo a través de los huecos que hay en el techo de la sección de salida, en los lugares donde se encuentran situados estos elementos. La Figura 87 muestra el fenómeno para el motor del cepillo.



Figura 87: Escape de humo a través del hueco donde se encuentra el motor del cepillo.

Los humos contienen fibras, polvo de vidrio y encolado, por lo que éstos se acumulan en el motor del cepillo, en el detector y en los elementos circundantes. Además, se detectó en la zona del motor una temperatura de hasta 187°C, como se observa en la Figura 88.

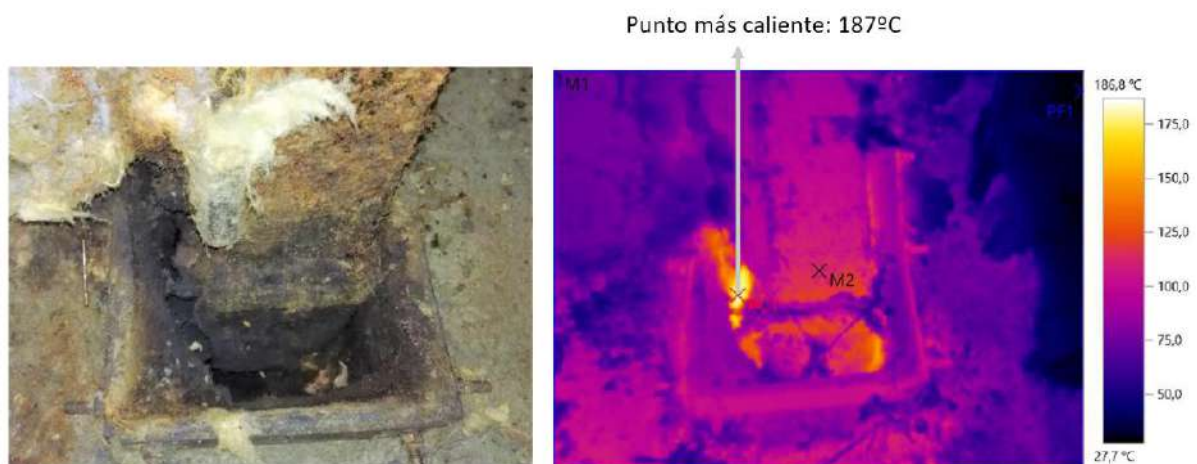


Figura 88: Hueco en la zona del motor del cepillo y termografía.

La causa de cada uno de estos problemas es la ausencia de un fuelle o tela aislante que tapa completamente cada hueco, lo que impediría la salida de los humos y del calor. Además, la tela permite el desplazamiento vertical del cepillo y del detector: si el elemento en cuestión se eleva, la tela se estira y si el elemento descende, la tela se pliega.

Las fugas y pérdidas de energía detectadas en los paneles de explosión, puertas de los cajones, sistema de tensado de las cadenas del transportador superior, tolva de retorno del primer cajón y conducto de lavado de humos de la sección de entrada se deben al mismo tipo de fenómeno: al escape de humo a través de las juntas de unión del elemento con el resto del conjunto de la estufa. Como consecuencia, se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado en esas zonas y se deterioran, como sucede en el panel de explosión de la Figura 89 o en la puerta de la Figura 90. Además, se detectaron en ellas temperaturas significativamente superiores a las que deberían tener por diseño. La causa de este tipo de problema es la falta de mantenimiento o la inadecuada instalación de las estanqueidades de estos elementos, por lo que la solución consiste en limpiar las acumulaciones de lana y encolado, reemplazar los elementos dañados y sus estanqueidades, pintar los elementos con el ral correspondiente para facilitar la detección de nuevas fugas (si aplica) y establecer una gama de mantenimiento preventivo.



Figura 89: Panel de explosión en avanzado estado de deterioro debido a las fugas por la falta de sellado.

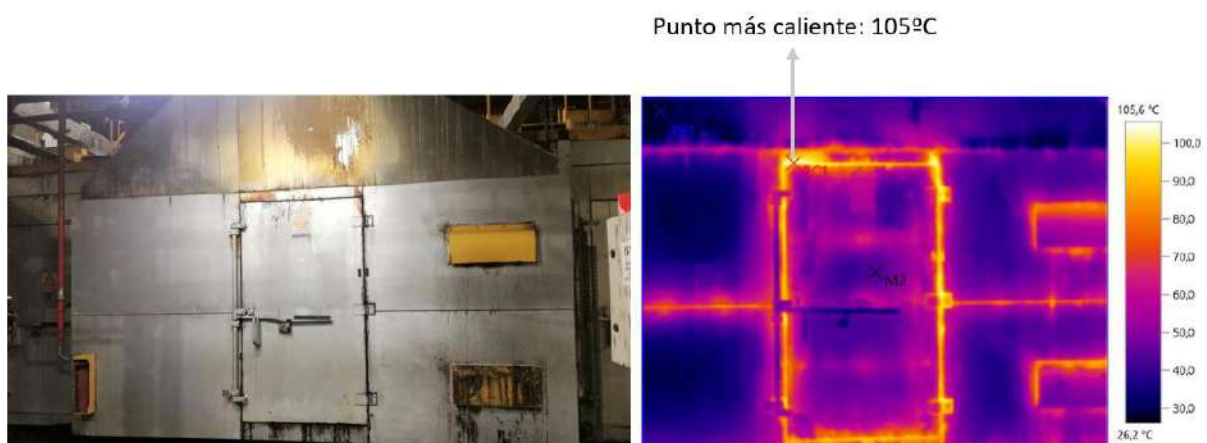


Figura 90: Acumulación de encolado en la parte inferior de la puerta debido a las fugas por la falta de sellado.

Todas las fugas y pérdidas de energía anteriores se producen a través de las superficies de la estufa y, según lo obtenido en el balance de potencia, la energía perdida a través de las superficies de la estufa supone el 15% de la energía suministrada a la estufa (32,99 kWh/t fibra).



Por último, la ausencia de las telas aislantes que deben estar instaladas en el interior de la estufa, entre cada zona de calentamiento, puede provocar turbulencias de aire dentro de los cajones al entrar en contacto flujos de aire de diferentes características. Además, el flujo de aire que atraviesa el producto en cada zona de calentamiento es menor porque parte de ese aire se fuga a los cajones contiguos. Todo esto supone una pérdida de eficiencia en el funcionamiento de los flujos de aire.

1.11.1.4 Ausencia de elementos

Este bloque comprende la siguiente observación:

- Ausencia del cepillo de limpieza del transportador superior.

1.11.2 ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LAS 5W

Consiste en generar sucesivos gráficos de Pareto que representen el consumo energético de la estufa para cinco niveles de estratificación: qué, cuándo, dónde, quién y cuál, de forma que el primer nivel está asociado al qué y el último nivel está asociado al cuál. Para cada nivel, se debe seleccionar una variable en función de la cual expresar el consumo energético de la estufa. En este proyecto, las variables seleccionadas para cada nivel son: los productos fabricados (qué), la duración de las campañas de cada producto (cuándo), las zonas de la estufa donde se producen las pérdidas de energía (dónde), los equipos que trabajan en la estufa (quién) y las fechas de fabricación (cuál).

Cada gráfico sirve como base para elaborar el siguiente. Si en el gráfico de un nivel se observa que el primer o los primeros consumos de la estufa son significativamente superiores al resto, sólo se tienen en cuenta las variables correspondientes a estos consumos para elaborar el gráfico del siguiente nivel. Pero si todas las variables tienen asociadas consumos similares, se las debe tener en cuenta a todas para generar el siguiente gráfico.

A continuación, se muestran los gráficos generados para cada nivel y las conclusiones extraídas. En el apartado “Análisis de los datos de las 5W” se muestran todos los datos registrados y los parámetros obtenidos a partir de ellos.

1.11.2.1 What (qué)

Este primer nivel de la estratificación busca responder a la pregunta “¿con qué producto/s se produce el problema?”. Para ello, se genera un gráfico de Pareto que represente el consumo energético medio de la estufa para cada producto fabricado. El gráfico obtenido se presenta en la Figura 91.

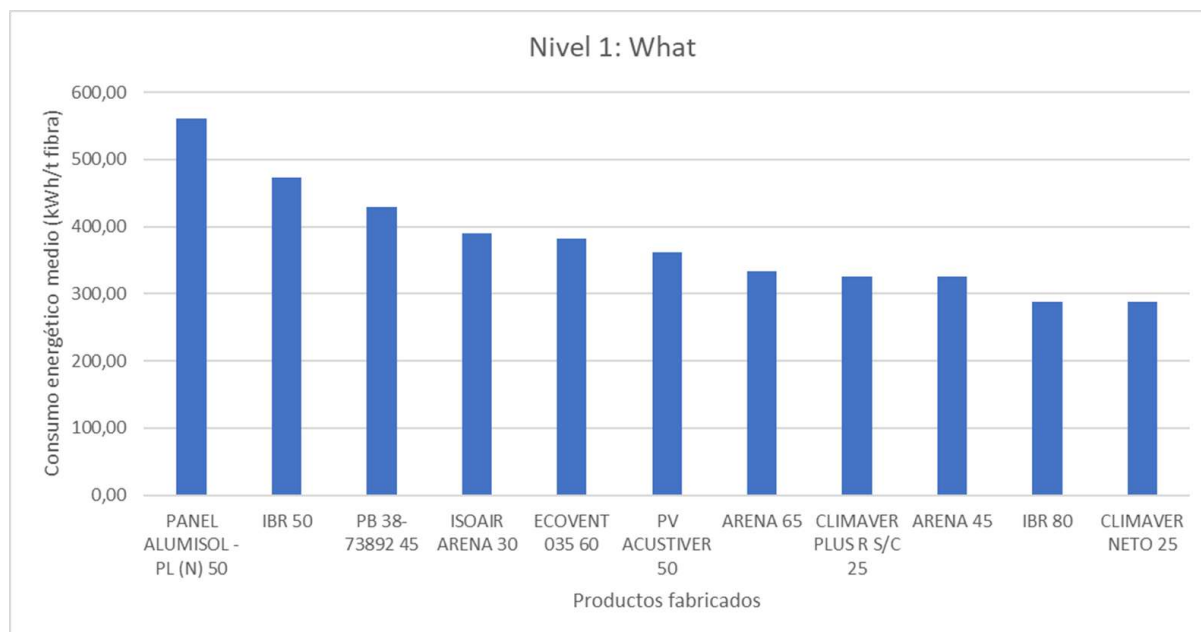


Figura 91: Gráfico de Pareto con el consumo energético medio de la estufa para cada producto (qué).

Los cinco primeros productos (Panel Alumisol, IBR 50, PB 38, Isoair Arena 30 y Ecovent) consumen, de media, 447 kWh/tonelada de fibra, y se fabrican, habitualmente, en campañas cortas. En cambio, los productos restantes tienen un consumo medio de 320 kWh/tonelada de fibra y se fabrican, normalmente, en campañas más largas.

Como ningún producto tiene un consumo medio significativamente superior al resto, se deben considerar todos los productos para elaborar la siguiente gráfica.

1.11.2.2 When (cuándo)

El segundo nivel de la estratificación busca responder a la pregunta “¿cuándo se produce el problema?”. Para ello, se genera un gráfico de Pareto que represente el consumo energético medio de la estufa en función de los diferentes intervalos de duración de las campañas de fabricación. El gráfico obtenido se presenta en la Figura 92.

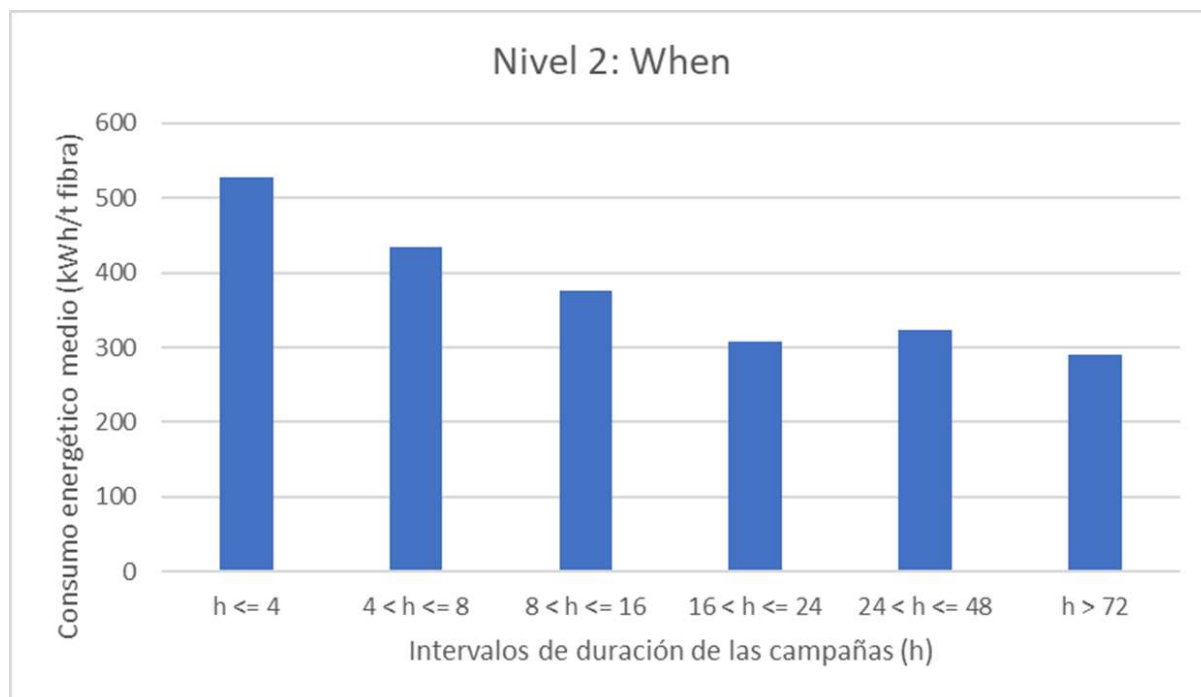


Figura 92: Gráfico de Pareto con el consumo energético medio de la estufa para cada intervalo de duración de las campañas (cuándo).

Se comprueba que, cuando las campañas tienen una duración de hasta 16 horas, el consumo medio es tanto mayor cuanto menor es la duración de estas campañas: para una duración inferior a 4 horas, el consumo medio es 527 kWh/tonelada de fibra y para una duración comprendida entre 8 y 16 horas, el consumo medio es 375 kWh/tonelada de fibra. En cambio, cuando las campañas duran más de 16 horas, el consumo medio es inferior y se estabiliza en torno a 300 kWh/t de fibra, independientemente de la duración de la campaña.

Esto se debe a que, durante las campañas de larga duración, los parámetros del proceso de producción no se modifican, lo que hace que permanezcan constantes durante todo ese período de tiempo. Esta ausencia de cambios minimiza el número de incidentes de proceso, de gran impacto en la energía consumida por la estufa, como los arranques y paradas, los cambios en el producto, las modificaciones de los parámetros de otras máquinas, las averías o la variación de las condiciones térmicas de la estufa.

En cambio, durante las campañas cortas, los parámetros de la línea sufren varias variaciones en ese corto período de tiempo, siendo estos cambios tanto mayores cuantas más diferencias existen entre el producto que se fabrica durante estas campañas y el producto anterior. Además, la elevada inercia térmica de la estufa hace que necesite un período de tiempo elevado para que sus parámetros alcancen las nuevas consignas y se estabilicen.

Por ejemplo, cuando se fabricó el Panel Alumisol el 28 de febrero de 2019, el producto precedente fue el PB 38 de 45 mm de espesor. Este producto utiliza el encolado R232 con una tasa del 4,7%, tiene una tirada de 48 toneladas al día y una densidad de 14 kg/m³. En cambio, el Panel Alumisol, de 50 mm de espesor, utiliza el encolado R225 con una tasa del 7,8%, tiene



una tirada de 34 toneladas de fibra al día y una densidad de 29 kg/m^3 . Al existir tanta diferencia en todos estos parámetros entre ambos productos, la estufa necesita mucho tiempo para adecuar sus condiciones térmicas a las nuevas consignas, pero esta campaña del Panel Alumisol duró 4 horas únicamente. Por lo tanto, durante ese período de 4 horas, la estufa requirió energía adicional para el proceso de adaptación a las nuevas condiciones, más exigentes que las anteriores. Además, la sola realización de cambios en los parámetros de la línea conlleva un mayor consumo debido a los arranques y paradas, los cambios en el producto o las modificaciones de los parámetros de otras máquinas.

1.11.2.3 Where (dónde)

El tercer nivel de la estratificación busca responder a la pregunta “¿dónde se produce el problema?”. Puesto que el balance de potencia da respuesta a esta pregunta, se puede utilizar el gráfico de Pareto resultante del balance, que representa las pérdidas de la estufa en función de la zona de la estufa en la que se producen. Este gráfico se muestra en la Figura 93.

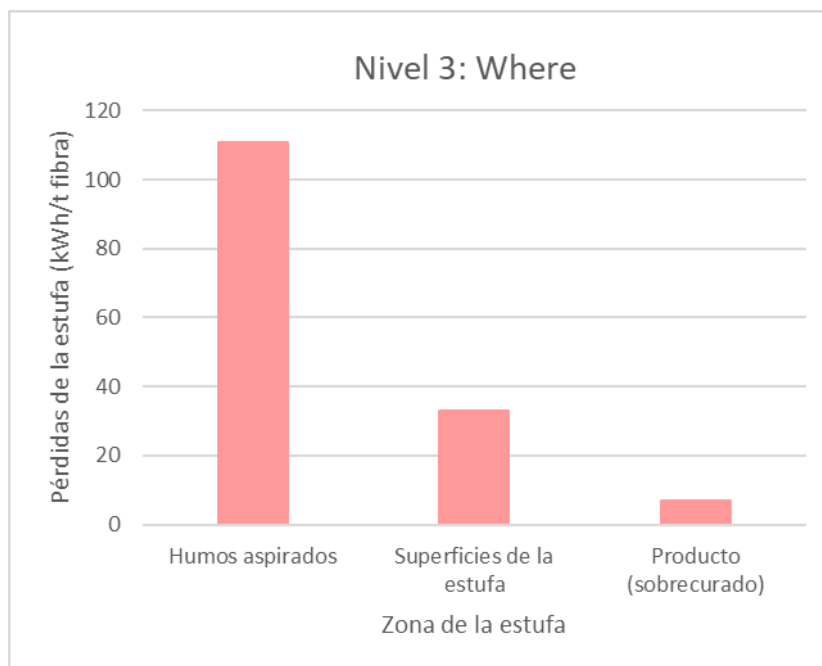


Figura 93: Gráfico de Pareto con las pérdidas de la estufa en función de la zona donde se producen.

La gráfica muestra que las aspiraciones de humos es el lugar de la estufa donde más pérdidas se producen, que suponen el 73,57% de las pérdidas totales y el 50,1% de la energía total procedente del gas suministrada a la estufa. El motivo por el que esta zona tiene pérdidas tan elevadas es porque a través de las extracciones, se absorbe una parte del aire presente en la estufa portador de energía calorífica. Por lo tanto, esa energía deja de suministrarse al producto y se desperdicia en el sistema de lavado, donde los humos se enfrían.

1.11.2.4 Who (quién)

El cuarto nivel de la estratificación busca responder a la pregunta “¿con quién se produce el problema?”. Para ello, se genera un gráfico de Pareto que represente el consumo energético medio de la estufa en función del equipo de operarios que manejaba la estufa. Los gráficos obtenidos se presentan en la Figura 94 y en la Figura 95.

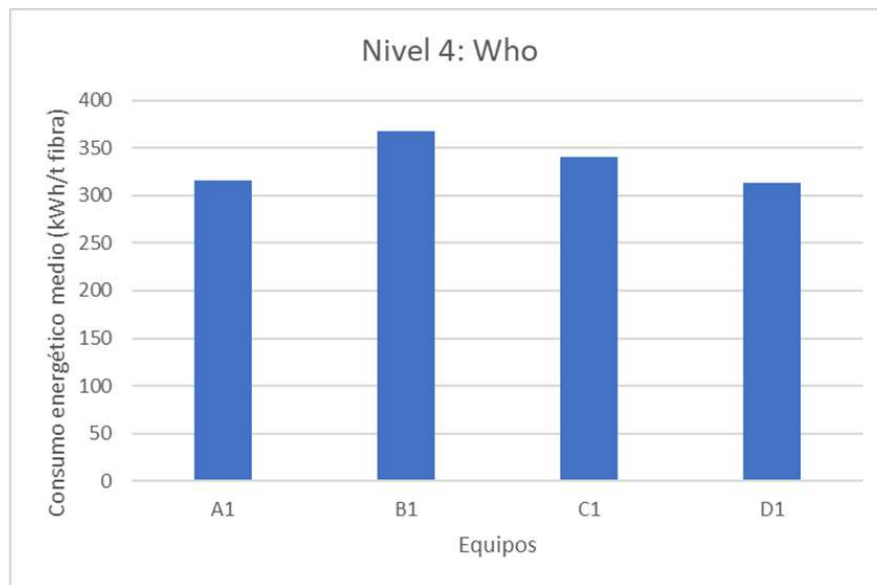


Figura 94: Gráfico de Pareto con el consumo energético medio de la estufa en función del equipo.

En la gráfica de la Figura 94 se observa que el consumo medio en función de cada equipo es muy similar, aunque el equipo B1 es el que más consume, aparentemente. Para analizar el impacto de la duración de las campañas, se desglosan los consumos de la gráfica anterior en dos grupos: los productos con una duración de campaña menor o igual que 16 horas y los productos con una duración de campaña mayor que 16 horas. De los primeros se ve que hay variaciones de los consumos en función del equipo. Por lo tanto, estos productos son sensibles al nivel de competencia de cada equipo en el reglaje de la estufa. En cambio, los productos de larga duración tienen un consumo inferior y prácticamente igual para todos los equipos, por lo que el nivel de competencia de los equipos queda ensombrecido por la estabilidad que alcanza la estufa durante las campañas largas. En la gráfica de la Figura 95 se representan los tres consumos.

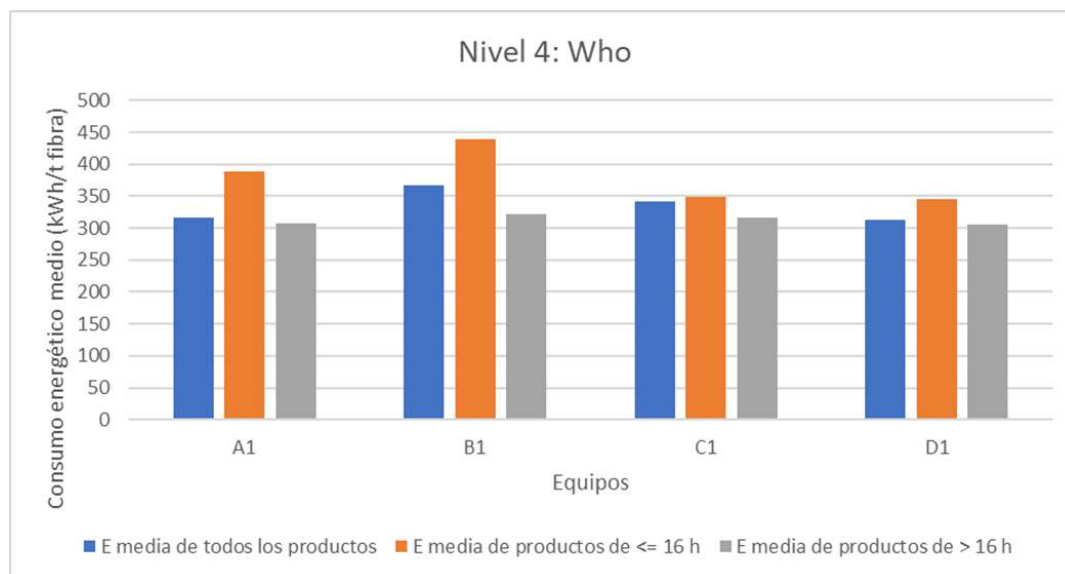


Figura 95: Gráfico de Pareto con el consumo energético medio de la estufa en función del equipo desglosado.

1.11.2.5 Which (cuál)

El quinto y último nivel de la estratificación busca responder a la pregunta “¿cuál es la tendencia que se observa en los datos?”. Para ello, se genera un gráfico que represente todos los consumos energéticos de la estufa a lo largo del tiempo. El gráfico obtenido se presenta en la Figura 96.

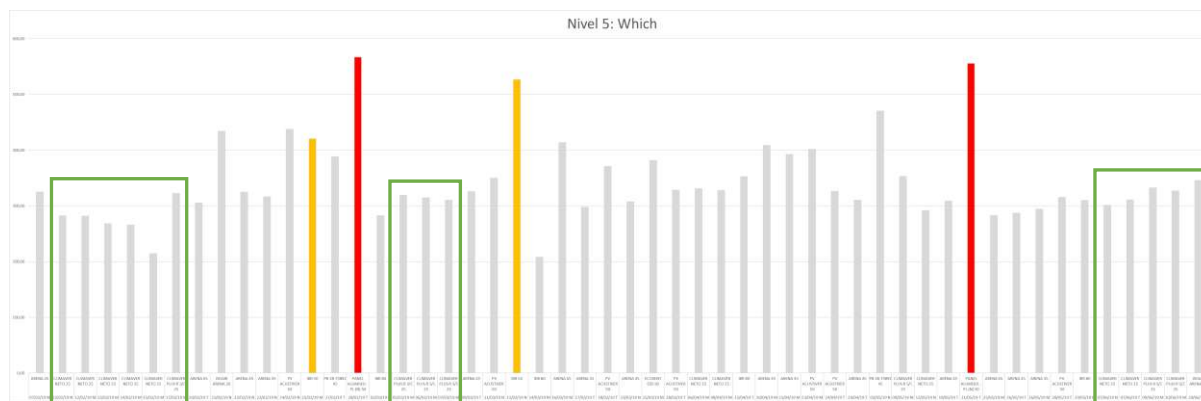


Figura 96: Gráfico de Pareto con todos los consumos de la estufa en función del tiempo.

Los productos que se fabrican en campañas cortas tienen un consumo superior a la media. Esto sucede con el Panel Alumisol (en rojo en la gráfica), que tiene un consumo medio de 560 kWh/tonelada de fibra y una duración media de campaña de 8 horas, o con el IBR 50 (en naranja), que consume de media 474 kWh/tonelada de fibra y tiene una duración media de campaña de 6,16 horas.

En cambio, los productos que se fabrican en campañas largas tienen un consumo inferior, como sucede con el Climaver (en los recuadros verdes de la gráfica), que consume de media 300



kWh/tonelada de fibra. Por lo tanto, sería conveniente, como parámetro de programación, hacer menos campañas de mayor duración para cada producto, en la medida de lo posible.

1.11.3 ESTUDIO HISTÓRICO DE LAS 4M

Consiste en registrar aquellos cambios relevantes para el proyecto que hayan tenido lugar en la fábrica a lo largo del tiempo. En este caso, se deben considerar todos los cambios que tengan que ver con la estufa y que puedan guardar relación con el problema que se produce en ella.

Se deben analizar los cambios relativos a la propia máquina (*machine changes*), a los productos fabricados en ella (*material changes*), a los procedimientos de trabajo empleados en ella (*method changes*) y al personal o a los equipos que trabajan en ella (*man changes*).

1.11.3.1 Machine changes (máquina)

Septiembre de 2008: instalación de la estufa.

1.11.3.2 Material changes (materiales)

Marzo de 2014: estabilización de las tiradas de Climaver. Pasaron de 92 a 88 toneladas/día para las referencias en formato sin caja y a 84 toneladas/día para el resto.

1.11.3.3 Method changes (métodos)

Desapareció el ingeniero de proceso encargado de registrar los perfiles de temperatura de los productos dentro del horno (curvas Datapaq) y de controlar los reglajes de la estufa.

Los CPL se encargan de establecer los reglajes de la estufa y de formar a los nuevos CPL para esta función. Sin embargo, no hay una estandarización de los procedimientos para reglar la estufa, por lo que los conocimientos que poseen los CPL varían entre ellos y pueden no ser completamente correctos.

1.11.3.4 Man changes (personal)

29 de abril de 2018: cambio de 3 a 5 turnos. Implicó la incorporación de nuevo personal, por lo que se encuentran en formación desde entonces hasta la actualidad 5 CPL y 4 polivalentes de CPL.

1.11.4 HECHOS DEL FENÓMENO

Previo a la descripción del problema que tiene lugar en la máquina (fenómeno), se realiza una síntesis o resumen de las conclusiones generales extraídas del análisis observacional, del análisis de las 5W y del estudio de las 4M.



1.11.4.1 Hechos del análisis observacional

En el análisis observacional se detectaron dos tipos de problemas relevantes para el proyecto. Ambos tienen un impacto sobre el consumo energético de la estufa, pero el primero está relacionado con los parámetros de funcionamiento de la máquina y el segundo, con aspectos constructivos, principalmente.

- Sobrecurado: debido al establecimiento de los parámetros de la estufa por encima del rango adecuado para cada producto. En las curvas Datapaq se comprobó que la temperatura superaba los 220°C o que permanecía entre 180 y 220°C durante más de 20 segundos.
- Fugas y pérdidas de energía: las fugas a través de las puertas frontales se deben a la apertura excesiva de estas puertas y a las consignas incorrectas de las aspiraciones de humos. El resto de las fugas se deben a la ausencia total o parcial de estanqueidad por la falta de mantenimiento. Con la cámara termográfica se detectaron temperaturas muy superiores al rango aceptable para cada elemento analizado.

1.11.4.2 Hechos del análisis de las 5W

Este análisis arroja tres conclusiones principales en relación con el consumo energético de la estufa. Se refieren a la duración de las campañas, a los equipos que operan en la máquina y a las zonas donde se producen las pérdidas de energía de la estufa.

- Los productos que se fabrican en campañas cortas (≤ 16 h) tienen un consumo superior a la media (Panel Alumisol: 560 kWh/t fibra), y los productos que se fabrican en campañas largas (>16 h) tienen un consumo inferior (Climaver: 300 kWh/t fibra).
- Los equipos B1 y A1 son menos eficientes al establecer los ajustes de la estufa, lo cual se manifiesta fundamentalmente en los productos de corta duración de campaña, que son los más complicados en lo que se refiere al ajuste de sus reglajes.
- Las pérdidas de la estufa son debidas, de mayor a menor importancia, a las aspiraciones de humos, a las superficies de la estufa y al sobrecurado. Las aspiraciones de humos suponen el 73,6% de las pérdidas totales, y el 50,1% de la energía total de gas proporcionada a la estufa.

1.11.4.3 Hechos del estudio de las 4M

Los CPL se encargan de establecer los reglajes de la estufa y de formar a los nuevos CPL para esta función. Sin embargo, no hay una estandarización de los procedimientos para reglar la estufa, por lo que los conocimientos que poseen los CPL varían entre ellos y pueden no ser completamente correctos. Además, no hay un ingeniero de proceso encargado de controlar estos reglajes.

1.11.5 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO

Consiste en la explicación detallada y paso a paso del problema detectado en la estufa como resultado de todos los estudios realizados a lo largo de la hoja 2. Para ello, se utilizan esquemas y dibujos. La descripción del fenómeno permite realizar la hoja 4 (propuesta de soluciones) en caso de que se haya entendido perfectamente el fenómeno, como es el caso de este proyecto. Si no fuera así, habría que hacer la hoja 3 (estudio interno y detallado del problema).

Este proyecto tiene como objetivo principal reducir las pérdidas energéticas del horno de polimerización. Por lo tanto, éste es el problema que se pretende solucionar y en el que se centra el fenómeno. La descripción del fenómeno se ha estructurado en función de los tres tipos de pérdidas energéticas que se producen en el horno, que son las pérdidas en las aspiraciones de humos, a través de las superficies de la estufa y en el producto (sobrecurado).

En la Figura 97 se representan estas pérdidas en forma de gráfico de Pareto, tal y como se obtuvieron en el balance de potencia y en el análisis de las 5W. Los porcentajes de cada pérdida están expresados sobre el total de las pérdidas.

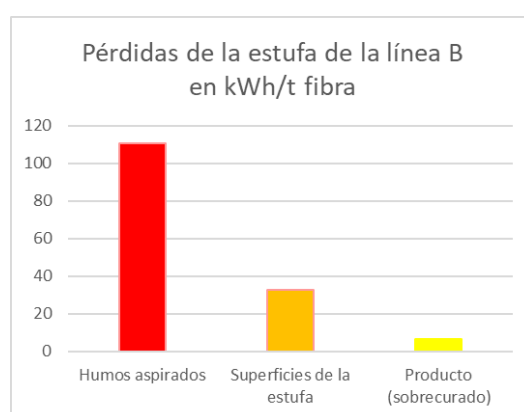
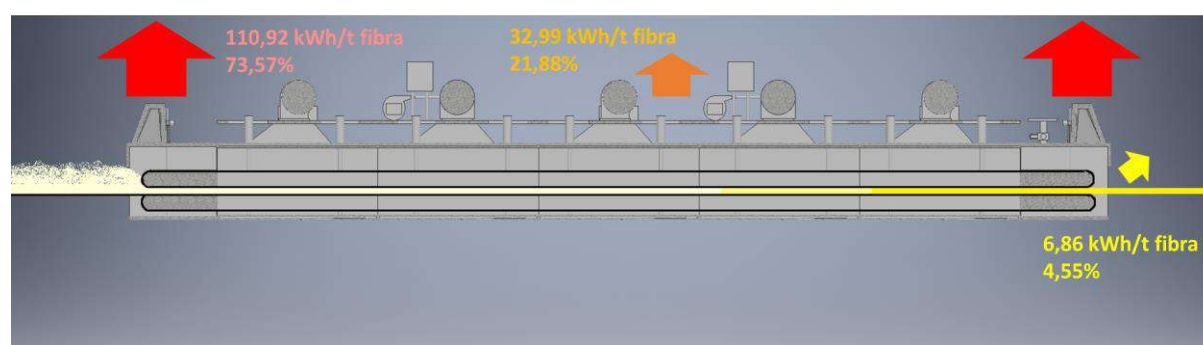


Figura 97: Causas de pérdidas de la estufa de la línea B.

Sin embargo, no es posible eliminar la totalidad de estas pérdidas: las aspiraciones de humos son necesarias, por diseño, para evacuar los humos generados en la estufa, y la superficie de la estufa, también por diseño, tendrá unas pérdidas inevitables relacionadas con el espesor del aislante utilizado en su construcción. Por eso, se ha calculado, según los niveles de referencia



que maneja el centro de investigación de Saint Gobain Isover, qué parte de cada una de estas pérdidas es posible reducir. En la gráfica izquierda de la Figura 98 se representan las pérdidas de la misma forma que en la Figura 97, pero distinguiendo dos partes: la parte de la pérdida que no es posible eliminar (negro) y la parte de la pérdida que sí es posible eliminar (rosa). Teniendo esto en cuenta, se obtiene un nuevo gráfico de Pareto para las pérdidas eliminables, que se muestra en la gráfica derecha de la Figura 98. La diferencia entre este gráfico de Pareto y el anterior es que en éste, la pérdida más importante y que es posible eliminar es la que se da en las superficies de la estufa, y la segunda pérdida eliminable más importante pasa a ser las aspiraciones de humos.

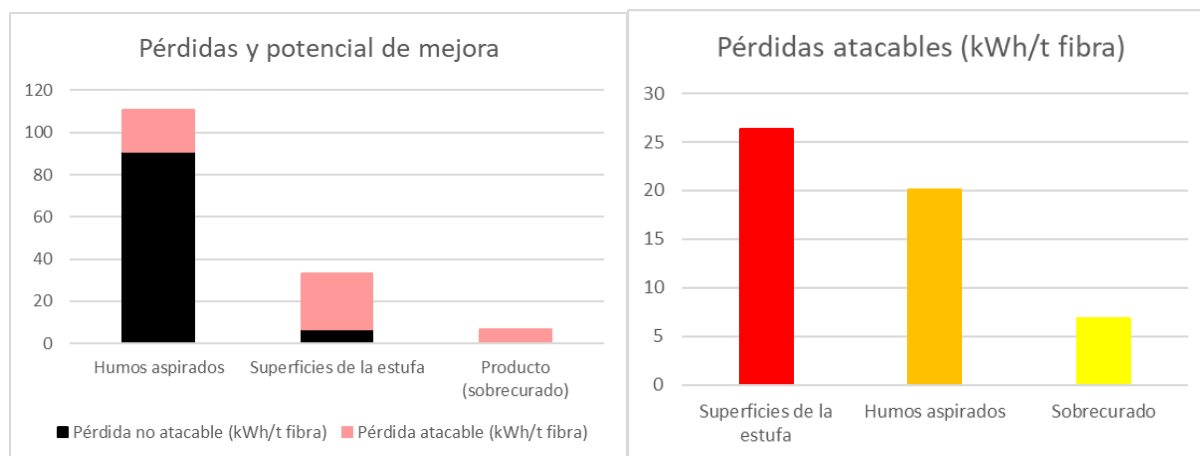


Figura 98: Gráfico de Pareto con las pérdidas de la estufa (izquierda), y gráfico de Pareto con las pérdidas eliminables de la estufa (derecha).

Por lo tanto, las pérdidas atacables suponen 26,35 kWh/tonelada de fibra para las superficies de la estufa, 20,15 kWh/tonelada de fibra para las aspiraciones de humos y 6,86 kWh/tonelada de fibra para el sobrecurado del producto. Se ha considerado que las pérdidas por sobrecurado son las únicas completamente eliminables.

A continuación, se describen los fenómenos que se producen en la estufa agrupados en función de la pérdida que provocan en ella. Se comienza analizando la pérdida eliminable más importante (las superficies de la estufa) y se termina con la pérdida de menor valor (el sobrecurado).

1.11.5.1 Superficies de la estufa

De acuerdo con todos los estudios realizados a lo largo de la hoja 2, esta pérdida está originada por los siguientes problemas:

- Falta de condiciones básicas. Se debe a:
 - Faltas de estanqueidad totales o parciales en los diferentes elementos.
 - Ausencia de telas aislantes entre los cajones.
- Consignas fuera del rango estándar. Se debe a:
 - Aspiraciones de humos insuficientes y puertas frontales demasiado abiertas.
 - Aspiraciones de humos excesivas y puertas frontales demasiado abiertas.

1.11.5.1.1 Faltas de estanqueidad totales o parciales

Detectadas en algunos elementos de la estufa, como las puertas de los cajones, los paneles de explosión, el motor del cepillo de limpieza del transportador, el detector de atascamiento o el sistema de tensado de las cadenas de los transportadores. En todos ellos se detectaron temperaturas significativamente superiores a los rangos admisibles, salidas de humos de la estufa, acumulaciones de encolado y fibras de vidrio y deterioro de estos elementos. Todo ello se resume en la Figura 99.



Figura 99: Ilustración del problema de las faltas de estanqueidad.

1.11.5.1.2 Ausencia de telas aislantes entre cajones

Estas telas deben estar situadas en el interior de la estufa, entre dos cajones de calentamiento, para evitar que el flujo de aire de un cajón se fugue a los cajones contiguos. Aunque no proporciona una estanqueidad total al cajón, la ausencia de estas telas provoca la fuga del aire caliente a los cajones contiguos y a la estructura interna de la estufa. Todo ello provoca turbulencias, reduce la cantidad de aire total que atraviesa el producto y contribuye a incrementar las pérdidas de energía a través de las superficies de la estufa. Todo esto se representa en la Figura 100.

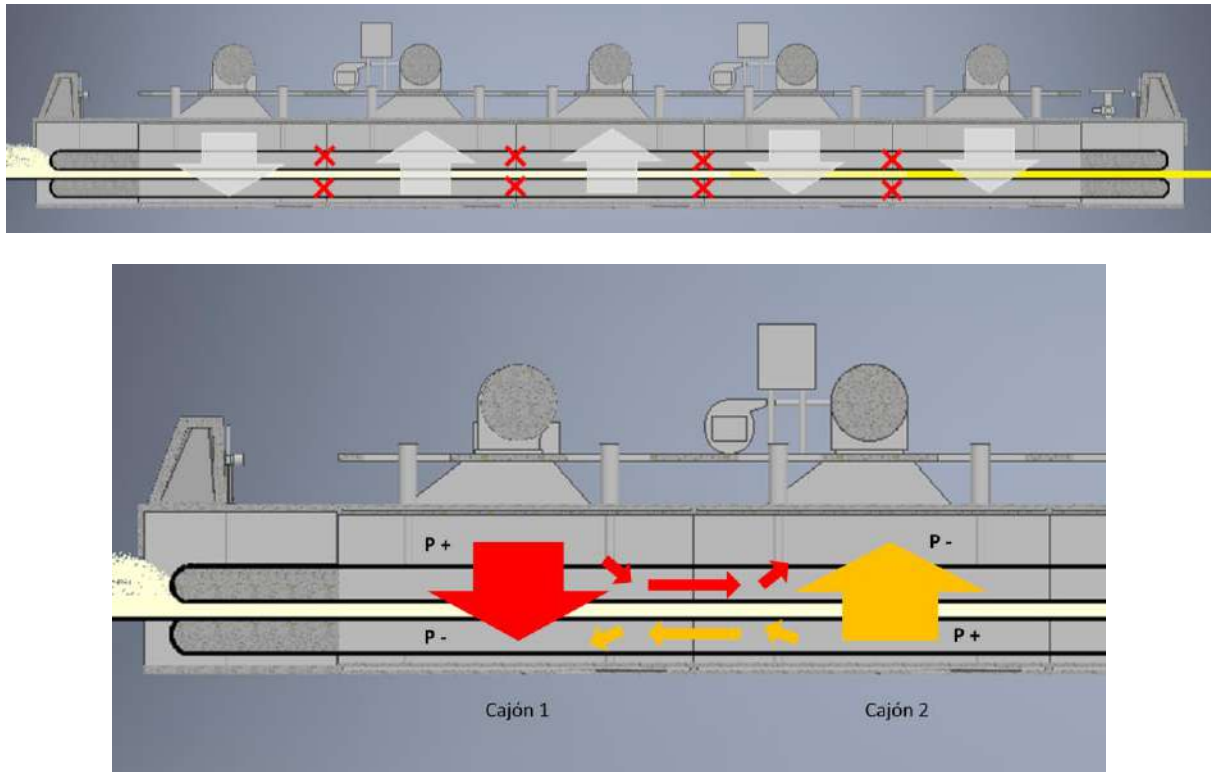


Figura 100: Ilustración del problema de la ausencia de las telas aislantes entre cajones.

1.11.5.1.3 Aspiraciones de humos insuficientes y puertas frontales demasiado abiertas

Según se ilustra en la Figura 101, esto provoca la salida de humos de la estufa y la acumulación de lana y encolado en diferentes zonas de las puertas frontales. Todo ello supone una pérdida de energía, ya que los humos tienen una temperatura comprendida entre 140 y 200°C, y puede suponer un riesgo para la salud de las personas, ya que los humos contienen sustancias que no se deben inhalar.

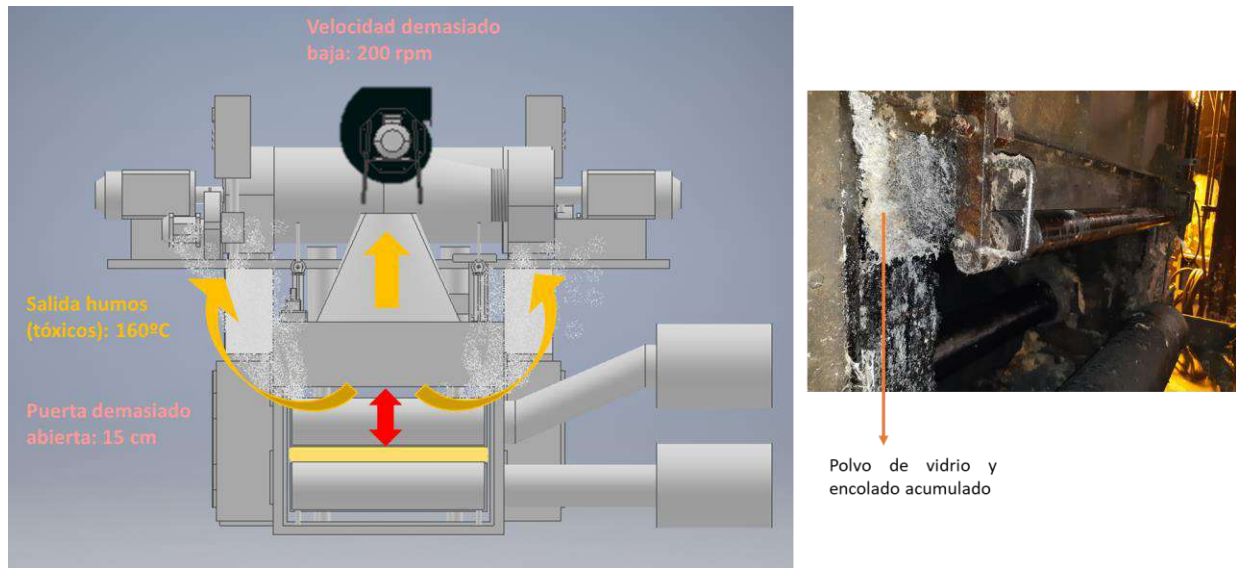


Figura 101: Ilustración del problema de las aspiraciones de humos insuficientes y las puertas frontales demasiado abiertas.

1.11.5.1.4 Aspiraciones de humos excesivas y puertas frontales demasiado abiertas

Según se ilustra en la Figura 102, esto provoca la entrada de aire exterior en la estufa, lo que supone una pérdida de energía porque contribuye a disminuir la temperatura interna de la estufa. Además, los ventiladores de extracción de humos consumen más energía de la necesaria.

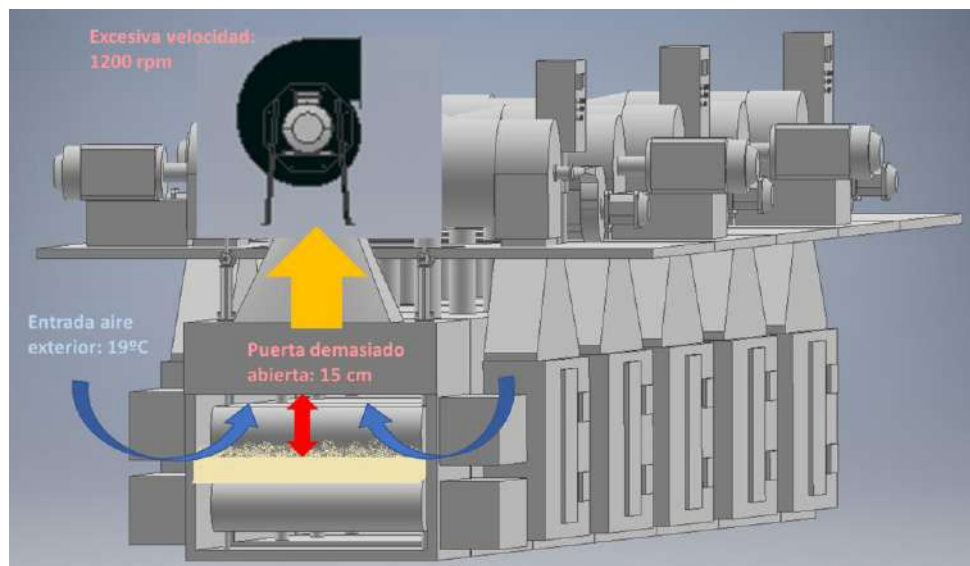


Figura 102: Ilustración del problema de las aspiraciones de humos excesivas y las puertas frontales demasiado abiertas.

Se concluye que las faltas de estanqueidad, la ausencia de telas aislantes, las aspiraciones de humos incorrectas y las puertas frontales demasiado abiertas provocan las pérdidas de energía a través de las superficies de la estufa, como queda sintetizado en la Figura 103.

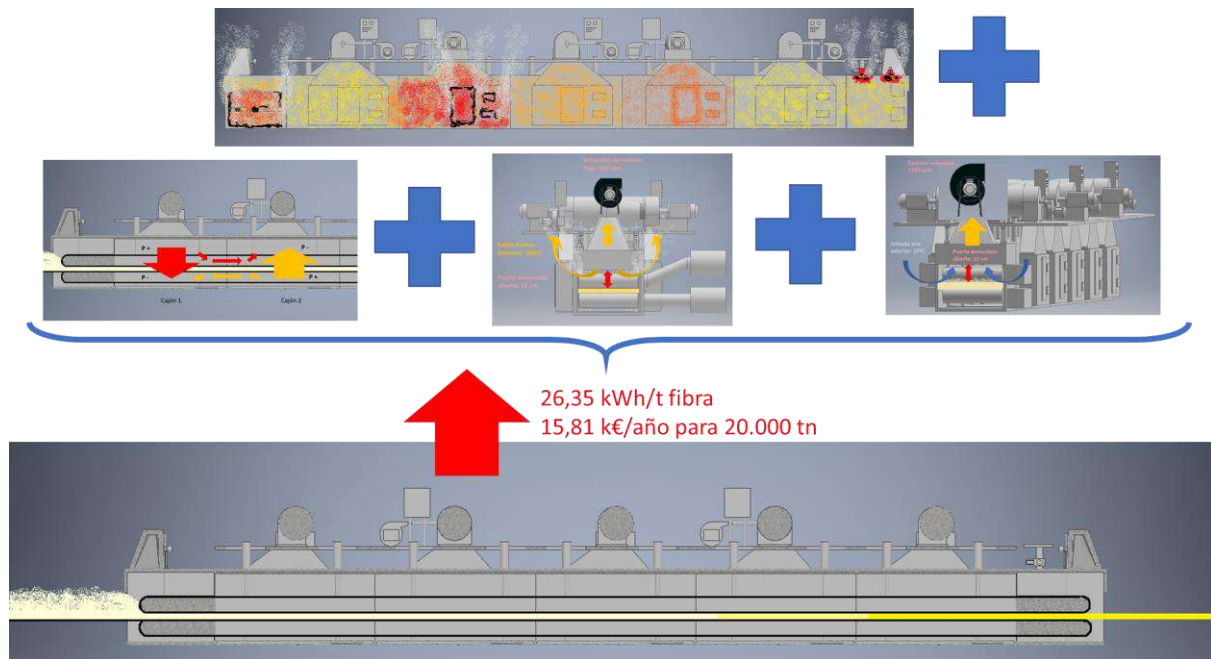


Figura 103: Síntesis de las causas de pérdidas a través de las superficies de la estufa.

1.11.5.2 Aspiraciones de humos

Esta pérdida está causada por los siguientes problemas:

- Consignas fuera del rango estándar. Se debe a:
 - Aspiraciones de humos excesivas.

1.11.5.2.1 Aspiraciones de humos excesivas

En el apartado anterior se explicó que las aspiraciones excesivas generaban pérdidas a través de las superficies de la estufa. En este apartado se verá que ese mismo problema también genera las pérdidas a través de las aspiraciones de humos.

Según se muestra en la Figura 104, el gas que hay dentro de la estufa está a una temperatura comprendida entre 140 y 200°C, lo que implica que contiene gran parte de la energía calorífica que se desea transmitir al producto. Sin embargo, los ventiladores de aspiración retiran parte de esta energía de la estufa al tener que absorber los humos generados dentro de ella. Por lo tanto, si la velocidad de los ventiladores es superior a la necesaria, se retira más calor del inevitable, suponiendo una pérdida de energía.

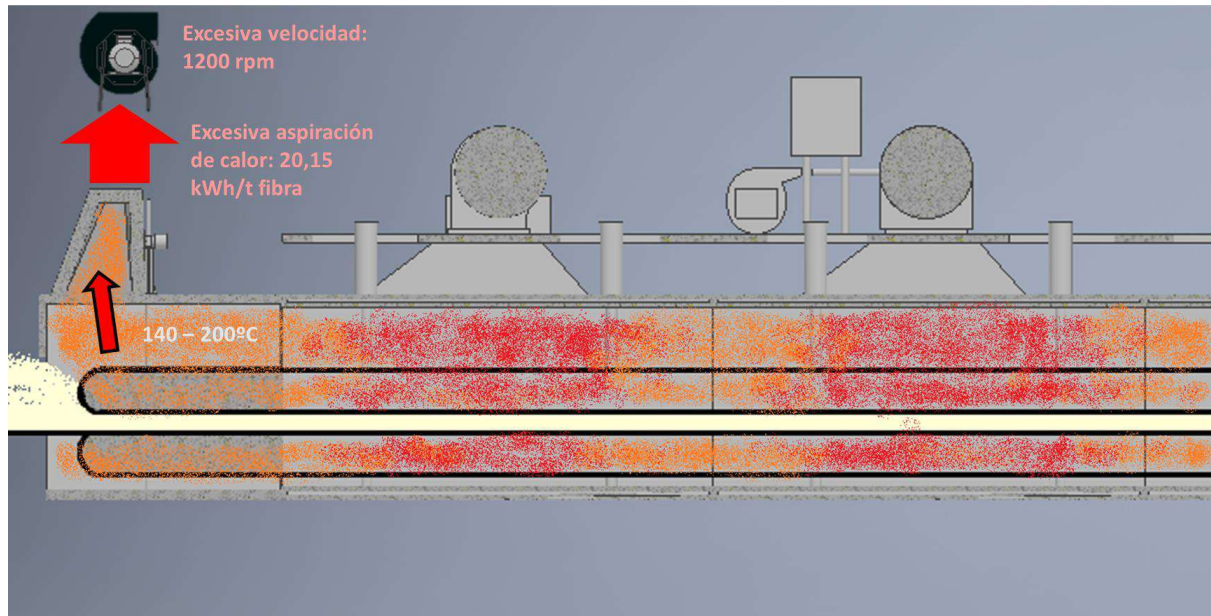


Figura 104: Ilustración del problema de las aspiraciones de humos excesivas.

En la Figura 105 se sintetiza la pérdida a través de las aspiraciones de humos y la causa que la genera.

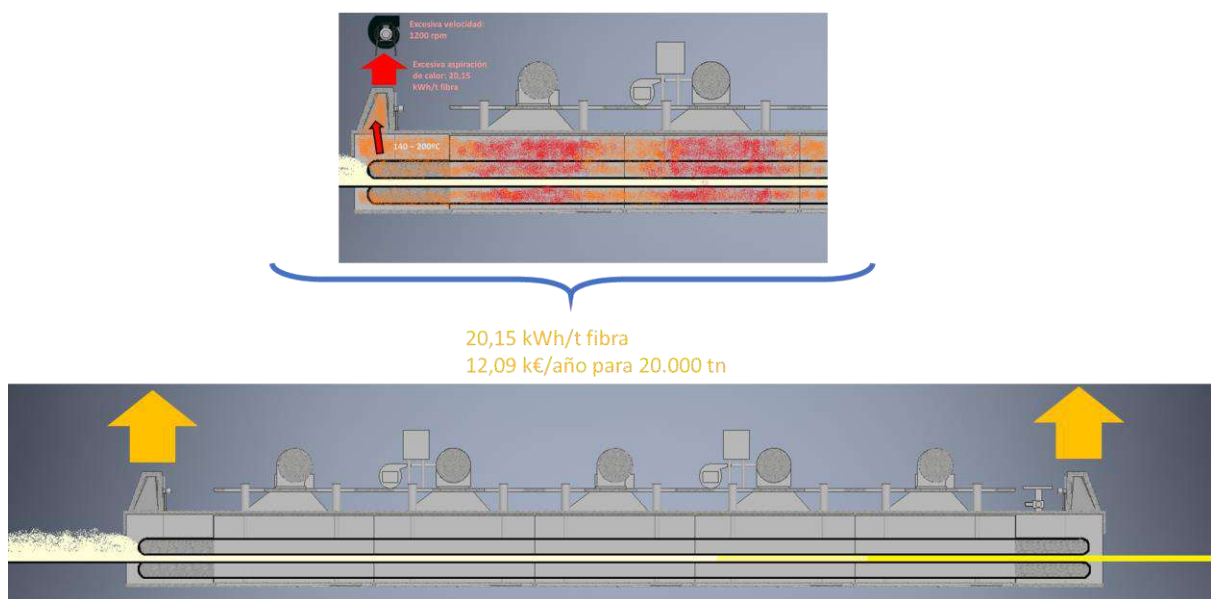


Figura 105: Síntesis de la causa de pérdidas a través de las aspiraciones de humos.

1.11.5.3 Producto (sobrecurado)

Esta pérdida está causada por los siguientes problemas:

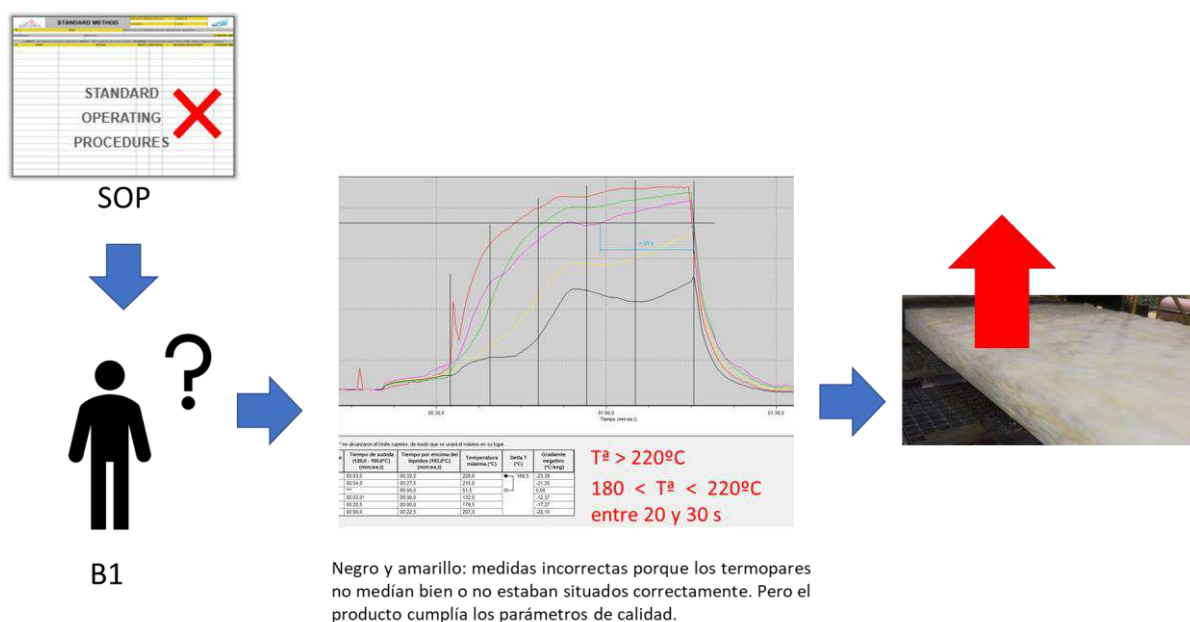
- Consignas fuera del rango estándar. Se debe a:

- Desconocimiento de los reglajes de la estufa.

1.11.5.3.1 Desconocimiento de los reglajes de la estufa

Hasta la actualidad, no existía un procedimiento de operación estándar (SOP) para establecer correctamente los reglajes de la estufa. Además, los conocimientos sobre dichos reglajes se los transmiten unos CPL a otros y pueden no ser del todo correctos o completos. Por lo tanto, ellos establecen los reglajes según consideran, y esto a menudo da lugar a un producto sobrecurado, es decir, un producto al que se le ha transmitido más energía de la necesaria. Ello se comprueba mediante los perfiles de temperatura del producto dentro del horno (curva Datapaq mostrada en la Figura 106), donde se observa que los perfiles que midieron correctamente superaban la temperatura de curado máxima o permanecían más tiempo del necesario entre las temperaturas de curado.

Concretamente, se observó que, cuando el equipo B1 se encargaba de reglar la estufa, su consumo medio era algo mayor que con el resto de los equipos.



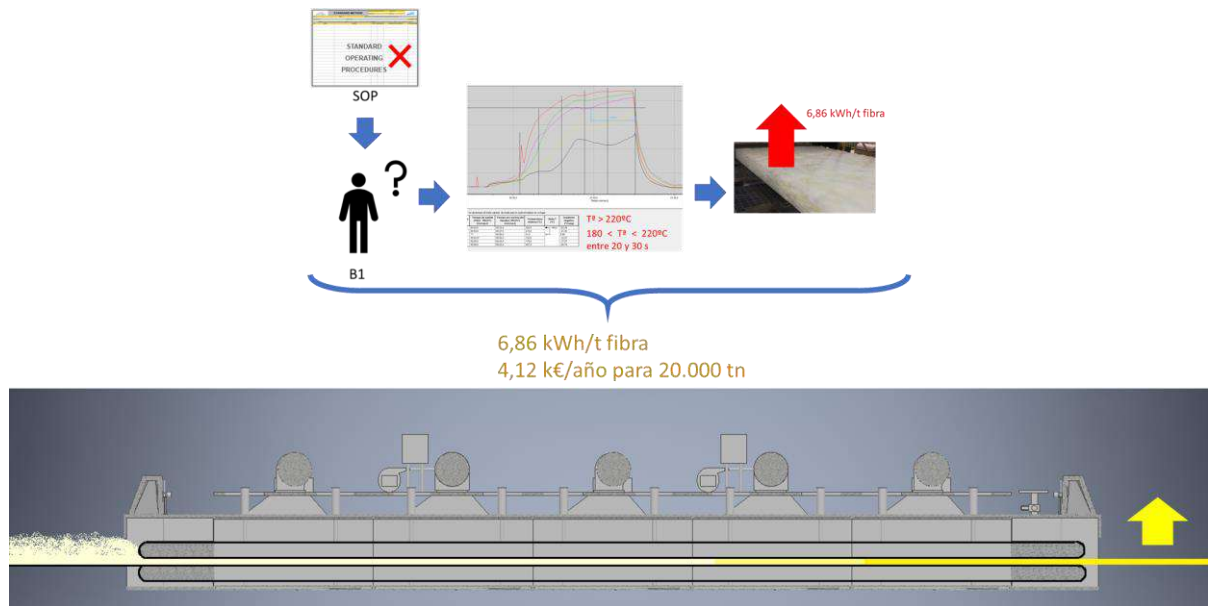


Figura 107: Síntesis de la causa de pérdidas del sobrecurado en el producto.

1.12 HOJA 4: CAUSA RAÍZ, SOLUCIONES Y PLAN DE ACCIÓN

Las tareas de la hoja 4 se documentan en la hoja Excel con el formato estándar de la metodología *Standard Kaizen*. Esto, junto a la SOP y la OPL, se incluyen en el Anexo III.

A partir de la descripción del fenómeno, es posible determinar la causa raíz del problema, proponer soluciones y un plan de acción.

1.12.1 ANÁLISIS DE LA CAUSA RAÍZ

De la descripción del fenómeno, se extraen tres hechos a partir de los cuales se inicia el análisis de los cinco porqués. Estos hechos son:

- La falta de las condiciones básicas en la estufa.
- Las consignas fuera de su rango estándar.
- Los consumos excesivos para algunos productos.

En la Tabla 2 se presenta el análisis de los cinco porqués para la falta de condiciones básicas.



Hecho del fenómeno	Falta de condiciones básicas
Por qué 1	Falta de mantenimiento.
Por qué 2	No hay revisión de las estanqueidades.
Por qué 3 (causa raíz)	Hay programa de mantenimiento preventivo, pero no contempla los elementos defectuosos, o no hay plan de mantenimiento preventivo de esos elementos.

Tabla 2: Análisis de la causa raíz del primer hecho del fenómeno.

En la Tabla 3 se presenta el análisis de los cinco porqués para las consignas fuera de rango.

Hecho del fenómeno	Consignas fuera del rango estándar
Por qué 1	Aspiraciones de humos insuficientes o excesivas. Puertas frontales excesivamente abiertas. Temperaturas y tiempos de exposición excesivos para el producto.
Por qué 2	El CPL determina esos parámetros de la estufa. El CPL o Coordinador Polivalente de Línea es el encargado de reglar la estufa.
Por qué 3	El CPL considera que son los parámetros correctos para el producto.
Por qué 4	El CPL no tiene unos conocimientos completos sobre los parámetros que requiere cada producto y su efecto.
Por qué 5 (causa raíz)	No hay una estandarización de los procedimientos de reglaje de la estufa durante la formación a los CPL.

Tabla 3: Análisis de la causa raíz del primer hecho del fenómeno.

En la Tabla 4 se presenta el análisis de los cinco porqués para la falta de condiciones básicas.



Hecho del fenómeno	Consumos excesivos para algunos productos
Por qué 1 (causa raíz)	Por motivos de planificación de la producción, se organizan varias campañas de corta duración para un mismo producto.

Tabla 4: Análisis de la causa raíz del primer hecho del fenómeno.

1.12.2 CONTRAMEDIDAS

Se ha determinado una única solución para cada causa raíz. Ello se muestra en la Tabla 5.

Causa raíz	Solución seleccionada
Hay programa de mantenimiento preventivo, pero no contempla los elementos defectuosos, o no hay plan de mantenimiento preventivo de esos elementos.	Revisión y ejecución de los programas de mantenimiento preventivo existentes o elaboración de éstos.
No hay una estandarización de los procedimientos de reglaje de la estufa durante la formación a los CPL.	Elaboración de un procedimiento de operación estándar (SOP) con explicación de los procedimientos de reglaje de la estufa en función de cada familia de productos.
Por motivos de planificación de la producción, se organizan varias campañas de corta duración para un mismo producto (causa raíz).	Elaboración de una lección puntual (OPL) con propuestas para organizar la planificación de los productos de forma que haya menos campañas de más duración.

Tabla 5: Contramedidas para las causas raíz.

Al existir una única solución para cada causa raíz, no es necesario elaborar la matriz de decisión.

En el apartado “Procedimiento para el reglaje del horno de polimerización” se explica detalladamente el procedimiento para establecer los reglajes de la estufa. Además, en el Anexo III se incluyen la SOP y la OPL elaboradas para la fábrica.



1.12.3 EVALUACIÓN DE RIESGOS DE LAS CONTRAMEDIDAS

Tampoco se requiere realizar la evaluación de riesgos de las contramedidas porque ninguna de ellas supone un riesgo para las personas, máquinas, productos o procesos.

1.12.4 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

El plan de implementación de las contramedidas se muestra en la Tabla 6.

Acción	Quién	Cuándo	Progreso
Reparación y limpieza de los elementos defectuosos.	Jefe de mantenimiento de TEL.	15/09/2019	
Revisión y ejecución de los programas de mantenimiento preventivo existentes o creación de éstos.	Jefe de mantenimiento de TEL.	15/09/2019	
SOP con explicación de los procedimientos de reglaje de la estufa en función de cada familia de productos.	Begoña Luaces.	14/07/2019	
OPL con propuestas para organizar la planificación de los productos de forma que haya menos campañas de más duración.	Begoña Luaces.	14/07/2019	

Tabla 6: Plan de implementación para las contramedidas.

1.12.5 MANTENIMIENTO DE LOS RESULTADOS

1.12.5.1 Gestión del cambio

Se deben actualizar los documentos de mantenimiento preventivo.



1.12.5.2 Beneficios tangibles

En cuanto a los beneficios tangibles, se tiene el ahorro de 53,36 kWh/tonelada de fibra al año (32,02 k€ anuales).

Además, la gráfica de la Figura 108 muestra la evolución futura del indicador fundamental del proyecto, que es el consumo energético del horno de polimerización en kWh/tonelada de fibra.

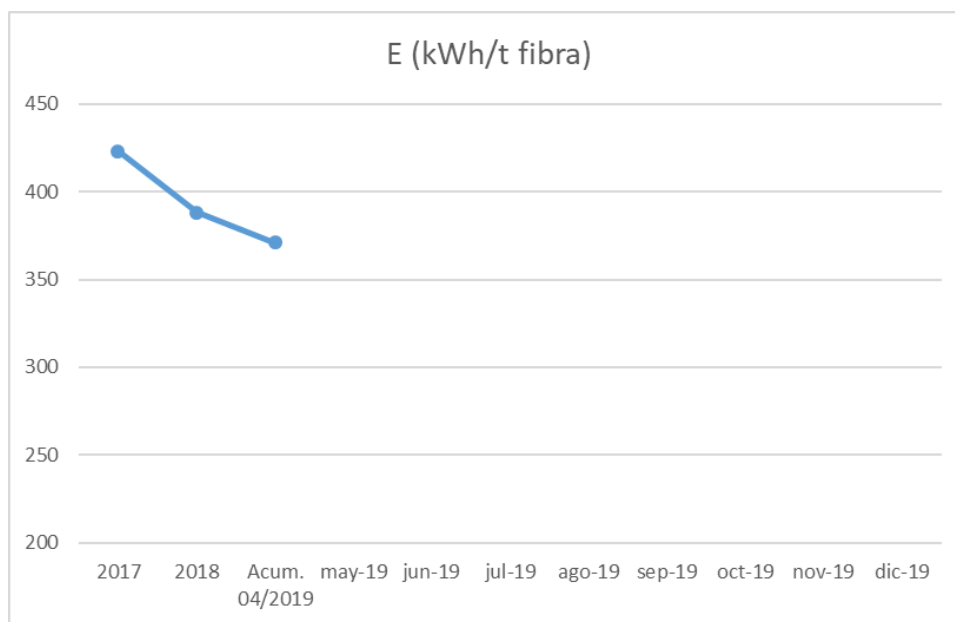


Figura 108: Evolución del consumo energético de la estufa desde 2017 hasta la actualidad.

1.12.5.3 Beneficios intangibles

Destacan los siguientes beneficios intangibles:

- La mejora del aspecto visual y de la calidad del producto.
- La mejor comprensión por parte de las personas de la máquina y sus reglajes.

1.12.5.4 Expansión horizontal

El procedimiento de operación estándar que explica el reglaje de los parámetros de la estufa se utilizó como documento de formación en otra fábrica del Grupo Saint-Gobain (Fiberglasss Isover Colombia).



1.12.6 PROCEDIMIENTO PARA EL REGLAJE DEL HORNO DE POLIMERIZACIÓN

1.12.6.1 Parámetros que intervienen en el proceso

En la Tabla 7 se muestran las consignas y parámetros que afectan al proceso de curado: en la columna de la izquierda se encuentran todos los reglajes de los componentes del horno, y en la columna de la derecha se recogen los parámetros que caracterizan al proceso de curado y que quedan determinados por los anteriores reglajes. Si las filas de la izquierda son adyacentes a las filas de la derecha, entonces esos reglajes tienen efecto sobre esos parámetros contenidos en esas filas. Por ejemplo: la velocidad de los ventiladores de circulación sólo afecta al gradiente de presión, pero el grado de apertura de las derivaciones afecta al gradiente de presión, al sentido de los flujos de aire y a la temperatura de los transportadores.

Consignas del horno	Parámetros del proceso de curado
Velocidad de los ventiladores de circulación	Gradiente de presión
Grado de apertura de las derivaciones	Sentido del flujo de aire de impulsión
	Temperatura de los transportadores
Temperatura de los quemadores	Temperatura del aire de impulsión
Distancia entre los transportadores	Espesor del producto en el horno
Velocidad del transportador inferior	Tiempo que permanece el producto en el horno
Velocidad de los ventiladores de extracción	Aspiración de los humos

Tabla 7: Consignas del horno y parámetros del proceso a los que afectan.

A continuación, se muestran las propiedades que caracterizan a cada producto y que afectan al curado:



-
- Tirada: cantidad de toneladas de fibra de vidrio que atraviesa el horno en un día. Cuanto mayor es la tirada, más se aproxima la estufa a su punto óptimo de trabajo.
 - Velocidad de la línea: determina el tiempo que permanece el producto en el horno.
 - Anchura del producto: afecta al ajuste de las aletas laterales (si las hay).
 - Espesor del producto en el horno: queda determinado por la distancia entre los transportadores. Además, es uno de los factores que determina la resistencia del producto al paso de los flujos de aire y su grado de fragilidad. Cuanto menor es el espesor del producto, menos resistencia opone al aire y más frágil es.
 - Densidad nominal del producto: es uno de los factores que determina la resistencia del producto al paso de los flujos de aire y su nivel de fragilidad. Cuanto menor es la densidad del producto, menos resistencia opone al aire y más frágil es.
 - Gramaje: es el producto del espesor y la densidad. Por lo tanto, es una medida directa de la fragilidad o resistencia de un producto.
 - Tipo de encolado: si se trata del R232, las temperaturas de curado mínima y máxima son 180 y 220°C respectivamente, pero si se trata del R225, estas temperaturas son 200 y 250°C. Por lo tanto, el encolado R225 requiere un mayor aporte de energía por parte de la estufa.
 - Cantidad de encolado: cuanto más encolado contiene el producto, más energía requerirá para polimerizarse.
 - Cantidad de agua: cuanta más humedad contiene el producto, más energía requerirá para evaporarse.
 - Micronaire: es una medida adimensional de la resistencia al flujo de aire. Cuanto mayor es el micronaire (fibras de vidrio más gruesas), menor resistencia opondrán las fibras al flujo de aire, ya que el vidrio deja más espacios o huecos para el paso del aire. Sin embargo, todos los productos estudiados en este proyecto tienen un micronaire igual a 3 /5g.
 - Distribución de las fibras: si las fibras están repartidas de forma irregular, el aire pasará, sobre todo, por las zonas de menor densidad y las dañará. Éste es uno de los parámetros que determina la calidad del material que entra en el horno.
 - Distribución del encolado en la lana: el curado del producto será tanto más homogéneo cuanto más homogéneo sea el reparto del encolado en el volumen del material. Éste es uno de los parámetros que determina la calidad del material que entra en el horno.
 - Distribución de la humedad en la lana: deberá ser lo más homogénea posible para que el curado también lo sea. Éste es uno de los parámetros que determina la calidad del material que entra en el horno.



- Temperatura de la lana antes de la estufa: se debe evitar que el material que entra en el horno tenga una temperatura demasiado elevada para que no se produzca prepolimerización o preevaporación.
- Evolución de la temperatura del producto dentro del horno (curvas Datapaq).

1.12.6.2 Metodología general para establecer los reglajes

La metodología general para ajustar los parámetros del horno se muestra a continuación. Cada uno de los puntos se describe en los siguientes apartados.

1. Obtener el mejor material aguas arriba, antes de entrar en el horno.
2. Ajustar el horno en función del producto y de las condiciones de operación de la línea.
La regla general es:
 - En primer lugar, establecer los tres primeros sentidos del flujo de aire de abajo hacia arriba y los dos últimos en sentido contrario (para un horno con cinco cajones).
 - En segundo lugar, ajustar el máximo gradiente de presión admitido por el producto, ya que dentro del horno, prevalece la transferencia de calor por convección (75% del calor transmitido al producto). Este gradiente de presión depende de la zona de calentamiento, de los sentidos de los flujos de aire y del lugar donde se produzca la inversión.
 - En tercer lugar, ajustar la mínima temperatura que permita curar el producto correctamente y mantener la temperatura de las paletas de los transportadores en el rango adecuado. La temperatura de los transportadores afecta a la transferencia de calor por convección, que supone únicamente un 20% del calor transmitido al producto.
3. Ajustar el horno teniendo en cuenta consideraciones energéticas.
4. Ajustar el horno, los parámetros de la línea o algunas propiedades del producto para casos excepcionales.

1.12.6.3 Calidad del material antes de la estufa

Antes de modificar cualquier ajuste del horno de polimerización, el primer parámetro que se debe analizar es la calidad de la lana antes de la estufa, que está determinada por la distribución y cantidad de fibras, agua y encolado y por la temperatura de la lana.

Si las fibras se distribuyen de forma irregular durante el proceso de fibraje, el colchón de lana resultante tendrá diferencias de densidad entre sus zonas, por lo que el aire pasará, sobre todo, por las zonas de menor densidad y dejará de pasar por aquellas de mayor densidad. Como las zonas de menor densidad son más frágiles, quedarán dañadas por el flujo de aire y las zonas más densas no estarán lo suficientemente curadas.

Con respecto a la distribución del encolado, el curado del producto será tanto más homogéneo cuanto más homogéneo sea el reparto del encolado en el volumen del material. En aquellas zonas donde haya más concentración de encolado, las fibras de vidrio quedarán más adheridas



entre sí. Además, es importante que el nivel de LOI sea correcto porque determina una de las propiedades más importantes del producto, que es su resistencia al fuego.

La distribución de la humedad en el material debe ser lo más homogénea posible para que también lo sea el proceso de curado. La evaporación se prolongará durante más tiempo en las zonas con exceso de agua, lo que puede provocar que no se alcance en ellas la temperatura de curado mínima o se alcance durante un tiempo insuficiente. Lo contrario sucede en las zonas con una cantidad insuficiente de agua. Si la humedad es demasiado baja, la lana estará seca y dará lugar a malas propiedades mecánicas, y si es demasiado elevada, algunas zonas se quedarán sin curar y ello también dará lugar a malas propiedades mecánicas.

En general, la distribución de las fibras, agua y encolado varía a lo largo del espesor del producto debido a las características del proceso de conformación de las fibras: al salir de las máquinas de fibraje, son aspiradas hacia abajo para que se depositen en el transportador inferior. Por eso, en la parte inferior del colchón de lana se concentra más material que en la parte superior del espesor.

Finalmente, se debe evitar que el material que entra en el horno tenga una temperatura demasiado elevada para que no se produzca prepolimerización o preevaporación. El mejor rango de temperaturas es de 30 a 40°C.

Por lo tanto, la calidad de la lana antes del horno es un parámetro clave para conseguir un curado homogéneo y un producto con buenas propiedades mecánicas, por lo que es el primer parámetro que se debe optimizar. La calidad de la lana antes de la estufa está determinada, principalmente, por la homogeneidad en la distribución de las fibras, agua y encolado.

1.12.6.4 Reglajes en función del producto y de las condiciones de la línea

Los productos se pueden clasificar en tres grupos en función de nivel de fragilidad (o resistencia):

1.12.6.4.1 Productos frágiles

Tienen un gramaje bajo, ya sea porque poseen baja densidad, bajo espesor o ambos. Oponen menos resistencia al flujo de aire y son fácilmente comprimibles por él. Por tanto, son los productos a los que menor gradiente de presión se les debe someter para evitar dañarlos. Para compensarlo, se aumenta la temperatura del aire y de los transportadores para favorecer la transmisión de calor por conducción.

1.12.6.4.2 Productos resistentes

Tienen un gramaje alto, ya sea porque poseen alta densidad, alto espesor o ambos. Estos productos son prácticamente insensibles al gradiente de presión en lo que se refiere a su deformación y oponen gran resistencia mecánica al flujo de aire. Por eso, son los productos a los que mayor gradiente de presión se les debe someter para favorecer la transmisión de calor por convección (la predominante en la estufa). Esto permite reducir la temperatura del aire y de los transportadores.



1.12.6.4.3 Productos de resistencia media

Tienen un gramaje medio, ya sea porque poseen media densidad y espesor, alta densidad y bajo espesor o baja densidad y alto espesor. El máximo gradiente de presión que soportan es intermedio.

1.12.6.4.4 Sentidos de los flujos de aire

Para establecer correctamente los sentidos de los flujos de aire, primero se debe minimizar el número de inversiones del sentido del aire, ya que son causa de turbulencias. En segundo lugar, se debe tener en cuenta que, en general, el producto tiene más densidad en la parte inferior de su espesor que en la parte superior debido a la mayor concentración de material en esta zona.

Por tanto, la dirección de soplado en las primeras zonas de calentamiento debe ser de abajo hacia arriba para que se empiece a curar más la parte con mayor contenido de agua y encolado, para que el empuje del aire contribuya a igualar la densidad del producto a lo largo de su espesor y, además, para evitar dañar su cara superior, más frágil que la inferior. En las últimas zonas de calentamiento se debe invertir el sentido del flujo para compensar el curado de la parte superior. Por lo tanto, los sentidos de soplado adecuados para un horno con cinco zonas de calentamiento son los tres primeros cajones de abajo hacia arriba y los dos últimos, de arriba hacia abajo.

La dirección del aire soplado en cada zona se ajusta mediante la apertura o cierre de las derivaciones de esa zona de calentamiento. Entonces, si la derivación de la cámara de impulsión está abierta (es decir, permite que el flujo de aire acceda a la zona de calentamiento), todo ese aire atravesará el producto de arriba hacia abajo y la derivación de la cámara de retorno (por la que sale el aire) deberá estar cerrada para permitir la reinyección del flujo en los quemadores. Si, por el contrario, la derivación por la que entra el aire está cerrada, se obliga al flujo a introducirse en la cámara de calentamiento por la parte inferior, por lo que atravesará el material de abajo hacia arriba y la derivación de salida deberá estar abierta para permitir la salida del flujo de aire.

1.12.6.4.5 Gradientes de presión

Se debe establecer el gradiente de presión en el máximo admitido por el producto -teniendo en cuenta si se trata de un producto frágil o resistente- para favorecer la transferencia de calor por convección forzada (movimiento del flujo de aire a través del producto), ya que supone el 75% del calor transferido al material. Sin embargo, el máximo gradiente de presión admitido por el producto depende de la zona de calentamiento en la que se encuentra el material dentro del horno, de los sentidos del flujo de aire y de la zona donde se produzca la inversión del flujo. Ello se explica a continuación.

Para el caso de un horno con cinco zonas de calentamiento, con sentidos de soplado de abajo hacia arriba en las tres primeras zonas y en sentido contrario en las dos últimas, sucede lo siguiente:

1. Al entrar en la primera zona de calentamiento, el material es más frágil y comprimible que en cualquier otro punto del horno porque no está curado, por lo que carece de



propiedades mecánicas. Por tanto, el máximo gradiente de presión que admite será menor que en el resto de las zonas de calentamiento. Como el sentido del flujo es de abajo hacia arriba, el curado del producto será mayor en la cara inferior e irá disminuyendo a medida que se asciende por el espesor del producto.

2. Según va avanzando el producto por las zonas de calentamiento dos y tres, el curado del producto se produce de la misma forma que en la primera zona de calentamiento (porque el sentido de flujo es el mismo), pero con una diferencia: el material va adquiriendo propiedades mecánicas. Esto lo hace más resistente y, entonces, su gradiente máximo admisible aumenta. Por tanto, el gradiente de presión de la zona dos será mayor que el de la zona uno, y el de la zona tres será mayor que el de la zona dos.
3. Al pasar de la zona tres a la zona cuatro, se produce la inversión del flujo de aire. Por tanto, este aire incidirá sobre la cara superior del producto, que es la superficie más frágil por ser la que menos curada está. Esto implica que el gradiente de presión máximo admisible disminuye (aunque es mayor que en la zona de calentamiento uno).
4. Finalmente, en la zona cinco el producto termina de curarse, sobre todo por la parte superior de su espesor, y el gradiente de presión máximo admitido vuelve a aumentar porque el producto ya adquirió buena parte de sus propiedades mecánicas.

La Figura 109 muestra el perfil que debe seguir el gradiente de presión con los sentidos de soplado indicados.

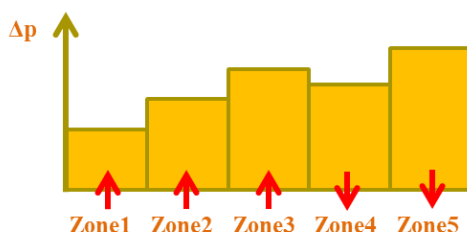


Figura 109: Perfil que debe seguir el gradiente de presión del producto dentro de la estufa.

Los dos parámetros que permiten ajustar el gradiente de presión son la velocidad de los ventiladores de circulación y el grado de apertura de las derivaciones.

La velocidad de los ventiladores de circulación se debe ajustar antes que las derivaciones. Ello permite seleccionar la fuerza con la que se impulsa el aire y, por tanto, el gradiente de presión al que queda sometido el producto. En general, se debe ajustar la velocidad para obtener el máximo gradiente de presión admitido por el producto. Una modificación de este parámetro tiene un impacto muy significativo en el perfil de temperatura del producto, ya que afecta directamente a la convección, que supone el 75% del calor transmitido al material.

A continuación, se define el grado de apertura de las derivaciones.

Las principales funciones de las derivaciones son:



- Derivar parte del aire para reducir el gradiente de presión al que se somete al producto. Se emplea, principalmente, al principio del curado o en la zona siguiente a la inversión de flujo, donde el material es más frágil.
- Calentar las paletas de los transportadores para evitar la adherencia del producto a ellas y fomentar la transferencia de calor por conducción (se explica en el apartado “Temperaturas de los transportadores”).

Si la derivación por la que entra el aire está completamente abierta, el sentido del flujo será de arriba hacia abajo, y si está totalmente cerrada, el sentido del flujo será el opuesto. En ambos casos, el producto está sometido al máximo gradiente de presión, ya que al tener un grado de apertura o de cierre del 100%, se está haciendo pasar todo el aire a través del material. En el primer caso, el gradiente de presión será positivo porque la cara superior del material se encuentra a mayor presión que la cara inferior, y en el segundo caso, el gradiente será negativo.

Sin embargo, es posible reducir el gradiente de presión al que queda sometido el producto si se ajusta una apertura de las derivaciones diferente del 0 o del 100%. Partiendo de una apertura de la derivación del 100 %, a medida que se reduce el nivel de apertura, más pequeño se hace el gradiente de presión positivo. Cuando se alcanza el 50 %, cada mitad del flujo de aire atravesaría el material en sentido opuesto, por lo que ambos flujos se anularían y el gradiente de presión sería nulo. Si se continúa disminuyendo la apertura desde el 50 hasta el 0 %, la derivación estaría cada vez más cerrada, por lo que estaría aumentando la cantidad de aire que atraviesa el producto de abajo hacia arriba y el gradiente de presión se estaría haciendo cada vez más negativo.

A continuación, se proporciona un conjunto de valores orientativos del nivel de apertura de las derivaciones en función de la resistencia de los productos.

- Productos frágiles: 15 – 20%: se reduce el gradiente de presión para evitar dañar al producto. Además, el aire derivado calienta las paletas de los transportadores, lo que favorece la transmisión de calor por conducción (contacto del producto con las paletas).
- Productos de resistencia media: 10%.
- Productos resistentes: 0 – 5%: el aire derivado se minimiza para mantener el máximo gradiente de presión.

En cualquier caso, no se debe superar el 20% porque el flujo de aire perdería eficiencia.

1.12.6.4.6 Temperaturas de los flujos de aire

El control de la temperatura es uno de los parámetros clave del proceso de curado. Las temperaturas de los flujos de aire se regulan a través de las temperaturas de los quemadores. Es el siguiente parámetro del horno que se debe ajustar, después de los gradientes de presión. Como regla general, se debe establecer en el mínimo requerido para que el producto se cure correctamente, siendo esta temperatura mayor con los productos frágiles que con los resistentes ya que, con los primeros, se busca fomentar la transmisión de calor por conducción para evitar que la fuerza del aire dañe el producto. Sin embargo, la temperatura que se debe ajustar depende de la zona en la que se encuentra el material dentro del horno, de los sentidos del flujo de aire y de la zona donde se produzca la inversión del flujo, según se explica a continuación.



Para el caso de un horno con cinco zonas de calentamiento, con sentidos de soplado de abajo hacia arriba en las tres primeras zonas y en sentido contrario en las dos últimas, sucede lo siguiente:

1. Al entrar en la primera zona de calentamiento, el material es más frágil y comprimible que en cualquier otro punto del horno porque no está curado, por lo que carece de propiedades mecánicas. Por tanto, el gradiente de presión debe ser menor que en el resto de las zonas y la temperatura debe ser más elevada para fomentar la transferencia de calor por conducción.
2. Según va avanzando el producto por las zonas de calentamiento dos y tres, el material se cura y va adquiriendo propiedades mecánicas. Esto lo hace más resistente, por lo que se puede aumentar el gradiente de presión y disminuir la temperatura.
3. Al pasar de la zona tres a la zona cuatro, se produce la inversión del flujo de aire. Por tanto, este aire incidirá sobre la cara superior del producto, que es la superficie más frágil por ser la que menos curada está. Se debe disminuir el gradiente de presión y aumentar la temperatura hasta, prácticamente, los reglajes de la zona uno.
4. Finalmente, en la zona cinco el producto termina de curarse y ya ha adquirido buena parte de sus propiedades mecánicas, por lo que admite un mayor gradiente de presión y una menor temperatura del aire.

1.12.6.4.7 Temperaturas de los transportadores

En la sección de entrada de la estufa, las temperaturas óptimas de las paletas de los dos transportadores son:

- 200 – 210°C para productos frágiles: al ser productos ligeros, se debe fomentar la transferencia de calor por conducción, es decir, mediante el contacto directo de las paletas de los transportadores con las superficies del producto. Esto es especialmente relevante en las primeras zonas de calentamiento, donde el producto es más frágil porque aún está sin curar.
- 180 – 200°C para productos resistentes: el rango de temperaturas es menor porque en estos productos se fomenta más la transmisión de calor por convección (a través de un mayor gradiente de presión) que por conducción, ya que son más resistentes.
- 190 – 200°C para productos con superficie de poliéster: su rango de temperaturas es intermedio porque si las paletas están muy calientes, podrían quemar la superficie de poliéster y provocar un incendio.

Es importante mantener la temperatura de los transportadores dentro de los rangos anteriores porque, además, se evita la adherencia del producto a las paletas.

Para controlar la temperatura de las paletas, se puede ajustar la apertura de las derivaciones de las zonas de calentamiento para conseguir que la parte que retorna de los transportadores esté en la zona caliente o en la zona fría de las zonas de calentamiento.



Para realizar correctamente el ajuste anterior, se deben considerar dos factores: en primer lugar, que en la primera zona de calentamiento y en la zona siguiente a la inversión, el material es más frágil porque está sin curar, por lo que es conveniente favorecer la transmisión de calor por conducción, es decir, propiciar la transferencia de calor por contacto directo de los transportadores con el producto. En cambio, en las últimas zonas de calentamiento, el producto está más curado, por lo que sus propiedades mecánicas son mejores y esto permite hacer prevalecer la convección.

En segundo lugar, hay que tener en cuenta que el sentido de giro de los transportadores implica que, al retornar en la sección de entrada, las paletas entran en contacto con las caras del producto, mientras que el retorno en la sección de salida supone que las paletas se alejan del producto. Entonces, en las zonas de calentamiento correspondientes a la primera mitad de la longitud del horno, se deberían abrir las derivaciones para que parte del flujo de impulsión caliente las paletas de los transportadores (en vez de atravesar el producto). Así, cuando esta parte de los transportadores retorne en la sección de entrada y entre en contacto con el producto, habrá alcanzado la temperatura suficiente para una buena transmisión de calor por conducción. Esto se denomina “precalentamiento de las paletas”. En cambio, en la segunda mitad de la longitud del horno, el producto está parcialmente curado y es más resistente al flujo de aire, por lo que es conveniente cerrar las derivaciones para que todo el flujo atraviese el producto y no haya fugas de aire, favoreciendo así la convección.

1.12.6.4.8 Espesor del producto en el horno

El espesor del producto dentro del horno queda determinado por la separación entre los transportadores, que se ajusta mediante el desplazamiento vertical del transportador superior. Para algunos productos, su espesor nominal coincide con el que se le da dentro del horno. Sin embargo, el espesor dentro del horno de la mayoría de los productos es, aproximadamente, entre un 20 y un 50% superior al nominal porque aguas abajo del horno el producto se comprime, y ello compensa el sobreepesor del horno.

En cualquier caso, hay que asegurarse de que los transportadores siempre estén en contacto con el producto, ya que esto garantiza que el aire pasa a través de él y que hay una buena transferencia de calor por convección.

1.12.6.4.9 Tiempo que permanece el producto dentro del horno

El tiempo que permanece el producto en el horno queda determinado por la velocidad de la línea, que es la consigna que se establece para la velocidad de los transportadores del horno.

1.12.6.4.10 Aspiraciones de los humos

Las velocidades de los ventiladores de extracción de los humos se deben ajustar al mínimo para evitar que los humos salgan por las puertas frontales de las secciones de entrada y salida, para evitar que entre aire del exterior y para no absorber más calor del inevitable del interior de la estufa.

Este reglaje depende del producto fabricado y del estado en el que se encuentran los conductos por los que se extraen los humos. Cuanto mayor es la cantidad de humos generados por el



producto que se está fabricando, mayor aspiración de humos se requerirá. Y cuanto más limpios están los conductos de extracción de humos, menos fuerza se requiere para aspirar. Según pasa el tiempo, los conductos se obstruyen progresivamente como consecuencia de la deposición de fragmentos de fibra y resina, lo que hace que haya que incrementar significativamente la velocidad de los ventiladores.

1.12.6.5 Ajuste de los parámetros teniendo en cuenta consideraciones energéticas

- Sentidos de los flujos de aire: se deben ajustar las derivaciones de forma que se minimice el número de inversiones del flujo, ya que generan turbulencias y, por tanto, restan eficiencia al proceso de transferencia de calor.
- Velocidades de los ventiladores: deben ser las necesarias para establecer el gradiente de presión requerido. Si es excesiva, se incrementa el consumo eléctrico de los ventiladores, se puede dañar el producto o generar pérdidas energéticas por sobrecurado.
- Temperaturas de los quemadores: deben ser las necesarias para curar correctamente el producto y mantener la temperatura de los transportadores en sus niveles adecuados. Un exceso de temperatura conlleva un mayor consumo de gas y pérdidas energéticas (por exceso de curado), pudiendo llegar a quemar las superficies del producto.
- Velocidades de los ventiladores de extracción de los humos: deben establecerse al mínimo para evitar que los humos salgan por las puertas frontales de las secciones de entrada y salida, para evitar que entre aire exterior y para no absorber más calor del inevitable del interior de la estufa.

1.12.6.6 Ajustes para casos excepcionales

1.12.6.6.1 Deslizamiento

En algunos productos, se desea que una de sus caras sea muy lisa y uniforme. Esto se consigue generando un movimiento relativo entre el transportador que se encuentra en contacto con esa cara, y el producto, de forma que el movimiento del transportador pule esa superficie del material. Por lo tanto, existirá una desincronización controlada de velocidad entre los dos transportadores. El procedimiento seguido para obtener el efecto en la cara superior o en la inferior se describieron en apartados anteriores.

1.12.6.6.2 Geometría especial del producto

Los productos destinados a la fabricación de conductos de climatización tienen una característica geométrica especial. Consiste en una huella practicada en cada borde que le confiere una forma machihembrada para permitir la unión de varias unidades alineadas. Para obtener esta huella, se coloca un taco o talón en uno de los extremos de cada paleta del transportador superior y otro en el extremo opuesto de cada paleta del transportador inferior (explicación e ilustración en apartados anteriores).



1.12.6.6.3 Agujeros de las paletas obstruidos

La obstrucción de los agujeros de las paletas empeora significativamente la transferencia de calor por convección porque dificulta el paso del flujo de aire a través de ellas, lo que puede obligar a detener la línea. Sin embargo, existen un conjunto de medidas que se pueden adoptar (excepcionalmente) si resulta imprescindible mantener la línea en funcionamiento y seguir fabricando producto. Todas estas medidas están orientadas a aumentar la transferencia de calor por conducción (y la temperatura de los transportadores) y a alterar ligeramente las características del producto para que aproveche mejor este tipo de transferencia de calor, sobre todo con productos de elevada densidad y/o espesor. Se trata de incrementar la temperatura de los transportadores, disminuir el nivel de pérdida al fuego (LOI), el contenido de humedad, el espesor del material antes del horno, la velocidad de la línea y de aumentar el micronaire. La primera medida, encargada de potenciar la conducción del calor, es la única que no tiene impacto negativo. Aunque todas las demás medidas se llevarían a cabo respetando sus límites de tolerancia, deteriorarían ligeramente la calidad de la lana que entra en el horno o reducirían la capacidad de producción.

Aumento de la temperatura de los transportadores

La temperatura de los transportadores se incrementa con la temperatura de los quemadores y mediante la apertura de las derivaciones, de forma que parte del aire de impulsión se dirige directamente a los transportadores (sin atravesar el producto), a los que transfiere calor por convección.

Disminución del nivel de pérdida al fuego (LOI)

Aunque cada producto tiene asociado un nivel de pérdida al fuego o cantidad de encolado (LOI), existen tolerancias dentro de las cuales se puede variar este contenido. Así, cuanto menor sea el nivel de LOI en la lana, menos cantidad de encolado necesitará ser polimerizado, lo que permite tener el producto menos tiempo en el horno (manteniendo la temperatura) o disminuir la temperatura (si se mantiene la velocidad de la línea). Para el caso en que los agujeros de las paletas están obstruidos, la degradación de la convección se ve compensada por la menor cantidad de encolado que hay que polimerizar (sin alterar la velocidad de la línea ni la temperatura de los quemadores).

Reducción del contenido de humedad

Si se reduce el contenido de humedad al mínimo admitido por el producto, se reduce la duración de la primera fase del curado (evaporación del agua), ya que se tarda menos tiempo en evaporar toda la humedad. Entonces, quedará más tiempo para continuar aumentando la temperatura del producto y para polimerizar el encolado.

Disminución del espesor de la lana antes de la estufa

El espesor de la lana tiene un rango de tolerancias dentro del cual puede ser modificado. Así, si se disminuye el espesor al mínimo admitido para el producto que se está fabricando, se puede aumentar la transferencia de calor por conducción (temperatura de los transportadores) y, además, se facilita el paso del aire a través del material (convección).



Disminución de la velocidad de la línea

Otra forma de compensar la disminución de la transferencia de calor al producto es aumentando el tiempo que se encuentra dentro del horno.

Aumento del micronaire

Se puede variar el micronaire del producto dentro de su rango de tolerancias, de forma que cuanto mayor es el micronaire (fibras de vidrio más gruesas), menos resistencia opone al flujo de aire y mejor aprovecha la convección.



2. MEDIDAS PARA EL BALANCE DE POTENCIA

2.1 BLOQUES DE MEDIDAS

El conjunto de medidas que hay que tomar se puede clasificar en siete bloques, que son los siguientes:

- Condiciones ambientales.
- Características del producto y de la línea.
- Parámetros de la estufa.
- Temperaturas de todas las superficies del horno.
- Temperaturas de las paletas de los transportadores.
- Perfil de temperatura del producto en el horno (Datapaq)
- Presiones y temperaturas de los humos aspirados.

Además de los bloques anteriores, se debe registrar el tiempo de duración de las mediciones. En el caso de la toma de medidas para el producto PV Acustiver, la duración fue de 3,333 horas.

2.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Los instrumentos que se utilizan, la medidas que proporcionan y los elementos a los cuales se aplican se muestran en la Tabla 9 y en la Tabla 9.

Instrumento	Pirómetro o pistola láser	Termopar
Imagen		
Medida	Temperatura	Temperatura
Elemento	Superficies del horno y transportadores	Ambiente y humos aspirados

Tabla 8: Instrumentos de medida y elementos a los que se aplican (1).



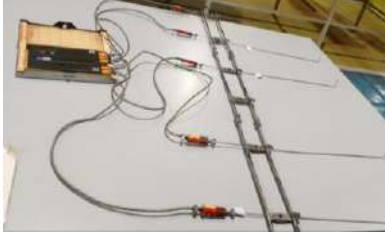
Instrumento	Datapaq	Tubo de Pitot
Imagen		
Medida	Perfil de temperatura	Presión estática relativa y presión dinámica relativa
Elemento	Producto dentro del horno	Humos aspirados

Tabla 9: Instrumentos de medida y elementos a los que se aplican (2).

2.3 PROCEDIMIENTO Y MEDIDAS OBTENIDAS

A continuación, se explica el procedimiento para obtener las medidas de cada uno de los bloques anteriores.

2.3.1 CONDICIONES AMBIENTALES

Se trata de las medidas de presión, temperatura y humedad relativa mostradas en la Tabla 10.



MEDIDAS: CONDICIONES AMBIENTALES	VALORES
Presión ambiental.	1006 mbar
Temperatura ambiente alrededor del horno (en una zona muy próxima a su superficie).	19°C
Temperatura ambiente alrededor de un quemador (en una zona muy próxima a su superficie).	24°C
Humedad relativa alrededor del horno.	80%
Humedad relativa alrededor de un quemador.	80%

Tabla 10: Valores de las medidas obtenidas sobre las condiciones ambientales.

La presión y las humedades relativas se pueden consultar en Internet, y las temperaturas se obtienen con el termopar.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO Y DE LA LÍNEA

Se trata de los parámetros del producto PV Acustiver mostrados en la Tabla 11.



MEDIDAS: CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO Y DE LA LÍNEA	VALORES
Espesor del producto antes del horno.	0,11 m
Espesor del producto dentro del horno.	0,063 m
Espesor nominal del producto.	0,05 m
Densidad nominal	14 kg/m ³
Tipo de encolado.	R232
Porcentaje de corte de bandas.	11,76%
Micronaire.	22,233 L/min
Humedad del material antes de la estufa.	1,82%
Pérdida al fuego (LOI).	4,05%
Tirada.	56 t/día
Velocidad de la línea.	48,6 m/min
Anchura de la línea.	1,2 m

Tabla 11: Valores de las medidas obtenidas sobre las características del producto.

El espesor del producto antes del horno es variable, pues las fibras no se encuentran adheridas y tienen cierta volatilidad. Por eso, para obtener este espesor, se deben realizar varias medidas y calcular la media. El aparato utilizado consta de una placa de varios milímetros de grosor atravesada por su centro por una varilla metálica con un extremo preparado para sujetarla y el otro extremo con punta afilada. La varilla y la placa tienen movimiento relativo entre ellas.



Para realizar una medida, se sujeta el aparato por el extremo no puntiagudo en posición vertical y unos centímetros por encima del colchón de lana, de forma que la placa esté paralela al colchón, y se deja caer el aparato sobre la lana. La varilla se habrá clavado en el producto y habrá atravesado todo su espesor, quedando la placa apoyada en la superficie del colchón. Sin dejar pasar demasiado tiempo (debido al movimiento de la línea), se debe retirar el aparato sujetando la placa, para evitar que ésta se desplace de la posición adquirida. El espesor del producto viene dado por la distancia que hay entre el externo puntiagudo de la varilla y la posición de la placa, que se puede medir con una regla o un metro. De la misma forma, se repite el procedimiento varias veces para obtener varios valores del espesor del producto, se calcula la media de todos ellos y éste será el espesor final del producto antes del horno.

El espesor del producto dentro del horno viene dado por la distancia entre los transportadores. Puede no coincidir con el espesor nominal debido al sobreespesor que se le da dentro de la estufa.

El espesor nominal, la densidad nominal y el tipo de encolado son parámetros propios de ese producto y se conocen sin necesidad de realizar ninguna medida.

Para obtener el porcentaje de corte de las bandas, se realizan dos medidas: la anchura del producto al salir del horno (cuando todavía no se le han retirado las bandas), y la anchura del producto tras el corte de las bandas. El porcentaje de corte de las bandas se obtiene según la siguiente expresión:

$$\% \text{ corte de bandas} = \frac{\text{Anchura total} - \text{Anchura sin bandas}}{\text{Anchura total}} \cdot 100$$

El micronaire, la humedad del material antes de la estufa y la pérdida al fuego son parámetros que miden los operarios de la línea cada cierto tiempo para cada producto.

Finalmente, la tirada y la velocidad de la línea se pueden consultar en los parámetros de ajuste de la estufa.

2.3.3 PARÁMETROS DE LA ESTUFA

Este bloque comprende cuatro tipos de medidas:

- Características de la estufa (Tabla 12).
- Parámetros de ajuste de la estufa (Tabla 13).
- Características del gas empleado en la combustión (Tabla 14).
- Consumos de los motores eléctricos que accionan los diferentes elementos de la estufa (Tabla 15).



Características de la estufa

MEDIDAS: CARACTERÍSTICAS DE LA ESTUFA	VALORES
Tipo de horno de polimerización.	ACC
Número de zonas de calentamiento.	5
Longitud del horno.	37,75 m
Altura del horno.	3,8 m
Anchura del horno.	3,1 m
Fracción de suelo del horno en contacto con el aire.	0,2

Tabla 12: Valores de las medidas obtenidas sobre las características de la estufa.

El tipo de horno hace referencia a su fabricante: ACC La Jonchere, de origen francés. El número de zonas de calentamiento se obtiene contando los cajones que tiene el horno, y sus dimensiones se miden en el plano.

La fracción de suelo del horno en contacto con el aire es la parte del suelo del horno que no está en contacto con el suelo de la nave, es decir, que está en altura. Este dato es necesario porque, al realizar los cálculos del balance energético, se desprecia la transmisión de calor al suelo de la nave y sólo se considera el intercambio de calor con el aire. El horno de polimerización de la línea B tiene toda su base en contacto con el suelo, excepto las secciones de entrada y salida. Se ha estimado un valor de 0,2 (20% del suelo de la estufa en contacto con el aire) aplicando la siguiente expresión:

$$\text{Fracción} = \frac{\text{Longitud sección entrada} + \text{Longitud sección salida}}{\text{Longitud total del horno}}$$



Parámetros de ajuste de la estufa

MEDIDAS: PARÁMETROS DE AJUSTE DE LA ESTUFA	VALORES				
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Velocidad de los ventiladores de impulsión.	744 rpm	796 rpm	845 rpm	888 rpm	940 rpm
Sentido del flujo de aire.	↓	↑	↑	↓	↓
Apertura de las derivaciones.	30%	0%	0%	0%	0%
Temperatura de quemadores.	243,3°C	257,5°C	255,6°C	253,5°C	249,2°C
MEDIDAS: PARÁMETROS DE AJUSTE DE LA ESTUFA	VALORES				
	SECCIÓN DE ENTRADA		SECCIÓN DE SALIDA		
Velocidad de los ventiladores de extracción de los humos.	1290 rpm		1495 rpm		
MEDIDAS: PARÁMETROS DE AJUSTE DE LA ESTUFA	VALORES				
Velocidad del transportador superior.	48,52 m/min				
Velocidad del transportador inferior.	48,61 m/min				

Tabla 13: Valores de las medidas obtenidas sobre los parámetros de ajuste de la estufa.

Todos los parámetros de ajuste del horno se pueden consultar en el ordenador de control de la estufa. Este ordenador tiene un conjunto de sinópticos que permiten establecer las consignas de los parámetros y mostrar los valores reales que toman esos parámetros. En la Tabla 13 se



muestran los valores reales. Los sinópticos utilizados para obtener la información han sido el general del horno completo y cinco específicos, cada uno correspondiente a un cajón de calentamiento.

Características del gas empleado en la combustión

MEDIDAS: CARACTERÍSTICAS DEL GAS EMPLEADO EN LA COMBUSTIÓN	VALORES
Gas.	Metano
Exceso de aire.	30%
Caudal de gas.	16,64 m ³ /h
Presión absoluta del gas.	3456 mbar
Temperatura del gas.	20°C

Tabla 14: Valores de las medidas obtenidas sobre las características del gas de combustión.

El exceso de aire es un dato desconocido o de difícil obtención, por lo que se estimó un valor del 30%.

El caudal de gas se obtiene a partir de los datos de consumo de gas de cada quemador. Estos datos son proporcionados por contadores absolutos, que miden, en m³, el volumen de gas total consumido por cada quemador hasta ese momento (hay un contador por quemador). Cuando alcanzan su máximo valor de medida, retornan al cero y comienzan a sumar de nuevo. Por lo tanto, para obtener el caudal de gas en m³/h, es necesario registrar el consumo de gas de cada quemador en dos momentos espaciados suficientemente en el tiempo, por ejemplo, al comenzar y al terminar todas las mediciones. Aplicando las siguientes expresiones, se obtiene el caudal total:

$$\text{Caudal del quemador } i = \frac{\text{Volumen de gas final} - \text{Volumen de gas inicial}}{\text{Tiempo transcurrido}}$$

$$\text{Caudal total} = \sum_{i=1}^5 \text{Caudal del quemador } i$$



La presión absoluta del gas es un dato proporcionado por el equipo de mantenimiento, y la temperatura del gas se aproxima por la temperatura ambiente en una zona colindante con un quemador.

Consumos eléctricos de la estufa

MEDIDAS: CONSUMOS ELÉCTRICOS DE LA ESTUFA	VALORES				
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Potencia de los ventiladores de impulsión.	25,72 kW	26,8 kW	27,02 kW	28,25 kW	26,86 kW
Potencia de los ventiladores de combustión.	15 kW	15 kW	15 kW	15 kW	15 kW
MEDIDAS: CONSUMOS ELÉCTRICOS DE LA ESTUFA	VALORES				
	SECCIÓN DE ENTRADA		SECCIÓN DE SALIDA		
Potencia de los ventiladores de extracción de los humos.	20,3 kW		15,6 kW		
MEDIDAS: CONSUMOS ELÉCTRICOS DE LA ESTUFA	VALORES				
Potencia del transportador superior.	24,4 kW				
Potencia del transportador inferior.	34,51 kW				

Tabla 15: Valores de las medidas obtenidas sobre los consumos eléctricos de la estufa.

Todos las potencias anteriores se calculan a partir de los datos de intensidad consumida por cada uno de los motores eléctricos que accionan los elementos anteriores. Estos datos de intensidad se muestran en los sinópticos del ordenador de control de la estufa. Aplicando la siguiente expresión, se obtiene la potencia a partir de la corriente eléctrica:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot I \cdot 0,9$$

2.3.4 TEMPERATURAS DE TODAS LAS SUPERFICIES DEL HORNO

Se deben medir con un pirómetro las temperaturas de todas las superficies de la estufa (techo, suelo y laterales). Para ello, se toman las temperaturas en varios puntos de cada cajón y se calcula la temperatura media de cada superficie de ese cajón. Por lo tanto, cuantos más puntos de medición haya, más representativas serán las medias.

En la Figura 110 y en la Figura 111 se muestran los puntos donde se han tomado las medidas para un lateral y el techo. Se presentan para un único cajón, ya que el resto se realizaron de forma análoga.

Como las únicas partes del suelo del horno que están en contacto con el aire son las secciones de entrada y salida, sólo se tomaron medidas de temperatura del suelo para estas dos zonas, utilizando los puntos de medida mostrados en la Figura 112.

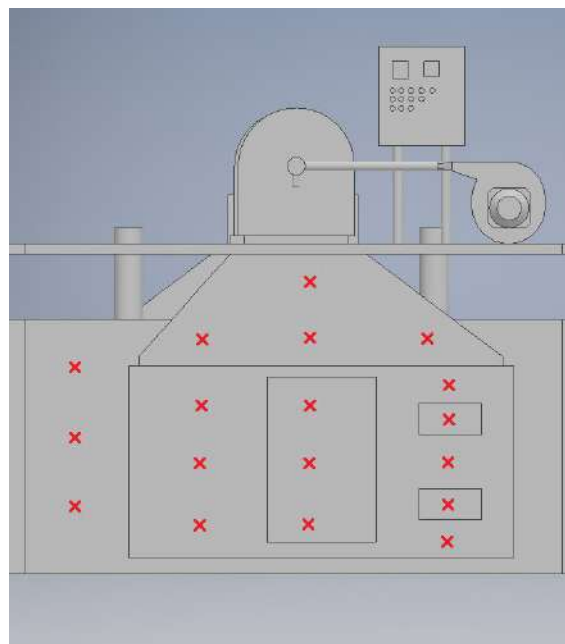
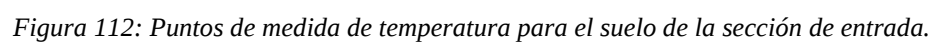
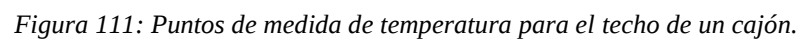


Figura 110: Puntos de medida de temperatura para la superficie lateral de un cajón.



La Tabla 16 muestra las temperaturas medias obtenidas para cada superficie.



MEDIDAS: TEMPERATURAS DE LAS SUPERFICIES DE LA ESTUFA	VALORES				
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Temperaturas medias del lateral izquierdo.	33,28°C	33,81°C	39,87°C	25,33°C	32,34°C
Temperaturas medias del lateral derecho.	34,87°C	47,67°C	37,94°C	41,92°C	35,21°C
Temperaturas medias del techo.	42,12°C	41,67°C	39,42°C	40,08°C	39,37°C
MEDIDAS: TEMPERATURAS DE LAS SUPERFICIES DE LA ESTUFA	VALORES				
	SECCIÓN DE ENTRADA		SECCIÓN DE SALIDA		
Temperaturas medias del lateral izquierdo.	36,67°C		32,83°C		
Temperaturas medias del lateral derecho.	34,11°C		38,67°C		
Temperaturas medias del techo.	36,61°C		41,28°C		
Temperaturas medias del suelo.	46,89°C		37,89°C		

Tabla 16: Medidas obtenidas de las temperaturas medias de las superficies de la estufa.

2.3.5 TEMPERATURAS DE LAS PALETAS DE LOS TRANSPORTADORES

Se deben medir con un pirómetro las temperaturas de las superficies de los transportadores. Sin embargo, los únicos accesos directos que se tienen a los transportadores son sus extremos, a través de las puertas frontales de las secciones de entrada y salida. Por eso, sólo se toman las

temperaturas de los transportadores en sus extremos. Los puntos de medida se muestran en la Figura 113 para la sección de entrada, realizándose las mismas medidas en la sección de salida.

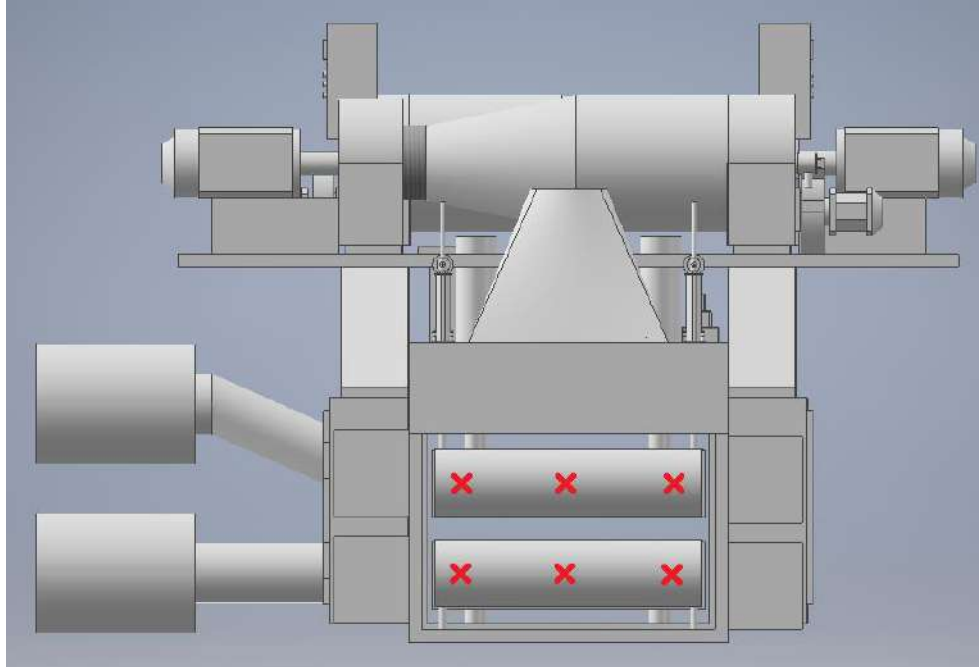


Figura 113: Puntos de medida de temperatura para las paletas de los transportadores en la sección de entrada.

En la Tabla 17 se muestran las medidas de temperatura obtenidas.



MEDIDAS: TEMPERATURAS DE LAS PALETAS DE LOS TRANSPORTADORES	VALORES EN LA SECCIÓN DE ENTRADA		
	IZQUIERDA	MEDIO	DERECHA
Temperaturas del transportador superior.	191°C	186°C	186°C
Temperaturas del transportador inferior.	180°C	172°C	170°C
MEDIDAS: TEMPERATURAS DE LAS PALETAS DE LOS TRANSPORTADORES	VALORES EN LA SECCIÓN DE ENTRADA		
	IZQUIERDA	MEDIO	DERECHA
Temperaturas del transportador superior.	194°C	189°C	190°C
Temperaturas del transportador inferior.	194°C	173°C	169°C

Tabla 17: Medidas obtenidas de las temperaturas de las superficies de los transportadores.

2.3.6 PERFIL DE TEMPERATURA DEL PRODUCTO EN EL HORNO (DATAPAQ)

El objetivo consiste en obtener, a partir del perfil de temperatura que desarrolla el producto dentro del horno, la temperatura inicial y la temperatura final. La temperatura inicial es la temperatura media que adquiere el producto un instante después de entrar en la primera zona de calentamiento, y la temperatura final es la temperatura media que alcanza el producto un instante antes de abandonar la quinta y última zona de calentamiento.

Para obtener la evolución de la temperatura de varios puntos del producto a su paso por el horno, se utiliza un instrumento de medida denominado “Datapaq”. Este aparato permite grabar la evolución de las temperaturas que recibe durante un determinado período de tiempo. Para ello, se le deben conectar tantos termopares como perfiles de temperatura se desee obtener, según muestra la Figura 114. Los termopares deben tener el extremo curvado hacia abajo para que, cuando se coloque el conjunto sobre el producto, éstos se introduzcan en su espesor.

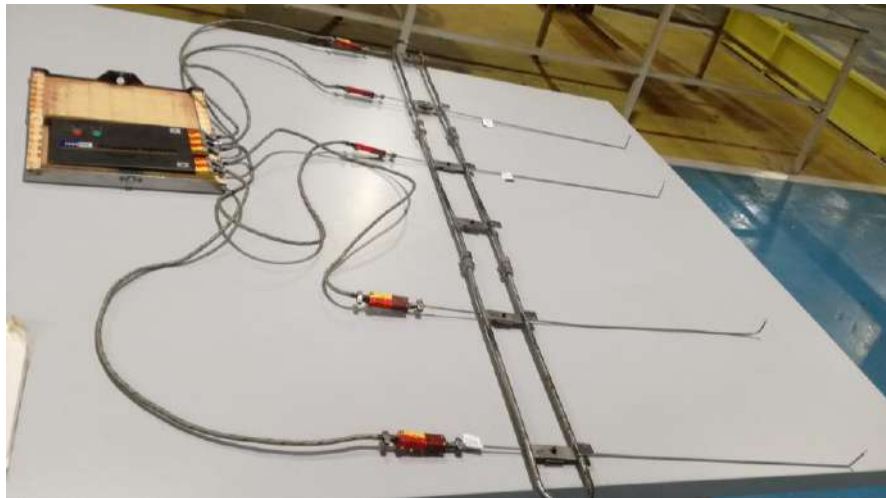


Figura 114: Datapaq con cinco termopares conectados.

La Figura 115 representa la curva Datapaq obtenida para el PV Acustiver, determinándose una temperatura inicial de 31,6°C y una temperatura final de 206,4°C.

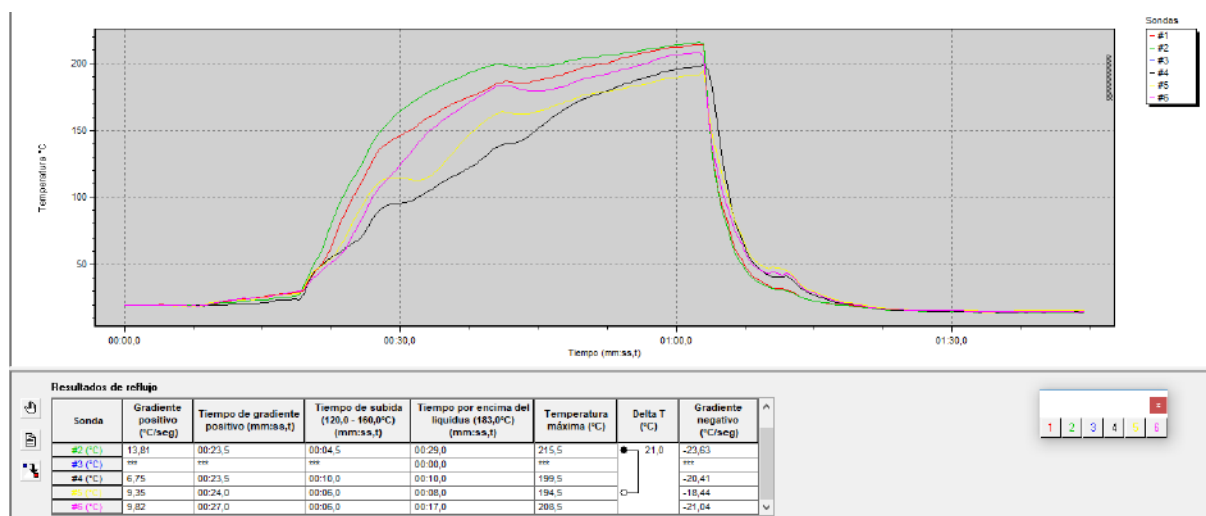


Figura 115: Evolución de la temperatura de cinco puntos del producto a su paso por el horno.

2.3.7 PRESIONES Y TEMPERATURAS DE LOS HUMOS ASPIRADOS

Este bloque comprende cinco tipos de medidas, todas ellas mostradas en la Tabla 18:

- Temperatura de los humos.
- Temperatura seca.
- Temperatura húmeda.
- Presión estática relativa.
- Presión dinámica relativa.



MEDIDAS: TEMPERATURAS Y PRESIONES DE LOS HUMOS ASPIRADOS	VALORES	
	SECCIÓN DE ENTRADA	SECCIÓN DE SALIDA
Diámetro interior de los conductos extractores.	594 mm	594 mm
Temperatura de los humos.	165°C	153°C
Temperatura seca.	165°C	153°C
Temperatura húmeda.	48°C	45°C
Presión estática relativa.	-1,8 mbar	0 mbar
Presión dinámica relativa.	0,2 mbar	0 mbar

Tabla 18: Medidas obtenidas de las temperaturas medias de las superficies de la estufa.

Todas estas medidas se deben tomar en el interior de los conductos de aspiración de humos. Existen estufas que tienen tres conductos: en la sección de entrada, en la sección de salida y en un cajón intermedio. La estufa de la línea B sólo tiene dos (los de las secciones de entrada y salida).

Para obtener las medidas anteriores, es necesario introducir en el conducto el termopar (para las temperaturas) y el tubo de Pitot (para las presiones). Por lo tanto, fue necesario realizar dos agujeros en cada conducto. En los siguientes apartados, se explican con mayor detalle los requisitos que deben cumplir estos puntos de medida, tanto para las presiones como para las temperaturas. Los agujeros están cubiertos por tapones roscados para evitar que se produzcan fugas a través de ellos. En la Figura 116 se muestran los agujeros realizados en cada conducto.



Figura 116: Agujeros en el conducto de la entrada (izquierda) y en el conducto de la salida (derecha).

Temperatura de los humos

La temperatura de los humos se debe medir en un punto del conducto lo más cercano posible de la estufa, hasta un máximo de dos metros de su techo. Para ello, hay que introducir el termopar en uno de los dos agujeros hechos en cada conducto, hasta situar la punta en el centro, y se debe esperar a que se estabilice la temperatura que marca el instrumento. La temperatura resultante estará comprendida entre 120 y 200°C.

Temperatura seca

Esta temperatura se debe medir en el lugar establecido por la norma de la Figura 117.

• Préconisations de montage

Longueurs droites amont et aval requises (DN = diamètre de la tuyauterie)

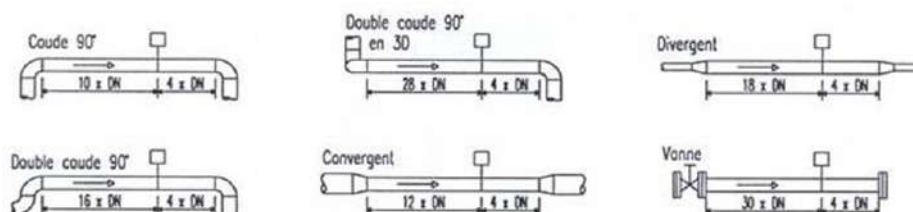


Figura 117: Norma para tomar medidas de presión y temperatura en conductos con diferentes geometrías.

En el caso de la estufa de la línea B, se trata de las condiciones de montaje mostradas en la segunda columna, segunda fila (convergencia).

Sin embargo, para los conductos con diámetros elevados (como los de esta estufa), no es posible cumplir la norma anterior. Entonces, se puede utilizar la norma general mostrada en la Figura 118, consistente en realizar dos agujeros contenidos en la misma sección transversal y en direcciones perpendiculares entre sí, con un diámetro máximo de cuatro pulgadas. Deben estar situados antes de cualquier inyección de agua y en una zona del conducto carente de cambios geométricos, si es posible, para evitar tomar las medidas en áreas turbulentas.

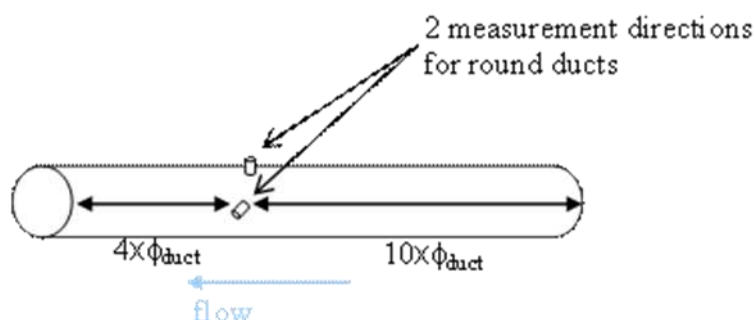


Figura 118: Norma general para realizar las medidas de presión y temperatura en un conducto.

Debido a las características geométricas de los conductos extractores de la estufa de la línea B, cuyos diámetros son de 594 mm, de nuevo no es posible situar los agujeros de medida a la distancia especificada en la norma de la Figura 118. Por eso, para tomar todas las medidas de este bloque, se han realizado los dos agujeros según se indica en la Figura 118, pero sin tener en cuenta las distancias que establece. En su lugar, los agujeros se han situado a menos de dos metros del techo del horno, condición necesaria para medir correctamente la temperatura de los humos.

Para medir la temperatura seca, se sigue el mismo procedimiento que para tomar la temperatura de los humos: se introduce el termopar en el agujero hasta el centro del conducto, aproximadamente, y se espera a que se estabilice la temperatura.

Temperatura húmeda

Esta temperatura se debe medir en el mismo lugar que la temperatura seca. El procedimiento para tomar la medida consiste en humedecer un paño o tela con agua y envolver con él el extremo del termopar. A continuación, se introduce el termopar hasta el centro del conducto y se observará el siguiente comportamiento en la temperatura mostrada por el aparato: primero, la temperatura se elevará; luego, permanecerá varios segundos estable alrededor de las mismas temperaturas; y, por último, volverá a aumentar. La temperatura húmeda es la medida durante el período estable. Es recomendable repetir varias veces el procedimiento y calcular la media de las temperaturas medidas en el período de estabilidad, ya que pueden fluctuar.

Presión estática relativa

La presión estática se mide en el mismo lugar que la temperatura seca y húmeda, y se utiliza el tubo de Pitot. Para ello, la lectura de presión total debe estar desconectada y la lectura de presión estática debe estar conectada al terminal positivo del manómetro. De esta forma, el aparato muestra directamente la presión estática relativa. A continuación, se introduce el tubo hasta la mitad del diámetro del conducto, situando su extremo en la dirección del flujo y apuntando en sentido contrario a él, según muestra la Figura 119, y se espera a que se estabilice la medida.

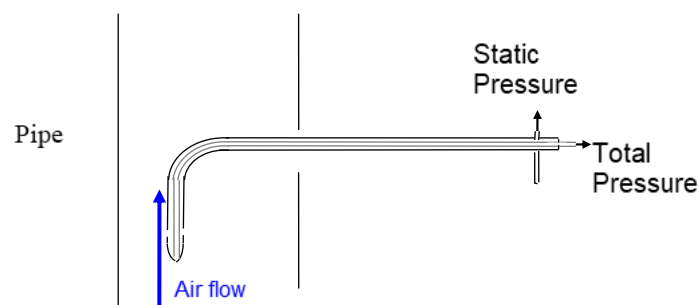


Figura 119: Medida de la presión estática relativa dentro de un conducto con el tubo de Pitot.

Presión dinámica relativa

La presión dinámica se mide en el mismo lugar que la temperatura seca y húmeda y que la presión estática, y se utiliza el tubo de Pitot. Para ello, la lectura de presión total (P_t) debe estar conectada al terminal positivo y la lectura de presión estática (P_e) debe estar conectada al terminal negativo del manómetro. Así, el aparato mostrará la diferencia entre ambas, que es la presión dinámica (P_d):

$$P_d = P_t - P_e$$

Para obtener la presión dinámica relativa, se deben registrar varias medidas realizadas en varios puntos equidistantes a lo largo del diámetro del conducto, y calcular la media. La distancia entre las medidas será, aproximadamente, de 5 cm, por lo que se tomarán entre once y doce medidas.



3. CÁLCULOS DEL BALANCE DE POTENCIA

3.1 BLOQUES DE POTENCIAS

En los cálculos realizados por el balance, se distinguen siete bloques. Cada bloque proporciona una potencia:

- Potencia para el producto (P_p): es la potencia utilizada para curar el producto, es decir, para evaporar el agua que contiene, para elevar su temperatura y para polimerizar el encolado.
- Potencia procedente del gas (P_g): es la potencia proporcionada por los quemadores.
- Potencia perdida a través de las aspiraciones de humos de las secciones de entrada y salida (P_h).
- Potencia procedente del aire precalentado (P_a).
- Potencia perdida a través de las superficies del horno (P_s).

El balance térmico se determina a partir de la siguiente ecuación, en la que intervienen todas las potencias anteriores:

$$P_g + P_a = P_p + P_h + P_s \pm \varepsilon$$

ε representa el error que puede haber debido a la precisión de los aparatos de medida.

A continuación, se muestran los cálculos realizados por el balance, que se clasifican según los siete bloques anteriores. Sin embargo, para realizar esos cálculos, es necesario definir previamente un conjunto de funciones y obtener una serie de variables.

Las funciones son las siguientes:

- Entalpía de vaporización.
- Presión de vapor (PVSAT).
- Mezcla de humedad (WABS).
- Humedad relativa (WABS2RH).
- Mezcla de humedad (RH2WABS).
- Número de Prandtl (PR).
- Número de Rayleigh (RA).
- Coeficiente de convección (HCONV0).

Las variables son relativas a los siguientes elementos:

- Transportadores.
- Superficies de la estufa.
- Humos aspirados.
- Producto.



- Condiciones ambientales.
- Encolado.

3.2 FUNCIONES

Entalpía de vaporización

$$\Delta H_{\text{vaporización}}(t) = \Delta H_{0^\circ\text{C}} + (Cp_{\text{vapor}} - Cp_{\text{líquido}}) \cdot t$$

$$= 1000 \cdot (2486 + (1,89 - 4,18) \cdot t)$$

- $\Delta H_{\text{vaporización}} \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$: energía necesaria para que 1 kg de una sustancia que se encuentra en equilibrio con su propio vapor a una presión de 1 atm pase completamente del estado líquido al estado gaseoso. Es función de la temperatura.
- $\Delta H_{0^\circ\text{C}}$
- Cp_{vapor}
- $Cp_{\text{líquido}}$

Presión de vapor (PVSAT)

$$PVSAT(t) = \frac{\text{Exp} \left(46,784 - \frac{6435}{t + 273,15} - 3,868 \cdot \text{Log}(t + 273,15) \right)}{760 \cdot 100/101.325}$$

- $PVSAT [\text{mbar}]$: presión de vapor en función de la temperatura.

Mezcla de humedad (WABS)

Proporciona la razón o mezcla de humedad de una mezcla de aire y agua en g de vapor/kg de aire seco a partir de la temperatura seca, de la temperatura húmeda y de la presión estática absoluta de la mezcla. Como variables intermedias se utilizan P_{vs} , P_v , L_v , Z .

$$P_{v \text{ sat}} = PVSAT(T_h) \quad L_v = \Delta H_{\text{vaporización}}(T_h)$$

$$W [\text{g vapor/kg aire seco}] = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{aire seco}}} = \frac{m_v}{m_a}$$

La humedad absoluta de saturación es la máxima cantidad de masa de vapor de agua que puede contener un volumen de aire en unas determinadas condiciones de presión y temperatura. Por lo tanto, habrá una razón o mezcla de humedad asociada a estas condiciones, W_{sat} , que se deduce a continuación.

La presión del aire seco es $P_a = P - P_v$, y también se cumple que $P_a \cdot V = m_a/M_a \cdot R \cdot T$. Por otro lado, y teniendo en cuenta que el volumen ocupado por la masa de aire seco de la mezcla es igual al volumen ocupado por la masa de vapor, se plantea la ecuación de los gases ideales



para la máxima cantidad de vapor de agua que puede tener la mezcla: $P_{v\ sat} \cdot V = m_{v\ sat}/M_{v\ sat} \cdot R \cdot T$. Finalmente, queda:

$$\frac{P_a \cdot V}{P_{v\ sat} \cdot V} = \frac{m_a/M_a \cdot R \cdot T}{m_{v\ sat}/M_v \cdot R \cdot T} \rightarrow \frac{P_a}{P_{v\ sat}} = \frac{m_a/M_a}{m_{v\ sat}/M_v} \rightarrow \frac{P_a}{P_{v\ sat}} = \frac{M_v}{W \cdot M_a} \rightarrow$$

$$W_{sat} \left[\frac{kg_{vapor\ máx}}{kg_{aire\ seco}} \right] = \frac{P_{v\ sat}}{P - P_{v\ sat}} \cdot \frac{M_v}{M_a} = \frac{0,622 \cdot P_{v\ sat}}{P - P_{v\ sat}}$$

$$Z = \frac{\frac{0,622 \cdot P_{v\ sat}}{P - P_{v\ sat}} \cdot L_v - 1000 \cdot C_{p_{aire\ 20^\circ C}} \cdot (T_s - T_h)}{0,622 \cdot (1000 \cdot C_{p_{vapor}} \cdot (T_s - T_h) + L_v)}$$

$$P_v = \frac{P_s \cdot Z}{1 + Z}$$

$$W = WABS(T_s, T_h, P_s) \left[\frac{g\ de\ vapor}{kg\ de\ aire\ seco} \right] = \frac{1000 \cdot M_v}{M_a} \cdot \frac{P_v}{P_s - P_v}$$

Humedad relativa (WABS2RH)

Proporciona la humedad relativa de una mezcla de aire y agua [%], que es la relación entre la presión de vapor y la presión de vapor saturado del aire a una temperatura dada. Es obtenida a partir de la razón o mezcla de humedad W [g vapor/kg aire seco] y de la presión del conducto P [mbar].

$$HR [\%] = \frac{P_v}{P_{v\ sat}} \cdot 100 \quad R = \frac{P_v}{P - P_v} = \frac{W \cdot M_a}{1000 \cdot M_v}$$

Despejando P_v de la segunda ecuación en función de R y P y sustituyendo en la primera ecuación, queda:

$$R = \frac{P_v}{P - P_v} \rightarrow P_v = \frac{R \cdot P}{1 + R}$$

$$HR = \frac{P_v}{P_{v\ sat}} \cdot 100 \rightarrow HR = \frac{R \cdot P}{1 + R} \cdot \frac{100}{P_{v\ sat}}$$

$$HR [\%] = WABS2RH(W, T, P) [\%] = \frac{100 \cdot R}{1 + R} \cdot \frac{P}{PVSAT(T)}$$

Mezcla de humedad (RH2WABS)

Proporciona la razón o mezcla de humedad de una mezcla de aire y agua [g vapor/kg aire seco], que es la masa de vapor de agua contenida en una masa de aire seco, obtenida a partir de la humedad relativa.



$$W [g \text{ vapor}/kg \text{ aire seco}] = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{aire seco}}} = \frac{m_v}{m_a}$$

$$HR [\%] = \frac{n_v}{n_{v \text{ sat}}} \cdot 100 \quad n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

↓

$$HR [\%] = \frac{P_v}{P_{v \text{ sat}}} \cdot 100 \rightarrow P_v = \frac{HR}{100} P_{v \text{ SAT}} (T)$$

La presión del aire seco es $P_a = P - P_v$, y también se cumple que $P_a \cdot V = m_a/M_a \cdot R \cdot T$. Por otro lado, y teniendo en cuenta que el volumen ocupado por la masa de aire seco de la mezcla es igual al volumen ocupado por la masa de vapor: $P_v \cdot V = m_v/M_v \cdot R \cdot T$, finalmente queda:

$$\begin{aligned} \frac{P_a \cdot V}{P_v \cdot V} &= \frac{m_a/M_a \cdot R \cdot T}{m_v/M_v \cdot R \cdot T} \rightarrow \frac{P_a}{P_v} = \frac{m_a/M_a}{m_v/M_v} \rightarrow \frac{P_a}{P_v} = \frac{M_v}{W \cdot M_a} \rightarrow W \left[\frac{kg_{\text{vapor}}}{kg_{\text{aire seco}}} \right] = \frac{P_v}{P - P_v} \cdot \frac{M_v}{M_a} \\ &= \frac{P_v}{P_a} \cdot \frac{M_v}{M_a} \end{aligned}$$

$$W = RH2WABS (HR, T, P) \left[\frac{g_{\text{vapor}}}{kg_{\text{aire seco}}} \right] = 1000 \cdot \frac{M_v}{M_a} \cdot \frac{P_v}{P - P_v}$$

Número de Prandtl (PR)

$$PR (t) = \mu_{\text{aire}} (t) \cdot Cp_{\text{aire}}/K_{\text{aire}} (t)$$

- $PR (t)$ [adimensional]: número proporcional al cociente entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica, en función de la temperatura.
- $\mu_{\text{aire}} (t)$ [$Pa \cdot s$]: viscosidad dinámica o absoluta del aire en función de la temperatura, que es una medida de la resistencia del fluido a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.
- $Cp_{\text{aire}} = 1005 J/(kg \cdot K)$: calor específico del aire seco a 20°C.
- $K_{\text{aire}} (t)$ [$W/(m \cdot K)$]: conductividad térmica del aire en función de la temperatura.

Número de Rayleigh (RA)

$$Ra (T, dT, L) = \frac{9,80665}{273,15 + T} \cdot Abs (dT) \cdot L^3 \cdot \rho_{\text{aire}} (T)^2 \cdot \frac{Cp_{\text{aire}} (T)}{\mu_{\text{aire}} (T) \cdot K_{\text{aire}} (T)}$$

Coefficiente de convección (HCONV0)

$$T0 = 0,5 \cdot (Tw + Tamb) \quad dT = Abs (Tw - Tamb) \quad K = 0,0242 + 0,0000757 \cdot T0$$

Si la superficie de la estufa es un lateral:



$$HCONV0 (Lateral, Tw, Tamb, L, W, H) = \left(0,825 + \frac{0,387 \cdot RA (T0, dT, H)^{1/6}}{(1 + (0,492/PR(T0))^{9/16})^{8/27}} \right)^2 \cdot \frac{K}{h}$$

Si la superficie de la estufa es el techo:

$$Lh = \frac{L \cdot W}{2 \cdot (L + W)}$$

$$HCONV0 = 0,15 \cdot RA (T0, dT, Lh)^{0,33} \cdot \frac{K}{Lh}$$

Si la superficie de la estufa es el suelo:

$$Lh = \frac{L \cdot W}{2 \cdot (L + W)}$$

$$HCONV0 = 0,27 \cdot RA (T0, dT, Lh)^{0,25} \cdot \frac{K}{Lh}$$

3.3 VARIABLES

3.3.1 TRANSPORTADORES

Es necesario obtener la masa total de las cadenas y paletas y las temperaturas medias de los transportadores en las secciones de entrada y salida. Todo ello se presenta en la Tabla 19.

Masa total de las cadenas y paletas

$$M_{cadenas y paletas} = 100 \cdot (2,4 + 0,2) \cdot L_{horno} \cdot 4$$

- $M_{cadenas y paletas}$ [kg]: masa total de todas las cadenas y paletas de los transportadores superior e inferior.
- $L_{horno} = 37,75$ m: longitud total del horno.

Temperatura media del transportador superior en la sección de entrada

$$T_{transp sup ent} = \left(\frac{T_{transp sup izq} + T_{transp sup med} + T_{transp sup der}}{3} \right) entrada$$

Temperatura media del transportador superior en la sección de salida

$$T_{transp sup sal} = \left(\frac{T_{transp sup izq} + T_{transp sup med} + T_{transp sup der}}{3} \right) salida$$



Temperatura media del transportador inferior en la sección de entrada

$$T_{transp\ inf\ ent} = \left(\frac{T_{transp\ inf\ izq} + T_{transp\ inf\ med} + T_{transp\ inf\ der}}{3} \right) entrada$$

Temperatura media del transportador inferior en la sección de salida

$$T_{transp\ inf\ sal} = \left(\frac{T_{transp\ inf\ izq} + T_{transp\ inf\ med} + T_{transp\ inf\ der}}{3} \right) salida$$

- $T_{transp\ sup\ ent}$ [°C]: temperatura media superficial del transportador superior en la sección de entrada. Según los subíndices, se podrá referir también al transportador inferior y a la sección de salida.
- $T_{transp\ sup\ izq}$ [°C]: temperatura medida en un punto de la superficie del transportador superior, situado en el lado izquierdo de la línea. Según los subíndices, podrá referirse también al transportador inferior y al lado derecho o medio de la línea. En cada fórmula se especifica si se trata de la sección de entrada o de salida.

BALANCE: TRANSPORTADORES	VALORES	
	SECCIÓN DE ENTRADA	SECCIÓN DE SALIDA
Temperatura media del transportador superior.	187,67°C	191°C
Temperatura media del transportador inferior.	174°C	178,67°C
Masa total de las cadenas y paletas.	39.260 kg	

Tabla 19: Masa y temperaturas medias de los transportadores obtenidas por el balance.

3.3.2 SUPERFICIES DE LA ESTUFA

Se deben obtener las temperaturas medias de las diferentes superficies de la estufa (derecha, izquierda, superior e inferior). Todo ello se presenta en la Tabla 20.



Temperatura media de la superficie derecha de la estufa

$$T_{\text{superficie der}} = \frac{\sum_{d=0}^{nd} T_d}{nd}$$

Temperatura media de la superficie izquierda de la estufa

$$T_{\text{superficie izq}} = \frac{\sum_{i=0}^{ni} T_i}{ni}$$

Temperatura media de la superficie superior de la estufa

$$T_{\text{techo}} = \frac{\sum_{t=0}^{nt} T_t}{nt}$$

Temperatura media de la superficie inferior de la estufa

$$T_{\text{suelo}} = \frac{\sum_{s=0}^{ns} T_s}{ns}$$

- $T_{\text{superficie der}}$ [°C]: temperatura media superficial de todas las paredes del lado derecho de la estufa. Según el subíndice, también se puede referir a las paredes del lado izquierdo de la estufa, del techo o del suelo.
- T_d [°C]: temperatura medida en un punto i cualquiera de la superficie del lado derecho de la estufa, incluyendo paredes de los cajones, puertas, paneles de explosión y tolvas de impulsión o de retorno. Los subíndices “i”, “t” y “s” se refieren, respectivamente, al lado izquierdo, al techo y al suelo de la estufa.
- nd : número de medidas de temperatura realizadas en el lado derecho. De forma análoga, “ nd ”, “ nt ” y “ ns ” representan, respectivamente, el número de medidas realizadas en el lado izquierdo, en el techo y en el suelo de la estufa.

BALANCE: SUPERFICIES DE LA ESTUFA	VALORES
Temperatura media del lateral derecho de la estufa.	38,6°C
Temperatura media del lateral izquierdo de la estufa.	33,4°C
Temperatura media del techo de la estufa.	40,1°C
Temperatura media del suelo de la estufa.	42,4°C

Tabla 20: Masa y temperaturas medias de los transportadores obtenidas por el balance.



3.3.3 HUMOS ASPIRADOS

En este apartado se calculan un conjunto de variables de los humos aspirados en las secciones de entrada y salida. Se presentan únicamente las ecuaciones para la sección de entrada, ya que a la sección de salida se aplican las mismas ecuaciones. Estas variables son la sección transversal del conducto de aspiración, presión estática absoluta, presión dinámica absoluta, velocidad del flujo, razón o mezcla de humedad y humedad relativa. Sus valores se presentan en la Tabla 21.

Sección transversal del conducto

$$S = \pi \cdot (0,001 \cdot D)^2 / 4$$

- $S [m^2]$: sección transversal del conducto extractor de humos de la sección de entrada.

D : diámetro interior en mm del conducto extractor de humos de la sección de entrada, de salida o intermedia. $D_{entrada} = 594 \text{ mm}$ y $D_{salida} = 594 \text{ mm}$.

Presión estática absoluta

$$P_{S_{abs \text{ extr humos}}} = P_{S_{rel \text{ extr humos med}}} + P_{amb}$$

- $P_{S_{abs \text{ extr humos}}} [mbar]$: presión estática absoluta de los humos extraídos de la sección de entrada.
- $P_{S_{rel \text{ extr humos med}}} [mbar]$: presión estática relativa de los humos extraídos de la sección de entrada, medida en el centro del conducto.
- $P_{amb} [mbar]$: presión ambiental.

Presión dinámica absoluta

$$P_{din} = P_{din \text{ rel extr humos med}} + P_{amb}$$

- $P_{din} [mbar]$: presión dinámica absoluta de los humos extraídos de la sección de entrada.
- $P_{din \text{ rel extr humos med}} [mbar]$: presión dinámica relativa media de los humos extraídos de la sección de entrada.
- $P_{amb} [mbar]$: presión ambiental.

Velocidad del flujo

Se puede obtener de dos formas, dependiendo de si se tiene o no la medida de velocidad media del flujo de gas. En el primer caso, la velocidad del flujo es, directamente, la media de las medidas de velocidad realizadas en diferentes puntos de la sección. En el segundo caso, se utiliza la medida de presión dinámica media, de cuya ecuación se despeja la velocidad:



$$P_{din} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \rightarrow V_{flujo\ hom} = \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot P_{din}}{\rho_{P2,T2}}}$$

- $V_{flujo\ hom}$ [m/s]: velocidad del flujo de gases extraídos de la sección de entrada.
- P_{din} [mbar]: presión dinámica media de los humos extraídos de la sección de entrada.
- $\rho_{P2,T2}$: densidad de los humos para las condiciones deseadas de presión y temperatura (P2 y T2). Son las condiciones en las que se encuentran los humos, correspondientes a la presión estática absoluta y a la temperatura seca.

Utilizando la ecuación de los gases ideales y partiendo de la densidad de un gas para unas condiciones de presión y temperatura dadas, se puede obtener la densidad de este gas para unas nuevas condiciones de presión y temperatura:

$$\begin{aligned} \frac{P_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} &= \frac{P_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} = R \quad (V = cte) \rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot n_1}{T_2 \cdot n_2} \\ n &= \frac{m}{M}, m = \rho \cdot V \rightarrow n = \frac{\rho \cdot V}{M} \rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{\rho_1 \cdot V_1}{M_1}}{\frac{\rho_2 \cdot V_2}{M_2}} \quad (M_1 = M_2, V_1 = V_2) \rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \\ &\downarrow \\ \frac{P_1}{T_1} &= \frac{P_2 \cdot \rho_1}{T_2 \cdot \rho_2} \rightarrow \rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{T_1}{P_1} \cdot \frac{P_2}{T_2} \\ \rho_{P2,T2} &= \rho_{P1,T1} \cdot \frac{T1}{T2} \cdot \frac{P2}{P1} \end{aligned}$$

- $\rho_{P1,T1}$: densidad de los humos para las condiciones de presión y temperatura iniciales (P1 y T1).
- $\rho_{P2,T2}$: densidad de los humos para las condiciones de presión y temperatura deseadas (P2 y T2).
- $T1$ [°C]: temperatura inicial.
- $T2$ [°C]: temperatura deseada (temperatura seca).
- $P1$: presión inicial (atmosférica).
- $P2$: presión final (estática absoluta).

Como en este caso se tiene la densidad de los humos en la condición inicial de presión (a presión atmosférica) y en la condición deseada de temperatura (temperatura seca), únicamente es necesario corregir la densidad para obtenerla a la presión deseada (a presión estática absoluta):

$$\rho_{P2,T2} = \rho_{P1,T2} \cdot \frac{P2}{P1} = \rho_{P1,T2} \cdot \frac{P_{Sabs\ extr\ humos}}{P_{atm\ st}}$$



- $\rho_{P1,T2}$: densidad de los humos para la condición inicial de presión P1 (atmosférica) y para la temperatura T2 deseada (temperatura seca).
- $P_{sabs\ extr\ humos}$ [mbar]: presión estática absoluta de los humos extraídos de la sección de entrada.
- $P_{atm\ st} = 101.325\ Pa = 1013,25\ mbar$: presión atmosférica estándar.

Por lo tanto, la ecuación de la velocidad quedaría de la siguiente forma:

$$V_{flujo\ hom} = \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot P_{din}}{\rho_{P1,T2} \cdot \frac{P_{sabs\ extr\ humos}}{P_{atm\ st}}}}$$

Razón o mezcla de humedad

Es la cantidad de vapor de agua, expresada en gramos, contenida en 1 kg de aire seco. Se puede obtener de dos formas, dependiendo de si se tiene o no la medida de temperatura húmeda. En el caso de disponer de esta medida, se utiliza un diagrama psicrométrico. Para determinar el estado de una mezcla de gases, se necesitan tres variables independientes que, en este caso, son la temperatura seca, la temperatura húmeda y la presión estática absoluta. Con las dos primeras variables se entra en el diagrama psicrométrico correspondiente a la presión estática absoluta, y se obtiene la mezcla de humedad de los humos. En la Figura 120 se muestra el diagrama psicrométrico para la presión atmosférica (101.325 Pa).

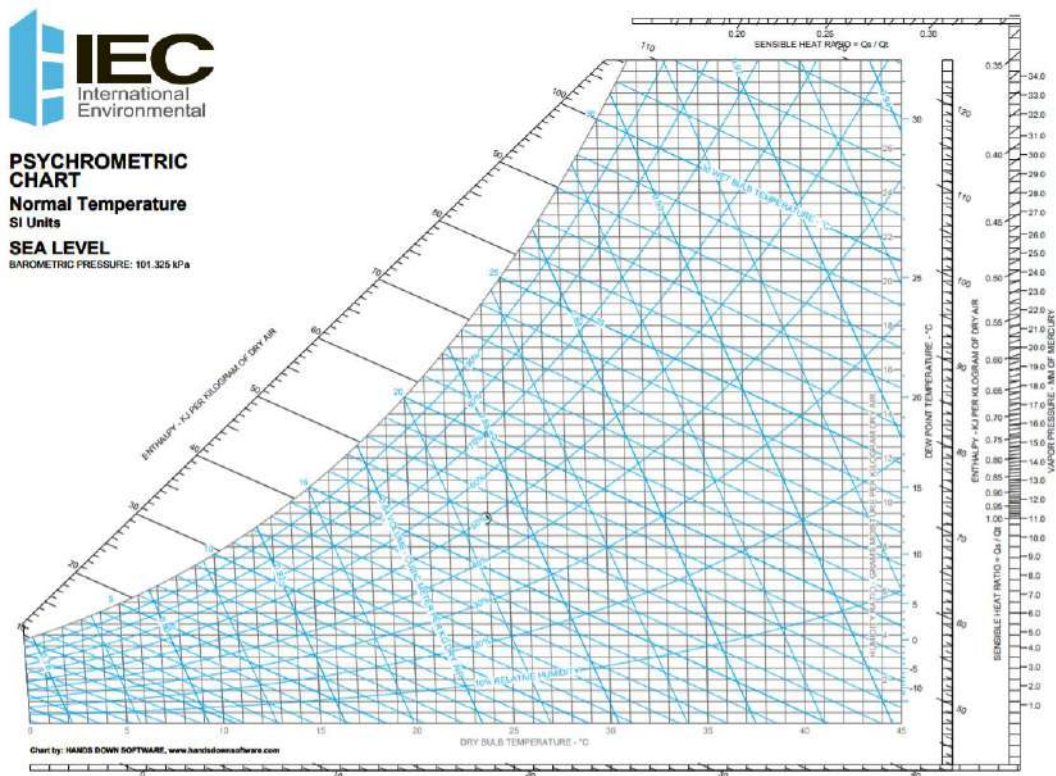


Figura 120: Diagrama psicrométrico para una presión de 101.325 Pa.



Si no se dispone de la medida de temperatura húmeda, el procedimiento es el mismo, pero reemplazando el dato de la temperatura húmeda por la humedad relativa. Por lo tanto, las variables de entrada al diagrama psicrométrico correspondiente a la presión estática absoluta son la temperatura seca y la humedad relativa.

Humedad relativa

La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire (humedad absoluta) y la máxima que podría tener a una temperatura dada (humedad absoluta de saturación). Por lo tanto, es la relación entre la presión parcial del vapor de agua (presión de vapor) y la presión del vapor en equilibrio (presión de vapor saturado) a una temperatura dada. Se puede obtener de dos formas. La primera consiste en medir directamente la humedad relativa de los humos mediante un higrómetro:

$$HR_{extr\ humos} = HR_{extr\ humos\ med}$$

- $HR_{extr\ humos}$ [%]: humedad relativa de los humos extraídos de la sección de entrada.
- $HR_{extr\ humos\ med}$ [%]: humedad relativa de los humos extraídos de la sección de entrada, medida en el centro del conducto.

La segunda forma consiste en utilizar el diagrama psicrométrico. En este caso, las tres variables independientes de entrada son la humedad específica, la temperatura seca y la presión estática absoluta. Con las dos primeras variables se entra en el diagrama psicrométrico correspondiente a la presión estática absoluta, y se obtiene la humedad relativa de los humos.

BALANCE: HUMOS ASPIRADOS	VALORES	
	SECCIÓN DE ENTRADA	SECCIÓN DE SALIDA
Velocidad del flujo.	7,7 m/s	0 m/s
Razón o mezcla de humedad.	25,3 g/kg	17,9 g/kg
Humedad relativa.	0,6%	0,5%
Sección transversal del conducto.	0,3 m ²	0,3 m ²

Tabla 21: Variables de los humos aspirados obtenidas por el balance.



3.3.4 PRODUCTO

En este punto se calcula la temperatura objetivo, temperatura interior en la primera zona, temperatura interior en la última zona, densidad del producto dentro del horno, densidad del material antes de la estufa y tirada de vidrio dentro del horno. Todos los valores obtenidos se presentan en la Tabla 22.

Temperatura objetivo

Es la temperatura de curado mínima, es decir, la temperatura que deben alcanzar todos los puntos del producto en el interior del horno para que el encolado se polimerice correctamente y no haya defecto de curado.

Además, también existen otros dos conceptos: la temperatura de curado máxima y el tiempo de homogeneización. La temperatura de curado máxima es la temperatura que ningún punto del producto debe sobrepasar para evitar el sobrecurado, y el tiempo de homogeneización es el tiempo durante el cual el producto debe permanecer entre la temperatura de curado mínima y máxima para que se polimerice correctamente.

Por lo tanto, las temperaturas de curado y el tiempo de homogeneización dependen del tipo de encolado. Todos los productos fabricados en la línea B llevan la resina R232, por lo que la temperatura de curado mínima es 180°C, la temperatura de curado máxima es 220°C y el tiempo de homogeneización es 10 segundos. Tanto la falta como el exceso de curado dan lugar a malas propiedades mecánicas en el producto.

Temperatura interior en la primera zona

Se trata de la temperatura media en el interior del primer cajón, por lo que se calcula como la media de la temperatura que hay en el espacio existente por encima del material y de la temperatura que hay en el espacio existente por debajo del material.

$$T_{int \text{ primera zona}} = \frac{(T_{sobre \text{ material}} + T_{bajo \text{ material}}) \text{ primera zona}}{2}$$

- $T_{int \text{ primera zona}}$ [°C]: temperatura media en el interior del primer cajón del horno.
- $T_{sobre \text{ material}}$ [°C]: temperatura de la zona que se encuentra por encima del material, dentro del primer cajón.
- $T_{bajo \text{ material}}$ [°C]: temperatura de la zona que se encuentra por debajo del material, dentro del primer cajón.

Temperatura interior en la última zona

$$T_{int \text{ última zona}} = \frac{(T_{sobre \text{ material}} + T_{bajo \text{ material}}) \text{ última zona}}{2}$$

- $T_{int \text{ última zona}}$ [°C]: temperatura media en el interior del último cajón del horno.



- $T_{sobre\ material}$ [$^{\circ}C$]: temperatura de la zona que se encuentra por encima del material, dentro del último cajón.
- $T_{bajo\ material}$ [$^{\circ}C$]: temperatura de la zona que se encuentra por debajo del material, dentro del último cajón.

Densidad del producto dentro del horno

$$m_{producto\ horno} = m_{producto\ línea}$$

$$V_{producto\ línea} = E_{producto\ línea} \cdot A \cdot L$$

$$V_{producto\ horno} = E_{producto\ horno} \cdot A \cdot L$$

$$\frac{V_{producto\ línea}}{V_{producto\ horno}} = \frac{E_{producto\ línea}}{E_{producto\ horno}} \rightarrow V_{producto\ horno} = V_{producto\ línea} \cdot \frac{E_{producto\ horno}}{E_{producto\ línea}} \rightarrow$$

$$\begin{aligned}\rho_{producto\ en\ horno} &= \frac{m_{producto\ horno}}{V_{producto\ horno}} = \frac{m_{producto\ línea}}{V_{producto\ línea} \cdot \frac{E_{producto\ horno}}{E_{producto\ línea}}} \\ &= \frac{m_{producto\ línea}}{V_{producto\ línea}} \cdot \frac{E_{producto\ línea}}{E_{producto\ horno}}\end{aligned}$$

$$\rho_{producto\ en\ horno} = \rho_{producto\ línea} \cdot \frac{E_{producto\ línea}}{E_{producto\ horno}}$$

- $m_{producto\ horno}$ [kg]: masa del producto dentro del horno (con encolado, sin agua).
- $m_{producto\ línea}$ [kg]: masa del producto en la línea, después de atravesar el horno de polimerización (con encolado, sin agua).
- $V_{producto\ horno}$ [m^3]: volumen del producto dentro del horno.
- $V_{producto\ línea}$ [m^3]: volumen del producto en la línea, después de atravesar el horno de polimerización.
- $E_{producto\ horno}$ [m]: espesor del producto dentro del horno de polimerización.
- $E_{producto\ línea}$ [m]: espesor del producto después de salir del horno de polimerización.
- A [m]: anchura del producto.
- L [m]: longitud del producto.
- $\rho_{producto\ en\ horno}$ [kg/m^3]: densidad del producto dentro del horno.
- $\rho_{producto\ línea}$ [kg/m^3]: densidad del producto en la línea, después de atravesar el horno de polimerización.

Densidad del material antes de la estufa

$$m_{lana} = m_{producto\ línea}$$

$$V_{producto\ línea} = E_{producto\ línea} \cdot A \cdot L$$



$$V_{lana} = E_{lana} \cdot A \cdot L$$

$$\frac{V_{producto\ línea}}{V_{lana}} = \frac{E_{producto\ línea}}{E_{lana}} \rightarrow V_{lana} = V_{producto\ línea} \cdot \frac{E_{lana}}{E_{producto\ línea}} \rightarrow$$

$$\rho_{lana} = \frac{m_{lana}}{V_{lana}} = \frac{m_{producto\ línea}}{V_{producto\ línea} \cdot \frac{E_{lana}}{E_{producto\ línea}}} = \frac{m_{producto\ línea}}{V_{producto\ línea}} \cdot \frac{E_{producto\ línea}}{E_{lana}}$$

$$\rho_{lana} = \rho_{producto\ línea} \cdot \frac{E_{producto\ línea}}{E_{lana}}$$

- m_{lana} [kg]: masa del producto antes de entrar en el horno de polimerización.
- $m_{producto\ línea}$ [kg]: masa del producto en la línea, después de atravesar el horno de polimerización.
- V_{lana} [m³]: volumen del producto antes de entrar en el horno de polimerización.
- $V_{producto\ línea}$ [m³]: volumen del producto en la línea, después de atravesar el horno de polimerización.
- E_{lana} [m]: espesor del producto antes de entrar en el horno de polimerización.
- $E_{producto\ línea}$ [m]: espesor del producto después de salir del horno de polimerización.
- A [m]: anchura del producto.
- L [m]: longitud del producto.
- ρ_{lana} [kg/m³]: densidad del producto antes de entrar en el horno de polimerización.
- $\rho_{producto\ línea}$ [kg/m³]: densidad del producto en la línea, después de atravesar el horno de polimerización.

Tirada de vidrio dentro del horno

$$Tirada_{vidrio\ en\ horno} = Tirada_{vidrio} \cdot \left(1 + \frac{\%_{corte\ de\ bandas}}{100}\right)$$

$$\%_{corte\ de\ bandas} = \frac{A_{producto\ total} - A_{producto\ recortado}}{A_{producto\ total}} \cdot 100$$

- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- $Tirada_{vidrio}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que recorren la línea (después del corte de las bandas).
- $\%_{corte\ de\ bandas}$: del ancho total del producto, porcentaje que se recorta y se desecha.
- $A_{producto\ total}$ [m]: anchura del producto antes del corte de sus bordes.
- $A_{producto\ recortado}$ [m]: anchura del producto después del corte de sus bordes.



BALANCE: PRODUCTO	VALORES
Temperatura objetivo.	185°C
Temperatura interior en la primera zona.	215°C
Temperatura interior en la última zona.	250°C
Densidad del producto dentro del horno.	11,1 kg/m ³
Densidad del producto antes de la estufa.	6,4 kg/m ³
Tirada de vidrio dentro del horno.	62,59 t/día

Tabla 22: Variables del producto obtenidas por el balance.

3.3.5 CONDICIONES AMBIENTALES

Se trata de la densidad del aire, viscosidad absoluta, conductividad térmica, humedad absoluta ambiental y ratio ambiental. Los valores de las dos últimas variables se muestran en la Tabla 23.

Densidad del aire

La densidad del aire seco en función de la temperatura t se puede obtener a partir de la ecuación de los gases ideales:

$$R = \frac{P \cdot V}{n \cdot T}, \quad n = \frac{\rho \cdot V}{M}$$

↓

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} \rightarrow \rho(t) = \frac{1 \cdot 0,028966}{8,205746 \cdot 10^{-5} \cdot (t + 273,15)} = \frac{352,9965}{t + 273,15}$$

- ρ [kg/m³]: densidad del aire seco.
- $P = 1 \text{ atm}$: presión atmosférica a nivel del mar (presión ambiental).
- $M = 0,028966 \text{ kg/mol}$: masa molar del aire seco a presión y temperatura ambiental.
- $R = 8,205746 \cdot 10^{-5} \text{ atm} \cdot \text{m}^3/(\text{mol} \cdot \text{K})$: constante de los gases ideales.



- T [K]: temperatura del aire seco en K.
- t [°C]: temperatura del aire seco en °C.

$$\rho_{\text{aire}}(t) = 353,05 / (273,15 + t)$$

Viscosidad absoluta del aire

$$\mu_{\text{aire}}(t) = 0,00001 \cdot (0,0043 \cdot t + 1,7176)$$

- $\mu_{\text{aire}}(t)$ [Pa · s]: viscosidad dinámica o absoluta del aire en función de la temperatura, que es una medida de la resistencia del fluido a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.

Conductividad térmica del aire

$$K_{\text{aire}}(t) = 0,0242 + 0,0000757 \cdot t$$

- $K_{\text{aire}}(t)$ [W/(m · K)]: conductividad térmica del aire en función de la temperatura.

Mezcla de humedad ambiental

Proporciona la razón o mezcla de humedad del aire, que es la masa de vapor de agua en gramos contenida en una masa de aire seco en kg, obtenida a partir de la humedad relativa.

$$W_{\text{amb}} = RH2WABS(HR_{\text{amb alrededor quemador}}, T_{\text{amb alrededor quemador}}, P_{\text{amb}})$$

- W_{amb} [g de vapor de agua/kg de aire seco]: razón o mezcla de humedad ambiental.
- $HR_{\text{amb alrededor quemador}}$ [%]: humedad relativa ambiente alrededor del quemador.
- $T_{\text{amb alrededor quemador}}$ [°C]: temperatura ambiente alrededor del quemador.
- P_{amb} [mbar]: presión ambiental.

Ratio ambiental

$$\frac{V_{\text{vapor}}}{V_{\text{aire}}} = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{aire}}} \cdot \frac{m_{\text{aire}}/V_{\text{aire}}}{m_{\text{vapor}}/V_{\text{vapor}}} \rightarrow \text{Ratio ambiental} = \frac{W_{\text{amb}}}{1000} \cdot \frac{\rho_{\text{aire } 0^{\circ}\text{C}}}{\rho_{\text{vapor } 0^{\circ}\text{C}}}$$

- *Ratio ambiental* [Nm³ de vapor/Nm³ de aire]: volumen de vapor frente al volumen de aire en condiciones normales alrededor del quemador.
- W_{amb} [g de vapor de agua/kg de aire seco]: razón o mezcla de humedad ambiental.
- $\rho_{\text{aire } 0^{\circ}\text{C}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$: densidad del aire a 0°C.
- $\rho_{\text{vapor } 0^{\circ}\text{C}} = 0,804 \text{ kg/m}^3$: densidad del vapor a 0°C.



BALANCE: CONDICIONES AMBIENTALES	VALORES
Mezcla de humedad ambiental.	15,03 g/kg
Ratio ambiental.	0,0242

Tabla 23: Condiciones ambientales obtenidas por el balance.

3.3.6 ENCOLADO

Se debe calcular el calor específico del encolado. En la Tabla 24 se presentan todos los valores de las variables relacionadas con el encolado.

Calor específico del encolado

Si el encolado es de tipo GB:

$$Cp_{encolado\ GB} = 2$$

Si el encolado es fenólico (caso del R232):

$$Cp_{encolado\ fen} = 2,15$$

- $Cp_{encolado\ GB}$ [kJ/(kg · K)]: calor específico del encolado de tipo GB1, GB3 y GB4.
- $Cp_{encolado\ fen}$ [kJ/(kg · K)]: calor específico del resto de tipos de encolado.



BALANCE: ENCOLADO	VALORES
Tipo de encolado.	R232
Calor específico, Cp.	2,15 kJ/(kg·K)
Contenido de agua antes de entrar en el horno.	1,82%
Pérdida al fuego, LOI.	4,05%
Temperatura inicial.	31,6°C
Temperatura media final.	206,4°C
Temperatura objetivo.	185°C

Tabla 24: Variables del encolado obtenidas por el balance.

3.4 POTENCIAS

Una vez calculadas todas las variables anteriores, es posible obtener las potencias correspondientes a los siete bloques mencionados anteriormente.

3.4.1 POTENCIA ÚTIL PARA EL PRODUCTO

Todos los resultados de este bloque se resumen en la Tabla 25.

Flujo de encolado introducido por el material

$$\begin{aligned} \text{Relación entre masa de encolado y masa total sin encolado} &= \frac{m_{\text{encolado}}}{m_{\text{total}} - m_{\text{encolado}}} \\ &= \frac{0,01 \cdot LOI}{1 - 0,01 \cdot LOI} \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{\text{encolado mat}} = \text{Tirada}_{\text{vidrio en horno}} \cdot \frac{1000}{24} \cdot \frac{0,01 \cdot LOI}{1 - 0,01 \cdot LOI}$$



$$LOI = \frac{m_{encolado\ mat}}{m_{total\ mat}} \cdot 100$$

- $\dot{m}_{encolado\ mat}$ [kg/h]: flujo másico de encolado introducido por el material.
- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- LOI (Loss of Ignition)[%]: porcentaje de encolado que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $m_{encolado\ mat}$ [kg]: masa de encolado que contiene el material antes de entrar en el horno.
- $m_{total\ mat}$ [kg]: masa total del material antes de entrar en el horno.

Flujo de agua introducido por el material

$$\dot{m}_{agua\ mat} = \frac{Tirada_{vidrio\ en\ horno} \cdot \frac{1000}{24}}{1 - 0,01 \cdot LOI} \cdot \frac{0,01 \cdot \%_{agua\ entrada}}{1 - 0,01 \cdot \%_{agua\ entrada}}$$

$$\%_{agua\ entrada} = \frac{m_{agua\ mat}}{m_{total\ mat}} \cdot 100$$

- $\dot{m}_{agua\ mat}$ [kg/h]: flujo másico de agua introducido por el material.
- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- LOI (Loss of Ignition)[%]: porcentaje de encolado que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $\%_{agua\ entrada}$: porcentaje de agua que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $m_{agua\ mat}$ [kg]: masa de agua que contiene el material antes de entrar en el horno.
- $m_{total\ mat}$ [kg]: masa total del material antes de entrar en el horno.

Flujo de aire seco introducido por el aire intersticial del material

$$\begin{aligned} \dot{m}_{aire\ seco} = & Tirada_{vidrio\ en\ horno} \cdot \frac{1000}{24} \cdot \frac{1}{1 - 0,01 \cdot LOI} \cdot \frac{\rho_{aire}(T_{inicial\ encolado})}{\rho_{plana}} \\ & - Tirada_{vidrio\ en\ horno} \cdot \frac{1000}{24} \cdot \frac{1}{1 - 0,01 \cdot LOI} \cdot \frac{\rho_{aire}(T_{media\ final\ encolado})}{\rho_{producto\ en\ horno}} \\ & \cdot \frac{1}{\frac{RH2WABS(100, T_{inicial\ encolado}, P_{amb})}{1000} + 1} \end{aligned}$$

- $\dot{m}_{aire\ seco}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco (introducido por el aire intersticial del material).
- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- LOI (Loss of Ignition)[%]: porcentaje de encolado que contiene el producto antes de entrar en el horno.



- $T_{inicial\ encolado}$ [$^{\circ}C$]: temperatura inicial del encolado (en la entrada del horno).
- $\rho_{aire}(T_{inicial\ encolado})$ [kg/m^3]: densidad del aire a la temperatura inicial del encolado.
- ρ_{lana} [kg/m^3]: densidad del producto antes de entrar en el horno de polimerización.
- $T_{media\ final\ encolado}$ [$^{\circ}C$]: temperatura media que alcanza el encolado en la salida del horno.
- $\rho_{aire}(T_{media\ final\ encolado})$ [kg/m^3]: densidad del aire a la temperatura final del encolado.
- $\rho_{producto\ en\ horno}$ [kg/m^3]: densidad del producto dentro del horno (con encolado, sin agua).
- $RH2WABS(100, T_{inicial\ encolado}, P_{amb})$ [$g_{vapor\ H_2O} / kg_{aire\ seco}$]: razón o mezcla de humedad del aire en función de la humedad relativa, de la temperatura inicial del encolado y de la presión ambiental.

Flujo de vapor introducido por el aire intersticial del material

$$\dot{m}_{vapor\ aire\ mat} = \frac{Tirada_{vidrio\ en\ horno}}{24} \cdot \frac{1}{1 - 0,01 \cdot LOI} \cdot \frac{\rho_{aire}(T_{inicial\ encolado})}{\rho_{lana}} \cdot RH2WABS(100, T_{inicial\ encolado}, P_{amb})$$

- $\dot{m}_{vapor\ aire\ mat}$ [kg/h]: flujo másico de vapor (introducido por el aire intersticial del material).
- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [$t/día$]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- LOI (Loss of Ignition) [%]: porcentaje de encolado que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $T_{inicial\ encolado}$ [$^{\circ}C$]: temperatura inicial del encolado (en la entrada del horno).
- $\rho_{aire}(T_{inicial\ encolado})$ [kg/m^3]: densidad del aire a la temperatura inicial del encolado.
- ρ_{lana} [kg/m^3]: densidad del producto antes de entrar en el horno de polimerización.
- $RH2WABS(100, T_{inicial\ encolado}, P_{amb})$ [$g_{vapor\ H_2O} / kg_{aire\ seco}$]: razón o mezcla de humedad del aire en función de la humedad relativa, de la temperatura inicial del encolado y de la presión ambiental.

Potencia en el vidrio

$$P_{vidrio} = Tirada_{vidrio\ en\ horno} \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} \cdot C_{p_{vid\ TEL}} \cdot (T_{media\ final\ encolado} - T_{inicial\ encolado})$$

- P_{vidrio} [kW]: potencia en el vidrio.
- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [$t/día$]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- $C_{p_{vid\ TEL}} = 0,94\ kJ/(kg \cdot K)$: calor específico del vidrio TEL.



- $T_{media\ final\ encolado}$ [$^{\circ}C$]: temperatura media que alcanza el encolado en la salida del horno.
- $T_{inicial\ encolado}$ [$^{\circ}C$]: temperatura inicial del encolado (en la entrada del horno).

Potencia en el encolado

$$P_{encolado} = Tirada_{vidrio\ en\ horno} \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} \cdot C_{p_{encolado\ GB/fen}} \cdot (T_{media\ final\ encolado} - T_{inicial\ encolado}) \cdot \frac{0,01 \cdot LOI}{1 - 0,01 \cdot LOI}$$

- $P_{encolado}$ [kW]: potencia en el encolado.
- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [$t/día$]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- $C_{p_{encolado\ GB/fen}}$ [$kJ/(kg \cdot K)$]: calor específico del encolado según el tipo (GB o fenólico).
- $T_{media\ final\ encolado}$ [$^{\circ}C$]: temperatura media que alcanza el encolado en la salida del horno.
- $T_{inicial\ encolado}$ [$^{\circ}C$]: temperatura inicial del encolado (en la entrada del horno).
- LOI (Loss of Ignition) [%]: porcentaje de encolado que contiene el producto antes de entrar en el horno.

Potencia de la evaporación

$$P_{evaporación} = Tirada_{vidrio\ en\ horno} \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} \cdot \frac{1}{1 - 0,01 \cdot LOI} \cdot \frac{0,01 \cdot \%_{agua\ entrada}}{1 - 0,01 \cdot \%_{agua\ entrada}} \cdot (C_{p_{agua}} \cdot (100 - T_{inicial\ encolado}) + Q_{lat\ ev\ 100^{\circ}C})$$

- $P_{evaporación}$ [kW]: potencia de la evaporación.
- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [$t/día$]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- LOI (Loss of Ignition) [%]: porcentaje de encolado que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $\%_{agua\ entrada}$: porcentaje de agua que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $C_{p_{agua}} = 4,178\ kJ/(kg \cdot K)$: calor específico del agua entre 30 y 38 $^{\circ}C$.
- $T_{inicial\ encolado}$ [$^{\circ}C$]: temperatura inicial del encolado (en la entrada del horno).
- $Q_{lat\ ev\ 100^{\circ}C} = 2257\ kJ/kg$: calor latente de evaporación del agua a 100 $^{\circ}C$.

Potencia objetivo en el vidrio

$$P_{obj\ vidrio} = Tirada_{vidrio\ en\ horno} \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} \cdot C_{p_{vid\ TEL}} \cdot (T_{objetivo\ encolado} - T_{inicial\ encolado})$$



- $P_{obj\ vidrio}$ [kW]: potencia objetivo en el vidrio.
- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- $Cp_{vid\ TEL} = 0,94\ kJ/(kg \cdot K)$: calor específico del vidrio TEL.
- $T_{objetivo\ encolado}$ [°C]: temperatura que debe alcanzar el encolado en el horno en función del tipo de encolado.
- $T_{inicial\ encolado}$ [°C]: temperatura inicial del encolado (en la entrada del horno).

Potencia objetivo en el encolado

$$P_{obj\ encolado} = Tirada_{vidrio\ en\ horno} \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} \cdot \frac{0,01 \cdot LOI}{1 - 0,01 \cdot LOI} \cdot Cp_{encolado\ GB/fen} \cdot (T_{objetivo\ encolado} - T_{inicial\ encolado})$$

- $P_{obj\ encolado}$ [kW]: potencia objetivo en el encolado.
- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- LOI (Loss of Ignition) [%]: porcentaje de encolado que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $Cp_{encolado\ GB/fen}$ [kJ/(kg · K)]: calor específico del encolado según el tipo (GB o fenólico).
- $T_{objetivo\ encolado}$ [°C]: temperatura que debe alcanzar el encolado en el horno en función del tipo de encolado.
- $T_{inicial\ encolado}$ [°C]: temperatura inicial del encolado (en la entrada del horno).

Potencia objetivo de evaporación

$$P_{obj\ evaporación} = Tirada_{vidrio\ en\ horno} \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} \cdot \frac{1}{1 - 0,01 \cdot LOI} \cdot \frac{0,01 \cdot \%_{agua\ entrada}}{1 - 0,01 \cdot \%_{agua\ entrada}} \cdot (Cp_{agua} \cdot (100 - T_{inicial\ encolado}) + Q_{lat\ ev\ 100°C})$$

- $P_{obj\ evaporación}$ [kW]: potencia objetivo de la evaporación.
- $Tirada_{vidrio\ en\ horno}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- LOI (Loss of Ignition) [%]: porcentaje de encolado que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $\%_{agua\ entrada}$: porcentaje de agua que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $Cp_{agua} = 4,178\ kJ/(kg \cdot K)$: calor específico del agua entre 30 y 38°C.
- $T_{inicial\ encolado}$ [°C]: temperatura inicial del encolado (en la entrada del horno).
- $Q_{lat\ ev\ 100°C} = 2257\ kJ/kg$: calor latente de evaporación del agua a 100°C.



Potencia absorbida por el aire intersticial del material

$$P_{\text{absorbida aire inters mat}} = \text{Tirada}_{\text{vidrio en horno}} \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} \cdot \frac{1}{1 - 0,01 \cdot LOI} \cdot \frac{\rho_{\text{aire}}(T_{\text{media final encolado}})}{\rho_{\text{producto en horno}}} \cdot C_{p_{\text{aire } 20^{\circ}\text{C}}} \cdot (T_{\text{media final encolado}} - T_{\text{inicial encolado}})$$

- $P_{\text{absorbida aire inters mat}}$ [kW]: potencia absorbida por el aire intersticial del material en la salida.
- $\text{Tirada}_{\text{vidrio en horno}}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- LOI (Loss of Ignition) [%]: porcentaje de encolado que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $\rho_{\text{aire}}(T_{\text{media final encolado}})$ [kg/m³]: densidad del aire a la temperatura final del encolado.
- $\rho_{\text{producto en horno}}$ [kg/m³]: densidad del producto dentro del horno (con encolado, sin agua).
- $C_{p_{\text{aire } 20^{\circ}\text{C}}} = 1,005 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$: calor específico del aire a 20°C.
- $T_{\text{media final encolado}}$ [°C]: temperatura media que alcanza el encolado en la salida del horno.
- $T_{\text{inicial encolado}}$ [°C]: temperatura inicial del encolado (en la entrada del horno).

Flujo de vapor procedente del producto

$$\dot{m}_{\text{vapor prod}} = \text{Tirada}_{\text{vidrio en horno}} \cdot \frac{1000}{24} \cdot \frac{1}{1 - 0,01 \cdot LOI} \cdot \frac{0,01 \cdot \%_{\text{agua entrada}}}{1 - 0,01 \cdot \%_{\text{agua entrada}}} + \dot{m}_{\text{vapor aire mat}}$$

- $\dot{m}_{\text{vapor prod}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor que sale del producto desde que entra hasta que sale del horno.
- $\text{Tirada}_{\text{vidrio en horno}}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).
- LOI (Loss of Ignition) [%]: porcentaje de encolado que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $\%_{\text{agua entrada}}$: porcentaje de agua que contiene el producto antes de entrar en el horno.
- $\dot{m}_{\text{vapor aire mat}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor (introducido por el aire intersticial del material).

Flujo de aire seco asociado al material

$$\dot{m}_{\text{aire seco mat}} = \dot{m}_{\text{aire seco}}$$



- $\dot{m}_{\text{aire seco mat}} [kg/h]$: flujo másico de aire seco asociado al material entre la entrada y la salida del horno.
- $\dot{m}_{\text{aire seco}} [kg/h]$: flujo másico de aire seco (introducido por el aire intersticial del material).

Potencia total transferida al material

$$P_{\text{total mat}} = P_{\text{vidrio}} + P_{\text{encolado}} + P_{\text{evaporación}} + P_{\text{absorbida aire inters mat}}$$

- $P_{\text{total mat}} [kW]$: potencia total transferida al material.
- $P_{\text{vidrio}} [kW]$: potencia en el vidrio.
- $P_{\text{encolado}} [kW]$: potencia en el encolado.
- $P_{\text{evaporación}} [kW]$: potencia de la evaporación.
- $P_{\text{absorbida aire inters mat}} [kW]$: potencia absorbida por el aire intersticial del material.

Potencia objetivo que transferir al material

$$P_{\text{obj mat}} = P_{\text{obj vidrio}} + P_{\text{obj encolado}} + P_{\text{obj evaporación}} + P_{\text{absorbida aire inters mat}}$$

- $P_{\text{obj mat}} [kW]$: potencia objetivo que hay que transferir al material.
- $P_{\text{obj vidrio}} [kW]$: potencia objetivo en el vidrio.
- $P_{\text{obj encolado}} [kW]$: potencia objetivo en el encolado.
- $P_{\text{obj evaporación}} [kW]$: potencia objetivo de la evaporación.
- $P_{\text{absorbida aire inters mat}} [kW]$: potencia absorbida por el aire intersticial del material.



BALANCE: POTENCIA ÚTIL PARA EL PRODUCTO	VALORES
Flujo de encolado introducido por el material en el horno.	110,1 kg/h
Flujo de agua introducido por el material en el horno.	50,4 kg/h
Flujo de aire seco introducido por el aire intersticial del material.	305,6 kg/h
Flujo de vapor introducido por el aire intersticial del material.	14,8 kg/h
Potencia en el vidrio.	119 kW
Potencia en el encolado.	11,5 kW
Potencia de la evaporación.	35,6 kW
Potencia objetivo para el vidrio.	104,5 kW
Potencia objetivo para el encolado.	10,1 kW
Potencia objetivo para la evaporación.	35,6 kW
Potencia absorbida por el aire intersticial del material en la salida.	8,8 kW
Flujo de vapor procedente del producto.	65,2 kg/h
Flujo de aire seco asociado al material.	305,6 kg/h
Potencia total transferida al material.	174,9 kW
Potencia objetivo que transferir al material.	158,9 kW

Tabla 25: Resultados obtenidos por el balance para el bloque de potencia útil para el producto.



3.4.2 POTENCIA PROCEDENTE DEL GAS

Todos los resultados de este bloque se resumen en la Tabla 26.

Oxígeno con exceso de aire

$$V_{O \text{ con exceso aire}} = V_{O_2 \text{ requerido}} \cdot (1 + \%_{\text{exceso aire}} \cdot 0,01)$$

- $V_{O \text{ con exceso aire}}$ [$\text{Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$]: volumen de oxígeno con exceso de aire.
- $V_{O_2 \text{ requerido}} = 2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$: volumen de oxígeno requerido o estequiométrico.
- $\%_{\text{exceso aire}}$: exceso de aire.

Humos totales generados con exceso de aire

$$V_{\text{humos gen con exceso aire}} = V_{\text{humos secos resultantes}} + \%_{\text{exceso aire}} \cdot 0,01 \cdot V_{O_2 \text{ requerido}} \cdot \text{Ratio}_{O_2/\text{aire}}$$

- $V_{\text{humos gen con exceso aire}}$ [$\text{Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$]: humos totales generados con exceso de aire.
- $V_{\text{humos secos resultantes}} = 8,5 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$: volumen de humos secos resultantes.
- $\%_{\text{exceso aire}}$: exceso de aire.
- $V_{O_2 \text{ requerido}} = 2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$: volumen de oxígeno requerido.
- $\text{Ratio}_{O_2/\text{aire}} = 0,2095$: contenido de oxígeno en el aire.

Flujo de gas normalizado

$$Q_{\text{gas norm}} = Q_{\text{gas}} \cdot \frac{P_{\text{abs gas}}}{P_{\text{atm std}}} \cdot \frac{273,15}{273,15 + T_{\text{gas}}}$$

- $Q_{\text{gas norm}}$ [Nm^3/h]: flujo volumétrico normalizado de gas que entra en el quemador.
- Q_{gas} [m^3/h]: flujo volumétrico de gas que entra en el quemador.
- $P_{\text{abs gas}}$ [mbar]: presión absoluta del gas en la entrada del quemador.
- $P_{\text{atm std}} = 1013,25 \text{ mbar}$: presión atmosférica estándar.
- T_{gas} [$^{\circ}\text{C}$]: temperatura del gas en la entrada del quemador.

Flujo total de humos secos procedentes del quemador

$$\dot{m}_{\text{humos quemador}} = \left(V_{\text{humos secos resultantes}} + V_{O_2 \text{ requerido}} \cdot 0,01 \cdot \frac{\%_{\text{exceso aire}}}{\text{Ratio}_{O_2/\text{aire}}} \right) \cdot Q_{\text{gas norm}} \cdot \rho_{\text{aire } 0^{\circ}\text{C}}$$

- $\dot{m}_{\text{humos quemador}}$ [kg/h]: flujo másico total de humos secos procedentes del quemador.



- $V_{\text{humos secos resultantes}} = 8,5 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$: volumen de humos secos resultantes.
- $V_{O_2 \text{ requerido}} = 2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$: volumen de oxígeno requerido.
- $\%_{\text{exceso aire}}$: exceso de aire.
- $\text{Ratio}_{O_2/\text{aire}} = 0,2095$: contenido de oxígeno en el aire.
- $Q_{\text{gas norm}} [\text{Nm}^3/\text{h}]$: flujo volumétrico normalizado de gas que entra en el quemador.
- $\rho_{\text{aire } 0^\circ\text{C}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$: densidad del aire a 0°C .

Flujo de vapor procedente del quemador

$$\dot{m}_{\text{vapor quemador}} = \left(V_{\text{vapor resultante}} + V_{O_2 \text{ requerido}} \cdot \frac{1 + 0,01 \cdot \%_{\text{exceso aire}}}{\text{Ratio}_{O_2/\text{aire}}} \cdot \text{Ratio ambiental} \right) \cdot Q_{\text{gas norm}} \cdot \rho_{\text{vapor } 0^\circ\text{C}}$$

- $\dot{m}_{\text{vapor quemador}} [\text{kg/h}]$: flujo másico de vapor procedente del quemador.
- $V_{\text{vapor resultante}} = 2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$: volumen de vapor resultante.
- $V_{O_2 \text{ requerido}} = 2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}$: volumen de oxígeno requerido.
- $\%_{\text{exceso aire}}$: exceso de aire.
- $\text{Ratio}_{O_2/\text{aire}} = 0,2095$: contenido de oxígeno en el aire.
- Ratio ambiental : Nm^3 de vapor/ Nm^3 de aire alrededor del quemador.
- $Q_{\text{gas norm}} [\text{Nm}^3/\text{h}]$: flujo volumétrico normalizado de gas que entra en el quemador.
- $\rho_{\text{vapor } 0^\circ\text{C}} = 0,804 \text{ kg/m}^3$: densidad del vapor a 0°C .

Potencia teórica del quemador

$$P_{\text{teórica quemador}} = Q_{\text{gas norm}} \cdot PCI \cdot \eta_{\text{quemador}}$$

- $P_{\text{teórica quemador}} [\text{kW}]$: potencia teórica del quemador.
- $Q_{\text{gas norm}} [\text{Nm}^3/\text{h}]$: flujo volumétrico normalizado de gas que entra en el quemador.
- $PCI = 9,97 \text{ kWh/Nm}^3 \text{ gas}$: poder calorífico inferior del gas.
- $\eta_{\text{quemador}} = 0,98$: eficiencia del quemador.



BALANCE: POTENCIA PROCEDENTE DEL GAS	VALORES
Tipo de gas.	
Poder calorífico inferior, PCI.	10 kWh/Nm ³ gas
Oxígeno estequiométrico.	2 Nm ³ /Nm ³ gas
Vapor estequiométrico generado.	2 Nm ³ /Nm ³ gas
Humos secos estequiométricos generados.	8,5 Nm ³ /Nm ³ gas
Exceso de aire.	30%
Oxígeno con exceso de aire.	2,6 Nm ³ /Nm ³ gas
Humos totales generados con exceso de aire.	8,67 Nm ³ /Nm ³ gas
Flujo de gas.	16,64 m ³ /h
Flujo total de humos secos procedentes del quemador.	779,9 kg/h
Flujo de vapor procedente del quemador.	97,8 kg/h
Potencia teórica del quemador.	516,7 kW

Tabla 26: Resultados obtenidos por el balance para el bloque de potencia procedente del gas.

3.4.3 POTENCIA PERDIDA A TRAVÉS DE LOS HUMOS

Todos los resultados de este bloque se muestran en la Tabla 27.

Mezcla de humedad

$$W_{extracción\ humos} = RH2WABS (HR_{extr}, T_{seca\ extr\ humos}, P_{srel\ extr} + P_{amb})$$



- $W_{extracción\ humos}$ [$g\ vapor/kg\ aire\ seco$]: razón o mezcla de humedad de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- HR_{extr} [%]: humedad relativa de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $T_{seca\ extr\ humos}$ [$^{\circ}C$]: temperatura seca de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $Ps_{rel\ extr}$ [$mbar$]: presión estática relativa de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $Pamb$ [$mbar$]: presión ambiental.

Densidad del aire

$$\rho_{aire\ flujo\ hom} = Ma \cdot 100 \cdot \frac{Ps_{rel\ flujo\ hom} + Pamb - PVSAT(T_{seca\ flujo\ hom}) \cdot HR_{flujo\ hom}/100}{R \cdot (T_{seca\ flujo\ hom} + 273,15)} + Mv \cdot 100 \cdot \frac{PVSAT(T_{seca\ flujo\ hom}) \cdot HR_{flujo\ hom}/100}{R \cdot (T_{seca\ flujo\ hom} + 273,15)}$$

- $\rho_{aire\ flujo\ hom}$ [kg/m^3]: densidad del aire de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $Ma = 0,02897\ kg/mol$: masa molar del aire.
- $Ps_{rel\ flujo\ hom}$ [$mbar$]: presión estática relativa de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $Pamb$ [$mbar$]: presión ambiental.
- $T_{seca\ flujo\ hom}$ [$^{\circ}C$]: temperatura seca de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $PVSAT(T_{seca\ flujo\ hom})$ [$mbar$]: presión de vapor saturado de los humos a su temperatura seca.
- $HR_{flujo\ hom}$ [%]: humedad relativa de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $Mv = 0,01802\ kg/mol$: masa molar del vapor.

Flujo total de humos

$$Q_{total\ humos\ homog} = 3600 \cdot S \cdot V_{flujo\ hom}$$

- $Q_{total\ humos\ homog}$ [m^3/h]: flujo volumétrico total de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- S [m^2]: sección transversal del conducto extractor de humos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $V_{flujo\ hom}$ [m/s]: velocidad del flujo de gases extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.



Flujo de humos secos

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{humos secos extr}} &= Q_{\text{total humos homog}} \cdot \frac{T_{\text{atm std}} + 273,15}{T_{\text{seca flujo hom}} + 273,15} \\ &\cdot \frac{P_{\text{amb}} + P_{S_{\text{rel flujo hom}}} - PVSAT(T_{\text{seca flujo hom}}) \cdot HR_{\text{flujo hom}}/100}{P_{\text{atm std}}} \\ &\cdot \rho_{\text{aire } 0^{\circ}\text{C}} \end{aligned}$$

- $\dot{m}_{\text{humos secos extr}}$ [kg/h]: flujo másico de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $Q_{\text{total humos homog}}$ [m³/h]: flujo volumétrico total de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $T_{\text{atm std}} = 0^{\circ}\text{C}$: temperatura atmosférica estándar.
- $T_{\text{seca flujo hom}}$ [°C]: temperatura seca de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- P_{amb} [mbar]: presión ambiental.
- $P_{S_{\text{rel flujo hom}}}$ [mbar]: presión estática relativa de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $PVSAT(T_{\text{seca flujo hom}})$ [mbar]: presión de vapor saturado de los humos a su temperatura seca.
- $HR_{\text{flujo hom}}$ [%]: humedad relativa de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $P_{\text{atm std}} = 1013,25 \text{ mbar}$: presión atmosférica estándar.
- $\rho_{\text{aire } 0^{\circ}\text{C}} = 1,29 \text{ kg/m}^3$: densidad del aire a 0°C.

Flujo de vapor

$$\dot{m}_{\text{vapor extr}} = \dot{m}_{\text{humos secos extr}} \cdot HE_{\text{extracción humos}}/1000$$

- $\dot{m}_{\text{vapor extr}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $\dot{m}_{\text{humos secos extr}}$ [kg/h]: flujo másico de los humos secos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $W_{\text{extracción humos}}$ [g vapor/kg aire seco]: razón o mezcla de humedad de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.

Potencia liberada en los humos secos

$$P_{\text{humos secos}} = \dot{m}_{\text{humos secos extr}} \cdot C_{p_{\text{aire } 20^{\circ}\text{C}}} \cdot (T_{\text{seca extr humos}} - T_{\text{amb alrededor horno}})/3600$$

- $P_{\text{humos secos}}$ [kW]: potencia liberada en los humos secos de la sección de entrada, de salida o intermedia.



- $\dot{m}_{\text{humos secos extr}} [kg/h]$: flujo másico de los humos secos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $C_{p\text{aire } 20^\circ C} = 1,005 \text{ kJ}/(kg \cdot K)$: calor específico del aire a $20^\circ C$.
- $T_{\text{seca extr humos}} [^\circ C]$: temperatura seca de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $T_{\text{amb alrededor horno}} [^\circ C]$: temperatura ambiente alrededor del horno.

Potencia liberada en el vapor

$$P_{\text{vapor}} = \dot{m}_{\text{vapor extr}} \cdot C_{p\text{vapor}} \cdot (T_{\text{seca extr humos}} - T_{\text{amb alrededor horno}})/3600$$

- $P_{\text{vapor}} [kW]$: potencia liberada en el vapor de los humos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $\dot{m}_{\text{vapor extr}} [kg/h]$: flujo másico de vapor de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $C_{p\text{vapor}} = 1,89 \text{ kJ}/(kg \cdot K)$: calor específico del vapor.
- $T_{\text{seca extr humos}} [^\circ C]$: temperatura seca de los humos extraídos de la sección de entrada, de salida o intermedia.
- $T_{\text{amb alrededor horno}} [^\circ C]$: temperatura ambiente alrededor del horno.

Flujo total de humos secos en las extracciones

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{humos secos extr total}} \\ = \dot{m}_{\text{humos secos extr ent}} + \dot{m}_{\text{humos secos extr sal}} + \dot{m}_{\text{humos secos extr inter}} \end{aligned}$$

- $\dot{m}_{\text{humos secos extr total}} [kg/h]$: flujo másico de humos secos extraídos de todas las secciones.
- $\dot{m}_{\text{humos secos extr ent}} [kg/h]$: flujo másico de los humos secos extraídos de la sección de entrada.
- $\dot{m}_{\text{humos secos extr sal}} [kg/h]$: flujo másico de los humos secos extraídos de la sección de salida.
- $\dot{m}_{\text{humos secos extr inter}} [kg/h]$: flujo másico de los humos secos extraídos de la sección intermedia.

Flujo total de vapor en las extracciones

$$\dot{m}_{\text{vapor extr total}} = \dot{m}_{\text{vapor extr ent}} + \dot{m}_{\text{vapor extr sal}} + \dot{m}_{\text{vapor extr inter}}$$

- $\dot{m}_{\text{vapor extr total}} [kg/h]$: flujo másico de vapor de los humos extraídos de todas las secciones.
- $\dot{m}_{\text{vapor extr ent}} [kg/h]$: flujo másico de vapor de los humos extraídos de la sección de entrada.
- $\dot{m}_{\text{vapor extr sal}} [kg/h]$: flujo másico de vapor de los humos extraídos de la sección de salida.



- $\dot{m}_{vapor\ extr\ inter}$ [kg/h]: flujo másico de vapor de los humos extraídos de la sección intermedia.

Potencia total liberada en los humos extraídos

$$P_{total\ humos} = P_{vapor\ ent} + P_{vapor\ sal} + P_{vapor\ inter} + P_{humos\ secos\ ent} + P_{humos\ secos\ sal} + P_{humos\ secos\ inter}$$

- $P_{total\ humos}$ [kW]: potencia total liberada en los humos extraídos.
- $P_{vapor\ ent}$ [kW]: potencia liberada en el vapor de los humos de la sección de entrada.
- $P_{vapor\ sal}$ [kW]: potencia liberada en el vapor de los humos de la sección de salida.
- $P_{vapor\ inter}$ [kW]: potencia liberada en el vapor de los humos de una sección intermedia.
- $P_{humos\ secos\ ent}$ [kW]: potencia liberada en los humos secos de la sección de entrada.
- $P_{humos\ secos\ sal}$ [kW]: potencia liberada en los humos secos de la sección de salida.
- $P_{humos\ secos\ inter}$ [kW]: potencia liberada en los humos secos de la sección intermedia.



BALANCE: POTENCIA PERDIDA A TRAVÉS DE LOS HUMOS	VALORES	
	SECCIÓN DE ENTRADA	SECCIÓN DE SALIDA
Razón o mezcla de humedad.	25,3 g/kg	17,9 g/kg
Densidad del aire.	0,79 kg/m ³	0,81 kg/m ³
Flujo total de humos.	7.653,4 m ³ /h	0 m ³ /h
Flujo de humos secos.	5872,4 kg/h	0 kg/h
Flujo de vapor.	148,8 kg/h	0 kg/h
Potencia liberada en los humos secos.	239,4 kW	0 kW
Potencia liberada en el vapor.	11,4 kW	0 kW
Flujo total de humos secos en las extracciones.	5872,4 kg/h	
Flujo total de vapor en las extracciones.	148,8 kg/h	
Potencia total liberada en los humos extraídos.	250,8 kW	

Tabla 27: Valores obtenidos por el balance para el bloque de potencia perdida a través de los humos.

3.4.4 POTENCIA PROCEDENTE DEL AIRE PRECALENTADO

Todos los resultados de este bloque se presentan en la Tabla 28.



Flujo de aire seco extraído de la entrada sin contabilizar

$$\dot{m}_{\text{aire seco ent sin cont}} = \dot{m}_{\text{humos secos extr ent}} - (\dot{m}_{\text{humos quemador}} + \dot{m}_{\text{aire seco mat}}) \cdot 2/3$$

- $\dot{m}_{\text{aire seco ent sin cont}}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco de la entrada extraído sin contabilizar.
- $\dot{m}_{\text{humos secos extr ent}}$ [kg/h]: flujo másico de los humos secos extraídos de la sección de entrada.
- $\dot{m}_{\text{humos quemador}}$ [kg/h]: flujo másico total de humos secos procedentes del quemador.
- $\dot{m}_{\text{aire seco mat}}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco asociado al material entre la entrada y la salida del horno.

Flujo de aire seco extraído de la salida sin contabilizar

$$\dot{m}_{\text{aire seco sal sin cont}} = \dot{m}_{\text{humos secos extr sal}} - (\dot{m}_{\text{humos quemador}} + \dot{m}_{\text{aire seco mat}}) \cdot 1/3$$

- $\dot{m}_{\text{aire seco sal sin cont}}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco de la salida extraído sin contabilizar.
- $\dot{m}_{\text{humos secos extr sal}}$ [kg/h]: flujo másico de los humos secos extraídos de la sección de salida.
- $\dot{m}_{\text{humos quemador}}$ [kg/h]: flujo másico total de humos secos procedentes del quemador.
- $\dot{m}_{\text{aire seco mat}}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco asociado al material entre la entrada y la salida del horno.

Temperatura del aire después de cruzar la estructura de entrada

$$T_{\text{aire tras ent}} = T_{\text{int primera zona}} - (T_{\text{int primera zona}} - T_{\text{seca extr humos ent}}) \cdot (\dot{m}_{\text{vapor extr ent}} + \dot{m}_{\text{humos secos extr ent}}) / \dot{m}_{\text{aire seco ent sin cont}}$$

- $T_{\text{aire tras ent}}$ [°C]: temperatura del aire de proceso después de cruzar los transportadores y la estructura de entrada.
- $T_{\text{int primera zona}}$ [°C]: temperatura interior de la primera zona.
- $T_{\text{seca extr humos ent}}$ [°C]: temperatura seca de los humos extraídos de la sección de entrada.
- $\dot{m}_{\text{vapor extr ent}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor de los humos extraídos de la sección de entrada.
- $\dot{m}_{\text{humos secos extr ent}}$ [kg/h]: flujo másico de los humos secos extraídos de la sección de entrada.
- $\dot{m}_{\text{aire seco ent sin cont}}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco de la entrada extraído sin contabilizar.

Temperatura del aire después de cruzar la estructura de salida

$$T_{\text{aire tras sal}} = T_{\text{int última zona}} - (T_{\text{int última zona}} - T_{\text{seca extr humos sal}}) \cdot (\dot{m}_{\text{vapor extr sal}} + \dot{m}_{\text{humos secos extr sal}}) / \dot{m}_{\text{aire seco sal sin cont}}$$



- $T_{aire\ tras\ sal}$ [$^{\circ}C$]: temperatura del aire de proceso después de cruzar los transportadores y la estructura de salida.
- $T_{int\ última\ zona}$ [$^{\circ}C$]: temperatura interior de la última zona.
- $T_{seca\ extr\ humos\ sal}$ [$^{\circ}C$]: temperatura seca de los humos extraídos de la sección de salida.
- $\dot{m}_{vapor\ extr\ sal}$ [kg/h]: flujo másico de vapor de los humos extraídos de la sección de salida.
- $\dot{m}_{humos\ secos\ extr\ sal}$ [kg/h]: flujo másico de los humos secos extraídos de la sección de salida.
- $\dot{m}_{aire\ seco\ sal\ sin\ cont}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco de la salida extraído sin contabilizar.

Flujo de vapor procedente de la entrada del aire de proceso

$$\dot{m}_{vapor\ ent\ aire} = \dot{m}_{aire\ seco\ ent\ sin\ cont} \cdot W_{amb}/1000$$

- $\dot{m}_{vapor\ ent\ aire}$ [kg/h]: flujo másico de vapor procedente de la entrada del aire de proceso.
- $\dot{m}_{aire\ seco\ ent\ sin\ cont}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco de la entrada extraído sin contabilizar.
- W_{amb} [$g\ de\ vapor\ de\ agua/kg\ de\ aire\ seco$]: razón o mezcla de humedad ambiental.

Flujo de vapor procedente de la salida del aire de proceso

$$\dot{m}_{vapor\ sal\ aire} = \dot{m}_{aire\ seco\ sal\ sin\ cont} \cdot W_{amb}/1000$$

- $\dot{m}_{vapor\ sal\ aire}$ [kg/h]: flujo másico de vapor procedente de la salida del aire de proceso.
- $\dot{m}_{aire\ seco\ sal\ sin\ cont}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco de la salida extraído sin contabilizar.
- W_{amb} [$g\ de\ vapor\ de\ agua/kg\ de\ aire\ seco$]: razón o mezcla de humedad ambiental.

Pérdidas en la entrada

$$P_{pérd\ ent} = \dot{m}_{aire\ seco\ ent\ sin\ cont} \cdot C_{p\ aire\ 20^{\circ}C} \cdot (T_{aire\ tras\ ent} - T_{amb\ alrededor\ horno})/3600$$

- $P_{pérd\ ent}$ [kW]: pérdidas en la entrada.
- $\dot{m}_{aire\ seco\ ent\ sin\ cont}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco de la entrada extraído sin contabilizar.
- $C_{p\ aire\ 20^{\circ}C} = 1,005\ kJ/(kg \cdot K)$: calor específico del aire a $20^{\circ}C$.
- $T_{aire\ tras\ ent}$ [$^{\circ}C$]: temperatura del aire de proceso después de cruzar los transportadores y la estructura de entrada.
- $T_{amb\ alrededor\ horno}$ [$^{\circ}C$]: temperatura ambiente alrededor del horno.



Pérdidas en la salida

$$P_{pérd\ sal} = \dot{m}_{aire\ seco\ sal\ sin\ cont} \cdot C_{p_{aire\ 20^{\circ}C}} \cdot (T_{aire\ tras\ sal} - T_{amb_{alrededor\ horno}})/3600$$

- $P_{pérd\ sal}$ [kW]: pérdidas en la salida.
- $\dot{m}_{aire\ seco\ sal\ sin\ cont}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco de la salida extraído sin contabilizar.
- $C_{p_{aire\ 20^{\circ}C}} = 1,005\ kJ/(kg \cdot K)$: calor específico del aire a 20°C.
- $T_{aire\ tras\ sal}$ [°C]: temperatura del aire de proceso después de cruzar los transportadores y la estructura de salida.
- $T_{amb_{alrededor\ horno}}$ [°C]: temperatura ambiente alrededor del horno.

Pérdidas totales por la entrada del aire de dilución

$$P_{pérd\ tot\ aire\ dil} = P_{pérd\ ent} + P_{pérd\ sal}$$

- $P_{pérd\ tot\ aire\ dil}$ [kW]: pérdidas totales por la entrada del aire de dilución.
- $P_{pérd\ ent}$ [kW]: pérdidas en la entrada.
- $P_{pérd\ sal}$ [kW]: pérdidas en la salida.



BALANCE: POTENCIA PROCEDENTE DEL AIRE PRECALENTADO	VALORES
Flujo de aire seco extraído de la entrada sin contabilizar.	5.149 kg/h
Flujo de aire seco extraído de la salida sin contabilizar.	-362 kg/h
Temperatura del aire después de cruzar la estructura de entrada.	156,5°C
Temperatura del aire después de cruzar la estructura de salida.	249,7°C
Flujo de vapor procedente de la entrada del aire de proceso.	77,4 kg/h
Flujo de vapor procedente de la salida del aire de proceso.	-5,4 kg/h
Pérdidas en la entrada.	197,7 kW
Pérdidas en la salida.	-23,3 kW
Pérdidas totales por la entrada del aire de dilución.	174,4 kW

Tabla 28: Resultados obtenidos por el balance para el bloque de potencia procedente del aire precalentado.

3.4.5 POTENCIA PERDIDA A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES DEL HORNO

Todos los resultados de este bloque se muestran en la Tabla 29.

Superficie lateral del horno

$$S_{pared} = L_{horno} \cdot H_{horno}$$

- $S_{pared} [m^2]$: superficie total de un lateral del horno.
- $L_{horno} [m]$: longitud del horno.



- H_{horno} [m]: altura del horno.

Superficie del techo del horno

$$S_{\text{techo}} = L_{\text{horno}} \cdot A_{\text{horno}}$$

- S_{techo} [m²]: superficie total del techo del horno.
- L_{horno} [m]: longitud del horno.
- A_{horno} [m]: anchura del horno.

Superficie del suelo del horno

$$S_{\text{suelo}} = L_{\text{horno}} \cdot A_{\text{horno}}$$

- S_{suelo} [m²]: superficie total del suelo del horno.
- L_{horno} [m]: longitud del horno.
- A_{horno} [m]: anchura del horno.

Coefficiente de convección de la superficie lateral derecha

$$h_{\text{derecha}} = HCONV0 (Lado, T_{\text{superficie der}}, T_{\text{amb alrededor horno}}, L_{\text{horno}}, A_{\text{horno}}, H_{\text{horno}})$$

- h_{derecha} [W/(m² · K)]: coeficiente de convección h de la superficie lateral derecha del horno.
- $T_{\text{superficie der}}$ [°C]: temperatura media de la superficie lateral derecha.
- $T_{\text{amb alrededor horno}}$ [°C]: temperatura ambiente alrededor del horno.
- L_{horno} [m]: longitud del horno.
- A_{horno} [m]: anchura del horno.
- H_{horno} [m]: altura del horno.

Coefficiente de convección de la superficie lateral izquierda

$$h_{\text{izquierda}} = HCONV0 (Lado, T_{\text{superficie izq}}, T_{\text{amb alrededor horno}}, L_{\text{horno}}, A_{\text{horno}}, H_{\text{horno}})$$

- $h_{\text{izquierda}}$ [W/(m² · K)]: coeficiente de convección h de la superficie lateral izquierda del horno.
- $T_{\text{superficie izq}}$ [°C]: temperatura media de la superficie lateral izquierda.
- $T_{\text{amb alrededor horno}}$ [°C]: temperatura ambiente alrededor del horno.
- L_{horno} [m]: longitud del horno.
- A_{horno} [m]: anchura del horno.
- H_{horno} [m]: altura del horno.

Coefficiente de convección del techo

$$h_{\text{techo}} = HCONV0 (T_{\text{techo}}, T_{\text{techo}}, T_{\text{amb alrededor horno}}, L_{\text{horno}}, A_{\text{horno}}, H_{\text{horno}})$$



- h_{techo} [$W/(m^2 \cdot K)$]: coeficiente de convección h del techo del horno.
- T_{techo} [$^{\circ}C$]: temperatura media del techo.
- T_{amb} alrededor horno [$^{\circ}C$]: temperatura ambiente alrededor del horno.
- L_{horno} [m]: longitud del horno.
- A_{horno} [m]: anchura del horno.
- H_{horno} [m]: altura del horno.

Coeficiente de convección del suelo

$$h_{suelo} = HCONVO (Suelo, T_{suelo}, T_{amb} \text{ alrededor horno}, L_{horno}, A_{horno}, H_{horno})$$

- h_{suelo} [$W/(m^2 \cdot K)$]: coeficiente de convección h del suelo del horno.
- T_{suelo} [$^{\circ}C$]: temperatura media del suelo.
- T_{amb} alrededor horno [$^{\circ}C$]: temperatura ambiente alrededor del horno.
- L_{horno} [m]: longitud del horno.
- A_{horno} [m]: anchura del horno.
- H_{horno} [m]: altura del horno.

Pérdidas convectivas totales a través de las superficies

$$P_{pérd_{conv \text{ tot superf}}}$$

$$= (S_{pared} \cdot h_{derecha} \cdot (T_{superficie \text{ der}} - T_{amb} \text{ alrededor horno}) + S_{pared} \cdot h_{izquierda} \cdot (T_{superficie \text{ izq}} - T_{amb} \text{ alrededor horno}) + S_{techo} \cdot h_{techo} \cdot (T_{techo} - T_{amb} \text{ alrededor horno}) + S_{suelo \text{ contacto aire}} \cdot h_{suelo} \cdot (T_{suelo} - T_{amb} \text{ alrededor horno}))/1000$$

- $P_{pérd_{conv \text{ tot superf}}}$ [kW]: potencia de pérdidas convectivas totales a través de las superficies.
- S_{pared} [m^2]: superficie total de un lateral del horno.
- $h_{derecha}$ [$W/(m^2 \cdot K)$]: coeficiente de convección h de la superficie lateral derecha del horno.
- $T_{superficie \text{ der}}$ [$^{\circ}C$]: temperatura media de la superficie lateral derecha.
- T_{amb} alrededor horno [$^{\circ}C$]: temperatura ambiente alrededor del horno.
- $h_{izquierda}$ [$W/(m^2 \cdot K)$]: coeficiente de convección h de la superficie lateral izquierda del horno.
- $T_{superficie \text{ izq}}$ [$^{\circ}C$]: temperatura media de la superficie lateral izquierda.
- S_{techo} [m^2]: superficie total del techo del horno.
- h_{techo} [$W/(m^2 \cdot K)$]: coeficiente de convección h del techo del horno.
- T_{techo} [$^{\circ}C$]: temperatura media del techo.
- $S_{suelo \text{ contacto aire}}$ [m^2]: superficie total del suelo del horno que está en contacto con aire.
- h_{suelo} [$W/(m^2 \cdot K)$]: coeficiente de convección h del suelo del horno.
- T_{suelo} [$^{\circ}C$]: temperatura media del suelo.



Pérdidas radiactivas totales a través de las superficies

$Ppérd_{radiact\ tot\ superf}$

$$= \varepsilon \cdot \sigma \cdot (S_{pared} \cdot (273,15 + T_{superficie\ der})^4 + S_{pared} \cdot (273,15 + T_{superficie\ izq})^4 + S_{techo} \cdot (273,15 + T_{techo})^4 + S_{suelo\ contacto\ aire} \cdot (273,15 + T_{suelo})^4 - (S_{pared} + S_{pared} + S_{techo} + S_{suelo\ contacto\ aire}) \cdot (273,15 + T_{amb\ alrededor\ horno})^4) / 1000$$

- $Ppérd_{radiact\ tot\ superf}$ [kW]: potencia de pérdidas radiactivas totales a través de las superficies.
- $\varepsilon = 0,95$: emisividad.
- $\sigma = 5,67036 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$: constante de Stefan-Boltzmann.
- S_{pared} [m²]: superficie total de un lateral del horno.
- $T_{superficie\ der}$ [°C]: temperatura media de la superficie lateral derecha.
- $T_{superficie\ izq}$ [°C]: temperatura media de la superficie lateral izquierda.
- S_{techo} [m²]: superficie total del techo del horno.
- T_{techo} [°C]: temperatura media del techo.
- $S_{suelo\ contacto\ aire}$ [m²]: superficie total del suelo del horno que está en contacto con aire.
- T_{suelo} [°C]: temperatura media del suelo.
- $T_{amb\ alrededor\ horno}$ [°C]: temperatura ambiente alrededor del horno.

Pérdidas totales a través de las superficies verticales

$Ppérd_{tot\ laterales}$

$$= (S_{pared} \cdot h_{derecha} \cdot (T_{superficie\ der} - T_{amb\ alrededor\ horno}) + S_{pared} \cdot h_{izquierda} \cdot (T_{superficie\ izq} - T_{amb\ alrededor\ horno}) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (S_{pared} \cdot (273,15 + T_{derecha})^4 + S_{pared} \cdot (273,15 + T_{izquierda})^4 - (S_{pared} + S_{pared}) \cdot (273,15 + T_{amb\ alrededor\ horno})^4)) / 1000$$

- $Ppérd_{tot\ laterales}$ [kW]: potencia de pérdidas totales a través de las superficies laterales.
- S_{pared} [m²]: superficie total de un lateral del horno.
- $h_{derecha}$ [W/(m² · K)]: coeficiente de convección h de la superficie lateral derecha del horno.
- $T_{superficie\ der}$ [°C]: temperatura media de la superficie lateral derecha.
- $T_{amb\ alrededor\ horno}$ [°C]: temperatura ambiente alrededor del horno.
- $h_{izquierda}$ [W/(m² · K)]: coeficiente de convección h de la superficie lateral izquierda del horno.
- $T_{superficie\ izq}$ [°C]: temperatura media de la superficie lateral izquierda.
- $\varepsilon = 0,95$: emisividad.
- $\sigma = 5,67036 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$: constante de Stefan-Boltzmann.



Pérdidas totales a través del techo

$$Ppérd_{tot\ techo} = (S_{techo} \cdot h_{techo} \cdot (T_{techo} - Tamb_{alrededor\ horno}) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (S_{techo} \cdot (273,15 + T_{techo})^4 - S_{techo} \cdot (273,15 + Tamb_{alrededor\ horno})^4))/1000$$

- $Ppérd_{tot\ techo}$ [kW]: potencia de pérdidas totales a través del techo.
- S_{techo} [m²]: superficie total del techo del horno.
- h_{techo} [W/(m² · K)]: coeficiente de convección h del techo del horno.
- T_{techo} [°C]: temperatura media del techo.
- $Tamb_{alrededor\ horno}$ [°C]: temperatura ambiente alrededor del horno.
- $\varepsilon = 0,95$: emisividad.
- $\sigma = 5,67036 \cdot 10^{-8}$ W/(m² · K⁴): constante de Stefan-Boltzmann.

Pérdidas totales a través del suelo

$$Ppérd_{tot\ suelo} = (S_{suelo\ contacto\ aire} \cdot h_{suelo} \cdot (T_{suelo} - Tamb_{alrededor\ horno}) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (S_{suelo\ contacto\ aire} \cdot (273,15 + T_{suelo})^4 - S_{suelo\ contacto\ aire} \cdot (273,15 + Tamb_{alrededor\ horno})^4))/1000$$

- $Ppérd_{tot\ suelo}$ [kW]: potencia de pérdidas totales a través del suelo.
- $S_{suelo\ contacto\ aire}$ [m²]: superficie total del suelo del horno que está en contacto con aire.
- h_{suelo} [W/(m² · K)]: coeficiente de convección h del suelo del horno.
- T_{suelo} [°C]: temperatura media del suelo.
- $Tamb_{alrededor\ horno}$ [°C]: temperatura ambiente alrededor del horno.
- $\varepsilon = 0,95$: emisividad.
- $\sigma = 5,67036 \cdot 10^{-8}$ W/(m² · K⁴): constante de Stefan-Boltzmann.

Pérdidas totales a través de todas las superficies

$$Ppérd_{tot\ superficies} = Ppérd_{tot\ laterales} + Ppérd_{tot\ techo} + Ppérd_{tot\ suelo}$$

- $Ppérd_{tot\ superficies}$ [kW]: potencia de pérdidas totales a través de todas las superficies.
- $Ppérd_{tot\ laterales}$ [kW]: potencia de pérdidas totales a través de las superficies laterales.
- $Ppérd_{tot\ techo}$ [kW]: potencia de pérdidas totales a través del techo.
- $Ppérd_{tot\ suelo}$ [kW]: potencia de pérdidas totales a través del suelo.



BALANCE: POTENCIA PERDIDA A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES DEL HORNO	VALORES			
	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO	TECHO	SUELO
Superficie.	143,8 m ²	143,8 m ²	118,6 m ²	118,6 m ²
Coeficiente de convección, h.	3,6 W/(m ² ·K)	3,3 W/(m ² ·K)	4,6 W/(m ² ·K)	1,4 W/(m ² ·K)
Pérdidas convectivas totales a través de las superficies.	28,5 kW			
Pérdidas radiactivas totales a través de las superficies.	43,8 kW			
Pérdidas totales a través de las superficies.	45,9 kW		26,4 kW	0 kW
Pérdidas totales a través de las superficies.	72,3 kW			

Tabla 29: Valores obtenidos por el balance para el bloque de potencia perdida a través de las superficies.

3.4.6 BALANCE GLOBAL DE POTENCIA

Todos los resultados del balance global de potencia se muestran en la Tabla 30.

Pérdidas en el producto (sobrecurado)

$$P_{pérd_{producto}} = 0 \text{ si } P_{total\ mat} - P_{obj\ mat} < 0$$

$$P_{pérd_{producto}} = P_{total\ mat} - P_{obj\ mat} \text{ si } P_{total\ mat} - P_{obj\ mat} \geq 0$$



- $P_{pérd\text{ producto}}$ [kW]: potencia de pérdidas en el producto por exceso de curado.
- $P_{total\text{ mat}}$ [kW]: potencia total transferida al material.
- $P_{obj\text{ mat}}$ [kW]: potencia objetivo que hay que transferir al material.

Disipación total de potencia medida

$$P_{tot\text{ med disipada}} = P_{obj\text{ mat}} + P_{pérd\text{ producto}} + P_{total\text{ humos}} + P_{pérd\text{ tot superficies}}$$

- $P_{tot\text{ med disipada}}$ [kW]: potencia total medida disipada.
- $P_{obj\text{ mat}}$ [kW]: potencia objetivo que hay que transferir al material.
- $P_{pérd\text{ producto}}$ [kW]: potencia de pérdidas en el producto por exceso de curado.
- $P_{total\text{ humos}}$ [kW]: potencia total liberada en los humos extraídos.
- $P_{pérd\text{ tot superficies}}$ [kW]: potencia de pérdidas totales a través de todas las superficies.

Potencia del quemador (%)

$$P_{quemador\ \%} = \frac{100 \cdot P_{teórica\ quemador}}{P_{teórica\ quemador}} = 100\%$$

- $P_{quemador\ \%}$: potencia consumida por el quemador con respecto a su potencia teórica.
- $P_{teórica\ quemador}$ [kW]: potencia teórica del quemador.

Potencia transferida al material (%)

$$P_{material\ \%} = 100 \cdot P_{obj\text{ mat}} / P_{teórica\ quemador}$$

- $P_{material\ \%}$: potencia objetivo requerida por el material con respecto a la potencia teórica del quemador.
- $P_{obj\text{ mat}}$ [kW]: potencia objetivo que hay que transferir al material.
- $P_{teórica\ quemador}$ [kW]: potencia teórica del quemador.

Potencia de pérdidas en el producto (sobrecurado) (%)

$$P_{pérd\text{ producto}\ \%} = 100 \cdot P_{pérd\text{ producto}} / P_{teórica\ quemador}$$

- $P_{pérd\text{ producto}\ \%}$: potencia perdida en el producto por sobrecurado frente a la potencia teórica del quemador.
- $P_{pérd\text{ producto}}$ [kW]: potencia de pérdidas en el producto por exceso de curado.
- $P_{teórica\ quemador}$ [kW]: potencia teórica del quemador.

Potencia de pérdidas a través de las superficies (%)

$$P_{pérd\text{ superficies}\ \%} = 100 \cdot P_{pérd\text{ tot superficies}} / P_{teórica\ quemador}$$



- $P_{pérd\ superficies} \%$: potencia perdida a través de todas las superficies frente a la potencia teórica del quemador.
- $P_{pérd\ tot\ superficies} [kW]$: potencia de pérdidas totales a través de todas las superficies.
- $P_{teórica\ quemador} [kW]$: potencia teórica del quemador.

Potencia de pérdidas en las extracciones de humos (%)

$$P_{pérd\ extracciones} \% = 100 \cdot P_{total\ humos} / P_{teórica\ quemador}$$

- $P_{pérd\ extracciones} \%$: potencia perdida en todas las extracciones de humos frente a la potencia teórica del quemador.
- $P_{total\ humos} [kW]$: potencia total liberada en los humos extraídos.
- $P_{teórica\ quemador} [kW]$: potencia teórica del quemador.

Disipación de potencia medida total (%)

$$P_{med\ disipada} \% = 100 \cdot P_{tot\ med\ disipada} / P_{teórica\ quemador}$$

- $P_{med\ disipada} \%$: potencia medida disipada total con respecto a la potencia teórica del quemador.
- $P_{tot\ med\ disipada} [kW]$: potencia total medida disipada.
- $P_{teórica\ quemador} [kW]$: potencia teórica del quemador.



BALANCE GLOBAL DE POTENCIA	VALORES	
	kW	% DE LA POTENCIA DEL QUEMADOR
Potencia del quemador.	516,7	100
Potencia transferida al material.	158,9	31
Potencia de pérdidas en el producto (sobrecurado).	16	3
Potencia de pérdidas a través de las superficies del horno.	72,3	14
Potencia de pérdidas a través de las aspiraciones de humos.	250,8	49
Medida de potencia total disipada.	498	96
Potencia de pérdidas debido a la penetración de aire de proceso.	174,37 kW	

Tabla 30: Resultados obtenidos para el balance global de potencia.

3.4.7 BALANCE GLOBAL DE MASA

Flujo total de aire seco no contabilizado

$$\dot{m}_{\text{aire seco tot sin cont}} = \dot{m}_{\text{aire seco ent sin cont}} + \dot{m}_{\text{aire seco sal sin cont}}$$

- $\dot{m}_{\text{aire seco tot sin cont}}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco total extraído sin contabilizar.



- $\dot{m}_{\text{aire seco ent sin cont}}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco de la entrada extraído sin contabilizar.
- $\dot{m}_{\text{aire seco sal sin cont}}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco de la salida extraído sin contabilizar.

Flujo total de aire seco asociado al material (%)

$$\dot{m}_{\text{aire seco mat \%}} = 100 \cdot \dot{m}_{\text{aire seco mat}} / \dot{m}_{\text{humos secos extr total}}$$

- $\dot{m}_{\text{aire seco mat \%}}$: flujo másico de aire seco asociado al material frente al flujo másico de humos secos extraídos total.
- $\dot{m}_{\text{aire seco mat}}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco asociado al material entre la entrada y la salida del horno.
- $\dot{m}_{\text{humos secos extr total}}$ [kg/h]: flujo másico de humos secos extraídos de todas las secciones.

Flujo total de humos secos procedente del quemador (%)

$$\dot{m}_{\text{humos secos quemador \%}} = 100 \cdot \dot{m}_{\text{humos quemador}} / \dot{m}_{\text{humos secos extr total}}$$

- $\dot{m}_{\text{humos secos quemador \%}}$: flujo másico de humos secos procedente del quemador frente al flujo másico de humos secos extraídos total.
- $\dot{m}_{\text{humos quemador}}$ [kg/h]: flujo másico total de humos secos procedentes del quemador.
- $\dot{m}_{\text{humos secos extr total}}$ [kg/h]: flujo másico de humos secos extraídos de todas las secciones.

Flujo total de aire seco de proceso supuesto (%)

$$\dot{m}_{\text{aire seco supuesto \%}} = 100 \cdot \dot{m}_{\text{aire seco tot sin cont}} / \dot{m}_{\text{humos secos extr total}}$$

- $\dot{m}_{\text{aire seco supuesto \%}}$: flujo másico de aire seco extraído sin contabilizar frente al flujo másico de humos secos extraídos total.
- $\dot{m}_{\text{aire seco tot sin cont}}$ [kg/h]: flujo másico de aire seco total extraído sin contabilizar.
- $\dot{m}_{\text{humos secos extr total}}$ [kg/h]: flujo másico de humos secos extraídos de todas las secciones.

Posible flujo de vapor procedente del aire exterior

$$\dot{m}_{\text{vapor del aire ext}} = \dot{m}_{\text{vapor ent aire}} + \dot{m}_{\text{vapor sal aire}}$$

- $\dot{m}_{\text{vapor del aire ext}}$ [kg/h]: posible flujo másico de vapor procedente del aire exterior.
- $\dot{m}_{\text{vapor ent aire}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor procedente de la entrada del aire de proceso.
- $\dot{m}_{\text{vapor sal aire}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor procedente de la salida del aire de proceso.



Flujo total de vapor no contabilizado

$$\dot{m}_{\text{vapor tot no cont}} = \dot{m}_{\text{vapor extr total}} - \dot{m}_{\text{vapor del aire ext}} - \dot{m}_{\text{vapor quemador}} - \dot{m}_{\text{vapor prod}}$$

- $\dot{m}_{\text{vapor tot no cont}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor no contabilizado total.
- $\dot{m}_{\text{vapor extr total}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor de los humos extraídos de todas las secciones, en una zona próxima a la salida de la estufa = Flujo másico de vapor extraído total.
- $\dot{m}_{\text{vapor del aire ext}}$ [kg/h]: posible flujo másico de vapor procedente del aire exterior.
- $\dot{m}_{\text{vapor quemador}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor procedente del quemador.
- $\dot{m}_{\text{vapor prod}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor que sale del producto desde que entra hasta que sale del horno.

Flujo de vapor total asociado al material (%)

$$\dot{m}_{\text{vapor tot material \%}} = 100 \cdot \dot{m}_{\text{vapor prod}} / \dot{m}_{\text{vapor extr total}}$$

- $\dot{m}_{\text{vapor tot material \%}}$: flujo másico de vapor total que sale del material a su paso por el horno frente al flujo másico de vapor total extraído.
- $\dot{m}_{\text{vapor prod}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor que sale del producto desde que entra hasta que sale del horno.
- $\dot{m}_{\text{vapor extr total}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor extraído en una zona cercana a la extracción de humos de cada sección (entrada, salida e intermedia).

Flujo de vapor total procedente del quemador (%)

$$\dot{m}_{\text{vapor tot quemador \%}} = 100 \cdot \dot{m}_{\text{vapor quemador}} / \dot{m}_{\text{vapor extr total}}$$

- $\dot{m}_{\text{vapor tot quemador \%}}$: flujo másico de vapor procedente del quemador frente al flujo másico de vapor extraído total.
- $\dot{m}_{\text{vapor quemador}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor procedente del quemador.
- $\dot{m}_{\text{vapor extr total}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor de los humos extraídos de todas las secciones, en una zona próxima a la salida de la estufa.

Flujo de vapor total del aire de proceso (%)

$$\dot{m}_{\text{vapor tot aire proceso \%}} = 100 \cdot \dot{m}_{\text{vapor del aire ext}} / \dot{m}_{\text{vapor extr total}}$$

- $\dot{m}_{\text{vapor tot aire proceso \%}}$: flujo másico de vapor total asociado al aire de proceso frente al flujo másico de vapor extraído total.
- $\dot{m}_{\text{vapor del aire ext}}$ [kg/h]: posible flujo másico de vapor procedente del aire exterior.
- $\dot{m}_{\text{vapor extr total}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor de los humos extraídos de todas las secciones, en una zona próxima a la salida de la estufa.



Flujo de vapor total no contabilizado (%)

$$\dot{m}_{\text{vapor tot no contabilizado \%}} = 100 \cdot \frac{\dot{m}_{\text{vapor extr total}} - \dot{m}_{\text{vapor del aire ext}} - \dot{m}_{\text{vapor quemador}} - \dot{m}_{\text{vapor prod}}}{\dot{m}_{\text{vapor extr total}}}$$

- $\dot{m}_{\text{vapor tot no contabilizado \%}}$: flujo másico de vapor total no contabilizado.
- $\dot{m}_{\text{vapor extr total}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor de los humos extraídos de todas las secciones, en una zona próxima a la salida de la estufa.
- $\dot{m}_{\text{vapor del aire ext}}$ [kg/h]: posible flujo másico de vapor procedente del aire exterior.
- $\dot{m}_{\text{vapor quemador}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor procedente del quemador.
- $\dot{m}_{\text{vapor prod}}$ [kg/h]: flujo másico de vapor que sale del producto desde que entra hasta que sale del horno.

3.4.8 CONSUMOS

Consumo específico de gas

$$E_{\text{consumo gas}} = \frac{P_{\text{teórica quemador}}}{\text{Tirada}_{\text{vidrio en horno}}/24}$$

- $E_{\text{consumo gas}}$ [kWh/t]: consumo específico de energía (gas).
- $P_{\text{teórica quemador}}$ [kW]: potencia teórica del quemador.
- $\text{Tirada}_{\text{vidrio en horno}}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).

Consumo específico de gas y electricidad

$$E_{\text{consumo gas+electricidad}} = \frac{P_{\text{teórica quemador}} + P_{\text{tot ventiladores circulación}} + P_{\text{tot ventiladores de quemadores}}}{\text{Tirada}_{\text{vidrio en horno}}/24} + \frac{P_{\text{ventilador extractor ent}} + P_{\text{ventilador extractor sal}} + 0,2 \cdot (P_{\text{transportador superior}} + P_{\text{transportador inferior}})}{\text{Tirada}_{\text{vidrio en horno}}/24}$$

- $E_{\text{consumo gas+electricidad}}$ [kWh/t]: consumo específico de energía total (gas y electricidad).
- $P_{\text{teórica quemador}}$ [kW]: potencia teórica del quemador.
- $P_{\text{tot ventiladores circulación}}$ [kW]: potencia consumida por todos los ventiladores de circulación.
- $P_{\text{tot ventiladores de quemadores}}$ [kW]: potencia consumida por todos los ventiladores de los quemadores.
- $P_{\text{ventilador extractor ent}}$ [kW]: potencia consumida por el ventilador extractor de la entrada.



- $P_{\text{ventilador extractor sal}}$ [kW]: potencia consumida por el ventilador extractor de la salida.
- $P_{\text{transportador superior}}$ [kW]: potencia consumida por el transportador superior.
- $P_{\text{transportador inferior}}$ [kW]: potencia consumida por el transportador inferior.
- $Tirada_{\text{vidrio en horno}}$ [t/día]: toneladas de vidrio al día que atraviesan el horno de polimerización (antes del corte de las bandas).

3.4.9 EFICIENCIA

Eficiencia térmica (%)

$$\eta_{\text{térmica}} \% = \frac{P_{\text{obj mat}}}{P_{\text{teórica quemador}} + 0,9 \cdot 0,23 \cdot P_{\text{tot ventiladores circulación}}}$$

- $\eta_{\text{térmica}} \%$: eficiencia térmica (potencia útil/potencia del gas).
- $P_{\text{obj mat}}$ [kW]: potencia objetivo que hay que transferir al material.
- $P_{\text{teórica quemador}}$ [kW]: potencia teórica del quemador.
- $P_{\text{tot ventiladores circulación}}$ [kW]: potencia consumida por todos los ventiladores de circulación.

Eficiencia global (%)

$\eta_{\text{global}} \%$

$$= \frac{P_{\text{obj mat}}}{P_{\text{teórica quem}} + P_{\text{tot vent circ}} + P_{\text{tot vent de quem}} + P_{\text{vent extractor ent}} + P_{\text{vent extractor sal}} + 0,2 \cdot (P_{\text{tte sup}} + P_{\text{tte inf}})}$$

- $\eta_{\text{global}} \%$: eficiencia global (potencia útil/potencia del gas y de la electricidad).
- $P_{\text{obj mat}}$ [kW]: potencia objetivo que hay que transferir al material.
- $P_{\text{teórica quemador}}$ [kW]: potencia teórica del quemador.
- $P_{\text{tot ventiladores circulación}}$ [kW]: potencia consumida por todos los ventiladores de circulación.
- $P_{\text{tot ventiladores de quemadores}}$ [kW]: potencia consumida por todos los ventiladores de los quemadores.
- $P_{\text{ventilador extractor ent}}$ [kW]: potencia consumida por el ventilador extractor de la entrada.
- $P_{\text{ventilador extractor sal}}$ [kW]: potencia consumida por el ventilador extractor de la salida.
- $P_{\text{transportador superior}}$ [kW]: potencia consumida por el transportador superior.
- $P_{\text{transportador inferior}}$ [kW]: potencia consumida por el transportador inferior.



4. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE LAS 5W

4.1 CONSUMOS DE GAS

4.1.1 DATOS DE PARTIDA

Para obtener los consumos energéticos de gas del horno, se tomaron los volúmenes de gas en m³ registrados por todos los contadores en dos instantes diferentes, recogiendo también el tiempo en horas transcurrido entre ambos. Estos datos de partida se muestran a continuación.

FECHA	NOMBRE	INICIO			CONSUMOS DE GAS AL INICIO (m3)				
		HORA	PRODUCTO	TIRADA (t/día)	QUEMADOR 1	QUEMADOR 2	QUEMADOR 3	QUEMADOR 4	QUEMADOR 5
07/02/19 M	ARENA 45	9:00	KD 72833	48,00	11.522,20	85.105,14	89.656,97	95.672,56	76.651,20
12/02/19 M	CLIMAVER NETO 25	9:30	KD 24424	84,00	11.938,47	85.492,88	90.087,28	96.169,29	77.058,10
12/02/19 N	CLIMAVER NETO S/C 25	23:30	KD 71279	88,00	12.037,30	85.536,35	90.134,93	96.232,63	77.095,84
13/02/19 M	CLIMAVER NETO S/C 25	7:30	KD 71279	88,00	12.109,46	85.562,70	90.164,33	96.271,52	77.114,93
14/02/19 M	CLIMAVER NETO S/C 25	8:00	KD 71279	88,00	12.301,13	85.634,24	90.244,87	96.381,60	77.189,42
15/02/19 M	CLIMAVER NETO S/C 25	7:00	KD 71280	84,00	12.489,55	85.712,18	90.330,03	96.497,50	77.281,84
17/02/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	7:00	KD 71277	88,00	12.882,62	85.868,84	90.502,89	96.734,23	77.475,60
20/02/19 T	ARENA 65	16:10	KD 10005	74,80	13.268,11	86.121,64	90.767,29	97.064,70	77.769,17
21/02/19 N	ISOAIR ARENA 30	23:15	KD 61823	48,00	13.366,63	86.258,26	90.898,86	97.220,89	77.893,95
22/02/19 N	ARENA 45	23:00	KD 72832	64,00	13.455,58	86.338,03	90.994,03	97.339,32	77.994,39
23/02/19 N	ARENA 45	22:30	KD 72833	64,00	13.557,25	86.414,49	91.078,68	97.443,53	78.087,78
24/02/19 N	PV ACUSTIVER 50	22:30	KD 17285	56,00	13.634,99	86.512,38	91.171,95	97.549,10	78.181,66
25/02/19 M	IBR 50	7:45	KD 46834	37,00	13.661,94	86.556,61	91.211,95	97.591,66	78.218,39
27/02/19 T	PB 38-73892 45	15:45	KD 72174	48,00	13.797,79	86.703,24	91.452,93	97.845,50	78.440,32
28/02/19 T	PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	16:35	KD 32091	34,00	13.897,28	86.775,86	91.534,58	97.949,52	78.533,94
02/03/19 N	IBR 80	23:45	KD 40555	68,00	14.137,46	86.915,44	91.706,98	98.177,75	78.750,62
05/03/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	7:30	KD 71277	88,00	14.316,62	87.047,52	91.848,95	98.363,98	78.912,09
06/03/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	7:30	KD 71277	88,00	14.442,34	87.161,74	91.952,68	98.497,24	79.029,59
07/03/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	7:30	KD 71278	84,00	14.567,29	87.276,75	92.058,40	98.632,03	79.143,28
09/03/19 T	ARENA 45	15:00	KD 72833	64,00	14.837,47	87.488,65	92.260,82	98.887,71	79.345,51
11/03/19 N	PV ACUSTIVER 50	23:50	KD 17285	56,00	15.157,14	87.716,82	92.519,08	99.186,61	79.600,31
12/03/19 N	IBR 50	1:50	KD 46834	48,00	15.334,59	87.828,46	92.630,96	99.320,53	79.715,81
14/03/19 M	IBR 80	7:30	KD 40554	68,00	15.504,66	87.947,26	92.763,01	99.481,73	79.844,74
16/03/19 M	ARENA 65	7:25	KD 10004	64,00	15.724,61	88.074,30	92.960,54	99.734,83	80.015,74
17/03/19 T	ARENA 45	16:45	KD 72833	64,00	15.869,93	88.224,92	93.084,71	99.894,05	80.135,76
18/03/19 T	PV ACUSTIVER 50	15:50	KD 17285	56,00	15.983,62	88.291,14	93.167,84	1,57	80.232,47
23/03/19 N	ARENA 45	23:30	KD 72833	64,00	16.604,50	88.684,70	93.628,26	579,96	80.753,11
25/03/19 M	ECOVENT 035 60	10:25	KD 10021	48,00	16.766,01	88.782,92	93.744,06	731,68	80.891,42
28/03/19 T	PV-ACUSTIVER 50	15:35	KD 22130	56,00	17.087,02	89.028,90	94.028,27	1.094,15	81.201,82
06/04/19 M	CLIMAVER NETO S/C 25	7:00	KD 71279	88,00	17.530,90	89.351,79	94.406,39	1.544,12	81.589,89
08/04/19 M	CLIMAVER NETO S/C 25	7:00	KD 71279	88,00	17.911,22	89.385,34	94.582,92	1.776,39	81.799,24
15/04/19 T	IBR 80	15:00	KD 40554	68,00	18.889,08	89.861,47	95.182,64	2.538,83	82.420,69
20/04/19 M	ARENA 45	6:30	KD 72832	64,00	19.292,67	90.135,69	95.548,34	2.982,06	82.754,13
21/04/19 M	ARENA 45	7:00	KD 72833	64,00	19.397,44	90.198,75	95.629,46	3.083,71	82.832,58
23/04/19 M	PV ACUSTIVER 50	7:30	KD 23702	56,00	19.600,45	90.323,75	95.788,51	3.283,51	82.985,07
24/04/19 T	PV ACUSTIVER 50	13:00	KD 23702	56,00	19.676,09	90.409,26	95.888,24	3.387,23	83.077,44
29/04/19 T	ARENA 45	15:00	KD 72833	64,00	20.108,40	90.628,12	96.315,03	3.900,63	83.548,15
03/05/19 N	PB 38 - 73892 45	23:30	KD 73892	48,00	20.441,01	90.901,32	96.652,38	4.293,14	83.893,65
09/05/19 M	CLIMAVER PLUS R 2,4 S/C 25	7:30	KD 71278	84,00	20.940,44	91.221,43	97.068,61	4.723,40	84.284,99
12/05/19 M	CLIMAVER NETO S/C 25	23:00	KD 71279	88,00	21.534,84	91.507,59	97.410,05	5.119,46	84.684,77
19/05/19 T	ARENA 45	15:00	KD 72832	64,00	22.253,47	91.907,45	97.914,93	5.776,26	85.113,46
21/05/19 T	PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	16:00	KD 32091	34,00	22.483,89	92.030,65	98.066,63	5.983,80	85.263,98
25/05/19 M	ARENA 65	7:00	KD 10005	74,00	22.868,18	92.278,88	98.374,38	6.380,30	85.498,64
26/05/19 M	ARENA 45	7:00	KD 72832	64,00	22.985,81	92.347,16	98.457,63	6.484,89	85.563,71
26/05/19 T	ARENA 45	15:00	KD 72832	64,00	23.027,51	92.370,37	98.485,74	6.520,88	85.586,54
28/05/19 T	PV ACUSTIVER 50	14:45	KD 17285	56,00	23.262,37	92.499,11	98.652,03	6.749,65	85.706,59
29/05/19 N	IBR 80	0:00	KD 40554	68,00	23.401,90	92.579,70	98.760,73	6.902,32	85.840,53
07/06/19 T	CLIMAVER NETO S/C 25	15:15	KD 71279	88,00	24.389,51	93.090,15	99.392,80	7.782,27	86.542,64
07/06/19 N	CLIMAVER NETO S/C 25	23:30	KD 71279	88,00	24.456,93	93.117,20	99.424,97	7.824,88	86.570,60
09/06/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	6:30	KD 71278	84,00	24.689,91	93.209,47	99.534,20	7.966,58	86.642,93
10/06/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	7:30	KD 71277	88,00	24.871,26	93.283,80	99.624,68	8.084,30	86.718,30
20/06/19 T	ISOAIR ARENA 30	15:30	KD 61823	48,00	25.650,76	93.776,45	455,69	9.062,16	87.530,09



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

FINAL					CONSUMOS DE GAS AL FINAL (m3)				
FECHA	HORA	PRODUCTO	NOMBRE	TIRADA (t/día)	QUEMADOR 1	QUEMADOR 2	QUEMADOR 3	QUEMADOR 4	QUEMADOR 5
07/02/19 M	13:00	KD 72833	ARENA 45	48,00	11.530,60	85.120,60	89.671,15	95.689,20	76.665,29
12/02/19 M	14:00	KD 71279	CLIMAVER NETO S/C 25	88,00	11.960,51	85.506,47	90.102,60	96.189,09	77.075,30
12/02/19 N	5:00	KD 71279	CLIMAVER NETO S/C 25	88,00	12.084,81	85.553,57	90.154,29	96.258,30	77.108,37
13/02/19 M	13:00	KD 71279	CLIMAVER NETO S/C 25	88,00	12.151,69	85.578,42	90.181,68	96.294,55	77.126,83
14/02/19 M	14:00	KD 71280	CLIMAVER NETO S/C 25	84,00	12.351,68	85.654,75	90.267,86	96.412,72	77.214,58
15/02/19 M	13:00	KD 71280	CLIMAVER NETO S/C 25	84,00	12.538,02	85.731,74	90.351,83	96.526,78	77.305,51
17/02/19 M	13:15	KD 71277	CLIMAVER PLUS R S/C 25	88,00	12.934,37	85.890,05	90.525,69	96.764,69	77.500,50
20/02/19 T	21:00	KD 10005	ARENA 65	74,80	13.288,46	86.142,06	90.788,14	97.089,87	77.790,04
21/02/19 N	5:10	KD 61823	ISOAIR ARENA 30	48,00	13.396,07	86.271,20	90.921,33	97.249,74	77.917,35
22/02/19 N	5:20	KD 72832	ARENA 45	64,00	13.483,73	86.359,61	91.017,30	97.367,90	78.017,94
23/02/19 N	4:00	KD 72833	ARENA 45	64,00	13.580,94	86.431,80	91.097,76	97.467,40	78.109,64
24/02/19 N	4:30	KD 17285	PV-ACUSTIVER-A 50	56,00	13.652,00	86.540,27	91.197,08	97.575,65	78.204,70
25/02/19 M	13:05	KD 46834	IBR 50	37,00	13.677,32	86.577,75	91.232,86	97.613,59	78.236,43
27/02/19 T	20:55	KD 73892	PB 38-73892 45	48,00	13.821,44	86.719,10	91.470,96	97.883,30	78.460,65
28/02/19 T	21:05	KD 32091	PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	34,00	13.914,45	86.788,19	91.547,91	97.969,19	78.551,78
02/03/19 N	5:00	KD 40554	IBR 80	68,00	14.165,85	86.930,50	91.725,18	98.201,35	78.773,00
05/03/19 M	13:00	KD 71277	CLIMAVER PLUS R S/C 25	88,00	14.344,69	87.074,73	91.872,72	98.394,36	78.942,43
06/03/19 M	13:00	KD 52296	CLIMAVER PLUS R 25	84,00	14.474,99	87.191,60	91.980,42	98.532,65	79.059,51
07/03/19 M	13:15	KD 71278	CLIMAVER PLUS R S/C 25	84,00	14.597,99	87.305,18	92.084,04	98.664,07	79.169,78
09/03/19 T	21:00	KD 72833	ARENA 45	64,00	14.873,78	87.514,58	92.293,96	98.923,96	79.377,13
11/03/19 N	4:55	KD 17285	PV ACUSTIVER 50	56,00	15.191,07	87.738,66	92.540,92	99.212,47	79.622,78
12/03/19 N	5:00	KD 46834	IBR 50	48,00	15.350,99	87.838,15	92.641,18	99.333,52	79.727,07
14/03/19 M	13:30	KD 40554	IBR 80	68,00	15.538,28	87.972,44	92.791,39	99.514,83	79.870,55
16/03/19 M	13:00	KD 10005	ARENA 65	68,00	15.749,44	88.137,31	92.982,07	99.763,40	80.035,60
17/03/19 T	21:25	KD 72833	ARENA 45	64,00	15.891,45	88.237,57	93.101,67	99.916,05	80.155,75
18/03/19 T	21:05	KD 17285	PV ACUSTIVER 50	56,00	16.013,38	88.310,51	93.188,09	26,63	80.254,81
23/03/19 N	4:30	KD 72833	ARENA 45	64,00	16.626,76	88.698,77	93.644,57	601,26	80.772,77
25/03/19 M	13:00	KD 10021	ECOVENT 035 60	64,00	16.779,27	88.790,03	93.752,96	743,74	80.902,08
28/03/19 T	21:20	KD 22130	PV-ACUSTIVER 50	56,00	17.107,11	89.044,17	94.045,42	1.114,37	81.218,97
06/04/19 M	12:00	KD 71279	CLIMAVER NETO S/C 25	88,00	17.574,36	89.360,32	94.425,03	1.568,09	81.614,83
08/04/19 M	12:00	KD 71279	CLIMAVER NETO S/C 25	88,00	17.929,83	89.392,70	94.592,30	1.789,05	81.812,30
15/04/19 T	20:00	KD 40554	IBR 80	68,00	18.903,44	89.869,17	95.192,55	2.551,46	82.432,45
20/04/19 M	12:30	KD 72833	ARENA 45	64,00	19.322,23	90.153,49	95.571,05	3.010,22	82.775,93
21/04/19 M	13:00	KD 72833	ARENA 45	64,00	19.422,92	90.214,28	95.649,38	3.108,87	82.852,17
23/04/19 M	12:30	KD 22130	PV ACUSTIVER 50	56,00	19.621,99	90.338,66	95.806,70	3.304,89	83.001,35
24/04/19 T	16:20	KD 22130	PV ACUSTIVER 50	56,00	19.688,10	90.415,03	95.899,53	3.399,90	83.091,16
29/04/19 T	20:00	KD 72833	ARENA 45	64,00	20.128,25	90.642,83	96.332,56	3.922,58	83.566,63
03/05/19 N	4:30	KD 73892	PB 38 -73892 45	48,00	20.458,17	90.912,52	96.669,02	4.313,87	83.912,54
09/05/19 M	13:00	KD 71278	CLIMAVER PLUS R 2,4 S/C 25	84,00	20.981,42	91.241,13	97.090,81	4.751,22	84.312,62
12/05/19 N	5:15	KD 71280	CLIMAVER NETO S/C 25	84,00	21.576,09	91.525,55	97.431,75	5.137,17	84.705,65
19/05/19 T	20:00	KD 72832	ARENA 45	64,00	22.276,69	91.920,21	97.930,53	5.797,18	85.128,24
21/05/19 T	21:00	KD 32091	PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	34,00	22.505,69	92.043,85	98.081,43	6.005,46	85.279,48
25/05/19 M	12:30	KD 10005	ARENA 65	74,00	22.896,93	92.296,76	98.395,91	6.406,71	85.514,51
26/05/19 M	13:05	KD 72832	ARENA 45	64,00	23.017,25	92.364,64	98.478,73	6.511,76	85.580,81
26/05/19 T	20:30	KD 72832	ARENA 45	64,00	23.052,90	92.384,78	98.503,46	6.543,36	85.599,54
28/05/19 T	21:00	KD 17285	PV ACUSTIVER 50	56,00	23.283,46	92.513,74	98.673,04	6.776,27	85.728,97
29/05/19 N	4:00	KD 40554	IBR 80	68,00	23.417,73	92.589,04	98.773,69	6.919,43	85.857,63
07/06/19 T	21:05	KD 71279	CLIMAVER NETO S/C 25	88,00	24.433,34	93.107,70	99.413,84	7.810,02	86.560,89
07/06/19 N	4:30	KD 71279	CLIMAVER NETO S/C 25	88,00	24.491,22	93.130,47	99.440,68	7.845,76	86.580,59
09/06/19 M	13:00	KD 71278	CLIMAVER PLUS R S/C 25	84,00	24.741,49	93.230,68	99.559,53	7.999,51	86.664,66
10/06/19 M	13:00	KD 71277	CLIMAVER PLUS R S/C 25	88,00	24.916,67	93.303,11	99.647,61	8.114,12	86.733,38
20/06/19 T	20:30	KD 61823	ISOAIR ARENA 30	48,00	25.665,03	93.783,59	471,05	9.081,08	87.545,60

4.1.2 CÁLCULOS

A partir de los datos anteriores y aplicando la siguiente ecuación, se obtienen los caudales de gas normalizados en Nm³/h:

$$Q_{norm} = \frac{V_{final} - V_{inicial}}{Tiempo} \cdot \frac{P_{gas}}{P_{atm}} \cdot \frac{273,15}{273,15 + T_{gas}}$$

Siendo:

- Q_{norm} [Nm³/h]: caudal normalizado de gas consumido por un quemador.



- $V_{final} [m^3]$: volumen de gas registrado en el instante final.
- $V_{inicial} [m^3]$: volumen de gas registrado en el instante inicial.
- $P_{gas} = 3,456 \text{ bar}$: presión del gas.
- $P_{atm} = 1,01325 \text{ bar}$: presión atmosférica estándar.
- $T_{gas} = 20^\circ C$: temperatura del gas.

A continuación, se calcula la potencia consumida por los quemadores de la siguiente forma:

$$P_{gas} = Q_{norm} \cdot PCI \cdot \eta_{quemador}$$

Siendo:

- $P_{gas} [kW]$: potencia consumida por los quemadores.
- $Q_{norm} [Nm^3/h]$: caudal normalizado de gas consumido por un quemador.
- $PCI = 9,97 \text{ kWh}/Nm^3$: poder calorífico inferior del gas.
- $\eta_{quemador} = 0,98$: rendimiento del quemador.

Finalmente, la energía consumida se obtiene a partir de la tirada:

$$E_{cons} = P_{gas}/Tirada$$

Siendo:

- $E_{cons} [kWh/t \text{ de fibra}]$: energía consumida por los quemadores.
- $P_{gas} [kW]$: potencia consumida por los quemadores.
- $Tirada [t/h]$: cantidad de toneladas de fibra fabricadas en una hora para un producto.

4.1.3 RESULTADOS

A continuación, se muestran los caudales de gas normalizados, las potencias y las energías consumidas por los quemadores.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

NOMBRE	CAUDALES CONSUMIDOS DE GAS NORMALIZADOS (Nm ³ /h)						TIRADA MEDIA (t fibra/día)
	QUEMADOR 1	QUEMADOR 2	QUEMADOR 3	QUEMADOR 4	QUEMADOR 5	CONSUMO TOTAL GAS (Nm ³ /h)	
ARENA 45	6,6740	12,2834	11,2664	13,2209	11,1949	54,6396	48,00
CLIMAVER NETO S/C 25	15,5657	9,5979	10,8197	13,9837	12,1474	62,1143	86,00
CLIMAVER NETO S/C 25	27,4531	9,9504	11,1869	14,8331	7,2403	70,6638	88,00
CLIMAVER NETO S/C 25	24,4021	9,0836	10,0255	13,3076	6,8763	63,6950	88,00
CLIMAVER NETO S/C 25	26,7755	10,8638	12,1774	16,4838	13,3269	79,6275	86,00
CLIMAVER NETO S/C 25	25,6738	10,3606	11,5471	15,5092	12,5376	75,6283	84,00
CLIMAVER PLUS R S/C 25	26,3147	10,7852	11,5937	15,4888	12,6616	76,8441	88,00
ARENA 65	13,3809	13,4270	13,7097	16,5503	13,7228	70,7907	74,80
ISOAIR ARENA 30	15,8136	6,9507	12,0697	15,4966	12,5692	62,8997	48,00
ARENA 45	14,1333	10,8347	11,6832	14,3492	11,8238	62,8241	64,00
ARENA 45	13,6890	10,0024	11,0251	13,7930	12,6315	61,1410	64,00
PV-ACUSTIVER-A 50	9,0099	14,7729	13,3110	14,0631	12,2039	63,3608	56,00
IBR 50	9,1649	12,5972	12,4602	13,0680	10,7499	58,0402	37,00
PB 38-73892 45	14,5475	9,7558	11,0906	23,2514	12,5053	71,1506	48,00
PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	12,1262	8,7080	9,4143	13,8919	12,5994	56,7398	34,00
IBR 80	17,1860	9,1166	11,0174	14,2863	13,5478	65,1542	68,00
CLIMAVER PLUS R S/C 25	16,2199	15,7230	13,7352	17,5547	17,5316	80,7644	88,00
CLIMAVER PLUS R 25	18,8664	17,2542	16,0292	20,4612	17,2889	89,9000	86,00
CLIMAVER PLUS R S/C 25	16,9683	15,7137	14,1716	17,7090	14,6469	79,2095	84,00
ARENA 45	19,2328	13,7347	17,5537	19,2011	16,7486	86,4710	64,00
PV ACUSTIVER 50	21,2132	13,6545	13,6545	16,1678	14,0484	78,7384	56,00
IBR 50	16,4592	9,7250	10,2569	13,0369	11,3007	60,7788	48,00
IBR 80	17,8080	13,3375	15,0324	17,5326	13,6712	77,3816	68,00
ARENA 65	14,1336	35,8661	12,2552	16,2624	11,3046	89,8218	66,00
ARENA 45	14,6556	8,6149	11,5501	14,9825	13,6136	63,4168	64,00
PV ACUSTIVER 50	18,0153	11,7257	12,2584	15,1702	13,5236	70,6932	56,00
ARENA 45	14,1489	8,9432	10,3670	13,5387	12,4963	59,4942	64,00
ECOVENT 035 60	16,3129	8,7470	10,9491	14,8366	13,1143	63,9599	56,00
PV-ACUSTIVER 50	11,1040	8,4399	9,4790	11,1759	9,4790	49,6779	56,00
CLIMAVER NETO S/C 25	27,6241	5,4218	11,8480	15,2358	15,8524	75,9822	88,00
CLIMAVER NETO S/C 25	11,8289	4,6782	5,9621	8,0470	8,3012	38,8174	88,00
IBR 80	9,1275	4,8943	6,2990	8,0279	7,4749	35,8236	68,00
ARENA 45	15,6575	9,4284	12,0291	14,9159	11,5471	63,5780	64,00
ARENA 45	13,4964	8,2260	10,5513	13,3269	10,3765	55,9770	64,00
PV ACUSTIVER 50	13,6913	9,4771	11,5620	13,5896	10,3479	58,6678	56,00
PV ACUSTIVER 50	11,4507	5,5013	10,7642	12,0800	13,0811	52,8773	56,00
ARENA 45	12,6171	9,3500	11,1424	13,9519	11,7463	58,8077	64,00
PB 38 -73892 45	10,9073	7,1190	10,5767	13,1764	12,0069	53,7863	48,00
CLIMAVER PLUS R 2,4 S/C 25	23,6798	11,3834	12,8280	16,0754	15,9657	79,9323	84,00
CLIMAVER NETO S/C 25	20,9755	9,1326	11,0344	9,0055	10,6174	60,7654	86,00
ARENA 45	14,7591	8,1105	9,9157	13,2972	9,3945	55,4770	64,00
PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	13,8565	8,3902	9,4072	13,7676	9,8521	55,2736	34,00
ARENA 65	16,6128	10,3317	12,4408	15,2607	9,1703	63,8164	74,00
ARENA 45	16,4252	9,1320	11,0232	14,0377	8,9335	59,5516	64,00
ARENA 45	14,6713	8,3266	10,2393	12,9898	7,5119	53,7389	64,00
PV ACUSTIVER 50	10,7242	7,4393	10,6835	13,5362	11,3802	53,7634	56,00
IBR 80	12,5774	7,4209	10,2971	13,5943	13,5864	57,4761	68,00
CLIMAVER NETO S/C 25	23,8794	9,5616	11,4630	15,1187	9,9429	69,9656	88,00
CLIMAVER NETO S/C 25	21,7955	8,4347	9,9856	13,2718	6,3499	59,8374	88,00
CLIMAVER PLUS R S/C 25	25,2195	10,3704	12,3848	16,1008	10,6247	74,7002	84,00
CLIMAVER PLUS R S/C 25	26,2396	11,1580	13,2498	17,2311	8,7138	76,5924	88,00
ISOAIR ARENA 30	9,0703	4,5383	9,7631	12,0260	9,8585	45,2562	48,00



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

NOMBRE	POTENCIAS CONSUMIDAS DE GAS (kW)					P gas (kW)	E gas (kWdía/t fibra)	E gas (kWh/t fibra)
	QUEMADOR 1	QUEMADOR 2	QUEMADOR 3	QUEMADOR 4	QUEMADOR 5			
ARENA 45	65,21	120,02	110,08	129,18	109,38	533,86	11,12	266,93
CLIMAVER NETO S/C 25	152,09	93,78	105,71	136,63	118,69	606,89	7,06	169,37
CLIMAVER NETO S/C 25	268,23	97,22	109,30	144,93	70,74	690,43	7,85	188,30
CLIMAVER NETO S/C 25	238,42	88,75	97,95	130,02	67,19	622,34	7,07	169,73
CLIMAVER NETO S/C 25	261,61	106,15	118,98	161,06	130,21	778,01	9,05	217,12
CLIMAVER NETO S/C 25	250,85	101,23	112,82	151,53	122,50	738,93	8,80	211,12
CLIMAVER PLUS R S/C 25	257,11	105,38	113,28	151,34	123,71	750,81	8,53	204,77
ARENA 65	130,74	131,19	133,95	161,71	134,08	691,67	9,25	221,93
ISOAIR ARENA 30	154,51	67,91	117,93	151,41	122,81	614,57	12,80	307,28
ARENA 45	138,09	105,86	114,15	140,20	115,53	613,83	9,59	230,19
ARENA 45	133,75	97,73	107,72	134,77	123,42	597,38	9,33	224,02
PV-ACUSTIVER-A 50	88,03	144,34	130,06	137,41	119,24	619,07	11,05	265,32
IBR 50	89,55	123,08	121,74	127,68	105,03	567,09	15,33	367,84
PB 38-73892 45	142,14	95,32	108,36	227,18	122,18	695,18	14,48	347,59
PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	118,48	85,08	91,98	135,73	123,10	554,38	16,31	391,33
IBR 80	167,92	89,07	107,65	139,59	132,37	636,60	9,36	224,68
CLIMAVER PLUS R S/C 25	158,48	153,62	134,20	171,52	171,29	789,12	8,97	215,21
CLIMAVER PLUS R 25	184,34	168,58	156,62	199,92	168,92	878,38	10,21	245,13
CLIMAVER PLUS R S/C 25	165,79	153,53	138,46	173,03	143,11	773,92	9,21	221,12
ARENA 45	187,92	134,20	171,51	187,61	163,64	844,87	13,20	316,83
PV ACUSTIVER 50	207,27	133,41	133,41	157,97	137,26	769,32	13,74	329,71
IBR 50	160,82	95,02	100,22	127,38	110,41	593,85	12,37	296,92
IBR 80	173,99	130,31	146,88	171,30	133,58	756,06	11,12	266,85
ARENA 65	138,09	350,43	119,74	158,89	110,45	877,61	13,30	319,13
ARENA 45	143,19	84,17	112,85	146,39	133,01	619,62	9,68	232,36
PV ACUSTIVER 50	176,02	114,57	119,77	148,22	132,13	690,71	12,33	296,02
ARENA 45	138,24	87,38	101,29	132,28	122,10	581,29	9,08	217,99
ECOVENT 035 60	159,39	85,46	106,98	144,96	128,13	624,93	11,16	267,83
PV-ACUSTIVER 50	108,49	82,46	92,62	109,20	92,62	485,38	8,67	208,02
CLIMAVER NETO S/C 25	269,90	52,97	115,76	148,86	154,89	742,39	8,44	202,47
CLIMAVER NETO S/C 25	115,58	45,71	58,25	78,62	81,11	379,27	4,31	103,44
IBR 80	89,18	47,82	61,55	78,44	73,03	350,02	5,15	123,54
ARENA 45	152,98	92,12	117,53	145,74	112,82	621,20	9,71	232,95
ARENA 45	131,87	80,37	103,09	130,21	101,38	546,93	8,55	205,10
PV ACUSTIVER 50	133,77	92,60	112,97	132,78	101,11	573,22	10,24	245,67
PV ACUSTIVER 50	111,88	53,75	105,17	118,03	127,81	516,64	9,23	221,42
ARENA 45	123,28	91,36	108,87	136,32	114,77	574,59	8,98	215,47
PB 38 -73892 45	106,57	69,56	103,34	128,74	117,31	525,52	10,95	262,76
CLIMAVER PLUS R 2,4 S/C 25	231,37	111,22	125,34	157,07	155,99	780,99	9,30	223,14
CLIMAVER NETO S/C 25	204,94	89,23	107,81	87,99	103,74	593,71	6,90	165,69
ARENA 45	144,21	79,24	96,88	129,92	91,79	542,04	8,47	203,27
PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	135,39	81,98	91,91	134,52	96,26	540,06	15,88	381,22
ARENA 65	162,32	100,95	121,55	149,11	89,60	623,52	8,43	202,22
ARENA 45	160,48	89,23	107,70	137,16	87,29	581,86	9,09	218,20
ARENA 45	143,35	81,36	100,04	126,92	73,40	525,06	8,20	196,90
PV ACUSTIVER 50	104,78	72,69	104,38	132,26	111,19	525,30	9,38	225,13
IBR 80	122,89	72,51	100,61	132,82	132,75	561,58	8,26	198,20
CLIMAVER NETO S/C 25	233,32	93,42	112,00	147,72	97,15	683,61	7,77	186,44
CLIMAVER NETO S/C 25	212,95	82,41	97,57	129,67	62,04	584,65	6,64	159,45
CLIMAVER PLUS R S/C 25	246,41	101,33	121,01	157,31	103,81	729,87	8,69	208,53
CLIMAVER PLUS R S/C 25	256,38	109,02	129,46	168,36	85,14	748,35	8,50	204,10
ISOAIR ARENA 30	88,62	44,34	95,39	117,50	96,32	442,18	9,21	221,09

4.2 CONSUMOS DE ELECTRICIDAD

4.2.1 DATOS DE PARTIDA

Para obtener los consumos energéticos de electricidad del horno, se tomaron las intensidades consumidas por los diferentes elementos en dos instantes diferentes (igual que con los



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

volúmenes de gas de los quemadores). A continuación, se presentan únicamente las intensidades tomadas en el instante inicial, pues son muy similares a las del instante final.

INICIO		INTENSIDADES DE LOS VENTILADORES DE CIRCULACIÓN, EXTRACCIONES Y TRANSPORTADORES (A)								
NOMBRE	PRODUCTO	I CIRC 1 (A)	I CIRC 2 (A)	I CIRC 3 (A)	I CIRC 4 (A)	I CIRC 5 (A)	I EXTR ENT (A)	I EXTR SAL (A)	I TRANSP SUP (A)	I TRANSP INF (A)
ARENA 45	KD 72833	47,49	44,64	48,16	47,23	47,33	32,06	23,83	37,8	55,9
CLIMAVER NETO 25	KD 24424	87,39	86,98	87,74	94,08	86,98	40,65	26,48	43,4	65,64
CLIMAVER NETO 25	KD 71279	88,32	97,47	99,39	98,3	89,25	24,85	40,82	40,88	63,83
CLIMAVER NETO 25	KD 71279	89,34	93,34	102,02	98,02	86,91	24,78	40,7	40,88	63,83
CLIMAVER NETO 25	KD 71279	87,39	97,41	97,41	94,08	86,56	40,13	25,5	40,88	63,83
CLIMAVER NETO 25	KD 71280	85,89	97,57	93,98	98,91	86,98	38,57	25,34	40,57	63,3
CLIMAVER PLUS R S/C 25	KD 71277	88	93,31	92,48	98,08	86,4	37,14	25,82	40,44	60,81
ARENA 65	KD 10005	45,06	48,83	44,42	45,41	48	38,21	26,88	36,76	59,83
ISOAIR ARENA 30	KD 61823	45,06	45,25	46,82	49,15	43,49	34,08	27,04	36,71	55,25
ARENA 45	KD 72832	42,82	43,14	45,41	44,22	41,41	33,75	26,98	40,77	58,97
ARENA 45	KD 72833	41,73	43,65	45,57	43,55	41,47	33,04	24,78	38,2	54,3
PV ACUSTIVER 50	KD 17285	40,99	42,72	44,9	46,4	45,06	32,64	24,72	40,02	55,96
IBR 50	KD 46834	42,14	43,14	45,57	45,82	41,57	33	24,83	38,27	55,2
PB 38-73892 45	KD 72174	41,98	43,33	45,66	43,74	41,25	29,88	23,53	39	60
PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	KD 32091	45,98	45,15	44,74	44	45,57	29,89	23,51	40,56	56,43
IBR 80	KD 40555	41,47	44,22	44,48	43,07	41,06	30,11	23,56	37,35	56,41
CLIMAVER PLUS R S/C 25	KD 71277	86,34	88,83	88	100	82,34	35,69	25,35	40,44	60,81
CLIMAVER PLUS R S/C 25	KD 71277	84,58	84,42	85,92	93,25	82,02	35,1	25,27	40,44	60,81
CLIMAVER PLUS R S/C 25	KD 71278	87,07	88,99	85,06	94,3	83,74	35,09	25,26	39,66	60,28
ARENA 45	KD 72833	41,06	42,4	44,16	45,82	42,24	29,16	24,31	37,8	55,9
PV ACUSTIVER 50	KD 17285	46,66	43,55	42,4	49,41	46,14	28,67	24,31	40,02	55,96
IBR 50	KD 46834	43,33	47,07	43,74	48,16	44,06	28,87	24,31	38,27	55,2
IBR 80	KD 40554	42,4	42,66	47,81	42,66	41,73	28,77	24,34	38,03	56,05
ARENA 65	KD 10004	45,06	52	44,64	47,49	46,66	29,88	25,64	36,76	59,83
ARENA 45	KD 72833	45,15	43,39	43,9	49,73	42,82	29,62	25,5	38,2	54,3
PV ACUSTIVER 50	KD 17285	41,15	44	44,22	45,47	40,16	29,81	25,5	40,02	55,96
ARENA 45	KD 72833	43,01	44,48	40	45,5	40,99	29,86	25,73	37,8	55,9
ECOVENT 035 60	KD 10021	46,98	44,16	49,06	57,15	48,16	29,62	25,61	45,18	61,47
PV ACUSTIVER 50	KD 22130	42,24	43,74	43,9	44,16	40,42	41,66	28,04	38,2	55,4
CLIMAVER NETO 25	KD 71279	85,41	86,91	89,34	98,02	87,26	36,44	26,68	40,88	63,83
CLIMAVER NETO 25	KD 71279	85,34	88,1	86,43	117,34	81,18	36,76	25,08	40,88	63,83
IBR 80	KD 40554	41,66	42,34	43,49	43,9	43,17	28,3	23,27	38,03	56,05
ARENA 45	KD 72832	45,53	43,65	45,47	47,07	45,82	28,9	23,58	40,77	58,97
ARENA 45	KD 72833	46,5	42,82	44,42	44,8	42,88	28,71	23,01	37,8	55,9
PV ACUSTIVER 50	KD 23702	41,57	41,89	46,24	42,82	44,58	28,48	23,51	40,02	55,96
PV ACUSTIVER 50	KD 23702	41,25	42,98	43,33	45,31	43,07	32,55	25,02	39,13	55,35
ARENA 45	KD 72833	45,41	47,49	45,47	44,99	41,73	29,55	23,8	37,8	55,9
PB 38-73892 45	KD 73892	42,09	44,06	45,57	45,08	45,31	38,87	24,63	41,4	56,84
CLIMAVER PLUS R S/C 25	KD 71278	83,1	90,77	49,57	106,8	79,6	39,63	20,47	39,66	60,28
CLIMAVER NETO 25	KD 71279	86,27	82,85	53,92	80,83	80,67	41	26,51	40,88	63,83
ARENA 45	KD 72832	43,39	40,06	42,91	46,82	44,99	20,01	23,36	40,77	58,97
PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	KD 32091	43,74	43,01	44	43,33	44,59	30,29	23,32	41,9	56,38
ARENA 65	KD 10005	42,4	42,56	41,66	41,36	44,9	30,37	23,47	36,76	59,83
ARENA 45	KD 72832	42,08	44	40,42	43,81	45,31	30,46	23,56	41,34	57,14
ARENA 45	KD 72832	42,72	44,9	44,42	41,66	40,74	30,46	23,2	38,4	56,21
PV ACUSTIVER 50	KD 17285	41,82	44	40,58	43,14	45,15	30,17	23,69	36,33	55,01
IBR 80	KD 40554	43,23	42,59	45,57	42,4	42,34	29,69	23,78	37,35	56,41
CLIMAVER NETO 25	KD 71279	83,84	89,5	72,26	85,09	84,42	36,05	24,81	43,4	65,64
CLIMAVER NETO 25	KD 71279	82,56	86,24	101,25	83,07	83,14	35,07	25,1	41,29	63,88
CLIMAVER PLUS R S/C 25	KD 71278	86,72	89,06	85,9	83,55	82,72	38,63	24,96	40,24	61,8
CLIMAVER PLUS R S/C 25	KD 71277	85,82	86,91	86,08	84,58	83,39	39,16	26,12	38,73	60,6
ISOAIR ARENA 30	KD 61823	45,25	45,47	45,66	44,42	41,66	33,04	29,45	36,71	55,25

4.2.2 CÁLCULOS

En primer lugar, se calcularon las intensidades medias de los instantes inicial y final. A partir de estas intensidades y aplicando la siguiente ecuación, se obtienen las potencias consumidas por todos los motores eléctricos del horno, excepto la del ventilador del quemador, que se supone que es constante e igual a 15 kW.



$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi / 1000$$

Siendo:

- $P [kW]$: potencia consumida por cada motor eléctrico del horno.
- $U = 400 V$: tensión de los motores.
- $I [A]$: intensidad consumida por cada motor.
- $\cos\varphi = 0,9$: factor de potencia.

La energía eléctrica se calcula a partir de la potencia anterior y de la tirada aplicando la misma ecuación que para obtener la energía consumida por los quemadores.

$$E_{cons} = P_{elec} / Tirada$$

Siendo:

- $E_{cons} [kWh/t \text{ de fibra}]$: energía consumida por los motores eléctricos.
- $P_{elec} [kW]$: potencia consumida por los motores eléctricos.
- $Tirada [t/h]$: cantidad de toneladas de fibra fabricadas en una hora para un producto.

4.2.3 RESULTADOS

A continuación, se muestran las potencias y las energías consumidas por los motores eléctricos.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

	MEDIA														
	POTENCIAS DE LOS VENTILADORES DE CIRCULACIÓN, EXTRACCIONES, TRANSPORTADORES Y VENTILADORES DE QUEMADORES (kW)										POTENCIA TOTAL	TIRADA MEDIA (t	E eléc	TIRADA	E eléc
NOMBRE	P CIRC 1 (kW)	P CIRC 2 (kW)	P CIRC 3 (kW)	P CIRC 4 (kW)	P CIRC 5 (kW)	P EXTR ENT (kW)	P EXTR SAL (kW)	P TRANSP SUP (kW)	P TRANSP INF (kW)	P VENT. QUEM (kW)	MEDIA (kW)	fibra/día)	(kWdía/t	fibra/h)	(kWh/t
ARENA 45	28,36	27,01	28,88	29,29	29,38	20,01	14,87	23,57	34,86	15	251,23	48,00	5,23	2,00	125,62
CLIMAVER NETO S/C 25	54,81	54,79	54,61	60,20	53,94	25,36	16,42	26,77	41,57	15	403,47	86,00	4,69	3,58	112,60
CLIMAVER NETO S/C 25	54,13	60,55	61,28	62,10	55,59	20,45	20,47	25,49	39,80	15	414,86	88,00	4,71	3,67	113,14
CLIMAVER NETO S/C 25	55,52	58,92	61,40	61,50	54,68	20,40	20,43	25,49	39,80	15	413,14	88,00	4,69	3,67	112,67
CLIMAVER NETO S/C 25	53,87	60,11	59,28	60,24	54,36	24,76	15,84	25,49	39,80	15	408,76	86,00	4,75	3,58	114,07
CLIMAVER NETO S/C 25	53,56	60,84	58,60	61,67	54,24	24,08	15,80	25,30	39,47	15	408,55	84,00	4,86	3,50	116,73
CLIMAVER PLUS R S/C 25	54,85	57,98	56,98	61,19	54,01	23,80	16,31	25,22	37,92	15	403,26	88,00	4,58	3,67	109,98
ARENA 65	27,51	29,09	28,73	29,93	29,49	23,77	16,76	22,92	37,31	15	260,51	74,80	3,48	3,12	83,58
ISOAIR ARENA 30	28,41	28,78	29,16	29,69	26,81	21,25	16,84	23,18	34,39	15	253,52	48,00	5,28	2,00	126,76
ARENA 45	26,65	27,77	28,60	27,50	27,20	21,04	16,84	25,42	36,77	15	252,79	64,00	3,95	2,67	94,79
ARENA 45	27,51	27,01	28,62	27,31	26,65	20,61	15,45	23,82	33,86	15	245,84	64,00	3,84	2,67	92,19
PV-ACUSTIVER-A 50	26,05	26,88	26,83	28,04	28,05	20,46	15,45	24,95	34,89	15	246,61	56,00	4,40	2,33	105,69
IBR 50	27,01	26,90	27,33	28,78	25,97	20,49	15,47	23,86	34,42	15	245,22	37,00	6,63	1,54	159,06
PB 38-73892 45	27,16	27,56	28,50	26,99	25,77	18,71	14,67	24,32	37,41	15	246,08	48,00	5,13	2,00	123,04
PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	28,67	27,84	27,67	27,93	27,78	18,67	14,67	25,29	35,19	15	248,71	34,00	7,31	1,42	175,56
IBR 80	25,73	28,33	28,23	26,75	26,18	18,76	14,69	23,29	35,17	15	242,14	68,00	3,56	2,83	85,46
CLIMAVER PLUS R S/C 25	53,82	55,15	55,57	60,53	51,96	22,19	15,78	25,22	37,92	15	393,14	88,00	4,47	3,67	107,22
CLIMAVER PLUS R 25	52,97	53,67	53,54	59,57	51,13	21,90	15,74	25,22	37,92	15	386,66	86,00	4,50	3,58	107,90
CLIMAVER PLUS R S/C 25	54,37	55,18	54,26	59,43	52,01	21,99	15,73	24,73	37,59	15	390,29	84,00	4,65	3,50	111,51
ARENA 45	26,72	26,73	27,17	29,71	27,59	18,29	15,19	23,57	34,86	15	244,81	64,00	3,83	2,67	91,80
PV ACUSTIVER 50	29,17	28,67	27,89	30,08	28,72	17,89	15,14	24,95	34,89	15	252,42	56,00	4,51	2,33	108,18
IBR 50	26,89	28,75	27,30	30,73	27,20	17,98	15,15	23,86	34,42	15	247,28	48,00	5,15	2,00	123,64
IBR 80	26,15	26,47	29,27	27,02	27,27	17,96	15,19	23,71	34,95	15	242,99	68,00	3,57	2,83	85,76
ARENA 65	28,62	31,59	28,07	31,83	30,00	18,64	15,95	22,92	37,31	15	259,94	66,00	3,94	2,75	94,52
ARENA 45	28,12	26,91	27,55	29,79	27,33	18,51	15,92	23,82	33,86	15	246,81	64,00	3,86	2,67	92,55
PV ACUSTIVER 50	27,14	27,12	27,94	28,64	26,03	18,48	15,90	24,95	34,89	15	246,09	56,00	4,39	2,33	105,47
ARENA 45	26,42	27,60	25,25	28,26	26,13	18,72	16,02	23,57	34,86	15	241,84	64,00	3,78	2,67	90,69
ECOVENT 035 60	28,21	27,72	29,73	32,93	30,55	18,42	15,96	28,43	38,65	15	265,58	56,00	4,74	2,33	113,82
PV-ACUSTIVER 50	26,73	27,11	27,04	27,45	25,33	25,95	17,44	23,82	34,54	15	250,41	56,00	4,47	2,33	107,32
CLIMAVER NETO S/C 25	52,66	55,41	54,61	61,01	54,27	22,67	16,62	25,49	39,80	15	397,54	88,00	4,52	3,67	108,42
CLIMAVER NETO S/C 25	55,42	55,75	48,71	75,44	52,41	23,05	15,60	25,49	39,80	15	406,67	88,00	4,62	3,67	110,91
IBR 80	26,66	25,86	27,20	27,87	26,48	17,65	14,52	23,71	34,95	15	239,89	68,00	3,53	2,83	84,67
ARENA 45	27,18	27,17	27,63	28,80	27,32	17,99	14,70	25,42	36,77	15	247,98	64,00	3,87	2,67	92,99
ARENA 45	28,80	28,02	27,23	28,78	27,60	17,89	14,53	23,57	34,86	15	246,28	64,00	3,85	2,67	92,35
PV ACUSTIVER 50	26,70	27,71	27,59	26,47	27,41	17,82	14,64	24,95	34,89	15	243,17	56,00	4,34	2,33	104,22
PV ACUSTIVER 50	25,72	26,80	27,02	28,25	26,86	20,30	15,60	24,40	34,51	15	244,46	56,00	4,37	2,33	104,77
ARENA 45	28,06	28,83	27,69	28,62	26,23	18,39	14,71	23,57	34,86	15	245,95	64,00	3,84	2,67	92,23
PB 38 -73892 45	26,65	27,04	28,70	27,79	27,64	21,59	15,34	25,81	35,44	15	251,01	48,00	5,23	2,00	125,50
CLIMAVER PLUS R 2,4 S/C 25	50,87	54,75	38,94	52,78	49,31	24,79	14,88	24,73	37,59	15	363,63	84,00	4,33	3,50	103,90
CLIMAVER NETO S/C 25	54,59	51,78	35,67	52,40	51,18	25,33	16,49	25,49	39,80	15	367,73	86,00	4,28	3,58	102,62
ARENA 45	26,09	26,23	28,02	28,41	27,20	15,59	14,58	25,41	36,81	15	243,35	64,00	3,80	2,67	91,26
PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	27,64	27,59	28,05	27,34	27,04	18,77	14,55	25,84	35,43	15	247,24	34,00	7,27	1,42	174,52
ARENA 65	26,27	26,59	28,57	27,00	27,25	18,94	14,63	23,66	40,22	15	248,13	74,00	3,35	3,08	80,48
ARENA 45	26,52	27,88	26,42	27,92	28,17	18,97	14,64	25,17	35,24	15	245,93	64,00	3,84	2,67	92,22
ARENA 45	26,46	26,80	27,43	27,15	26,58	18,95	14,52	23,65	34,72	15	241,25	64,00	3,77	2,67	90,47
PV ACUSTIVER 50	26,05	27,33	26,63	26,77	28,25	18,82	14,80	23,09	34,22	15	240,96	56,00	4,30	2,33	103,27
IBR 80	26,78	27,34	26,60	27,33	25,87	18,49	14,83	23,13	34,59	15	239,95	68,00	3,53	2,83	84,69
CLIMAVER NETO S/C 25	51,84	54,93	54,34	51,97	52,15	22,40	15,47	26,77	41,57	15	386,43	88,00	4,39	3,67	105,39
CLIMAVER NETO S/C 25	51,54	53,32	65,35	52,07	51,90	22,27	15,62	25,10	39,84	15	392,01	88,00	4,45	3,67	106,91
CLIMAVER PLUS R S/C 25	51,98	55,04	54,93	52,68	52,44	24,10	16,01	26,01	39,71	15	387,90	84,00	4,62	3,50	110,83
CLIMAVER PLUS R S/C 25	53,04	54,11	57,86	52,74	52,58	24,77	16,32	24,62	38,60	15	389,64	88,00	4,43	3,67	106,27
ISOAIR ARENA 30	27,46	27,73	27,66	28,18	26,84	20,50	18,35	23,18	34,39	15	249,30	48,00	5,19	2,00	124,65



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

4.3 CONSUMOS TOTALES (GAS Y ELECTRICIDAD)

A continuación, se muestran los consumos totales y otras variables necesarias para realizar el análisis de las 5W, como las fechas, la duración de las campañas y los equipos.

TURNOS	NOMBRE	DURACIÓN CAMPAÑA (h)	EQUIPO	TIRADA MEDIA (t fibra/día)	GRAMAJE (hg/m2)	GAS			ELECTRICIDAD			TOTAL		
						P gas (kW)	E gas (kWdía/t fibra)	E gas (kWh/t fibra)	P electricidad (kW)	E eléc (kWdía/t fibra)	E eléc (kWh/t fibra)	POTENCIA TOTAL (kW)	E TOTAL (kWdía/t fibra)	E TOTAL (kWh/t fibra)
07/02/19 M	ARENA 45	42,5	B1	64	8,55	613,83	9,59	230,19	252,79	3,95	94,79	866,62	13,54	324,98
12/02/19 M	CLIMAVER NETO 25	88	D1	86	18,00	606,89	7,06	169,37	403,47	4,69	112,60	1010,37	11,75	281,96
12/02/19 N	CLIMAVER NETO 25	88	E	88	18,00	622,34	7,07	169,73	413,14	4,69	112,67	1035,47	11,77	282,40
13/02/19 M	CLIMAVER NETO 25	93	B1	86	18,00	593,71	6,90	165,69	367,73	4,28	102,62	961,44	11,18	268,31
14/02/19 M	CLIMAVER NETO 25	112	A1	88,00	18,00	584,65	6,64	159,45	392,01	4,45	106,91	976,66	11,10	266,36
15/02/19 M	CLIMAVER NETO 25	120	E	88	18,00	379,27	4,31	103,44	406,67	4,62	110,91	785,94	8,93	214,35
17/02/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	59,75	A1	88	18,00	789,12	8,97	215,21	393,14	4,47	107,22	1182,25	13,43	322,43
20/02/19 T	ARENA 65	15,5	B1	75	12,35	691,67	9,25	221,93	260,51	3,48	83,58	952,17	12,73	305,51
21/02/19 N	ISOAIR ARENA 30	16	B1	48	6,30	614,57	12,80	307,28	253,52	5,28	126,76	868,08	18,09	434,04
22/02/19 N	ARENA 45	24	B1	64	8,55	619,62	9,68	232,36	246,81	3,86	92,55	866,43	13,54	324,91
23/02/19 N	ARENA 45	42,5	C1	64	8,55	597,38	9,33	224,02	245,84	3,84	92,19	843,22	13,18	316,21
24/02/19 N	PV ACUSTIVER 50	10,5	B1	56	7,00	769,32	13,74	329,71	252,42	4,51	108,18	1021,74	18,25	437,89
25/02/19 M	IBR 50	8	B1	48	6,00	593,85	12,37	296,92	247,28	5,15	123,64	841,12	17,52	420,56
27/02/19 T	PB 38-73892 45	40	A1	48	6,30	525,52	10,95	262,76	251,01	5,23	125,50	776,53	16,18	388,27
28/02/19 T	PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	4	B1	34	14,50	554,38	16,31	391,33	248,71	7,31	175,56	803,09	23,62	566,89
02/03/19 N	IBR 80	26	A1	68,00	9,60	561,58	8,26	198,20	239,95	3,53	84,69	801,53	11,79	282,89
05/03/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	72	D1	84,00	18,00	729,87	8,69	208,53	387,90	4,62	110,83	1117,77	13,31	319,36
06/03/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	64	B1	88	18,00	750,81	8,53	204,77	403,26	4,58	109,98	1154,07	13,11	314,75
07/03/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	72	D1	88,00	18,00	748,35	8,50	204,10	389,64	4,43	106,27	1137,99	12,93	310,36
09/03/19 T	ARENA 45	62	B1	64	8,55	621,20	9,71	232,95	247,98	3,87	92,99	869,17	13,58	325,94
11/03/19 N	PV ACUSTIVER 50	16	C1	56	7,00	573,22	10,24	245,67	243,17	4,34	104,22	816,39	14,58	349,88
12/03/19 N	IBR 50	4,33	B1	37	6,00	567,09	15,33	367,84	245,22	6,63	159,06	812,31	21,95	526,90
14/03/19 M	IBR 80	41,5	B1	68	9,60	350,02	5,15	123,54	239,89	3,53	84,67	589,90	8,68	208,20
16/03/19 M	ARENA 65	32	B1	66	12,35	877,61	13,30	319,13	259,94	3,94	94,52	1137,55	17,24	413,66
17/03/19 T	ARENA 45	62	B1	64	8,55	546,93	8,55	205,10	246,28	3,85	92,35	793,21	12,39	297,45
18/03/19 T	PV ACUSTIVER 50	16	C1	56	7,00	619,07	11,05	265,32	246,61	4,40	105,69	865,68	15,46	371,01
23/03/19 N	ARENA 45	40	E	64	8,55	574,59	8,98	215,47	245,95	3,84	92,23	820,54	12,82	307,70
25/03/19 M	ECOVENT 035 60	0,33	B1	56	12,00	624,93	11,16	267,83	265,58	4,74	113,82	890,51	15,90	381,65
28/03/19 T	PV ACUSTIVER 50	8	B1	56,00	7,00	525,30	9,38	225,13	240,96	4,30	103,27	766,26	13,68	328,40
06/04/19 M	CLIMAVER NETO 25	88	E	86	18,00	778,01	9,05	217,12	408,76	4,75	114,07	1186,77	13,80	331,19
08/04/19 M	CLIMAVER NETO 25	88	A1	84	18,00	738,93	8,80	211,12	408,55	4,86	116,73	1147,49	13,66	327,85
15/04/19 T	IBR 80	12	A1	68	9,60	756,06	11,12	266,85	242,99	3,57	85,76	999,06	14,69	352,61
20/04/19 M	ARENA 45	52,33	B1	64	8,55	844,87	13,20	316,83	244,81	3,83	91,80	1089,68	17,03	408,63
21/04/19 M	ARENA 45	43	B1	48	8,55	533,86	11,12	266,93	251,23	5,23	125,62	785,10	16,36	392,55
23/04/19 M	PV ACUSTIVER 50	14,83	B1	56	7,00	690,71	12,33	296,02	246,09	4,39	105,47	936,81	16,73	401,49
24/04/19 T	PV ACUSTIVER 50	8	C1	56	7,00	516,64	9,23	221,42	244,46	4,37	104,77	761,10	13,59	326,19
29/04/19 T	ARENA 45	24	B1	64,00	8,55	581,86	9,09	218,20	245,93	3,84	92,22	827,79	12,93	310,42
03/05/19 N	PB 38-73892 45	16	B1	48	6,30	695,18	14,48	347,59	246,08	5,13	123,04	941,27	19,61	470,63
09/05/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	59,75	A1	86	18,00	878,38	10,21	245,13	386,66	4,50	107,90	1265,03	14,71	353,03
12/05/19 N	CLIMAVER NETO 25	112	B1	88,00	18,00	683,61	7,77	186,44	386,43	4,39	105,39	1070,03	12,16	291,83
19/05/19 T	ARENA 45	38	D1	64	8,55	581,29	9,08	217,99	241,84	3,78	90,69	823,13	12,86	308,67
21/05/19 T	PANEL ALUMISOL -PL (N) 50	8	B1	34,00	14,50	540,06	15,88	381,22	247,24	7,27	174,52	787,30	23,16	555,74
25/05/19 M	ARENA 65	11	A1	74,00	12,35	623,52	8,43	202,22	248,13	3,35	80,48	871,66	11,78	282,70
26/05/19 T	ARENA 45	24	A1	64,00	8,55	525,06	8,20	196,90	241,25	3,77	90,47	766,31	11,97	287,37
26/05/19 M	ARENA 45	40	A1	64,00	8,55	542,04	8,47	203,27	243,35	3,80	91,26	785,39	12,27	294,52
28/05/19 T	PV ACUSTIVER 50	8	B1	56	7,00	485,38	8,67	208,02	250,41	4,47	107,32	735,80	13,14	315,34
29/05/19 N	IBR 80	19,83	B1	68	9,60	636,60	9,36	224,68	242,14	3,56	85,46	878,74	12,92	310,14
07/06/19 N	CLIMAVER NETO 25	88	B1	88	18,00	690,43	7,85	188,30	414,86	4,71	113,14	1105,29	12,56	301,44
07/06/19 T	CLIMAVER NETO 25	120	D1	88	18,00	742,39	8,44	202,47	397,54	4,52	108,42	1139,94	12,95	310,89
09/06/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	59,75	B1	84	18,00	773,92	9,21	221,12	390,29	4,65	111,51	1164,22	13,86	332,63
10/06/19 M	CLIMAVER PLUS R S/C 25	80	B1	84	18,00	780,99	9,30	223,14	363,63	4,33	103,90	1144,62	13,63	327,03
20/06/19 T	ISOAIR ARENA 30	12,5	D1	48,00	6,30	442,18	9,21	221,09	249,30	5,19	124,65	691,48	14,41	345,74



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)



II. ANEXOS



ANEXO I

HOJA 1

 Project No. 36	Workshop: LÍNEA B	Process Step: ESTUFA DE CURADO	Project Title: REDUCCIÓN 53,36 kWh/t DE CONSUMO ENERGÉTICO ESTUFA LÍNEA B	Team Leader: B.L., S.G.	Team: F.C., S.G., S.P., B.L.	 WORKSHEET 1
	Project KPI and target: KPI: pérdidas en kWh/ton	Planned Savings: 32,02 k€	Budget: 15,14 k€	Start Date: 15/01/2019	Completion Date: 19/07/2019	

PROBLEM DEFINITION - worksheet 1

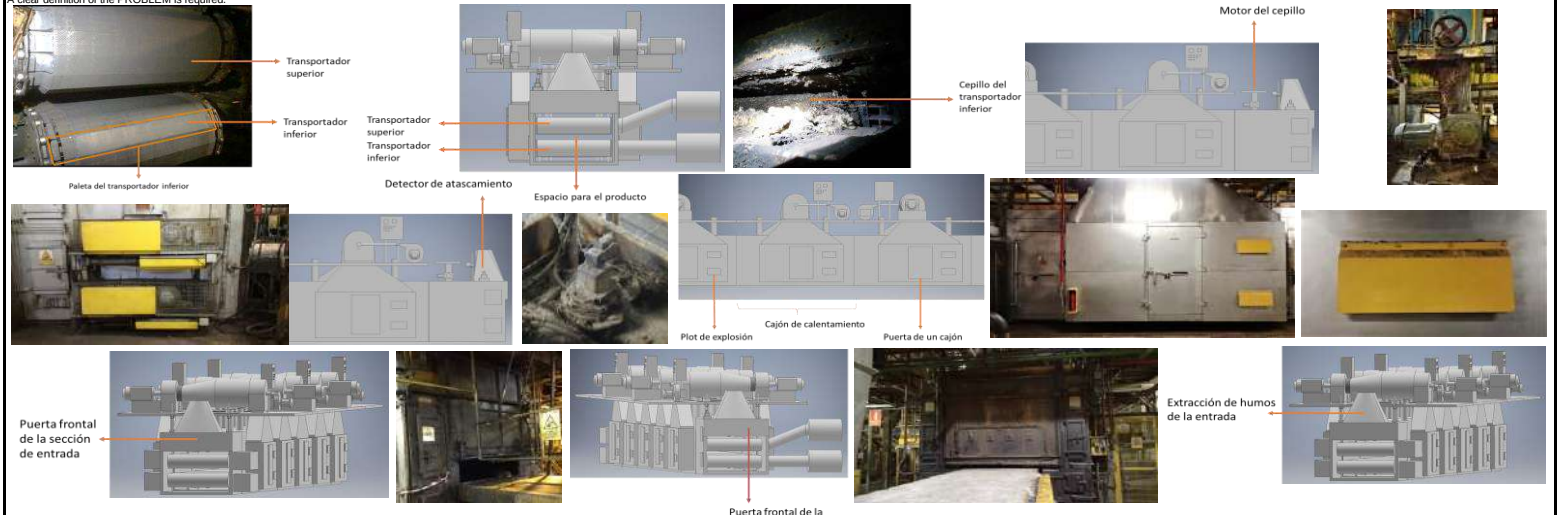
A clear justification for the Project is required: Stratification of the Losses, What is the Loss?, What is the Cost?, What is the Risk Level?, etc.
A clear definition of the PROBLEM is required.



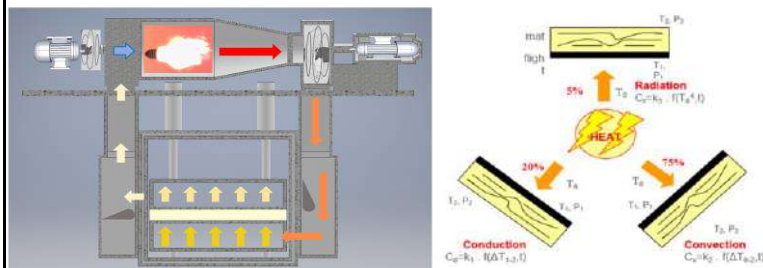
	Workshop: LÍNEA B	Process Step: ESTUFA DE CURADO	Project Title: REDUCCIÓN 53,36 kWh/t DE CONSUMO ENERGÉTICO ESTUFA LÍNEA B	Team Leader: B.L., S.G.	Team: F.C., S.G., S.P., B.L.	
	Project KPI and target: KPI: pérdidas en kWh/ton		Planned Savings: 32,02 k€	Budget: 15,14 k€	Start Date: 15/01/2019	Completion Date: 19/07/2019

PROBLEM DEFINITION - worksheet 1

A clear justification for the Project is required: Stratification of the Losses, What is the Loss?, What is the Risk Level?, etc.
A clear definition of the PROBLEM is required.



Funcionamiento de la estufa: generación del flujo de aire caliente

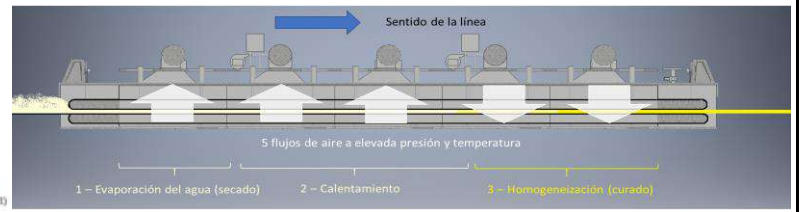


FASES DEL PROCESO DENTRO DE LA ESTUFA:

- **Secar el producto:** retirar toda la humedad que contiene.
- **Calentamiento:** continuar aumentando la T^a .
- **Curar o polimerizar el encolado (homogeneización):** modificar su estructura química para que adquiera propiedades adherentes y las fibras queden unidas entre sí. El curado se produce en un rango de temperaturas que depende del tipo de encolado (T^a producto: 180-220°C).

Principio de funcionamiento de la estufa

- PROCESO PARA CONSEGUIRLO:
- Se somete el producto a 5 flujos de aire a:
- **Presión** (a partir de 30 mmca).
 - **Temperatura** (240 – 260°C).



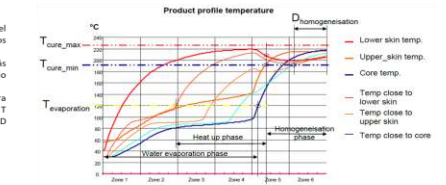
Principio de funcionamiento de la estufa: fases del proceso

FASES DEL PROCESO:

- **Evaporación del agua:** desde que el producto entra en el horno hasta que se evapora toda su agua (todos los puntos han alcanzado T evaporación).
- **Calentamiento:** comienza cuando los puntos más superficiales superan T evaporación y termina cuando todos los puntos alcanzan T curado mínima.
- **Homogeneización:** se produce el curado de la resina. Para ello, todos los puntos del producto deben estar entre T curado mínima y T curado máxima durante el tiempo D homogeneización.

Los valores de T curado mínima, T curado máxima y D homogeneización dependen del tipo de encolado:

	R 232	R 225
T curado mínima (°C)	180	200
T curado máxima (°C)	220	250
D homogeneización (s)	10	5



RESULTADO DE LO ANTERIOR:

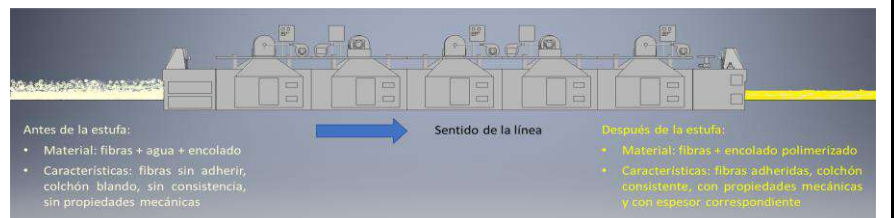
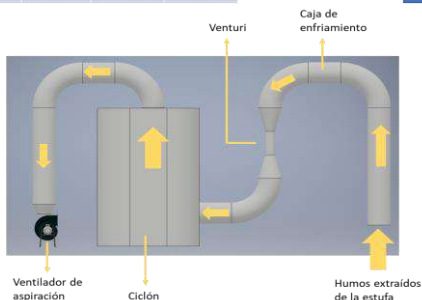
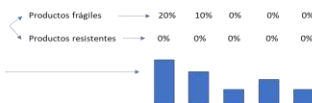
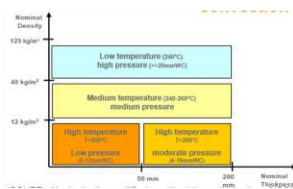
- Producto seco.
- Fibras adheridas entre sí.
- Material con propiedades mecánicas (mayor resistencia, consistencia y dureza).

Funcionamiento de la estufa: valores de referencia para los parámetros

El ajuste de los parámetros depende de:

- Densidad del producto → Resistencia/frágilidad
- Tipo de encolado → T^a curado → T^a aire
- Cantidad de encolado → + cantidad, + energía
- Cantidad de humedad → + cantidad, + energía

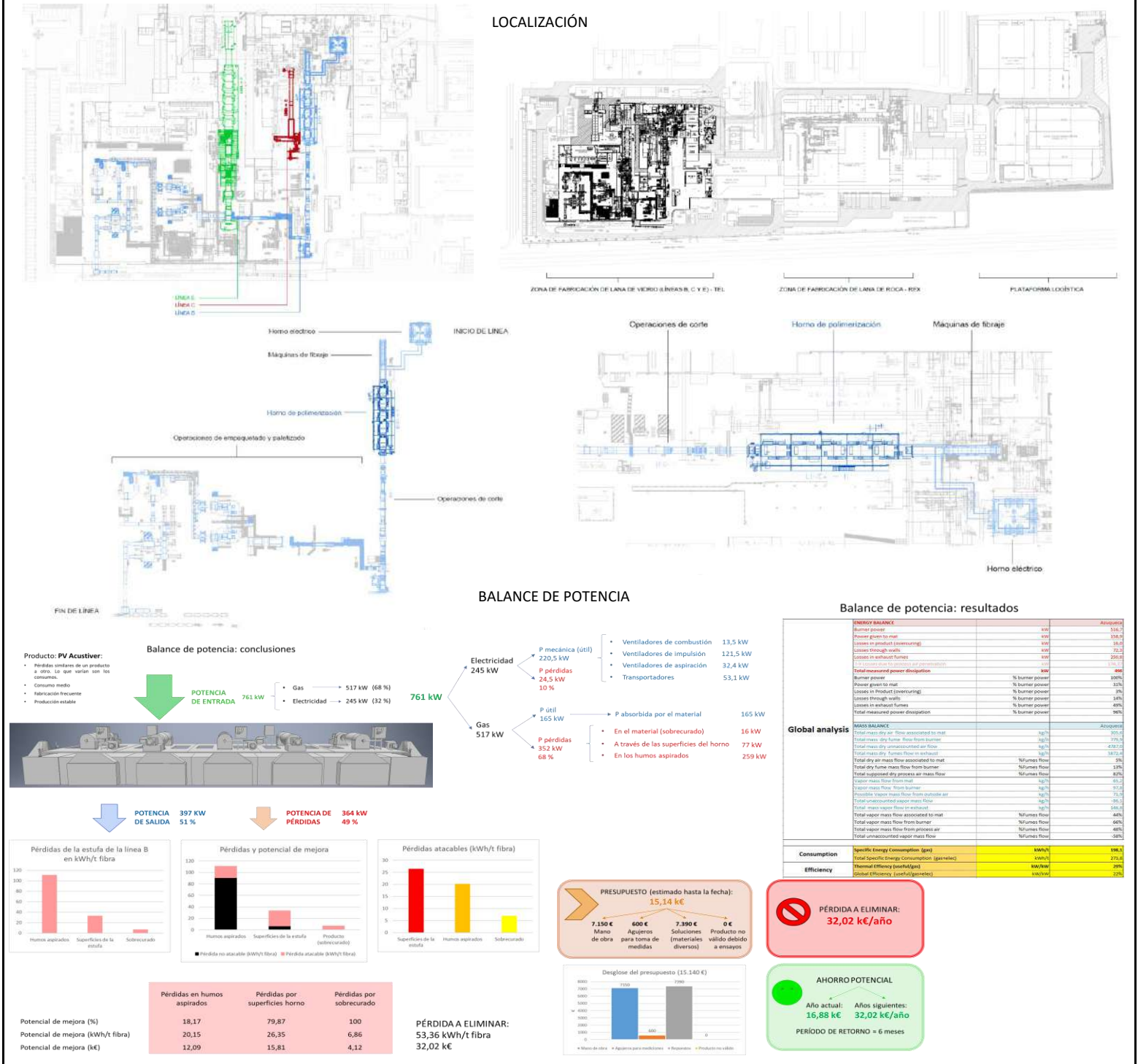
VALORES DE REFERENCIA	Densidad baja (<12 kg/m³)	Densidad media (entre 12 y 24 kg/m³)	Densidad alta (>24 kg/m³)
Sentido del aire	↑	↑	↓
Gradiente de presión	15-20	10	0-5
Apertura derivaciones (%)	200-210	180-200	240°C
T^a transportadores (°C)	260°C	240-260°C	240°C



	Workshop:	Process Step:	Project Title:	Team Leader:	Team:	
	LÍNEA B	ESTUFA DE CURADO	REDUCCIÓN 53,36 kWh/t DE CONSUMO ENERGÉTICO ESTUFA LÍNEA B	B.L., S.G.	F.C., S.G., S.P., B.L.	
	Project KPI and target:	Planned Savings:	Budget:	Start Date:	Completion Date:	
	KPI: pérdidas en kWh/ton	32,02 k€	15,14 k€	15/01/2019	19/07/2019	

PROBLEM DEFINITION - worksheet 1

A clear justification for the Project is required: Stratification of the Losses, What is the Loss?, What is the Cost?, What is the Risk Level?, etc.
A clear definition of the PROBLEM is required.





WORK SHEET 1

WORKSHEET 1

SKILL MATRIX

[illegible]

1.	Trabajar con seguridad
2.	Trabajar en equipo: escuchar y respetar las opiniones de los demás
3.	Tener la mente abierta: mi camino no es siempre el correcto
4.	Honestidad
5.	Puntualidad
6.	Respetar los estándares

Name from left:	Initial	Function	Team Role:
Santiago García Álvarez	S. G.	Responsable de turno YEL	Líder del proyecto
Fernando Calvo Hernández	F. C.	Responsable de turno YEL	Toma de datos y contramedidas
Marta Beatriz Luaces Grejo	B. L.	Recarica	Análisis de datos y observacional
Sofía Plaza Arranz	S. P.	Ingeniería de proceso YEL	Datapaq y balance energético

Action		Responsibility	Week Beginning	14/01/19	28/01/19	11/02/19	25/02/19	04/03/19	01/04/19	06/05/19	03/06/19	17/06/19	01/07/19	15/07/19			Complete	Comments
			Week	3	5	7	9	10	14	19	23	25	27	29				
1	Preparación del proyecto (planificación, equipo, objetivo)	Soledad, Begoña	Plan Actual															
2	Despliegue de costes	Begoña	Plan Actual															
3	Planos de localización del proyecto	Begoña	Plan Actual															
4	Funcionamiento de la estufa	Begoña	Plan Actual															
5	Toma de medidas y balance de energía	Sofía, Begoña	Plan Actual															Sólo el 24 de abril se pudieron tomar todas las medidas (fabricación estable del PV Acustiver).
6	Análisis observacional	Soledad, Begoña	Plan Actual															
7	Estudio estadístico de las SW	Santiago, Fernando, Begoña	Plan Actual															Santiago y Fernando sí pudieron tomar datos para las SW durante todos los meses.
8	Estudio histórico de las 4M	Soledad, Begoña	Plan Actual															Marzo: pausa en el proyecto por fabricación del Climaver, paradas en la línea v auditorías.
9	Descripción del fenómeno	Begoña	Plan Actual															Abri: pausa en el proyecto por fabricación del Climaver. Decisión: Standard Kaizen.
10	Análisis de la causa raíz	Begoña	Plan Actual															Mayo: pausa en el proyecto por fabricación del Climaver, paradas en la línea v auditorías.
11	Contramedidas	Sofía, Begoña	Plan Actual															
12	Evaluación de riesgos de las contramedidas	Begoña	Plan Actual															
13	Plan de implementación	Begoña	Plan Actual															
14	Comprobación de los resultados	Soledad, Begoña	Plan Actual															
15	Gestión del cambio (expansión horizontal)	Begoña	Plan Actual															
16	Cierre del proyecto	Soledad, Begoña	Plan Actual															
17			Plan Actual															

Planning Key

Plan

Actual

= Scheduled Planned Time Line for each action

= Actual Time Line for each action

Date

= Planned Milestone

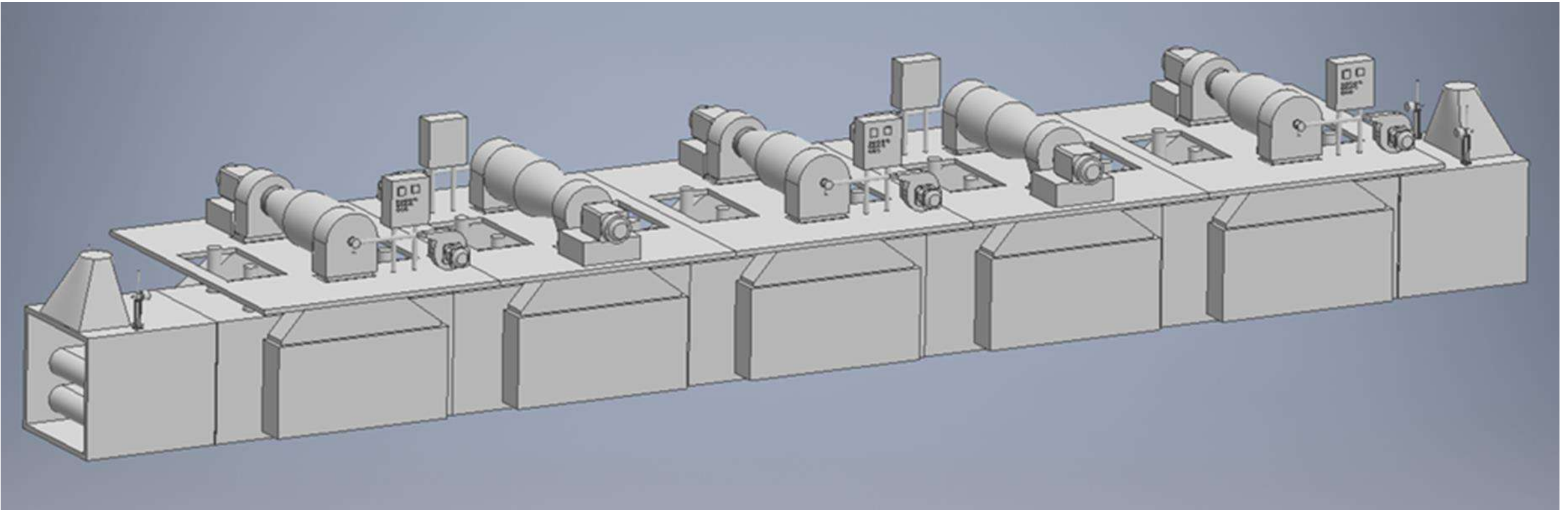
= Date Action completed

= Behind Schedule

Date

= Date Delayed Action Completed

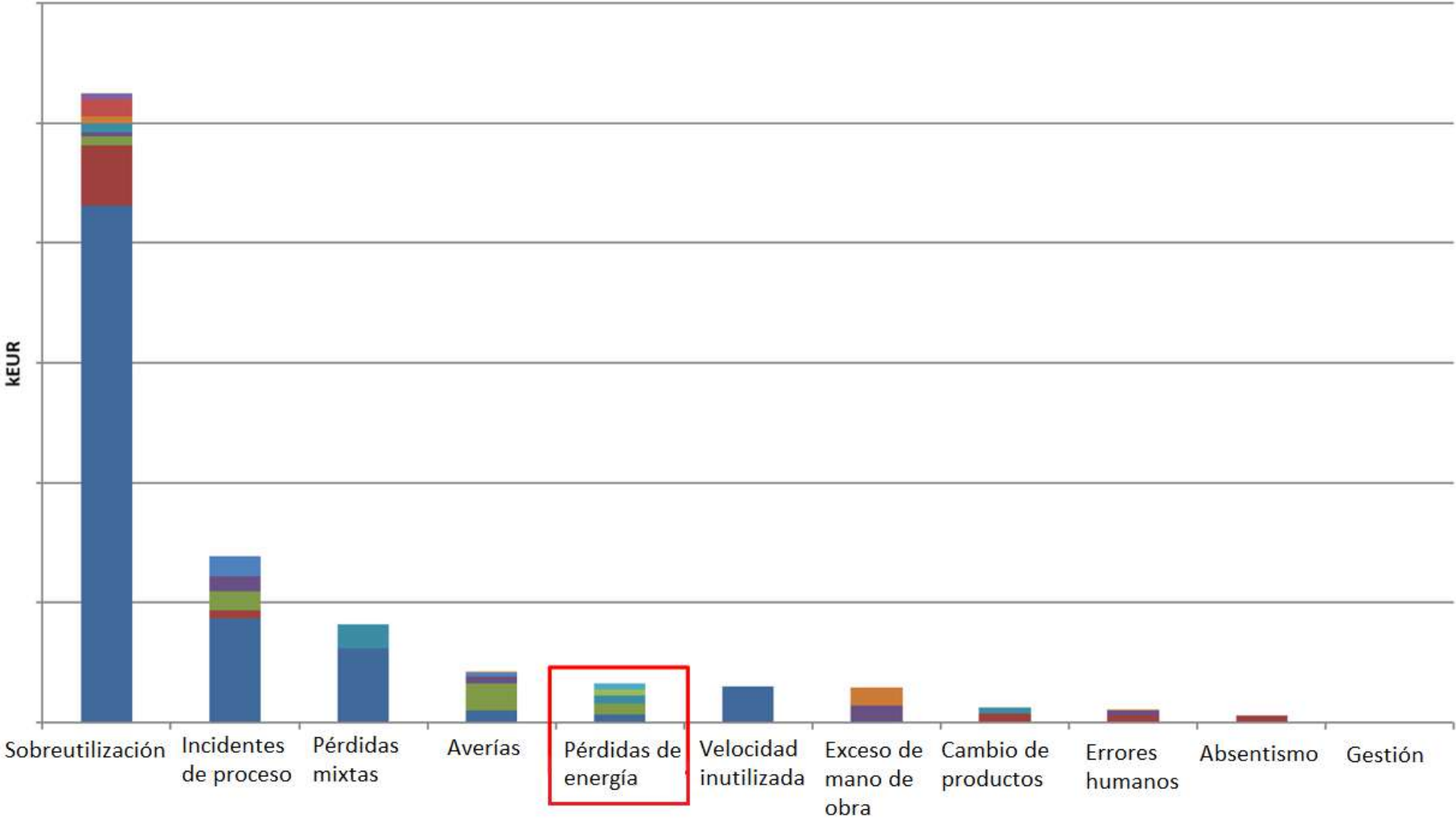
REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA ESTUFA DE LA LÍNEA B EN 53,36 kWh/TONELADA DE VIDRIO FIBRADO



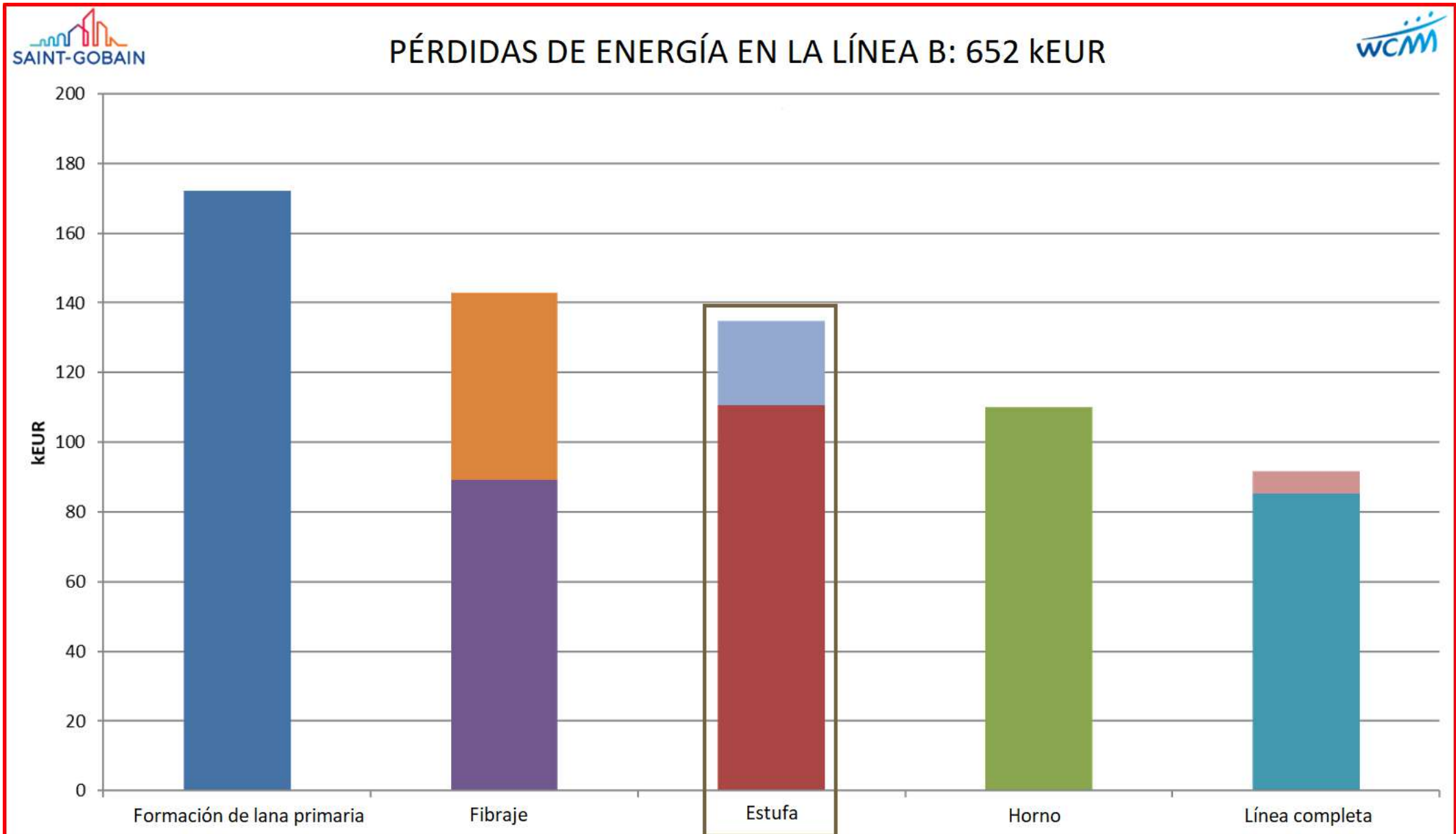
Cost deployment



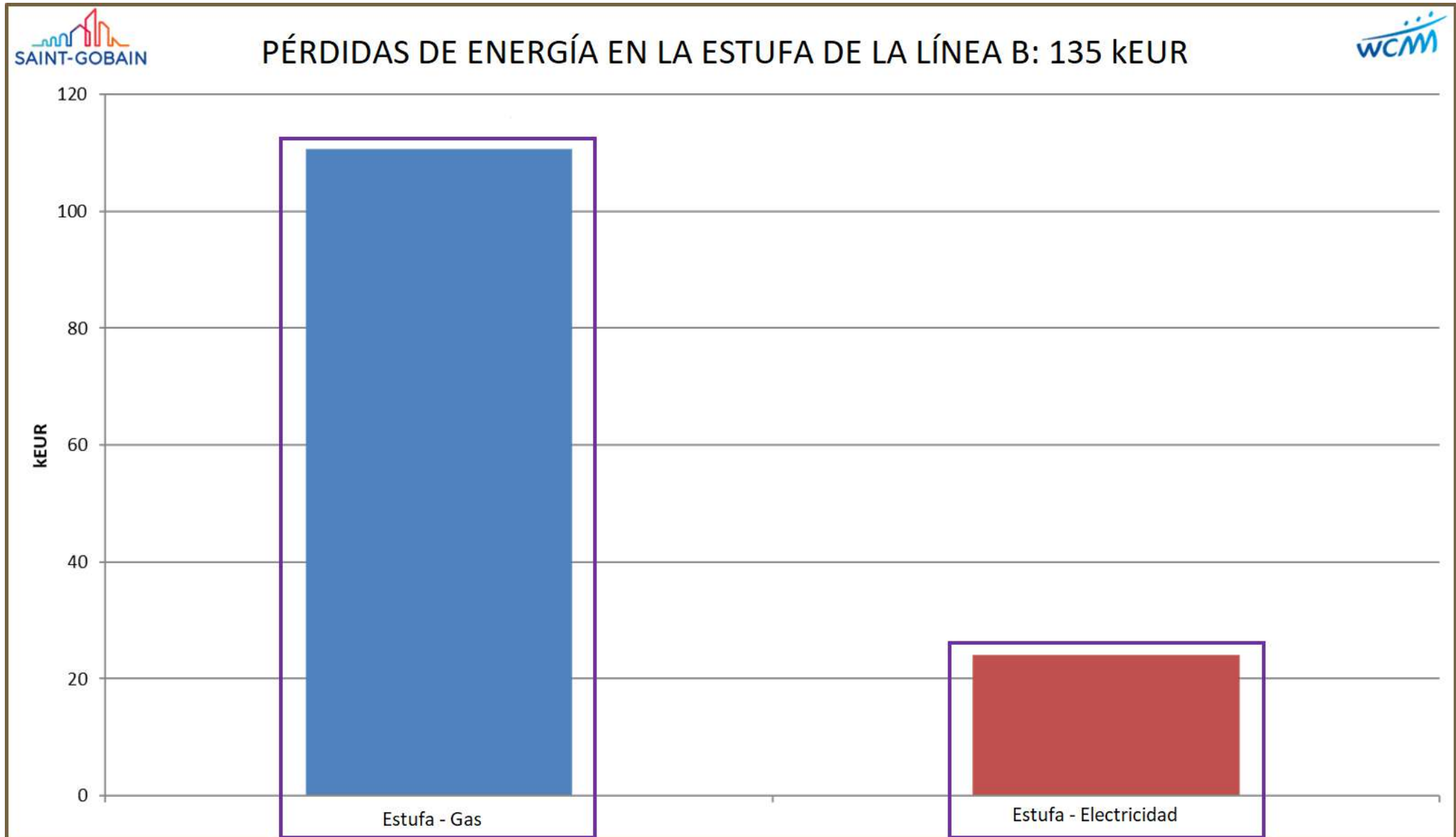
PÉRDIDAS TOTALES EN LA LÍNEA B



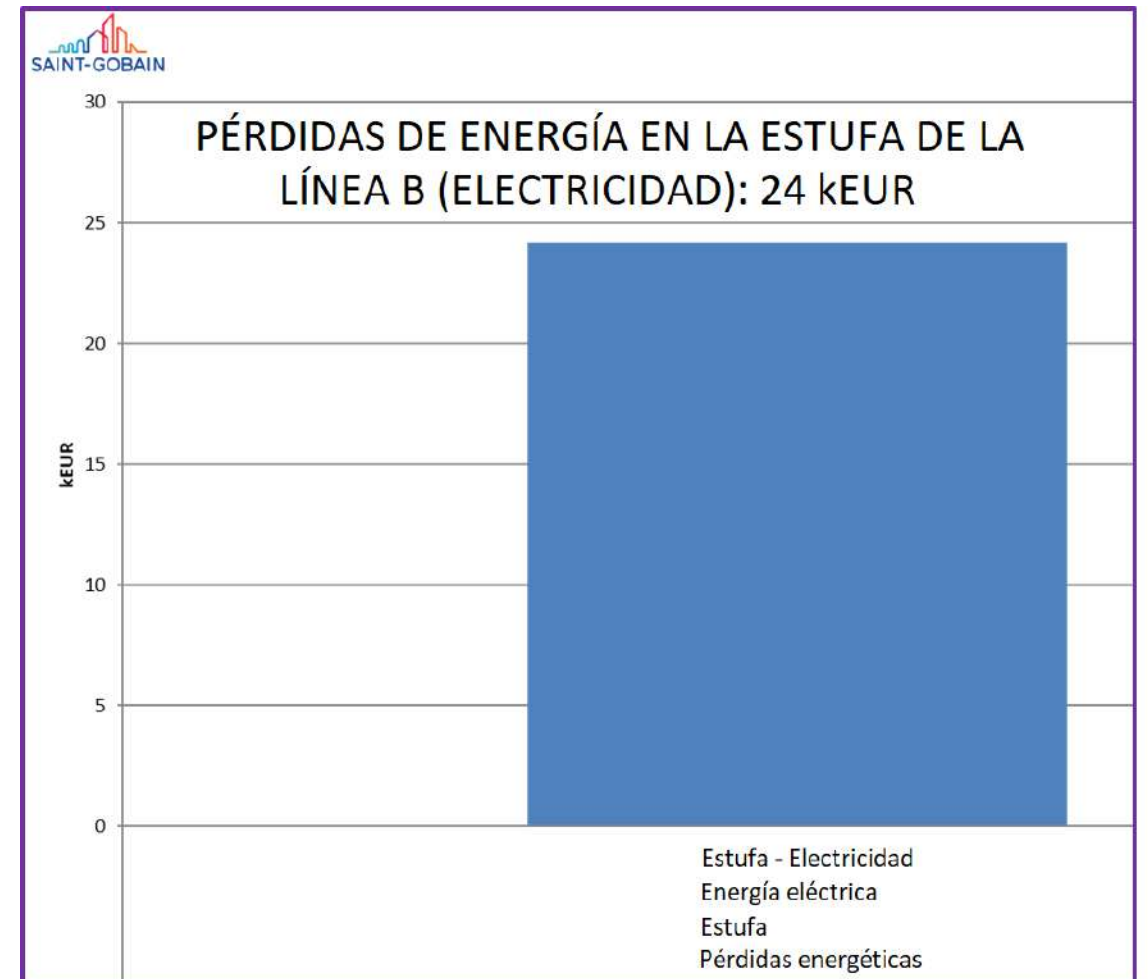
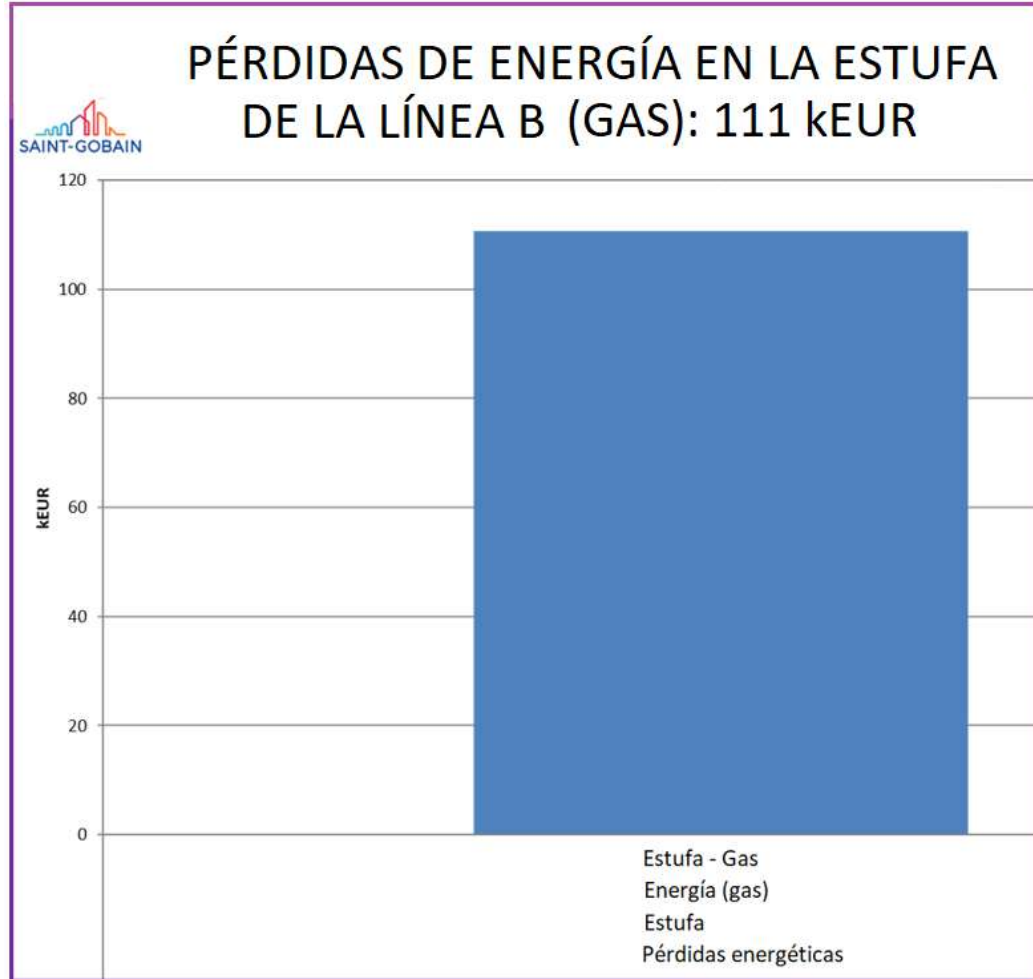
Cost deployment



Cost deployment



Cost deployment



El proyecto se centra en reducir estos 135.000 euros de pérdidas.

Cost deployment: comparación estufa línea B y referencia

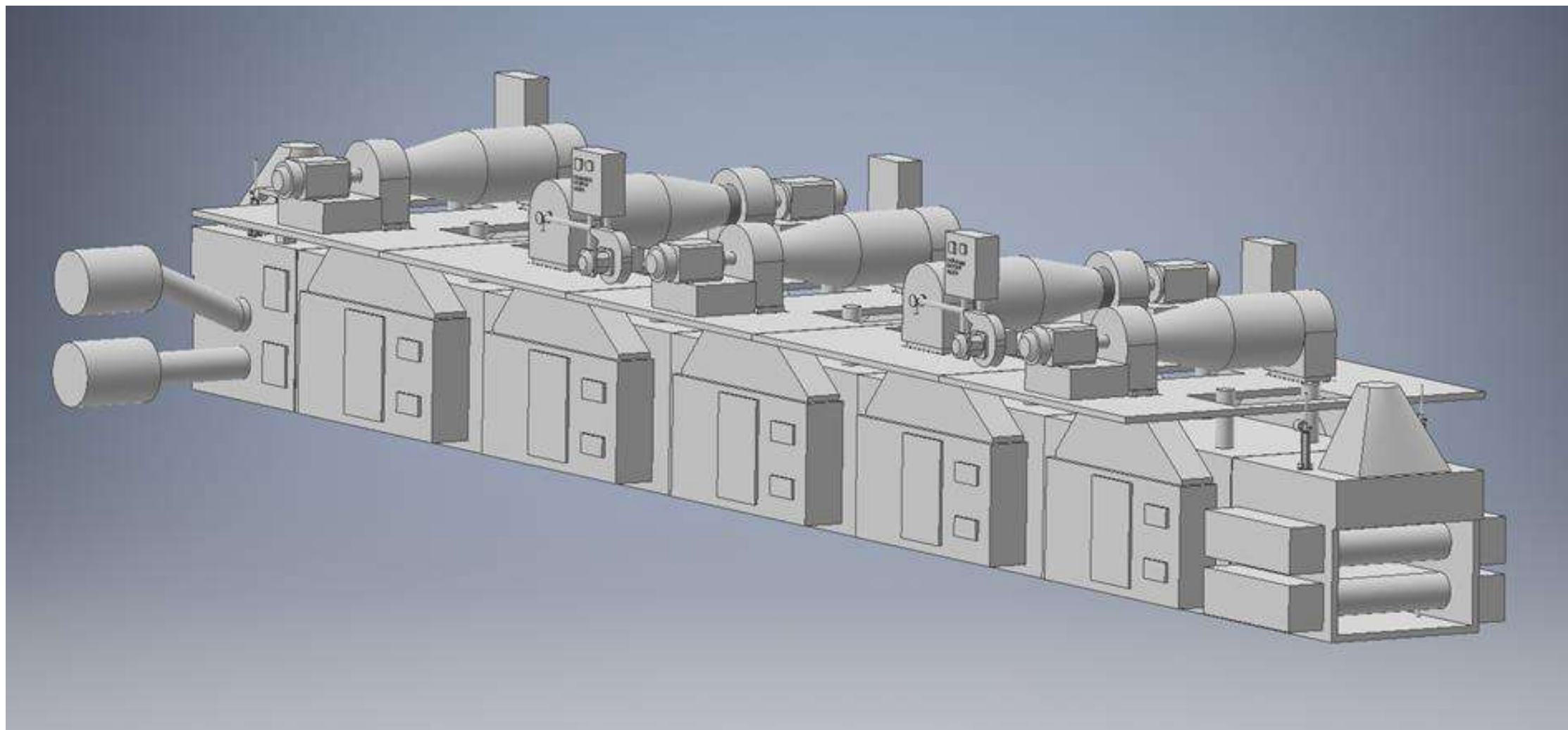
	Consumo medio (kWh/t fibra)	Consumo medio gas (kWh/t fibra)	Consumo medio electricidad (kWh/t fibra)	Precio energía consumida total (k€)	Precio energía consumida gas (k€)	Precio energía consumida electricidad (k€)
ESTUFA LÍNEA B	495,33	453,28	42,05	243,36	190,38	52,98
REFERENCIA	212	189	23	108,36	79,38	28,98
DIFERENCIA	283,33	264,28	19,05	135	111	24

Precio electricidad: 0,09 €/kWh

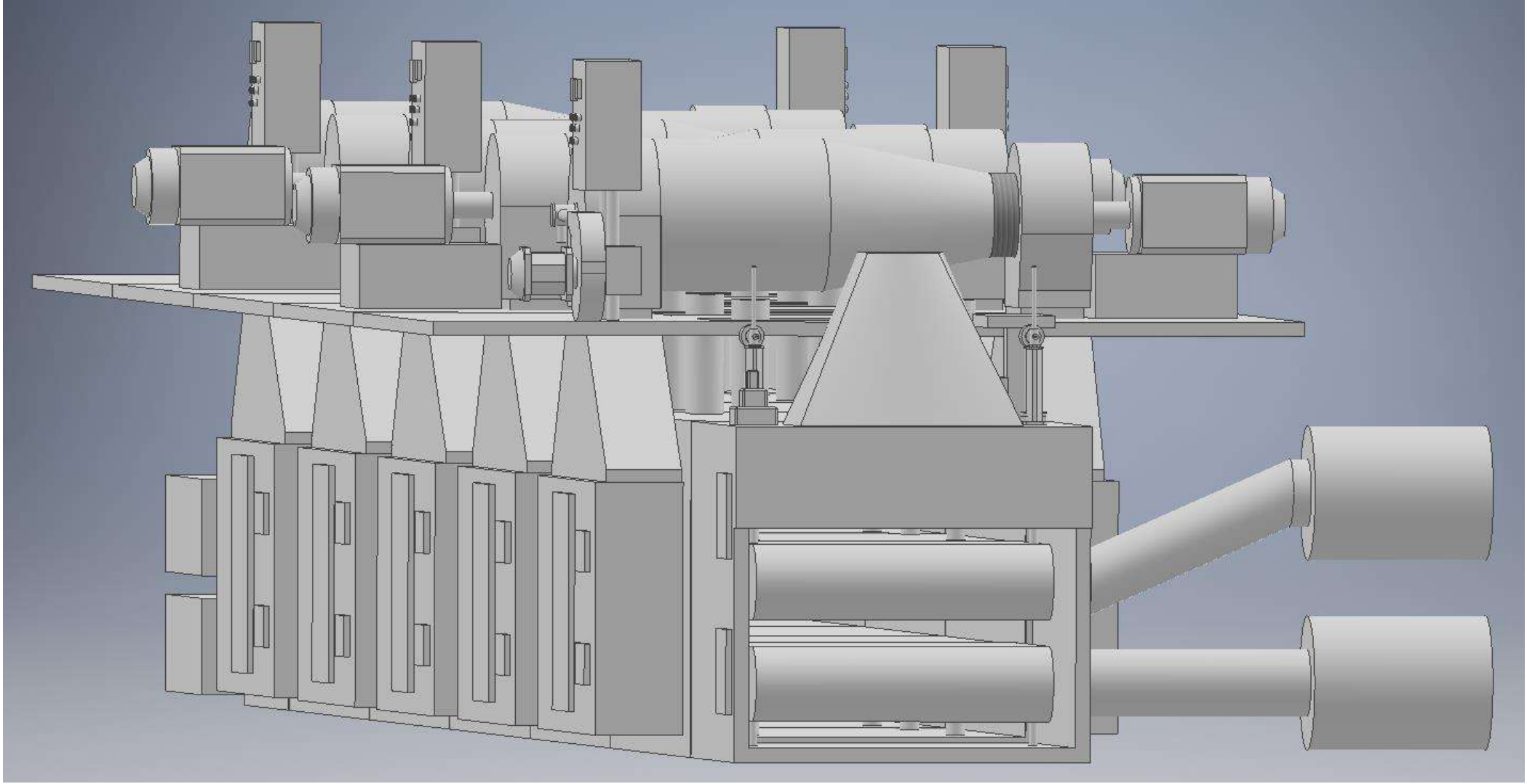
Precio gas: 0,03 €/kWh

14.000 toneladas en 2017

La estufa

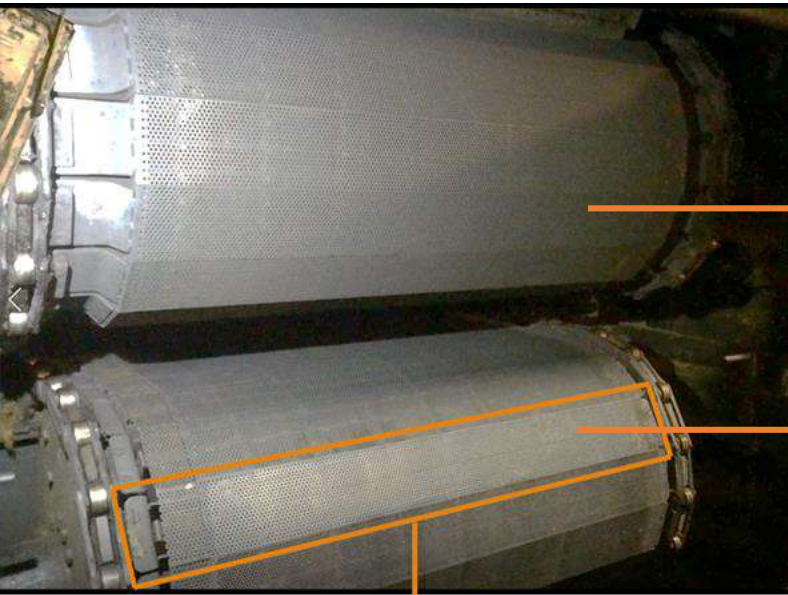


La estufa



Elementos de la estufa importantes para el proyecto

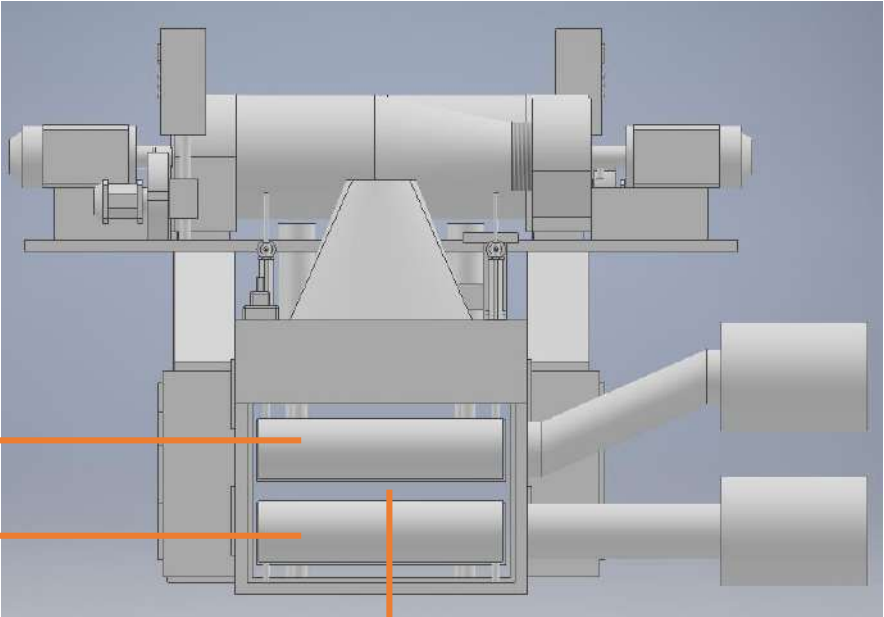
Transportadores



Transportador superior

Transportador inferior

Paleta del transportador inferior



Transportador superior

Transportador inferior

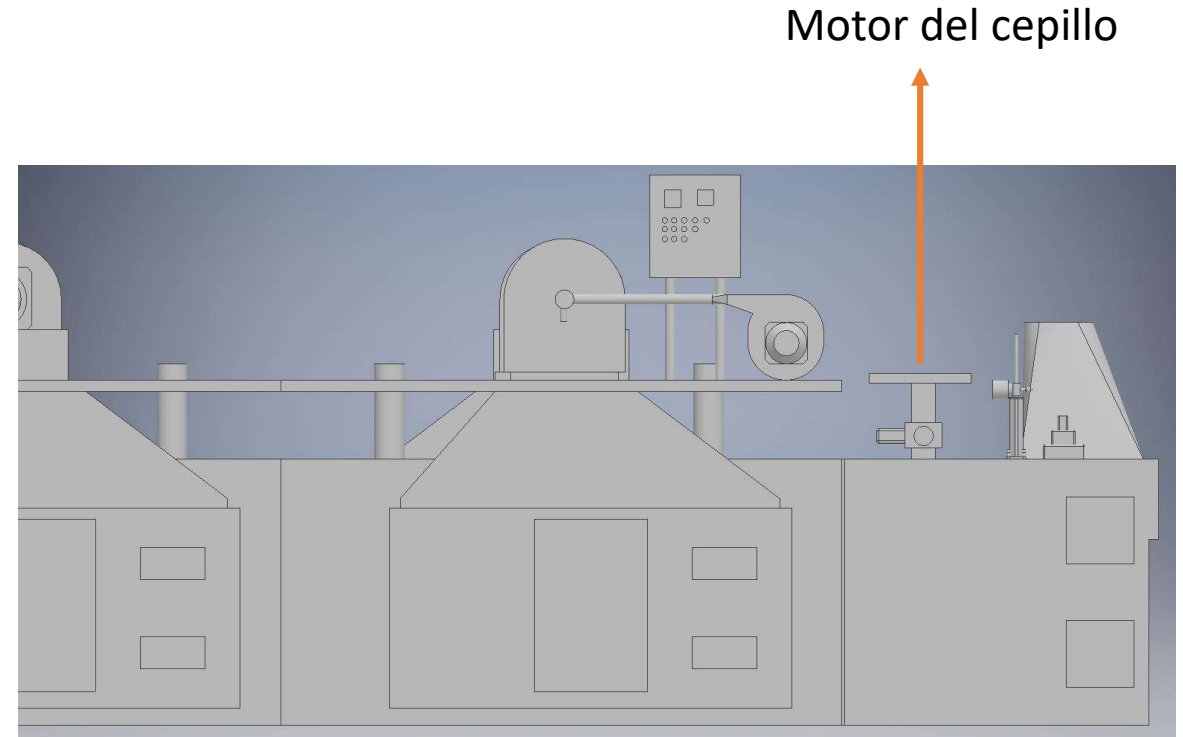
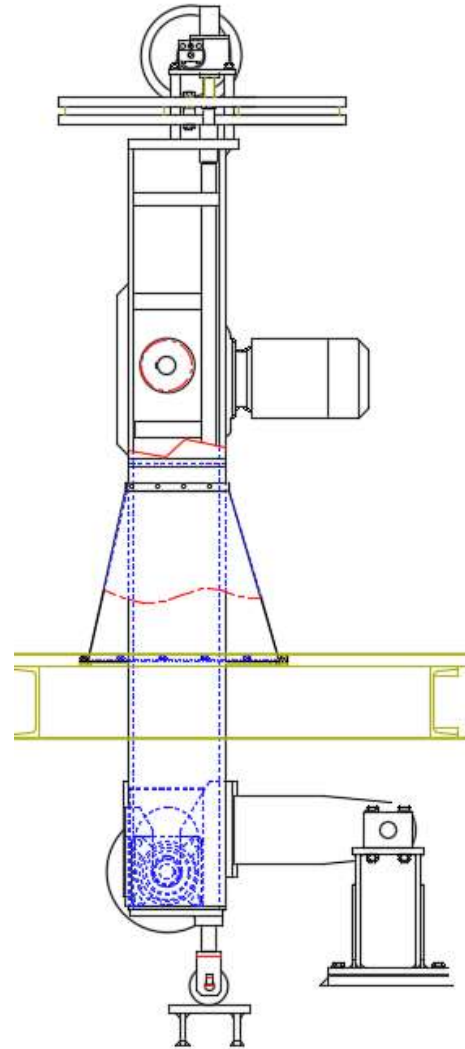
Espacio para el producto



Cepillo del transportador inferior

Elementos de la estufa importantes para el proyecto

Motor del cepillo del transportador superior



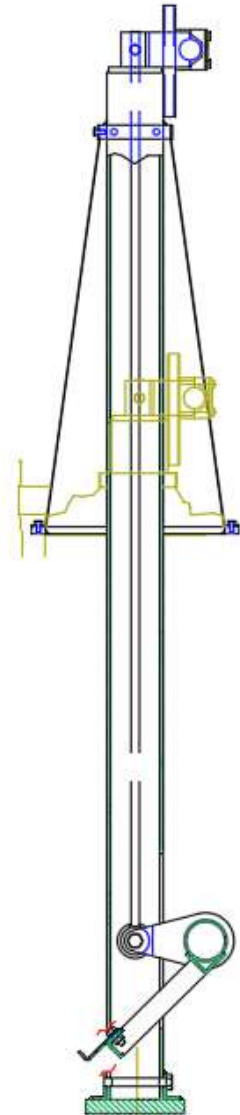
Elementos de la estufa importantes para el proyecto

Sistema de tensado de las cadenas del transportador superior

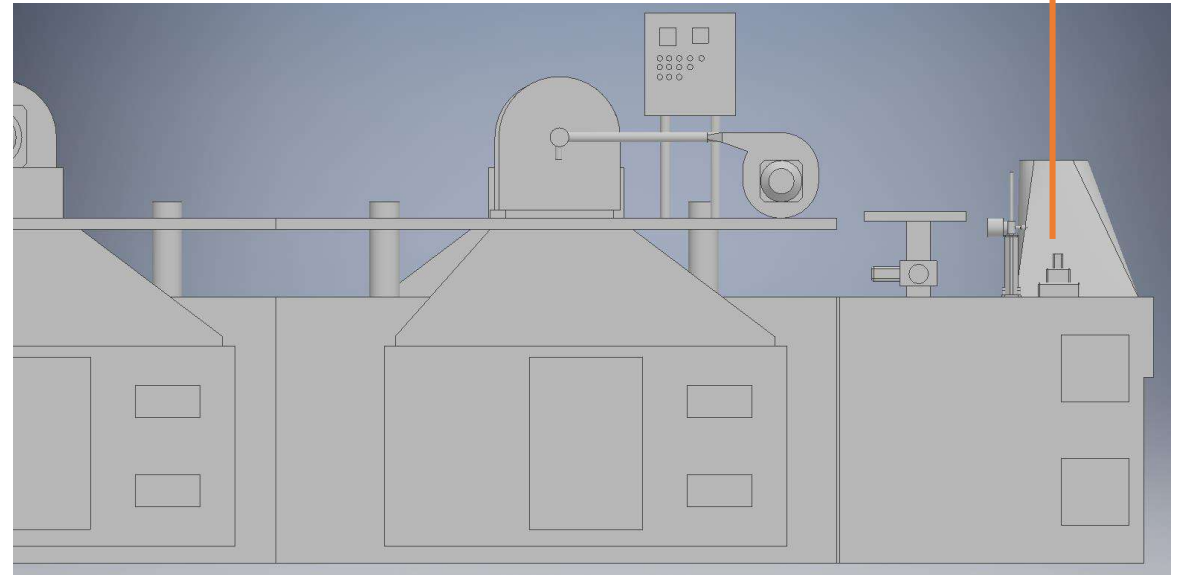


Elementos de la estufa importantes para el proyecto

Detector de atascamiento

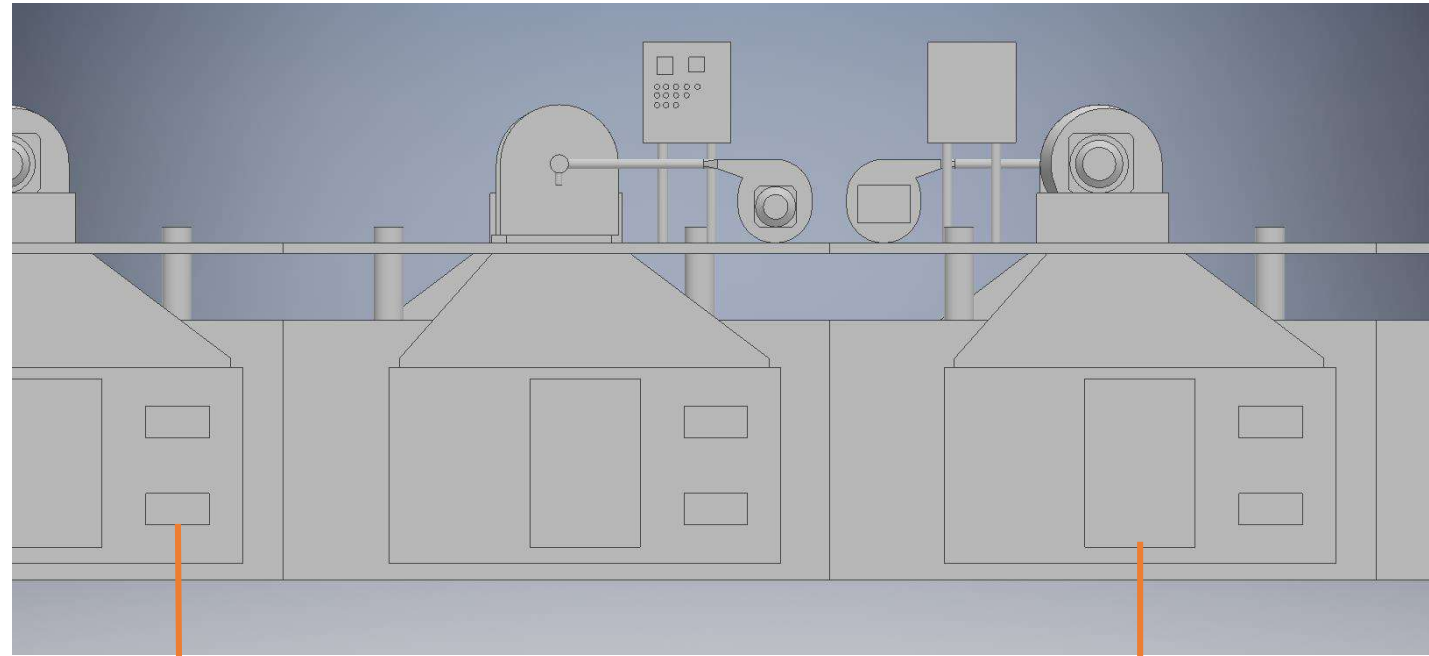


Detector de atascamiento



Elementos de la estufa importantes para el proyecto

Cajones, puertas y plots de explosión



Plot de explosión

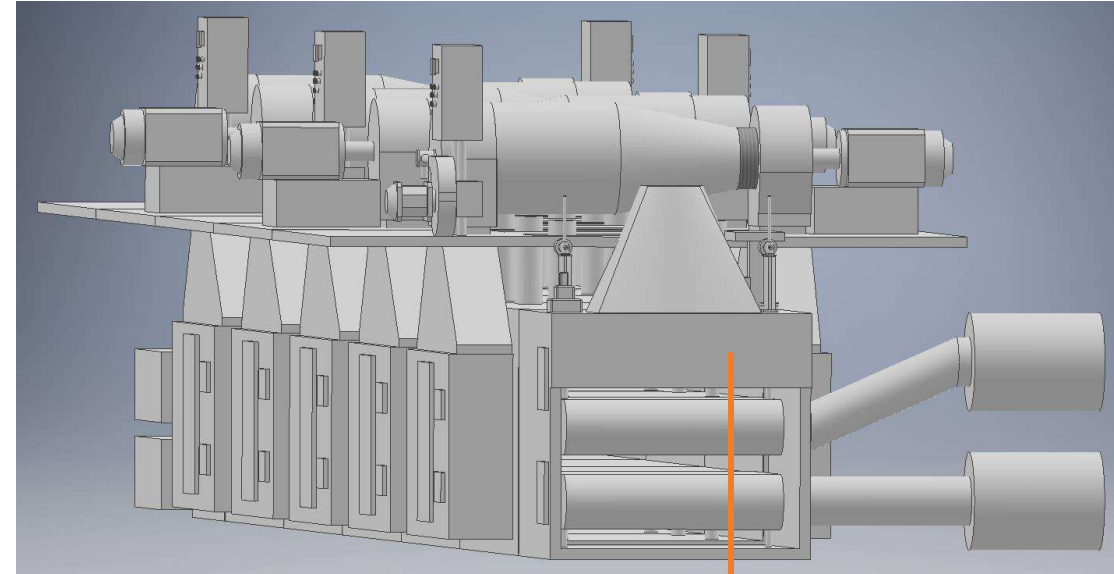
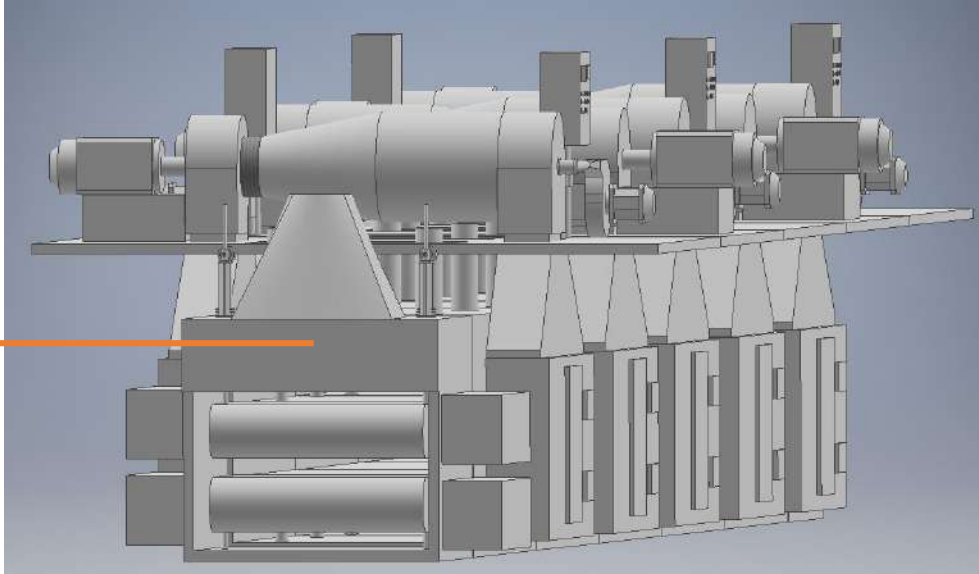
Cajón de calentamiento

Puerta de un cajón

Elementos de la estufa importantes para el proyecto

Puerta frontal de las secciones de entrada y salida

Puerta frontal de la sección de entrada



Puerta frontal de la sección de salida

Elementos de la estufa importantes para el proyecto

Extracciones de los humos

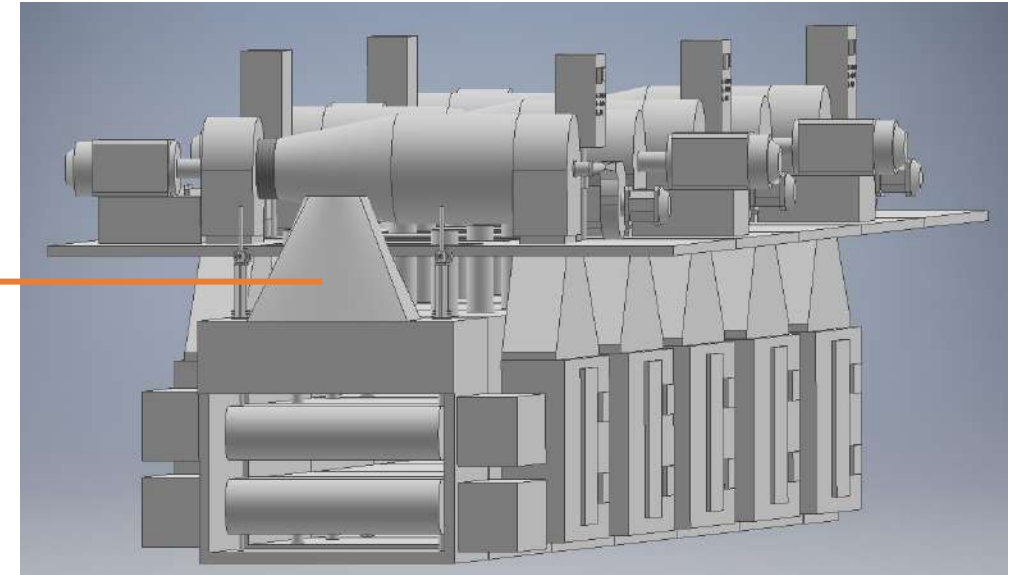


Agujero para las mediciones

Extracción de humos de la entrada

Agujero para las mediciones

Extracción de humos de la salida



Principio de funcionamiento de la estufa

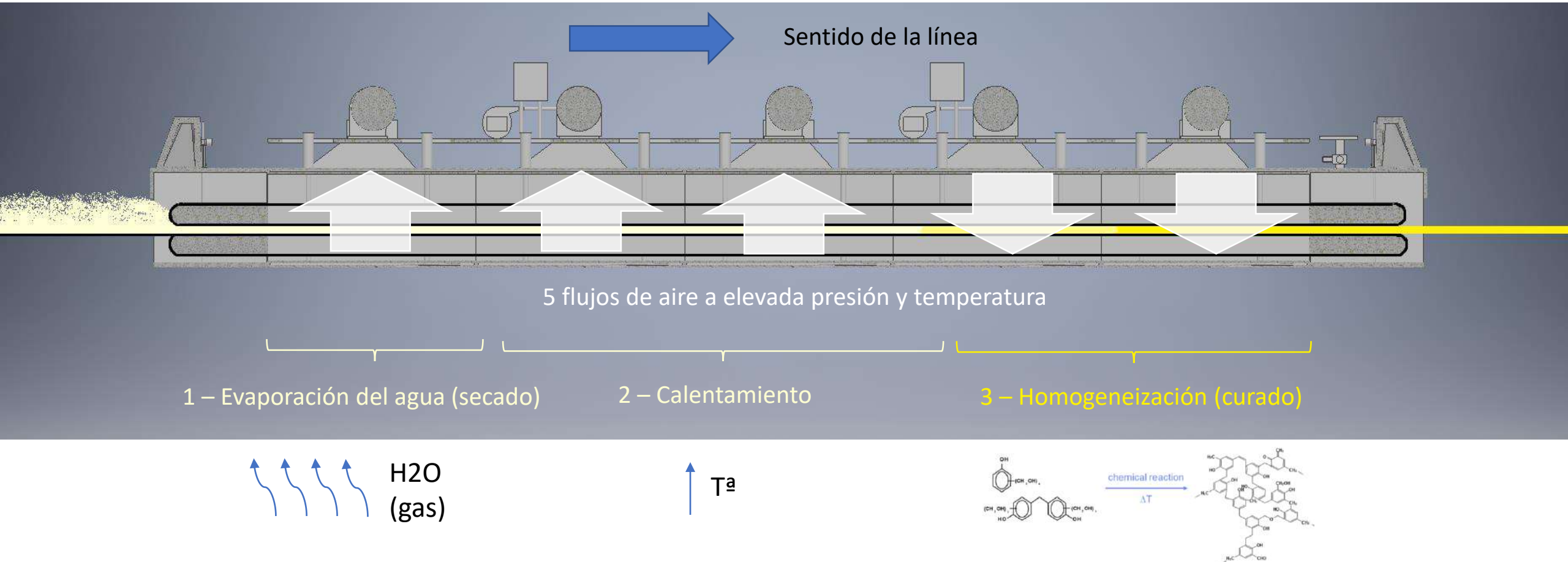
FASES DEL PROCESO DENTRO DE LA ESTUFA:

- **Secar el producto:** retirar toda la humedad que contiene.
- **Calentamiento:** continuar aumentando la T^a .
- **Curar o polimerizar el encolado (homogeneización):** modificar su estructura química para que adquiera propiedades adherentes y las fibras queden unidas entre sí. El curado se produce en un rango de temperaturas que depende del tipo de encolado (T^a producto: 180-220°C).

PROCESO PARA CONSEGUIRLO:

Se somete el producto a 5 flujos de aire a:

- **Presión** (a partir de 30 mmca).
- **Temperatura** (240 – 260°C).



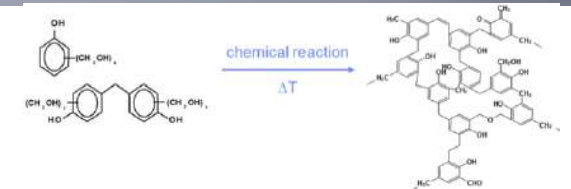
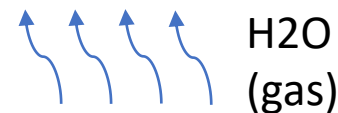
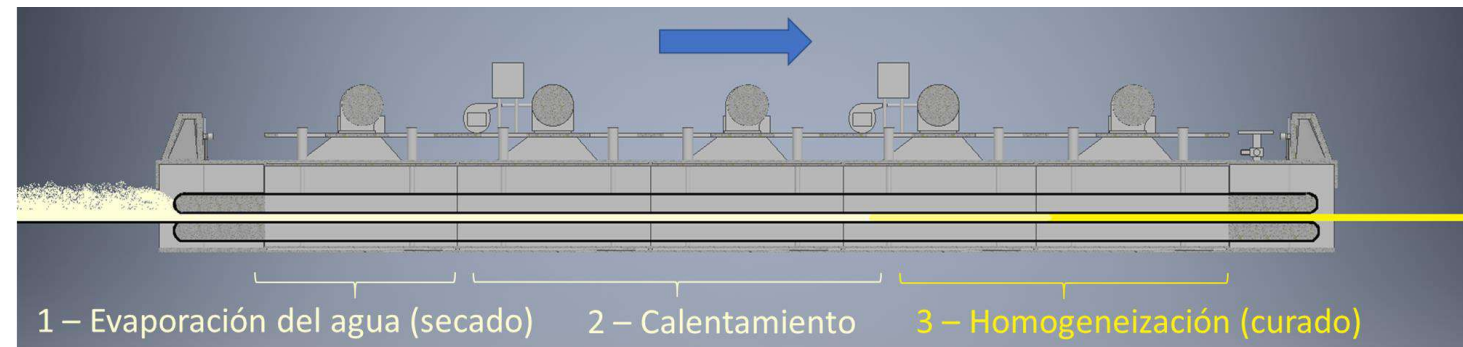
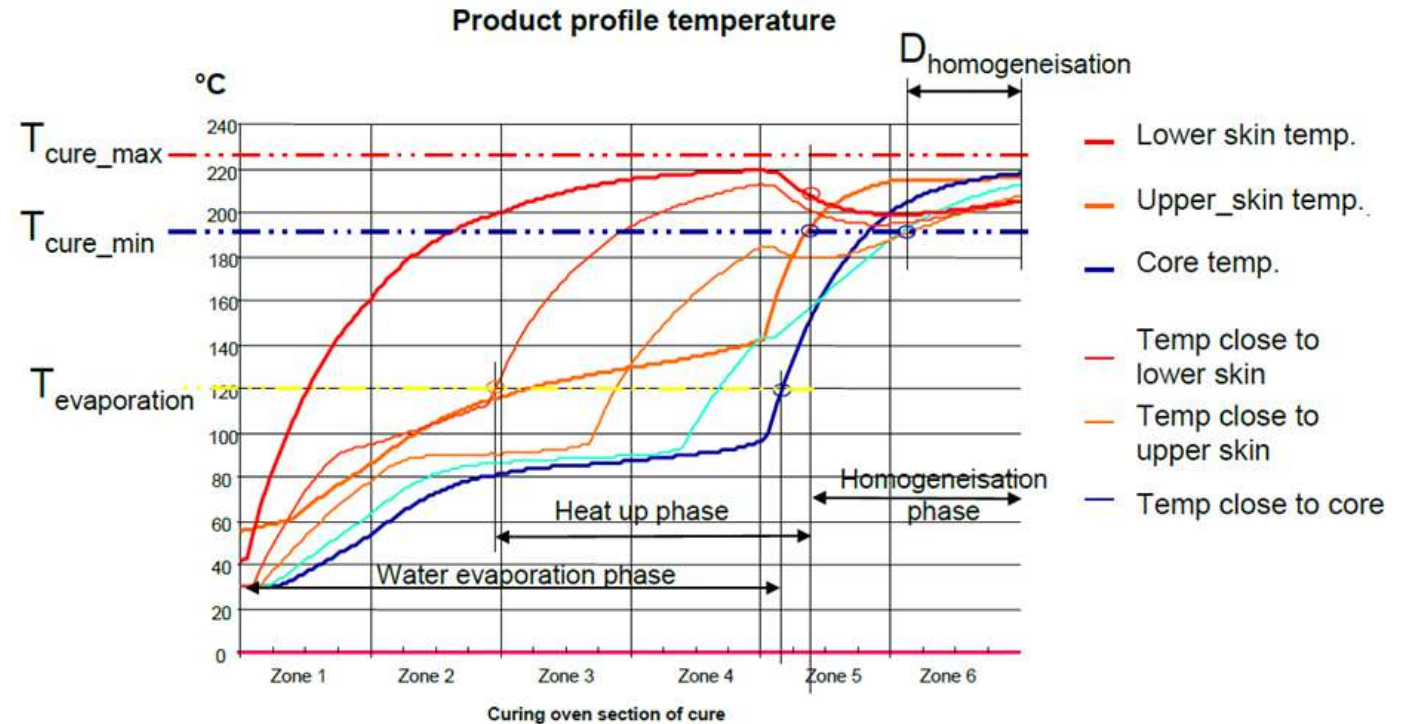
Principio de funcionamiento de la estufa: fases del proceso

FASES DEL PROCESO:

- **Evaporación del agua:** desde que el producto entra en el horno hasta que se evapora toda su agua (todos los puntos han alcanzado $T_{\text{evaporación}}$).
- **Calentamiento:** comienza cuando los puntos más superficiales superan $T_{\text{evaporación}}$ y termina cuando todos los puntos alcanzan $T_{\text{curado mínima}}$.
- **Homogeneización:** se produce el curado de la resina. Para ello, todos los puntos del producto deben estar entre $T_{\text{curado mínima}}$ y $T_{\text{curado máxima}}$ durante el tiempo $D_{\text{homogeneización}}$.

Los valores de $T_{\text{curado mínima}}$, $T_{\text{curado máxima}}$ y $D_{\text{homogeneización}}$ dependen del tipo de encolado:

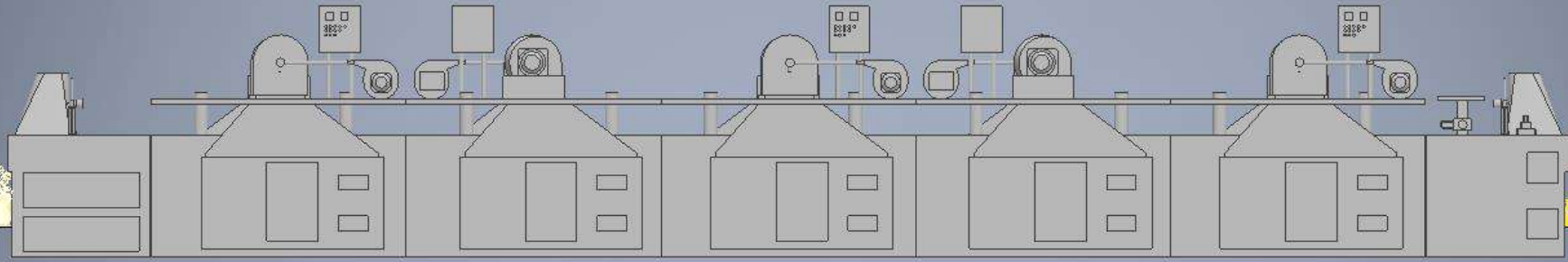
	R 232	R 225
$T_{\text{curado mínima}} (^{\circ}\text{C})$	180	200
$T_{\text{curado máxima}} (^{\circ}\text{C})$	220	250
$D_{\text{homogeneización}} (\text{s})$	10	5



Principio de funcionamiento de la estufa

RESULTADO DE LO ANTERIOR:

- Producto seco.
- Fibras adheridas entre sí.
- Material con propiedades mecánicas (mayor resistencia, consistencia y dureza).



Antes de la estufa:

- Material: fibras + agua + encolado
- Características: fibras sin adherir, colchón blando, sin consistencia, sin propiedades mecánicas



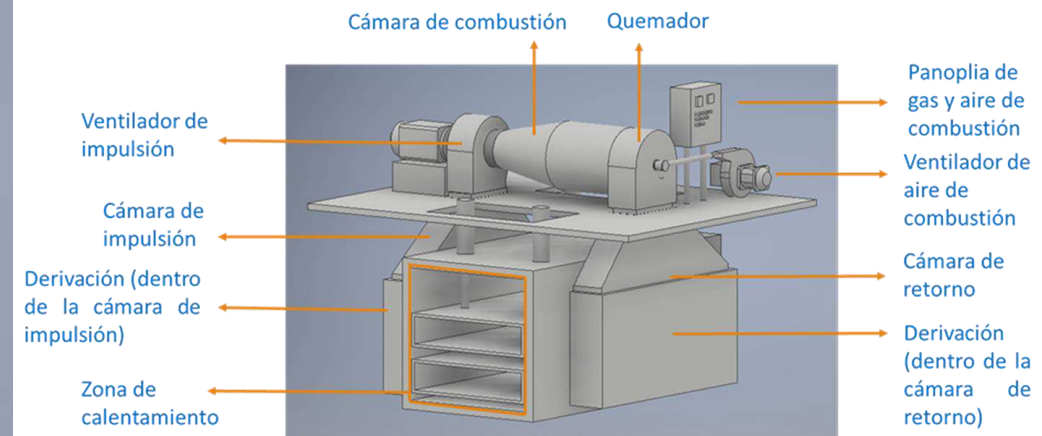
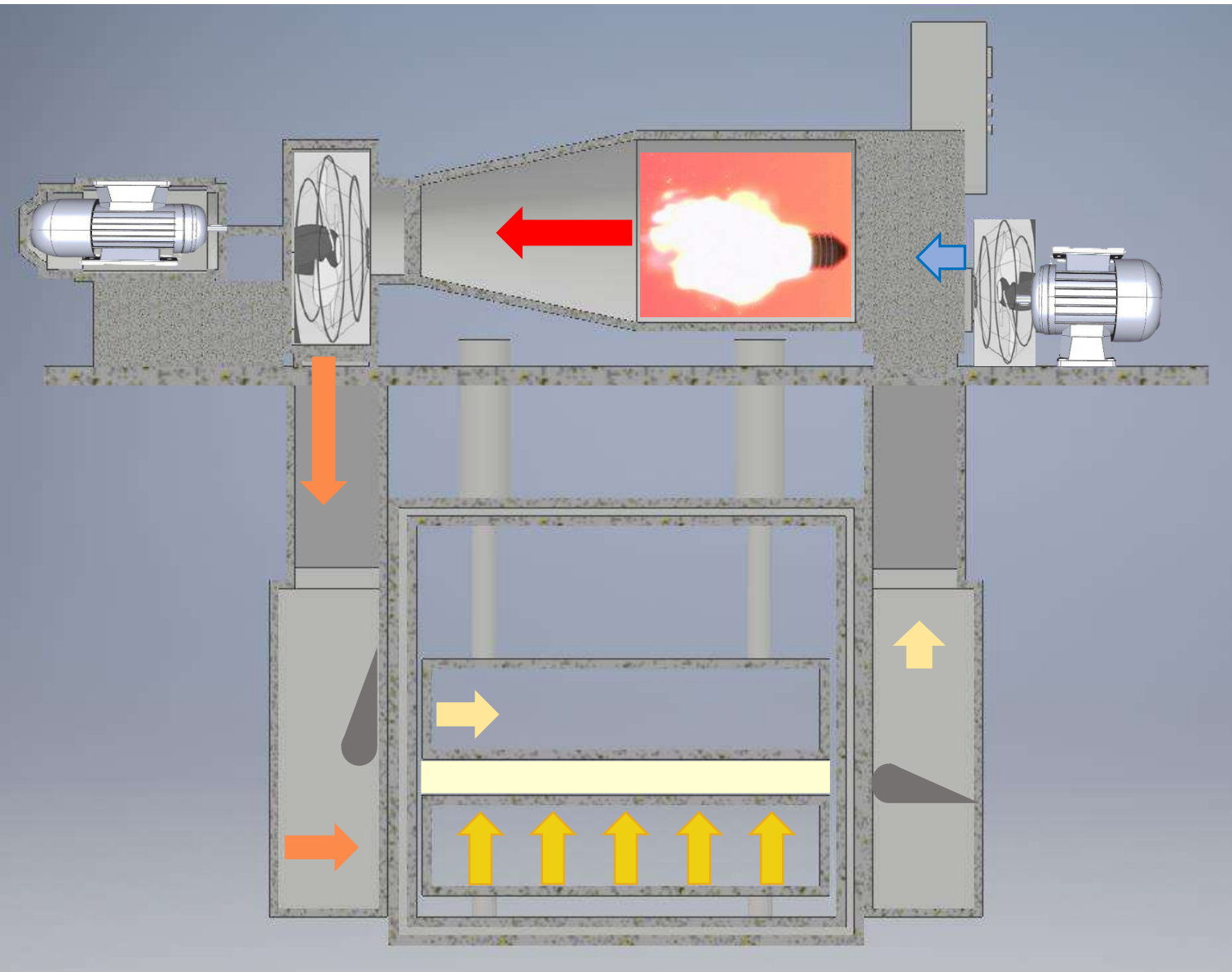
Sentido de la línea

Después de la estufa:

- Material: fibras + encolado polimerizado
- Características: fibras adheridas, colchón consistente, con propiedades mecánicas y con espesor correspondiente

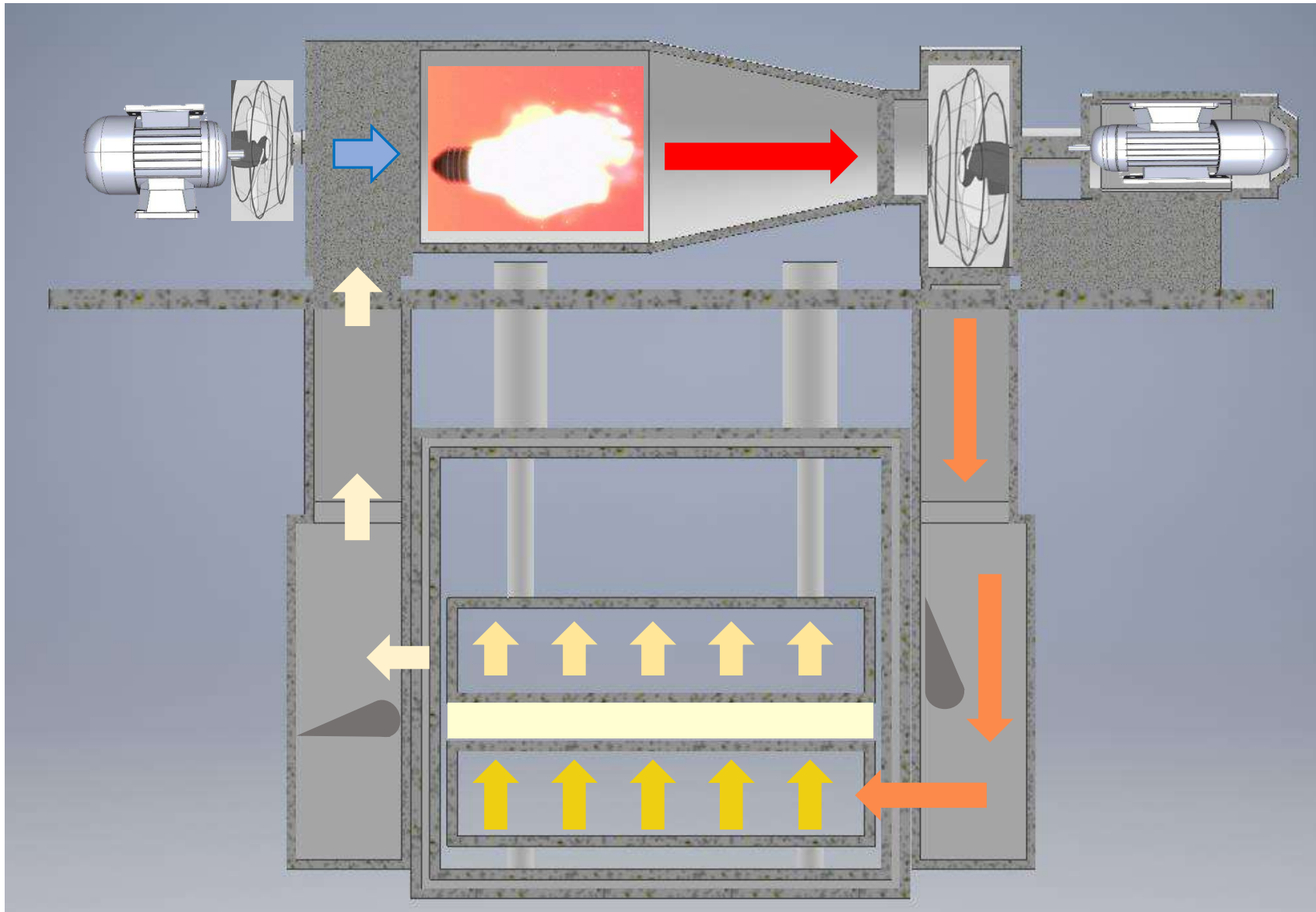
Funcionamiento de la estufa: generación del flujo de aire caliente

Cajón 1



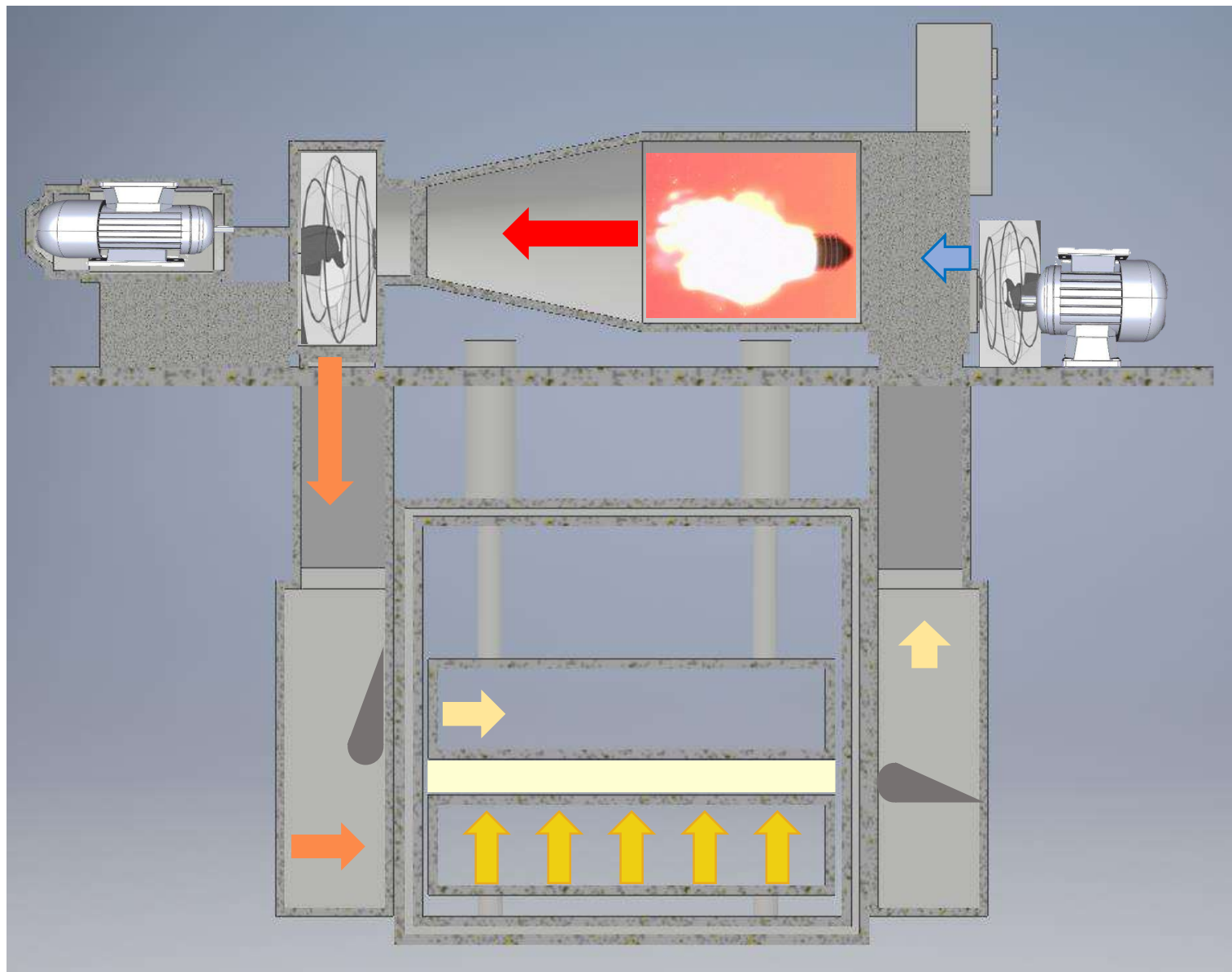
Funcionamiento de la estufa: generación del flujo de aire caliente

Cajón 2



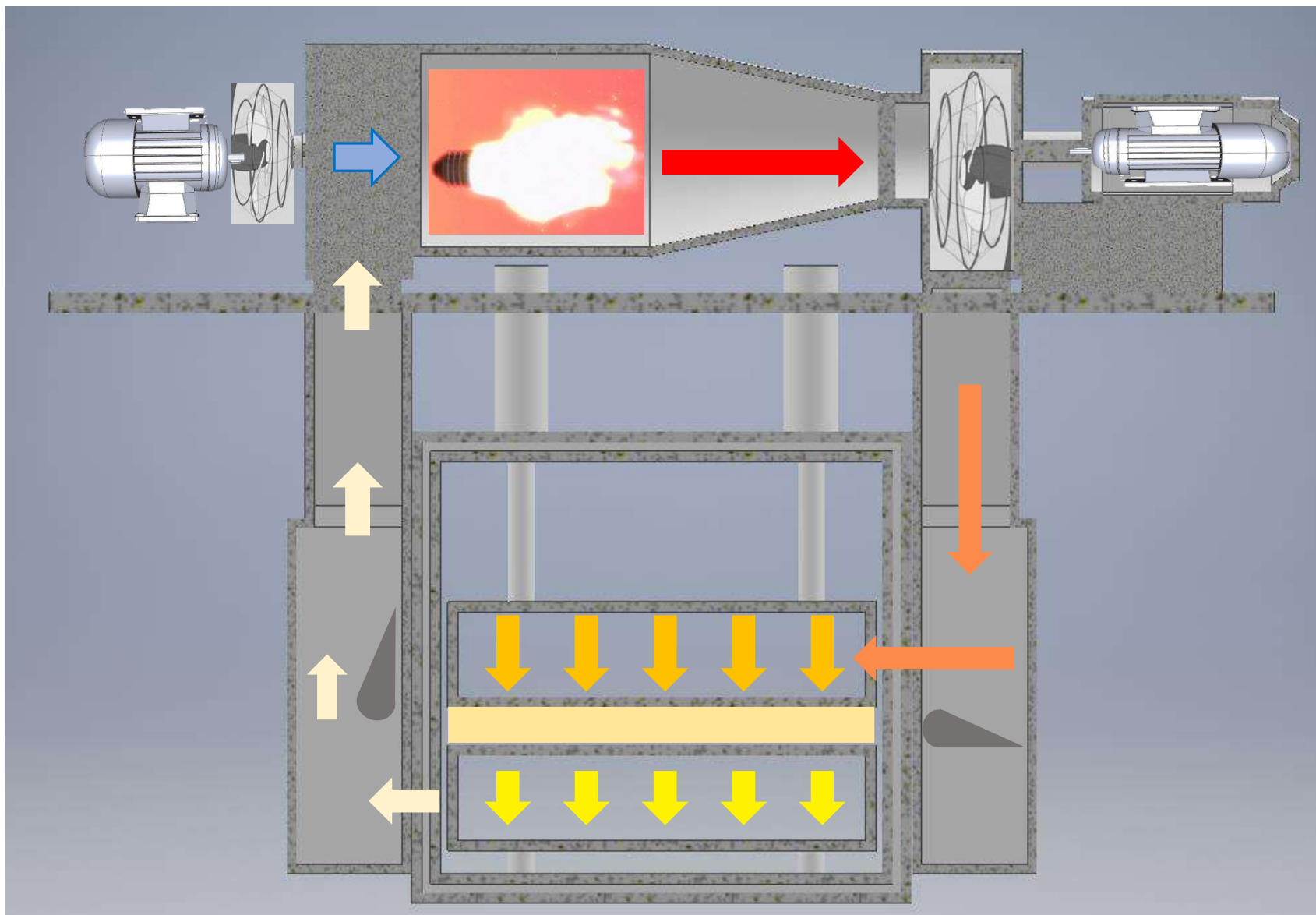
Funcionamiento de la estufa: generación del flujo de aire caliente

Cajón 3



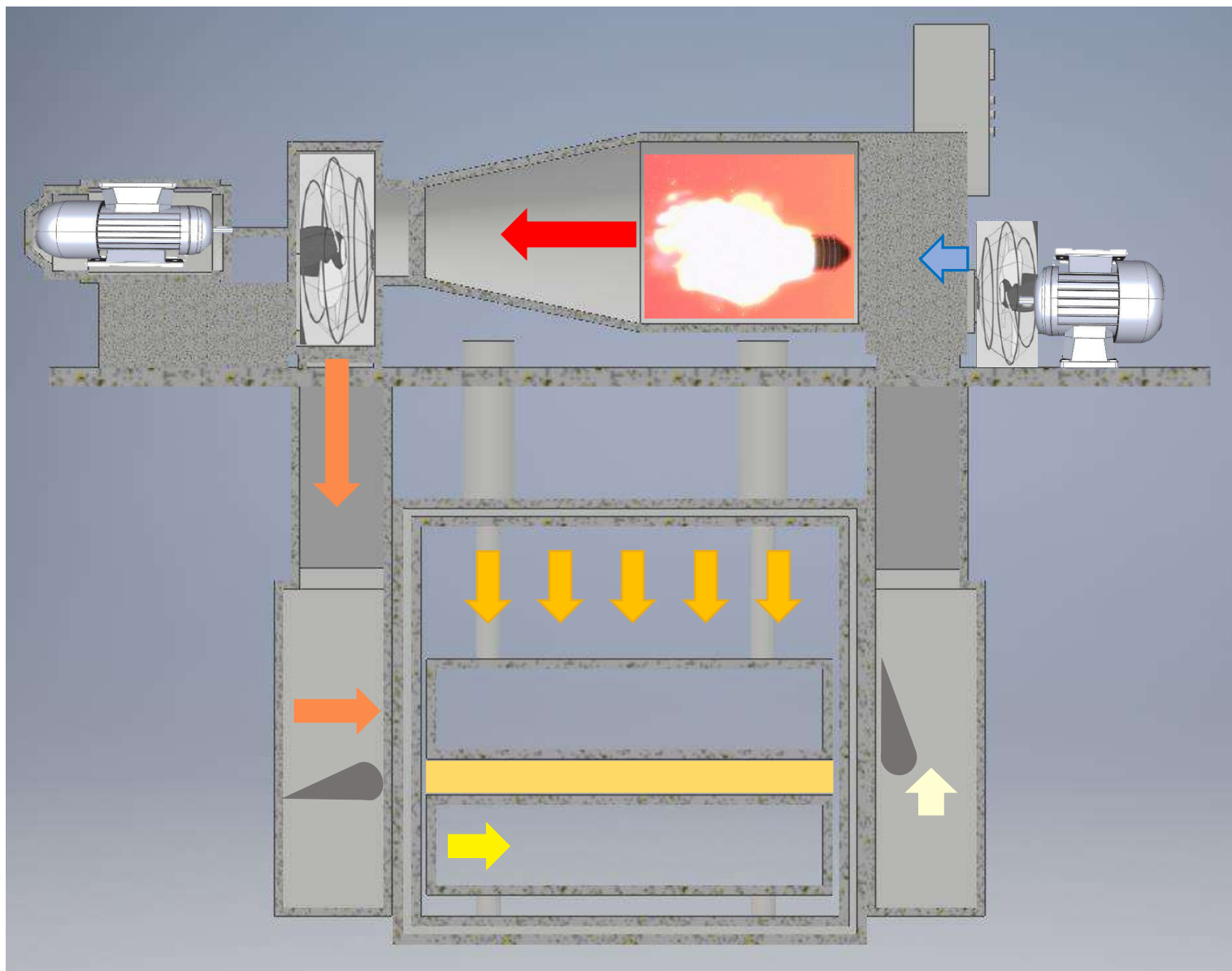
Funcionamiento de la estufa: generación del flujo de aire caliente

Cajón 4

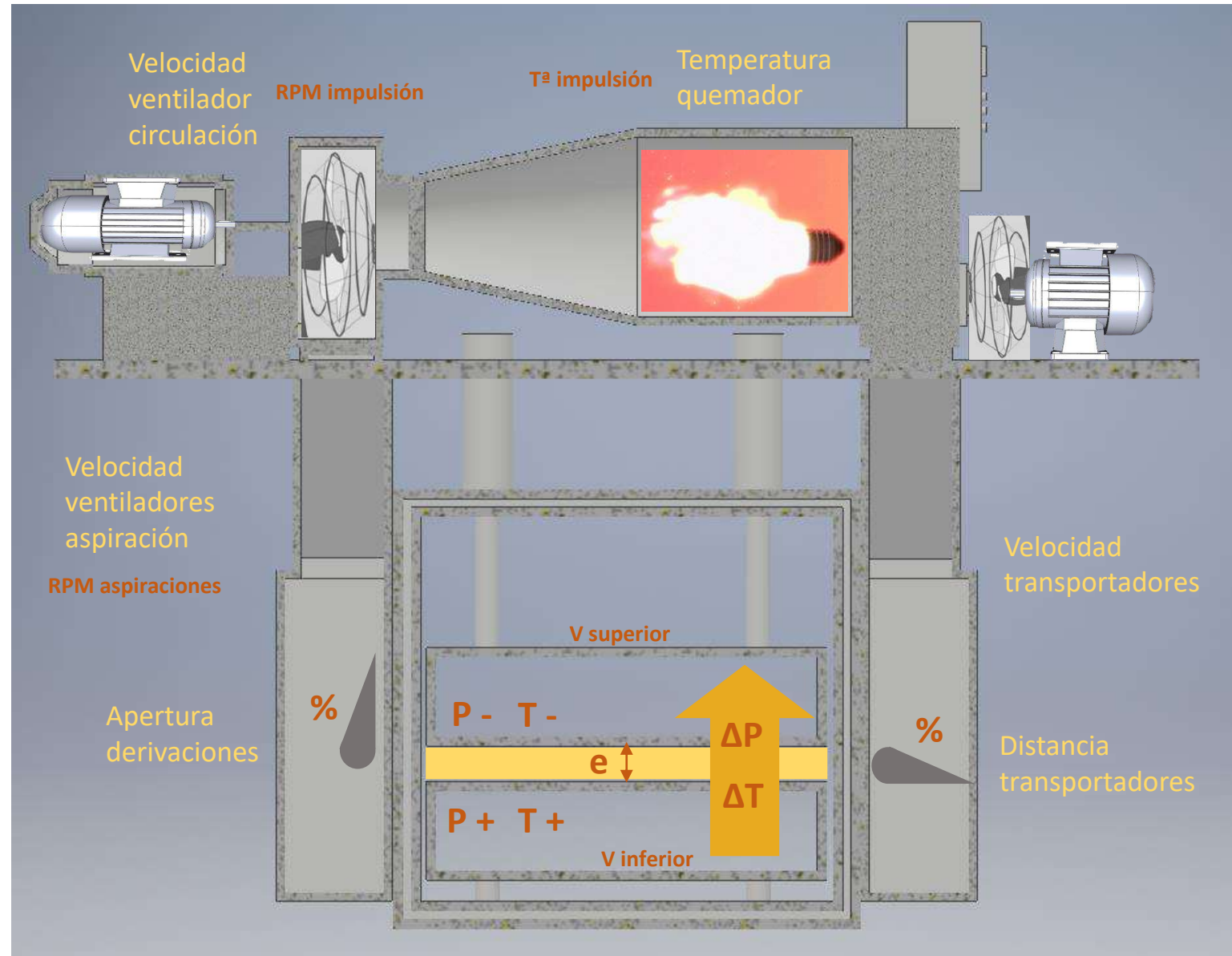
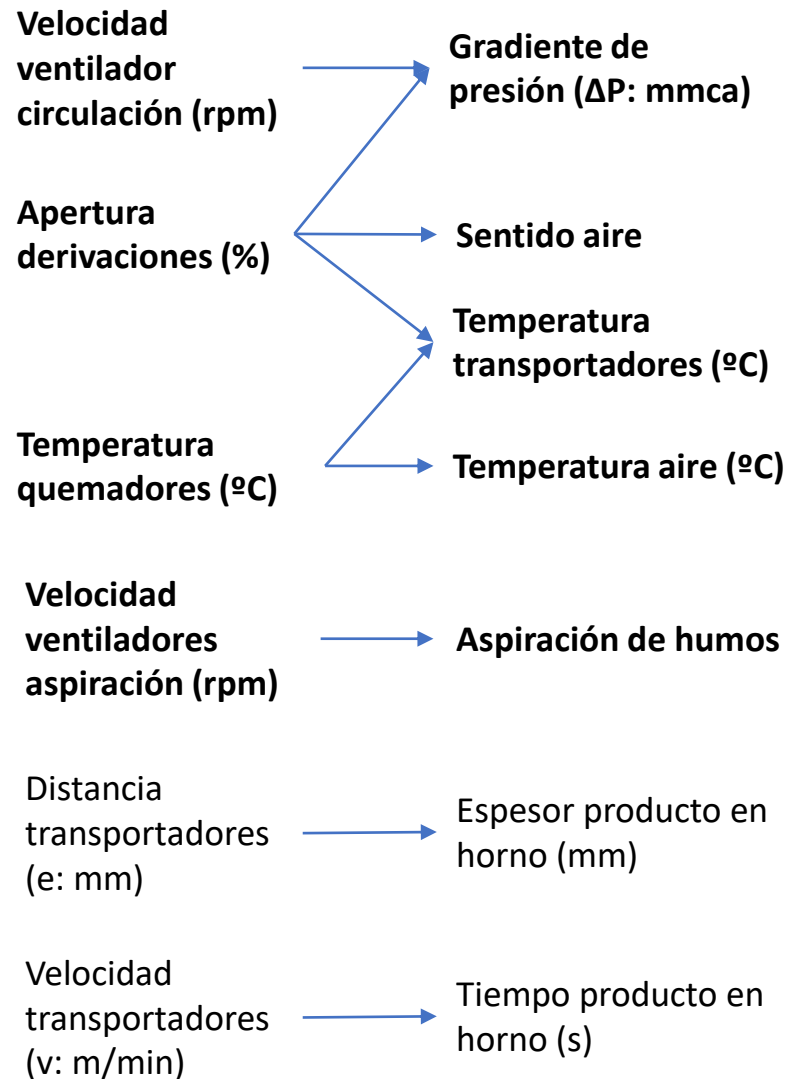


Funcionamiento de la estufa: generación del flujo de aire caliente

Cajón 5



Funcionamiento de la estufa: parámetros de ajuste

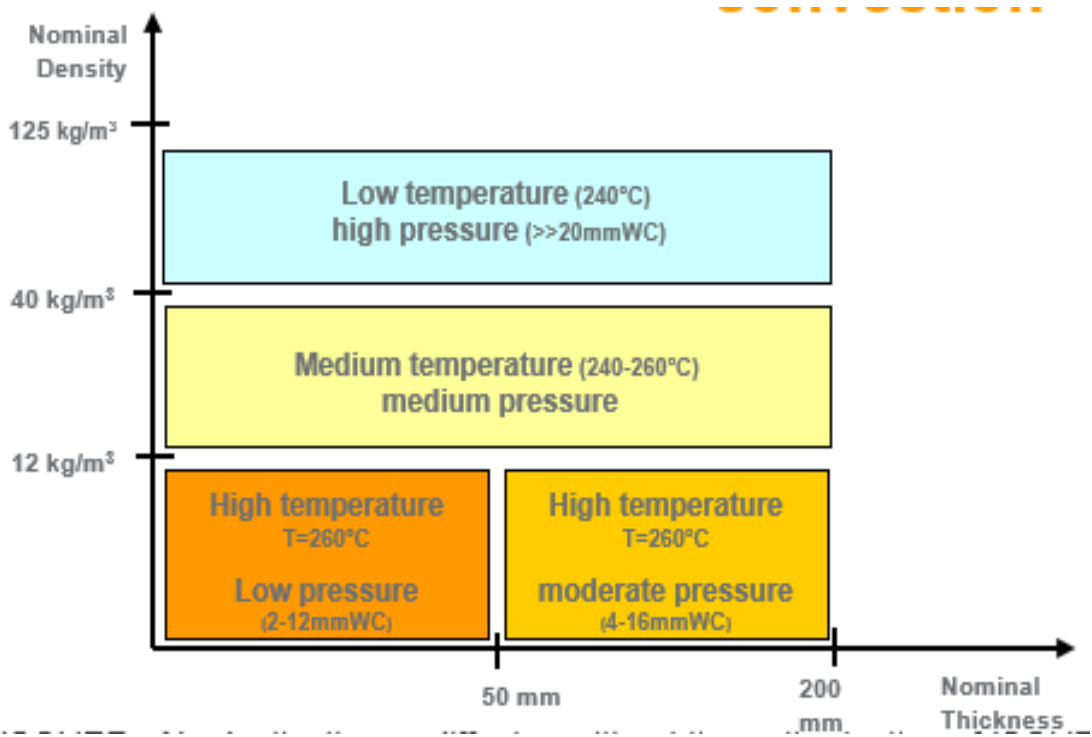


Funcionamiento de la estufa: valores de referencia para los parámetros

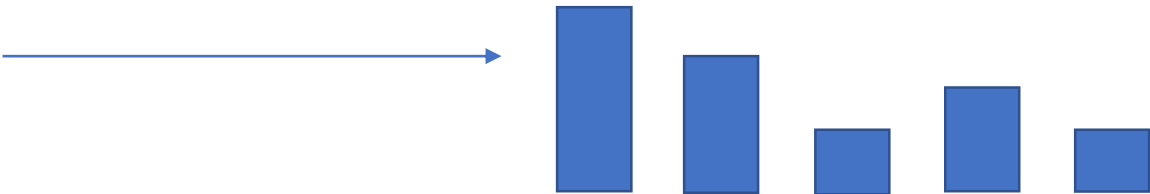
El ajuste de los parámetros depende de:

- Densidad del producto → Resistencia/fragilidad
- Tipo de encolado → Tª curado → Tª aire
- Cantidad de encolado → + cantidad, + energía
- Cantidad de humedad → + cantidad, + energía

VALORES DE REFERENCIA	Densidad baja (<12 kg/m3)	Densidad media (entre 12 y 24 kg/m3)	Densidad alta (>24 kg/m3)
Sentido del aire			
Gradiente de presión			
Apertura derivaciones (%)	15 – 20	10	0 – 5
Tª transportadores (°C)	200 – 210	180 – 200	
Tª aire (°C)	260°C	240 – 260°C	240°C



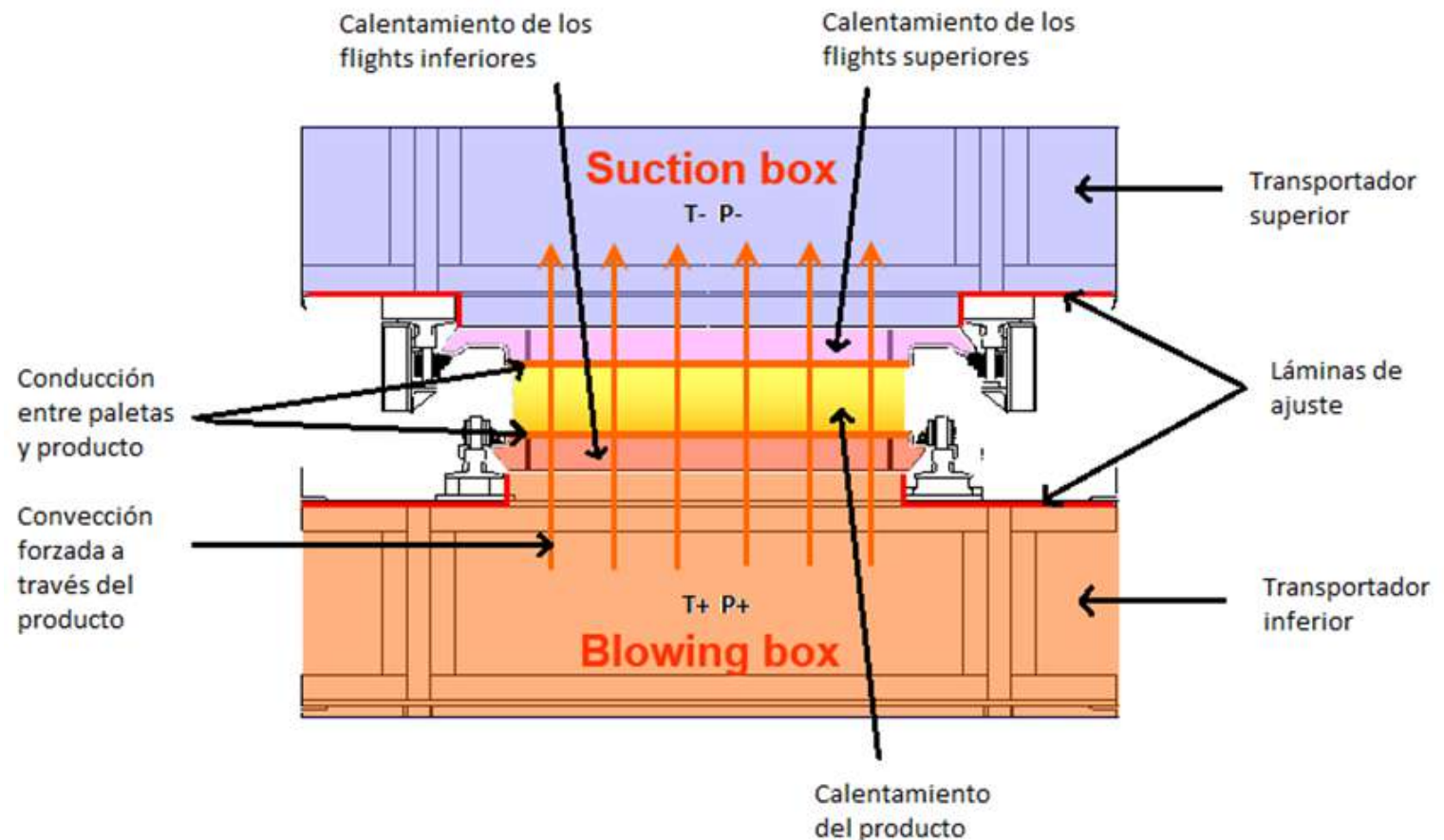
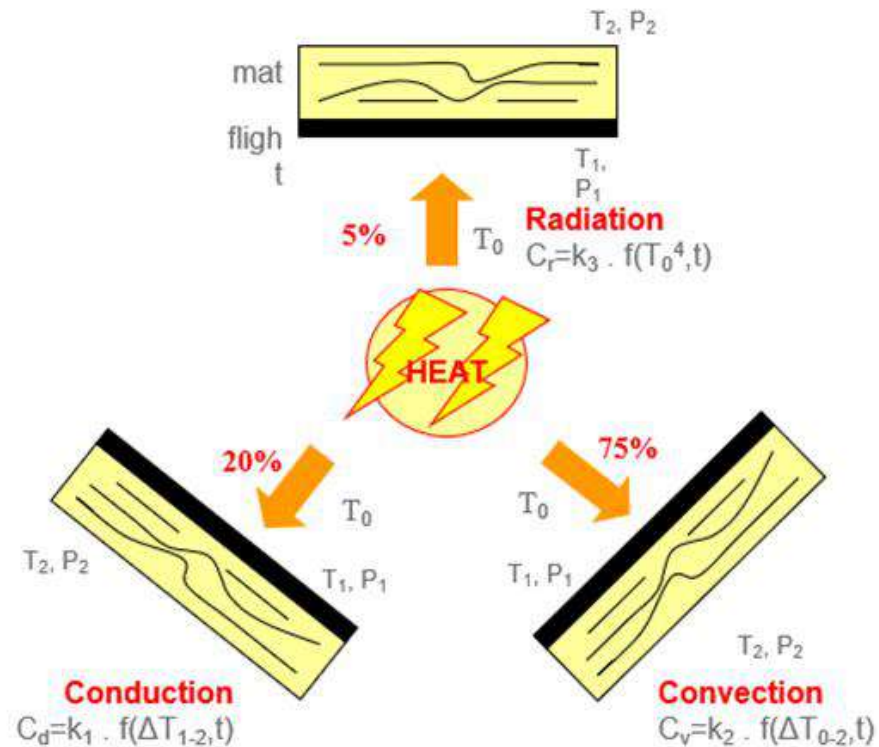
Productos frágiles	20%	10%	0%	0%	0%
Productos resistentes	0%	0%	0%	0%	0%



Funcionamiento de la estufa: intercambio de calor en el proceso

TIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR:

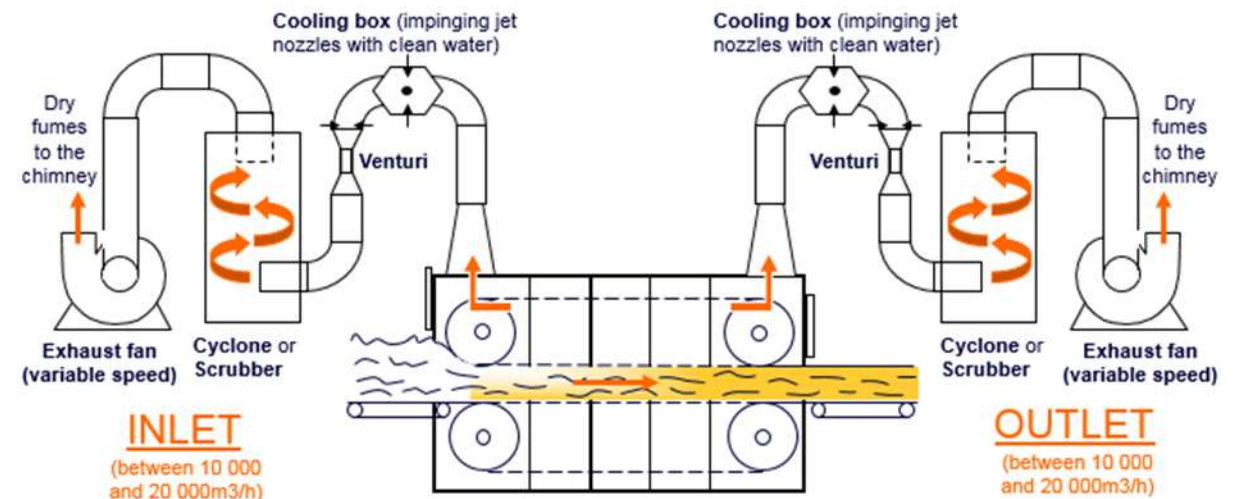
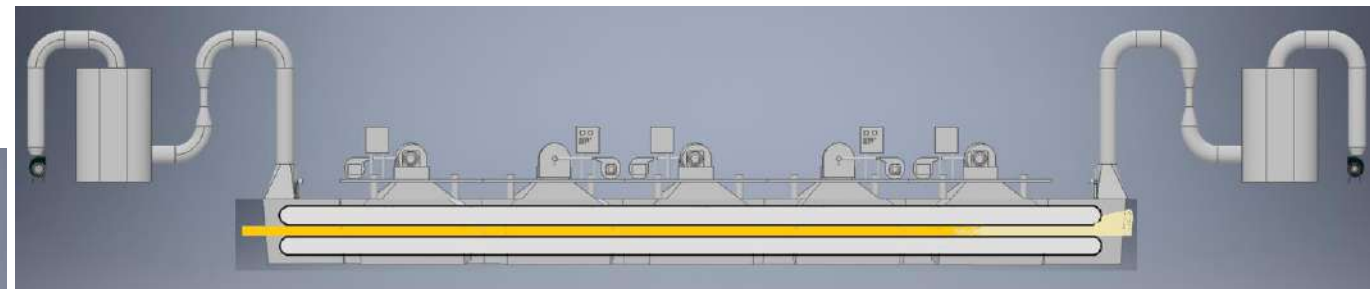
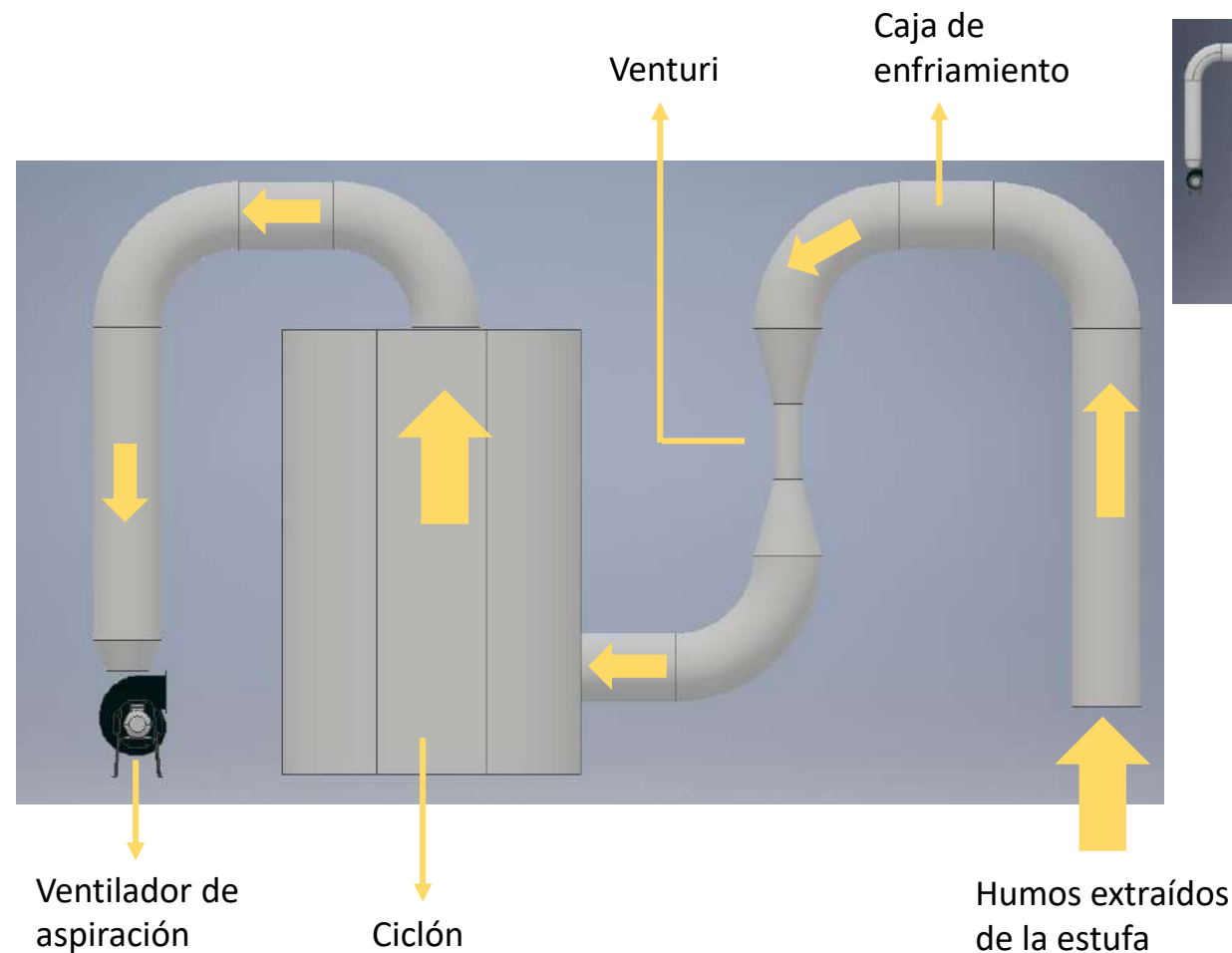
- **Convección forzada (75%):** por el movimiento del aire a través del producto. Esta transferencia de calor se incrementa aumentando el ΔP (velocidad de los ventiladores de impulsión).
- **Conducción (20%):** por el contacto de las paletas de los transportadores con el material. Esta transferencia de calor se potencia aumentando la temperatura de los transportadores (temperatura de los quemadores y apertura de las derivaciones).
- **Radiación (5%):** por la proximidad entre la superficie caliente de los transportadores y el producto.



Funcionamiento de la estufa: sistema de lavado de humos

COMPONENTES:

- **Ventilador de aspiración:** aspira los humos a través del conducto de la entrada o salida.
 - **Caja de enfriamiento:** inyecta chorros de agua pulverizada para enfriar los humos de 140 – 200°C a 45 – 50°C.
 - **Venturi:** a su salida, los gases se deceleran, lo que facilita que las gotas de agua atrapen la resina y el polvo de vidrio.
 - **Ciclón:** las gotas de agua impactan contra sus paredes y caen a su base. El agua se recoge y se filtra para separar las fibras del agua.
- El agua y las fibras se reciclan, y los humos restantes se envían a la chimenea y de ahí, a la atmósfera.



Localización



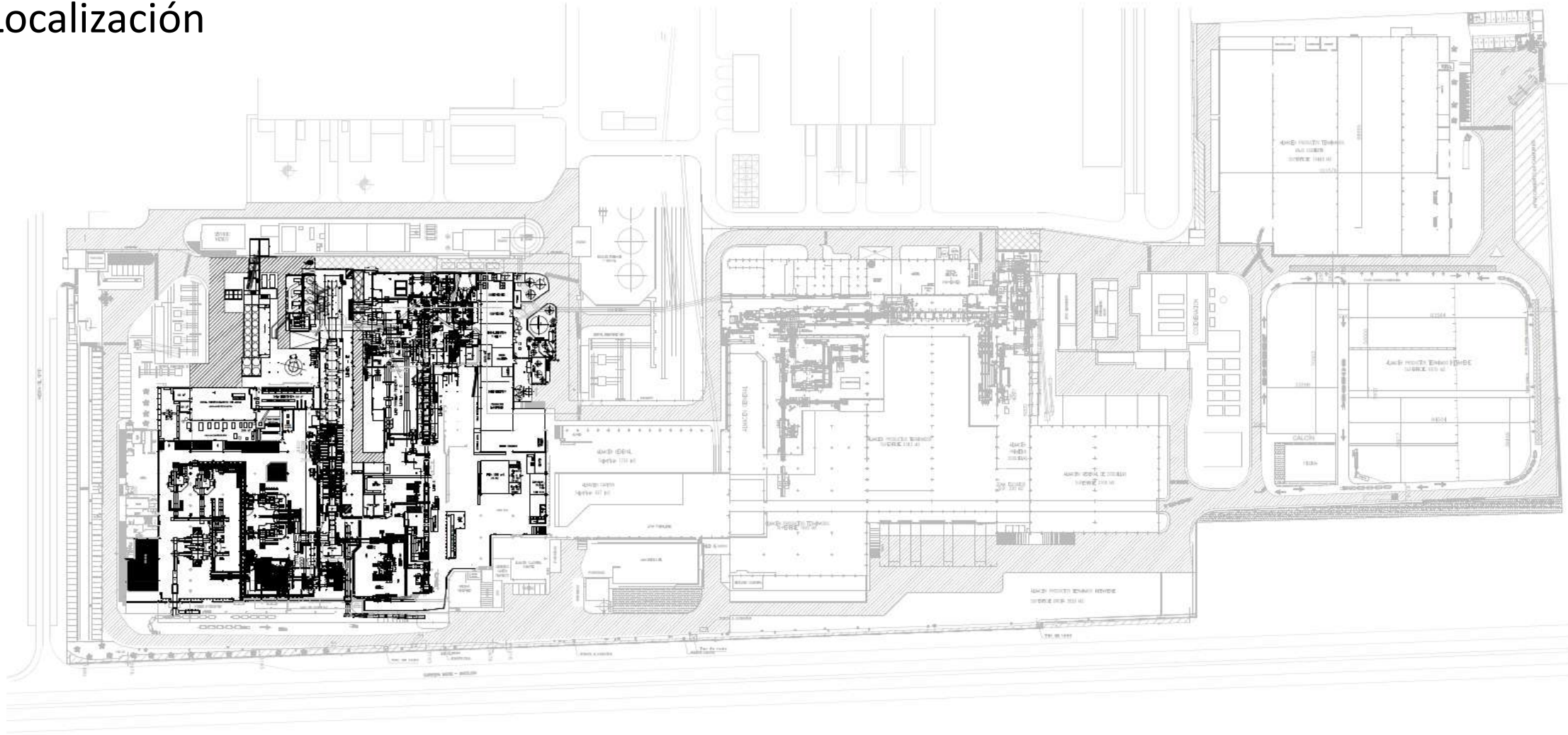
SAINT GOBAIN ISOVER IBÉRICA, S.L.

Avenida del Vidrio, s/n, 19200 Azuqueca de Henares, Guadalajara

PROYECTO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA STANDARD KAIZEN EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AISLAMIENTO

DIBUJADO	M ^o BEGOÑA LUACES GEJO	Nº DE LÁMINA:	PLANO DE SITUACIÓN DE LA FÁBRICA
COMPROBADO	SUSANA ORTIZ MARCOS ÁNGEL BLANCO GONZÁLEZ	S1	SAINT GOBAIN ISOVER IBÉRICA, S.L.
FECHA: ENERO 2019	FIRMA <i>Begoña Luaces</i>	ESCALA: S/E	 

Localización



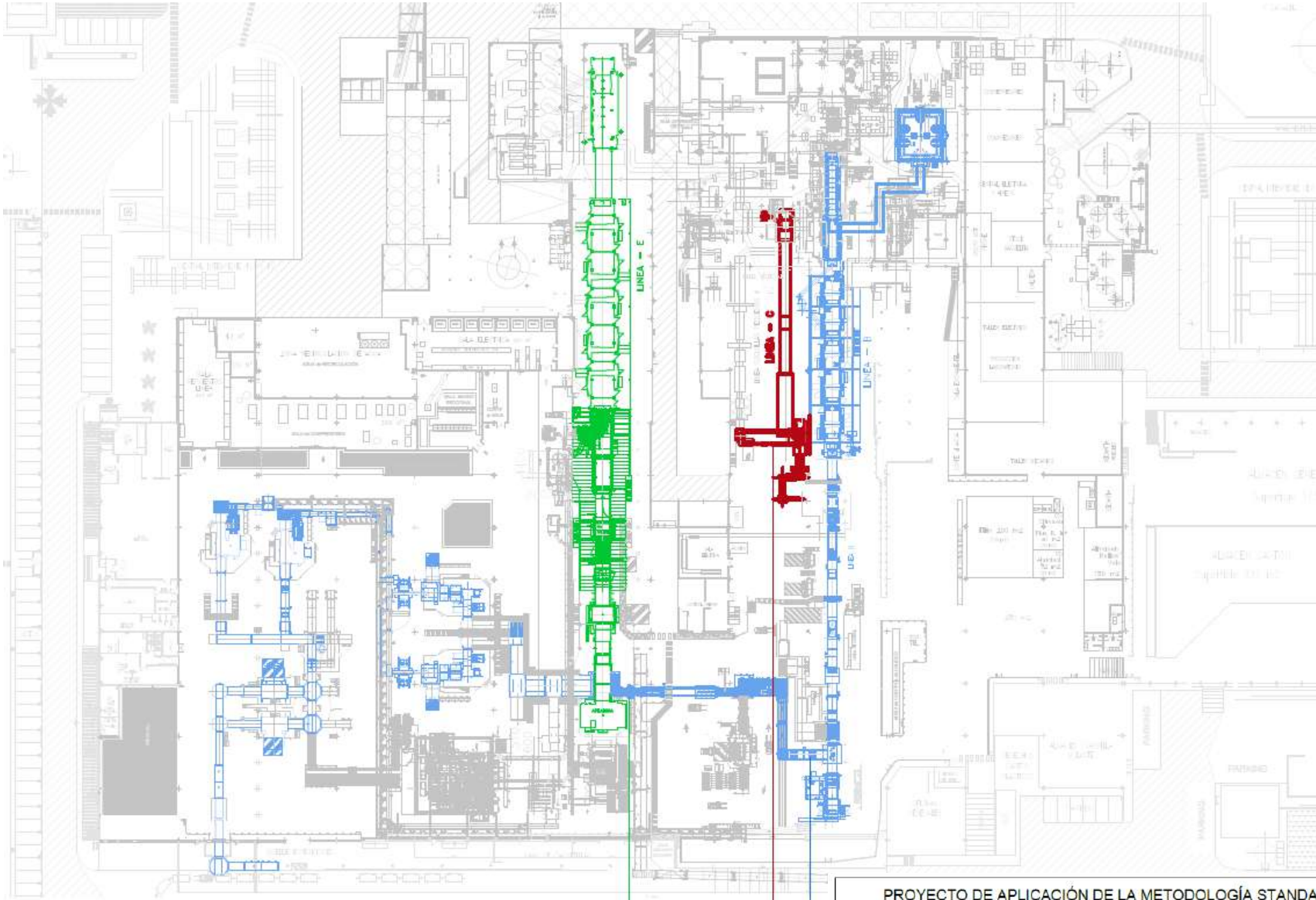
ZONA DE FABRICACIÓN DE LANA DE VIDRIO (LÍNEAS B, C Y E) - TEL

ZONA DE FABRICACIÓN DE LANA DE ROCA - REX

PLATAFORMA LOGÍSTICA

PROYECTO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA STANDARD KAIZEN EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AISLAMIENTO			
DIBUJADO	Mº BEGOÑA LUACES GEIJO	Nº DE LÁMINA: S2	PLANO DE ARQUITECTURA DE LA FÁBRICA SAINT GOBAIN ISOVER IBÉRICA, S.L.
COMPROBADO	SUSANA ORTIZ MARCOS ÁNGEL BLANCO GONZÁLEZ		
FECHA: ENERO 2019	FIRMA <i>Begoña Luaces</i>	ESCALA: 1:2000	UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICA COMILLAS MADRID SAINT-GOBAIN

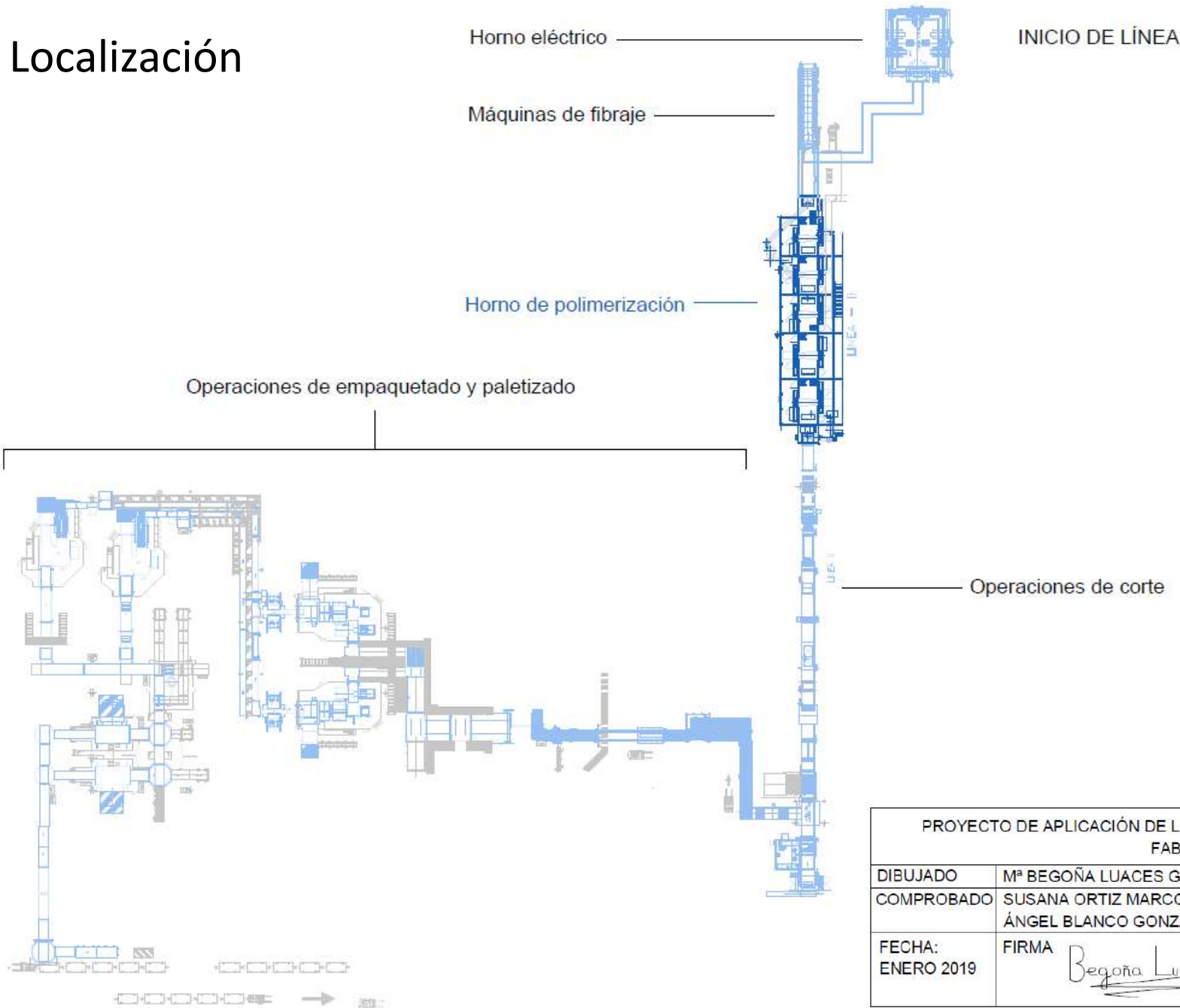
Localización



LÍNEA E
LÍNEA C
LÍNEA B

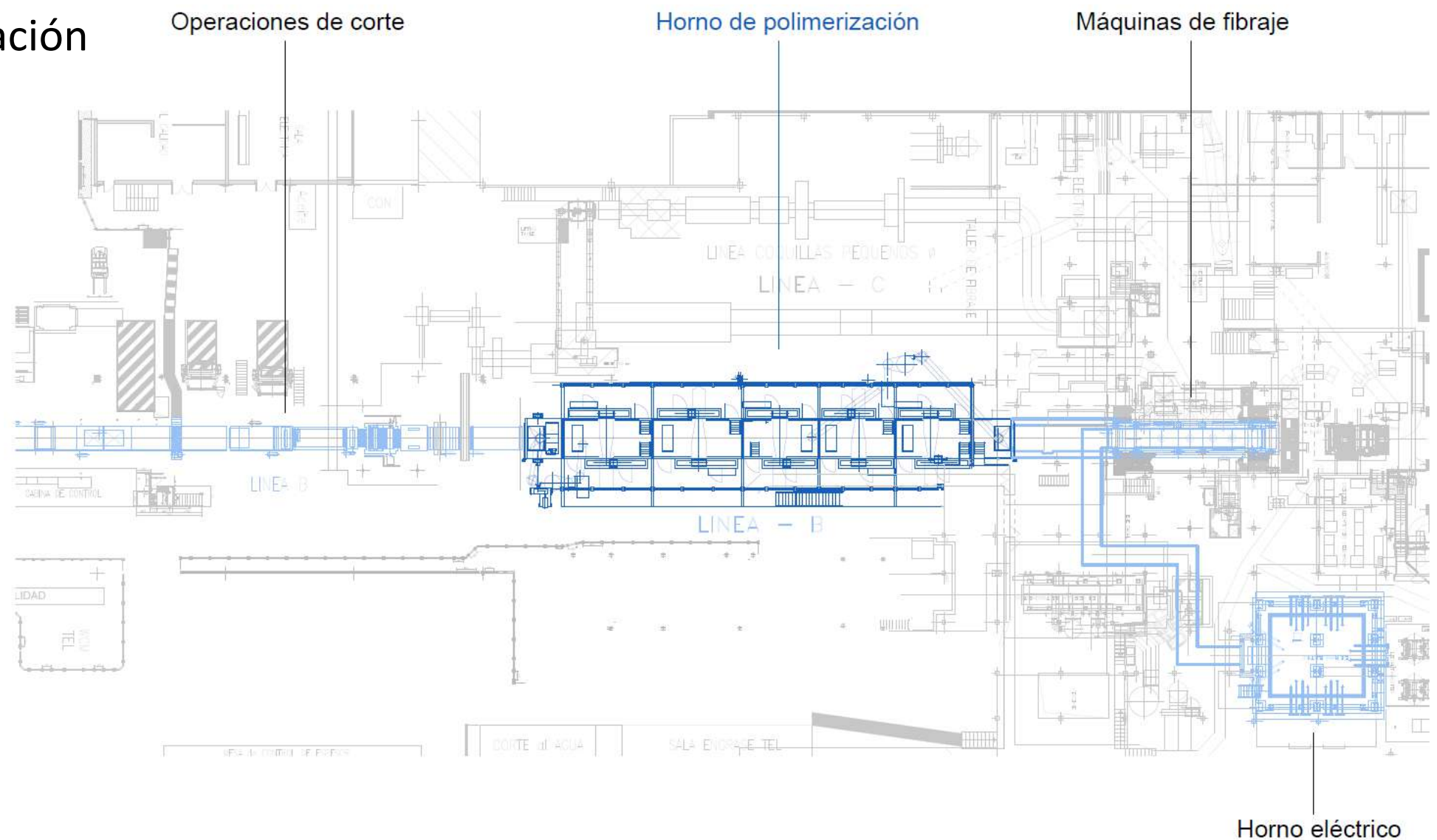
PROYECTO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA STANDARD KAIZEN EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AISLAMIENTO			
DIBUJADO	Mº BEGOÑA LUACES GEJO	Nº DE LÁMINA:	PLANO DE ARQUITECTURA DE LA FÁBRICA
COMPROBADO	SUSANA ORTIZ MARCOS ÁNGEL BLANCO GONZÁLEZ	S3	SAINT GOBAIN ISOVER IBÉRICA, S.L.: ZONA DE FABRICACIÓN DE LANA DE VIDRIO
FECHA: ENERO 2019	FIRMA <i>Begoña Luaces</i>	ESCALA: 1:800	

Localización



PROYECTO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA STANDARD KAIZEN EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AISLAMIENTO			
DIBUJADO	Mª BEGOÑA LUACES GEIJO	Nº DE LÁMINA:	PLANO DE ARQUITECTURA DE LA FÁBRICA
COMPROBADO	SUSANA ORTIZ MARCOS ÁNGEL BLANCO GONZÁLEZ	S4	SAINT GOBAIN ISOVER IBÉRICA, S.L.: LÍNEA B DE FABRICACIÓN DE LANA DE VIDRIO
FECHA: ENERO 2019	FIRMA <i>Begoña Luaces</i>	ESCALA: 1:600	UNIVERSIDAD CAI PONTIFICIA COMILLAS MADRID SAINT-GOBAIN

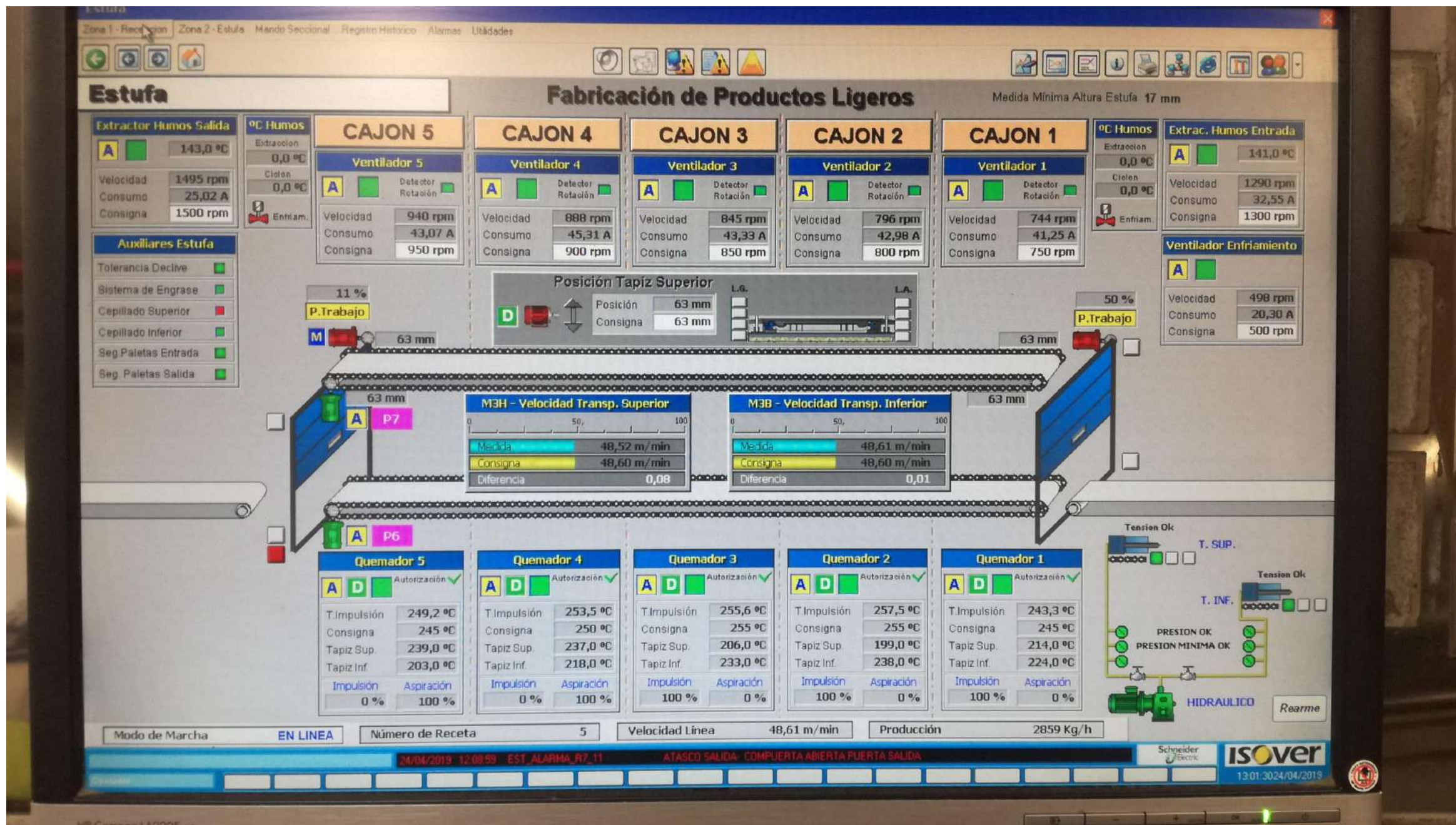
Localización



PROYECTO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA STANDARD KAIZEN EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AISLAMIENTO			
DIBUJADO	Mª BEGOÑA LUACES GEIJO	Nº DE LÁMINA:	PLANO DE ARQUITECTURA DE LA FÁBRICA
COMPROBADO	SUSANA ORTIZ MARCOS	S5	SAINT GOBAIN ISOVER IBÉRICA, S.L.:
	ÁNGEL BLANCO GONZÁLEZ		DETALLE DE LA LÍNEA B
FECHA:	FIRMA	ESCALA:	
ENERO 2019	Begoña Luaces	1:400	
			UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICA ICADE COMILLAS MADRID
			SAINT-GOBAIN

Balance de potencia: datos de entrada

Producto: PV Acustiver



Balance de potencia: datos de entrada

Producto: **PV Acustiver**

Product/Line Characteristics			
Generalities	Plant		Azuqueca
	Date		24.04.2019
	Trial Time		3,333 h
	Number of zones		5
	Line thickness (m)		1,2
	Oven type		ACC
Product	Oven length	m	37,75
	Oven height	m	3,8
	Oven width	m	3,1
	Fraction of floor in contact with air	ratio (n.d.)	0,2
	Product name		PV ACUSTIVER
	Product thickness in oven	m	0,063
	Product line density	kg/m ³	14,0
	Product line thickness	m	0,05
	Glass / Stone pull-rate	t/d	56
	Line velocity	m/min	48,6
	% of edge trim	%	11,76
Binder	Binder		R232
Burner	Gas Origin		Methane
	Excess air	%	30
	Normalized gas flow	Nm ³ /h	
	or: Gas volume flow	m ³ /h	16,63966397
	P gas (absolute)	mbar	3456
	T gas	°C	20
Electric consumption	Total power for zone circulation fans	kW	134,6
	Total power for burner fans	kW	15
	Exhaust fan power @ inlet	kW	20,29617136
	Exhaust fan power @ outlet	kW	15,60092803
	Upper conveyor power	kW	24,39905332
	Lower conveyor power	kW	34,51284439
	Other	kW	

Balance de potencia: datos de entrada

Producto: **PV Acustiver**

Product	Micronaire	l/min	22,233
	Loft thickness	m	0,11
	Loft Humidity	%	1,82
	LOI	%	4,05
Datapaq Measurements	Initial temperature	°C	31,6
	Final temperature	°C	206,4
	Target temperature	°C	185
	First zone inner temperature	°C	215
	Last zone inner temperature	°C	250
Ambiant conditions	Ambiant pressure	mbar	1006
	Ambiant temperature around oven	°C	19
	Ambiant relative humidity around oven	%	80
	Ambiant temperature around burner	deg C	24
	Ambiant relative humidity around burner	%	80

IR measurements			
Conveyors	Total (chain + flight) mass	kg	39260
	Tin upper conveyor	°C	187,6666667
	Tout upper conveyor	°C	191
	Tin lower conveyor	°C	174
	Tout lower conveyor	°C	178,6666667
Walls	Wall temperature left	°C	33,4
	Wall temperature right	°C	38,6
	Roof temperature	°C	40,1
	Floor temperature	°C	42,4
	Particular surface temperature	°C	46,9

Balance de potencia: datos de entrada

Producto: PV Acustiver

Fumes measurements			
INLET	Dry T @ fume extraction	°C	165,0
	RH @ fume extraction	%	0,6
	Ps relative @ fume extraction	mbar	-1,8
	Specific humidity @ fume extraction	g/kg	25,3
	Ps relative @ flow measurement	mbar	-1,8
	Dry T @ flow measurement	°C	165,0
	RH @ flow measurement	%	0,6
	Specific humidity @ flow measurement	g/kg	25,3
	Pipe cross section @ flow measurement	m2	0,3
	Flow velocity @ flow measurement	m/s	7,7
OUTLET	Dry T @ fume extraction	°C	153,0
	RH @ fume extraction	%	0,5
	Ps relative @ fume extraction	mbar	0,0
	Specific humidity @ fume extraction	g/kg	17,9
	Ps relative @ flow measurement	mbar	0,0
	Dry T @ flow measurement	°C	153,0
	RH @ flow measurement	%	0,5
	Specific humidity @ flow measurement	g/kg	17,9
	Pipe cross section @ flow measurement	m2	0,3
	Flow velocity @ flow measurement	m/s	0,0
SUCTION IN INTERMEDIATE ZONES	Dry T @ fume extraction	°C	
	RH @ fume extraction	%	
	Ps relative @ fume extraction	mbar	0,0
	Specific humidity @ fume extraction	g/kg	0,0
	Ps relative @ flow measurement	mbar	0,0
	Dry T @ flow measurement	°C	0,0
	RH @ flow measurement	%	0,0
	Specific humidity @ flow measurement	g/kg	0,0
	Pipe cross section @ flow measurement	m2	0,0
	Flow velocity @ flow measurement	m/s	0,0

Balance de potencia: datos de entrada

Producto: **PV Acustiver**

<i>Fume mass flow: can be further away to get homogenized flow</i>	FUME INLET	FUME OUTLET	FUME INTERMEDIATE SUCTION																																																																		
-Shape -Internal scanned dimension (mm)	Round pipe 594	Round pipe 594	Round pipe 																																																																		
-Remark	Blue adhesive	Red adhesive	Red adhesive																																																																		
-Scan of velocity profile (m/s) - or Scan of Pdyn (mbar)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Internal x (mm)</th> <th>mbar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>17,82</td><td></td></tr> <tr><td>47,52</td><td></td></tr> <tr><td>89,1</td><td></td></tr> <tr><td>136,62</td><td></td></tr> <tr><td>201,96</td><td></td></tr> <tr><td>392,04</td><td></td></tr> <tr><td>457,38</td><td></td></tr> <tr><td>504,9</td><td></td></tr> <tr><td>546</td><td></td></tr> <tr><td>576,18</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Internal x (mm)	mbar	17,82		47,52		89,1		136,62		201,96		392,04		457,38		504,9		546		576,18		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Internal x (mm)</th> <th>mbar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>18</td><td></td></tr> <tr><td>48</td><td></td></tr> <tr><td>89</td><td></td></tr> <tr><td>137</td><td></td></tr> <tr><td>202</td><td></td></tr> <tr><td>392</td><td></td></tr> <tr><td>457</td><td></td></tr> <tr><td>505</td><td></td></tr> <tr><td>546</td><td></td></tr> <tr><td>576</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Internal x (mm)	mbar	18		48		89		137		202		392		457		505		546		576		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Internal x (mm)</th> <th>m/s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Internal x (mm)	m/s	0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
Internal x (mm)	mbar																																																																				
17,82																																																																					
47,52																																																																					
89,1																																																																					
136,62																																																																					
201,96																																																																					
392,04																																																																					
457,38																																																																					
504,9																																																																					
546																																																																					
576,18																																																																					
Internal x (mm)	mbar																																																																				
18																																																																					
48																																																																					
89																																																																					
137																																																																					
202																																																																					
392																																																																					
457																																																																					
505																																																																					
546																																																																					
576																																																																					
Internal x (mm)	m/s																																																																				
0																																																																					
0																																																																					
0																																																																					
0																																																																					
0																																																																					
0																																																																					
0																																																																					
0																																																																					
0																																																																					
0																																																																					
-Average velocity (m/s) or Average Pdyn (mbar)	0,2	0,0	0,0																																																																		
-Relative static pressure (mbar)	-1,8	0,0																																																																			
-Dry temperature (°C)	165	153																																																																			
-RH (%)																																																																					
- or wet bulb temperature (°C)	48	45																																																																			
<i>Fumes T and RH: as close as possible from extraction</i>																																																																					
-Relative static pressure (mbar)	-1,8	0,0																																																																			
-Dry temperature (°C)	165	153																																																																			
-RH (%)																																																																					
- or wet bulb temperature (°C)	48	45																																																																			

Balance de potencia: datos de entrada

Producto: **PV Acustiver**

LEFT SIDE

[illegible]

RIGHT SIDE

[illegible]

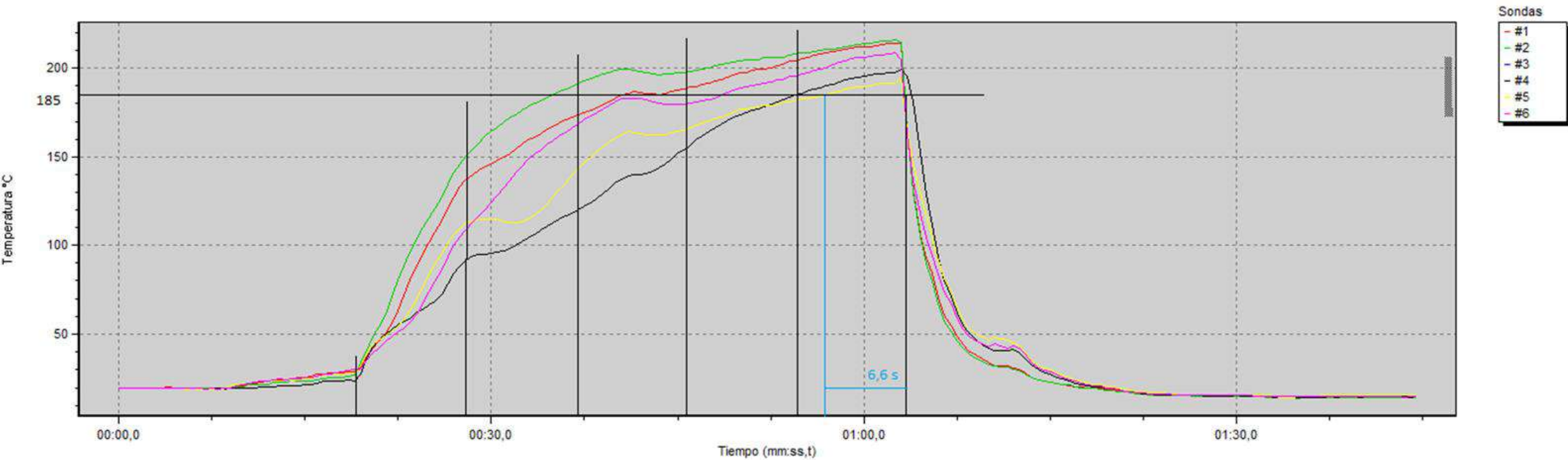
ROOF	FLOOR
OUTLET 41,2778	OUTLET 37,8889
ZONE 10	ZONE 10
ZONE 9	ZONE 9
ZONE 8	ZONE 8
ZONE 7	ZONE 7
ZONE 6	ZONE 6
ZONE 5 39,375	ZONE 5
ZONE 4 40,0833	ZONE 4
ZONE 3 39,4167	ZONE 3
ZONE 2 41,6667	ZONE 2
ZONE 1 42,125	ZONE 1
INLET 36,6111	INLET 46,8889

Balance de potencia: datos de entrada

Producto: **PV Acustiver**

ENTRY CONVEYORS				EXIT CONVEYORS			
	Left	Middle	Right		Left	Middle	Right
Top	191	186	186	Top	194	189	190
Bottom	180	172	170	Bottom	194	173	169

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
T set points T [°C]	245	255	255	250	245
T actual T [°C]	243	258	256	254	249
Fan speed set points [rpm]	750	800	850	900	950
Fan speed actual [rpm]	744	796	845	888	940
P1 (under mat) [mmWC]					
P2 (above mat) [mmWC]					
Delta P [mmWC]	0,56	-5,76	-2,14	7,18	7,54
T entry / burner [°C]					
T under mat [°C]	226	238	233	218	250
T above mat [°C]	204	200	206	237	250
Delta T [°C]					
Airflow direction [UP/DOWN]	UP	DOWN	DOWN	UP	UP
By pass opening [%]	30	0	0	0	0



Resultados de reflujo

Sonda	Gradiente positivo (°C/seg)	Tiempo de gradiente positivo (mm:ss,t)	Tiempo de subida (120,0 - 160,0°C) (mm:ss,t)	Tiempo por encima del liquidus (183,0°C) (mm:ss,t)	Temperatura máxima (°C)	Delta T (°C)	Gradiente negativo (°C/seg)
#2 (°C)	13,81	00:23,5	00:04,5	00:29,0	215,5	21,0	-23,63
#3 (°C)	***	***	***	00:00,0	***		***
#4 (°C)	6,75	00:23,5	00:10,0	00:10,0	199,5		-20,41
#5 (°C)	9,35	00:24,0	00:06,0	00:08,0	194,5		-18,44
#6 (°C)	9,82	00:27,0	00:06,0	00:17,0	208,5		-21,04

1

2

3

4

5

6

Balance de potencia: resultados

Producto: **PV Acustiver**

Ambiant conditions	Ambiant pressure	mbar	1006,0
	Ambiant temperature around oven	deg C	19
	Ambiant relative humidity around oven	%	80
	Ambiant temperature around burner	deg C	24
	Ambiant relative humidity around burner	%	80
	Ambiant ratio Nm3vap /Nm3 air around burner	ratio	0,0242
	Ambiant absolute humidity	g/kg	15,03
Product	Product name		PV ACUSTIVER
	Product line density	kg/m3	14,00
	Product line thickness	m	0,05
	Mineral material Cp	kJ/kg/K	0,94
	Micronaire	l/min	22,233
	Product density in oven (with binder, without water)	kg/m3	11,1
	Loft density	kg/m3	6,4
	Product thickness in oven	m	0,063
	Loft thickness	m	0,11
	% of edge trim	%	11,8
	Glass / Stone pull-rate	t/d	56
	Glass / Stone pull-rate in oven	t/d	62,58823529
	Line velocity	m/min	48,6
Binder	Binder name		R232
	Binder Cp	kJ/kg/K	2,15
	Water content at inlet	%	1,82
	LOI	%	4,05
	Initial temperature	°C	31,6
	Final average temperature	°C	206,4
	Target temperature	°C	185

Balance de potencia: resultados

Producto: **PV Acustiver**

Product Energy	Binder flow introduced by mat	kg/h	110,1
	Water flow introduced by mat	kg/h	50,4
	Dry air flow (introduced by the mat interstitial air)	kg/h	305,6
	Vapor flow (introduced by the mat interstitial air)	kg/h	14,8
	Binder emissions	kg/h	
	Power in glass	kW	119,0
	Power in binder	kW	11,5
	Power evaporation	kW	35,6
	Target power in glass	kW	104,5
	Target power in binder	kW	10,1
	Target power evaporation	kW	35,6
	Power taken by the mat interstitial air (exit)	kW	8,8
	Vapor flow from product (entry-exit)	kg/h	65,2
	Dry air flow associated to mat (entry-exit)	kg/h	305,6
	Total power given to mat	kW	174,9
	Target power to give to mat	kW	158,9
Burner Power	Gas type		Methane
	PCI	kWh/Nm3 gas	10,0
	Schochiometric oxygen	Nm3/Nm3 gas	2,0
	Stoichiometric vapor generation	Nm3/Nm3 gas	2,0
	Stoichiometric dry fume generation	Nm3/Nm3 gas	8,5
	Excess air	%	30,00
	Oxygen with excess air	Nm3/Nm3 gas	2,60
	Fume generation (total) with excess air	Nm3/Nm3 gas	8,67
	Normalized gas flow: if directly known, "No" otherwise	Nm3/h	
	or: Gas volume flow	m3/h	16,63966397
	P gas (absolute)	mbar	3456
	T gas	°C	20
	Gas flow	Nm3/h	52,9
	Burner Efficiency	%	0,98
	Total dry fumes flow from burner	kg/h	779,9
	Vapor flow from burner	kg/h	97,8
	Theoretical Burner power	kW	516,7

Balance de potencia: resultados

Producto: **PV Acustiver**

Extraction zone INLET	Dry T @ fume extraction	°C	165,0
	RH @ fume extraction	%	0,6
	Ps relative @ fume extraction	mbar	-1,8
	Specific humidity @ fume extraction	g/kg	25,3
	Ps relative @ flow measurement	mbar	-1,8
	Dry T @ flow measurement	°C	165,0
	RH @ flow measurement	%	0,6
	Specific humidity @ flow measurement	g/kg	25,3
	Pipe cross section @ flow measurement	m2	0,3
	Flow velocity @ flow measurement	m/s	7,7
	Air density @ flow measurement	kg/m3	0,79
	Total fumes flow @ flow measurement	m3/h	7653,4
	Dry fumes flow @ fume extraction = @ flow measurement	kg/h	5872,4
	Vapor flow @ fume extraction	kg/h	148,8
	Power release in dry fumes	kW	239,4
	Power release in vapor	kW	11,4
Extraction zone OUTLET	Dry T @ fume extraction	°C	153,0
	RH @ fume extraction	%	0,5
	Ps relative @ fume extraction	mbar	0,0
	Specific humidity @ fume extraction	g/kg	17,9
	Ps relative @ flow measurement	mbar	0,0
	Dry T @ flow measurement	°C	153,0
	RH @ flow measurement	%	0,5
	Specific humidity @ flow measurement	g/kg	17,9
	Pipe cross section @ flow measurement	m2	0,3
	Flow velocity @ flow measurement	m/s	0,0
	Air density @ flow measurement	kg/m3	0,81
	Total fumes flow @ flow measurement	m3/h	0,0
	Dry fumes flow @ fume extraction = @ flow measurement	kg/h	0,0
	Vapor flow @ fume extraction	kg/h	0,0
	Power release in dry fumes	kW	0,0
	Power release in vapor	kW	0,0

Balance de potencia: resultados

Producto: **PV Acustiver**

Extraction zone INTERMEDIATE ZONES	Dry T @ fume extraction	°C	
	RH @ fume extraction	%	
	Ps relative @ fume extraction	mbar	0,0
	Specific humidity @ fume extraction	g/kg	0,0
	Ps relative @ flow measurement	mbar	0,0
	Dry T @ flow measurement	°C	0,0
	RH @ flow measurement	%	0,0
	Specific humidity @ flow measurement	g/kg	0,0
	Pipe cross section @ flow measurement	m2	0,0
	Flow velocity @ flow measurement	m/s	0,0
	Air density @ flow measurement	kg/m3	1,28
	Total fumes flow @ flow measurement	m3/h	0,0
	Dry fumes flow @ fume extraction = @ flow measuren	kg/h	0,0
	Vapor mass flow @ fume extraction	kg/h	0,0
	Power release in dry fumes	kW	0,0
	Power release in vapor	kW	0,0
Fumes Power	Dry fumes flow in exhaust	kg/h	5872,4
	Vapor flow in exhaust	kg/h	148,8
	Total power release in exhaust fumes	kW	250,8
DILUTION AIR / COMBUSTION FUMES	<i>Estimates of dilution from inlet and outlet doors</i>		
	First zone inner temperature	°C	215,0
	Last zone inner temperature	°C	249,7
	Unaccounted amount of inlet dry exhaust air	kg/h	5149
	Unaccounted amount of outlet dry exhaust air	kg/h	-362
	<i>If considered that all that air comes from entry/exit doors of curing oven ,</i>		
	Temperature of process air after crossing conveyors/st	°C	156,5
	Temperature of process air after crossing conveyors/st	°C	249,7
	Vapor flow from process air entry of curing oven	kg/h	77,4
	Vapor flow from process air exit of curing oven	kg/h	-5,4
	<i>Thermal losses due to process air</i>		
	Losses at entry	kW	197,7
	Losses at exit	kW	-23,3
	Total dilution air penetration losses	kW	174,4

Balance de potencia: resultados

Producto: **PV Acustiver**

Wall Losses	Oven length	m	37,75
	Oven height	m	3,81
	Oven width	m	3,142
	Vertical surface for 1 side only	m ²	143,8
	Total roof surface	m ²	118,6
	Floor surface in contact with air	m ²	0,2
	Floor surface	m ²	118,6
	Wall temperature left	°C	33,4
	Wall temperature right	°C	38,6
	Roof temperature	°C	40,1
	Floor temperature	°C	42,38888889
	Vertical/Left convective h coefficient	W/m ² /K	3,3
	Vertical/Right convective h coefficient	W/m ² /K	3,6
	Roof convective h coefficient	W/m ² /K	4,6
	Floor convective h coefficient	W/m ² /K	1,4
	Total convective losses through surfaces	kW	28,5
	Total radiative losses through surfaces	kW	43,8
	Total losses through vertical walls	kW	45,9
	Total losses through roof	kW	26,4
	Total losses through ground	kW	0,0
	Total losses through walls	kW	72,3
Electric consumption	Total power for zone circulation fans	kW	135
	Total power for burner fans	kW	15
	Exhaust fan power @ inlet	kW	20,29617136
	Exhaust fan power @ outlet	kW	15,60092803
	Upper conveyor power	kW	24,39905332
	Lower conveyor power	kW	34,51284439
	Other	kW	

Balance de potencia: resultados

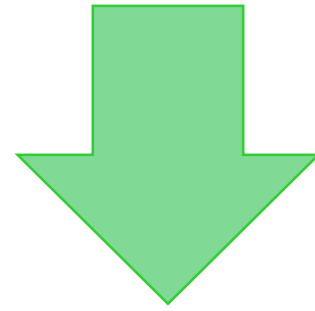
Producto: **PV Acustiver**

Global analysis	ENERGY BALANCE		Azuqueca
	Burner power	kW	516,7
	Power given to mat	kW	158,9
	Losses in product (overcuring)	kW	16,0
	Losses through walls	kW	72,3
	Losses in exhaust fumes	kW	250,8
	↳ Losses due to process air penetration	kW	174,37
	Total measured power dissipation	kW	498
	Burner power	% burner power	100%
	Power given to mat	% burner power	31%
	Losses in Product (overcuring)	% burner power	3%
	Losses through walls	% burner power	14%
	Losses in exhaust fumes	% burner power	49%
	Total measured power dissipation	% burner power	96%
	MASS BALANCE		Azuqueca
	Total mass dry air flow associated to mat	kg/h	305,6
	Total mass dry fume flow from burner	kg/h	779,9
	Total mass dry unaccounted air flow	kg/h	4787,0
	Total mass dry fumes flow in exhaust	kg/h	5872,4
	Total dry air mass flow associated to mat	%Fumes flow	5%
	Total dry fume mass flow from burner	%Fumes flow	13%
	Total supposed dry process air mass flow	%Fumes flow	82%
	Vapor mass flow from mat	kg/h	65,2
	Vapor mass flow from burner	kg/h	97,8
	Possible Vapor mass flow from outside air	kg/h	71,9
	Total unaccounted vapor mass flow	kg/h	-86,1
	Total mass vapor flow in exhaust	kg/h	148,8
	Total vapor mass flow associated to mat	%Fumes flow	44%
	Total vapor mass flow from burner	%Fumes flow	66%
	Total vapor mass flow from process air	%Fumes flow	48%
	Total unaccounted vapor mass flow	%Fumes flow	-58%
Consumption	Specific Energy Consumption (gas)	kWh/t	198,1
	Total Specific Energy Consumption (gas+elec)	kWh/t	273,8
Efficiency	Thermal Efficiency (useful/gas)	kW/kW	29%
	Global Efficiency (useful/gas+elec)	kW/kW	22%

Balance de potencia: conclusiones

Producto: **PV Acustiver:**

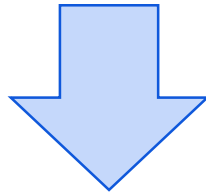
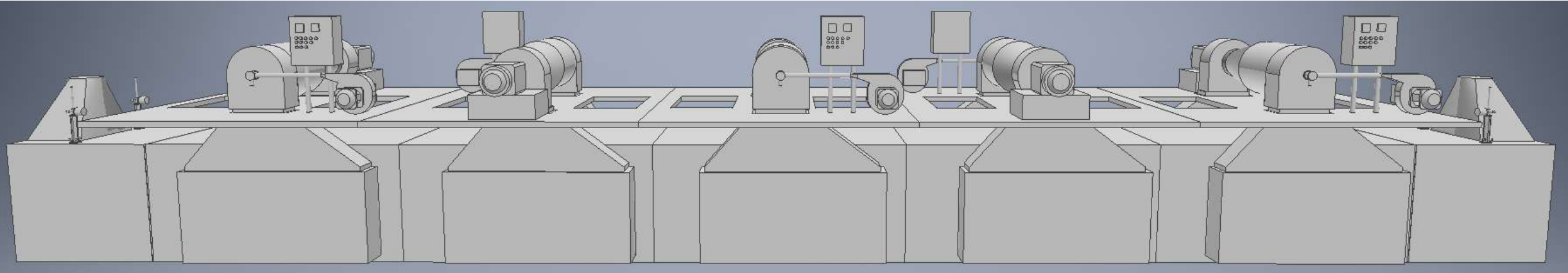
- Pérdidas similares de un producto a otro. Lo que varían son los consumos.
- Consumo medio
- Fabricación frecuente
- Producción estable



**POTENCIA
DE ENTRADA**

761 kW

- Gas → 517 kW (68 %)
- Electricidad → 245 kW (32 %)



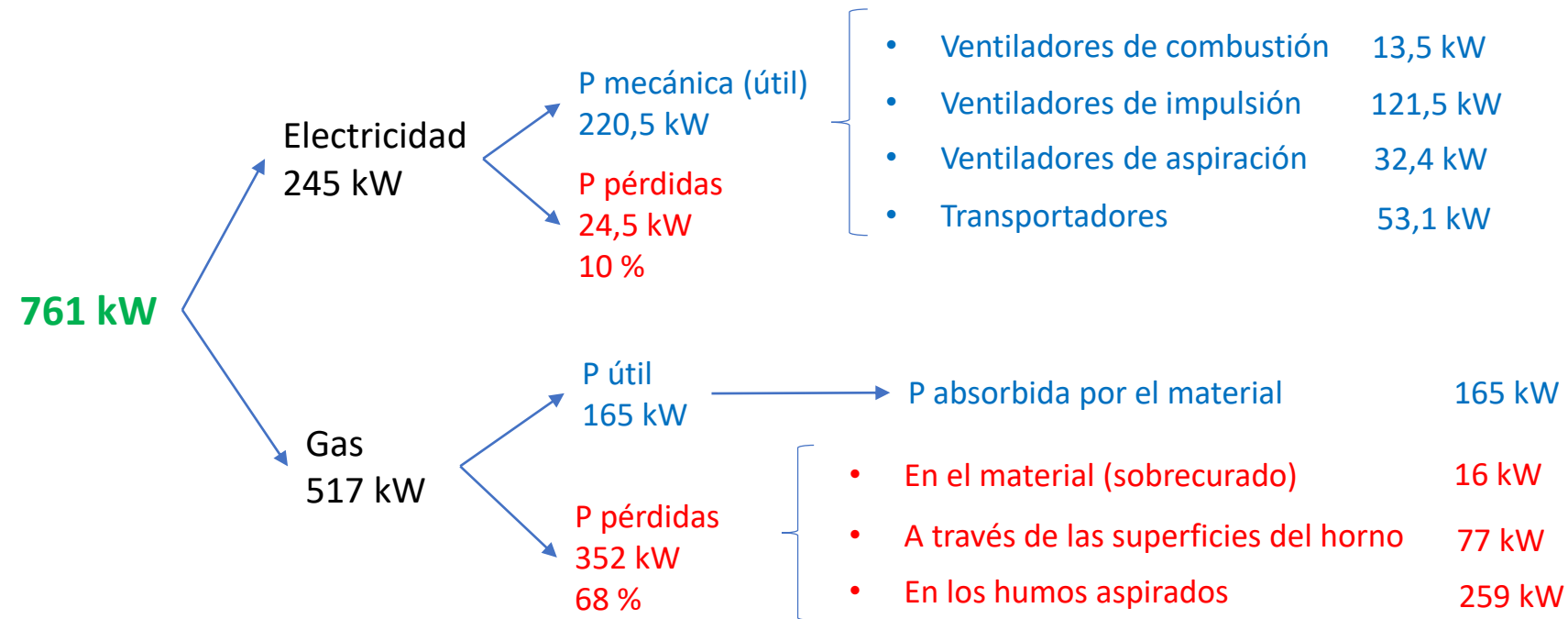
**POTENCIA
DE SALIDA** **397 kW**
51 %



**POTENCIA DE
PÉRDIDAS** **364 kW**
49 %

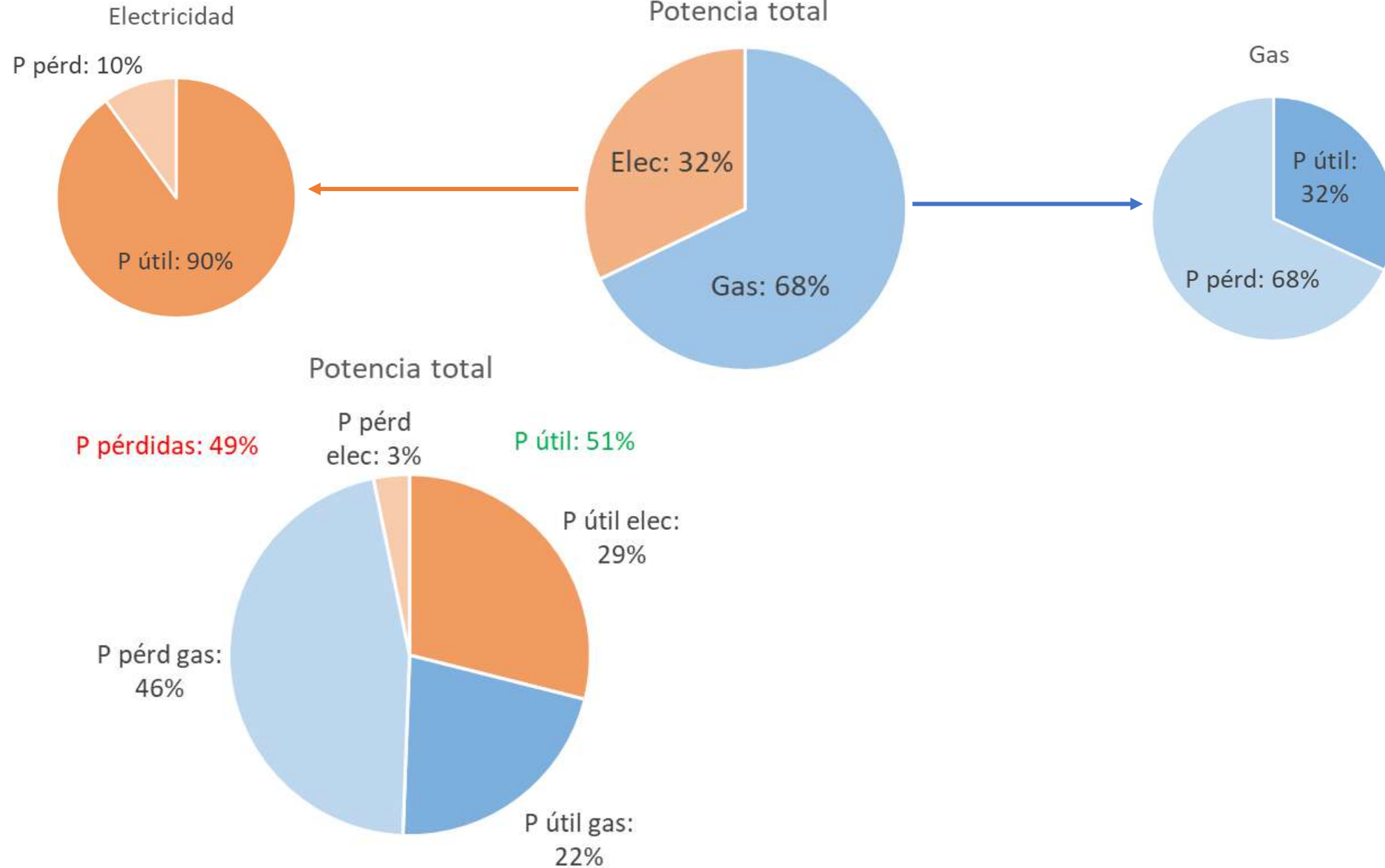
Balance de potencia: conclusiones

Producto: **PV Acustiver**



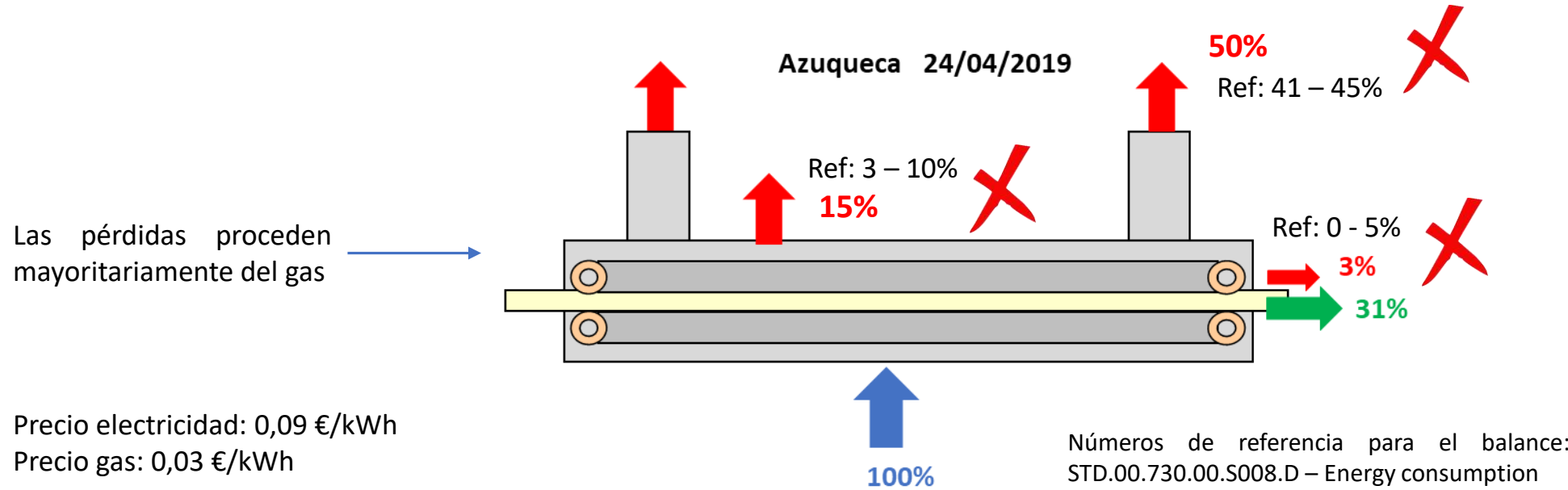
Balance de potencia: conclusiones

Producto: **PV Acustiver**



Balance de potencia: conclusiones

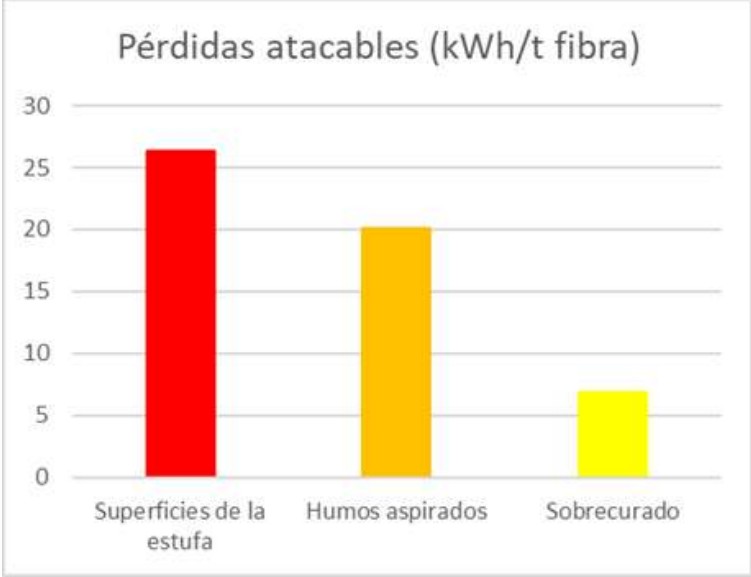
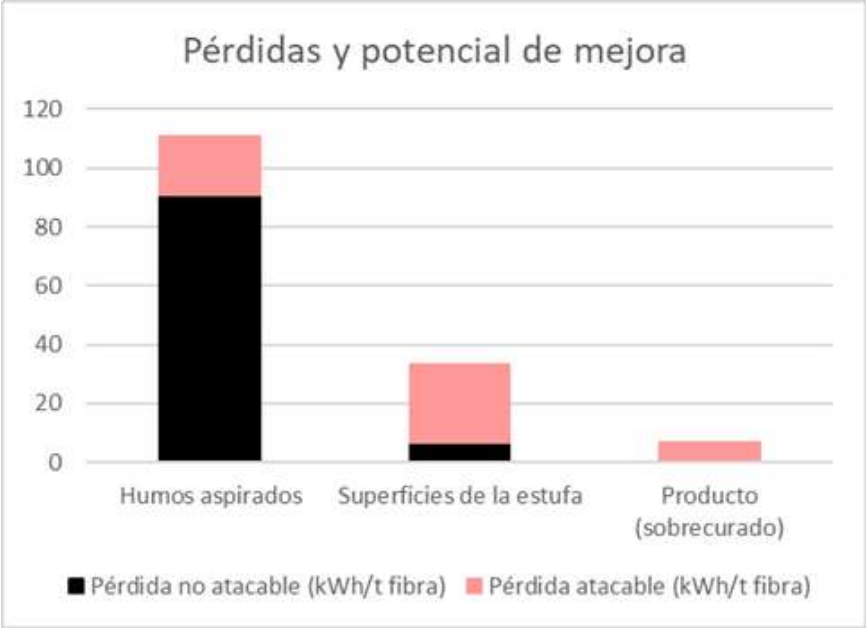
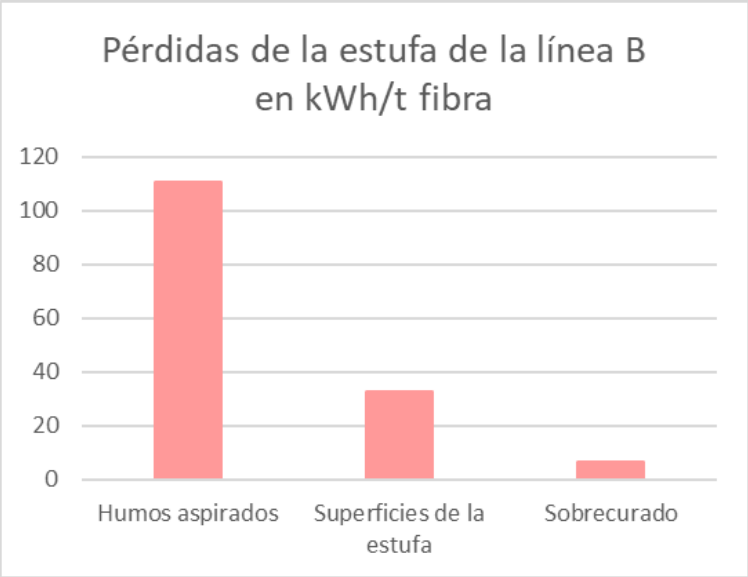
Producto: **PV Acustiver**



	Quemador	Aprovechada por el material	Pérdidas en humos aspirados	Pérdidas por superficies horno	Pérdidas por sobrecurado
POTENCIA (kW)	517	165	259	77	16
ENERGÍA (kWh/t fibra)	221,4	70,63	110,92	32,99	6,86
%	100%	31,9%	50,1%	14,9%	3,1%
k€ (t=20.000 ton en 2019)			66,55	19,79	4,12

Balance de potencia: conclusiones

Producto: **PV Acustiver**



Potencial de mejora (%)

18,17

79,87

100

Potencial de mejora (kWh/t fibra)

20,15

26,35

6,86

Potencial de mejora (k€)

12,09

15,81

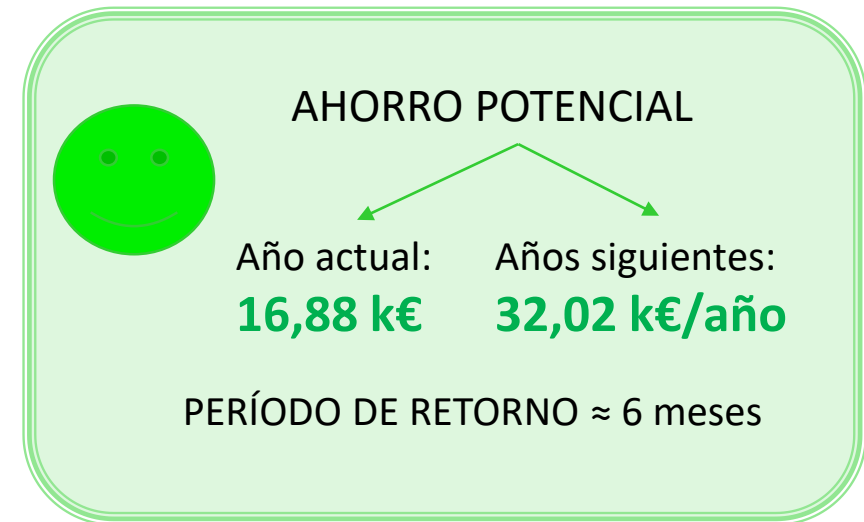
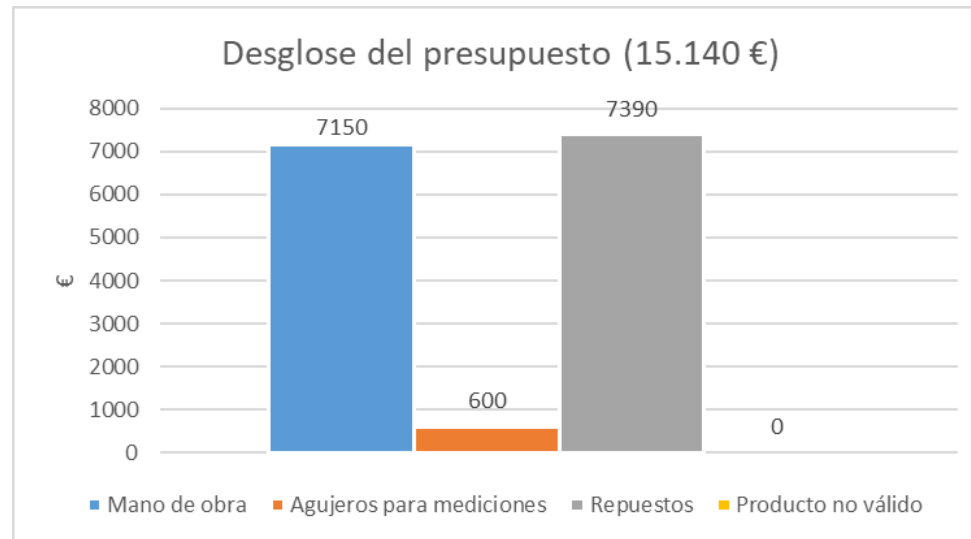
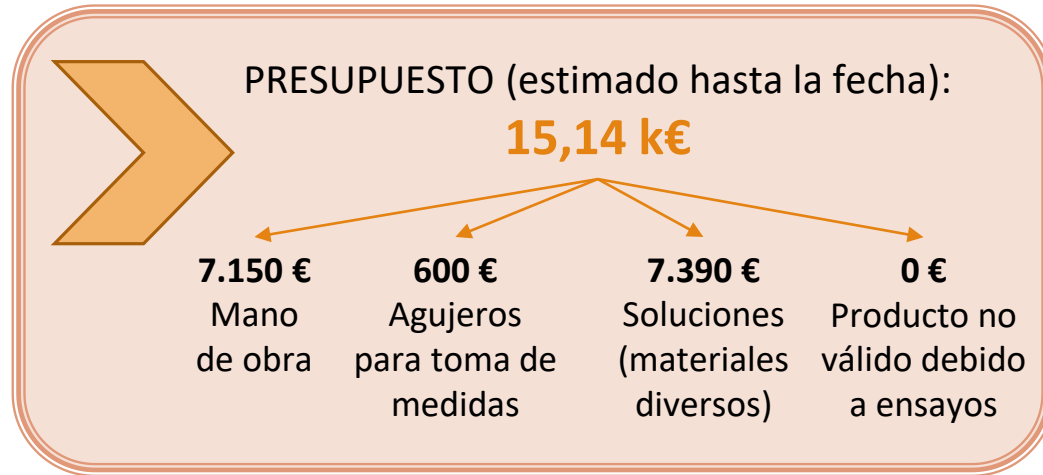
4,12

PÉRDIDA A ELIMINAR:

53,36 kWh/t fibra

32,02 k€

Pérdida, presupuesto y ahorro



Equipo



Equipo

SKILL MATRIX													
Skills		Task Module											
		Skill Elements	Metodología Standard/Major Kaizen	Funcionamiento de la estufa	Elementos de la estufa	Toma de medidas	Balance energético de la estufa	Procedimiento LOTO	Gestión de proyectos	AutoCAD	Funcionamiento de la línea	Herramientas básicas WCM	
		Module Number											
Names & Roles													
SANTIAGO GARCÍA ÁLVAREZ													
MARÍA BEGOÑA LUACES GEIJO													
FERNANDO CALVO													
SOFÍA PLAZA													
		No. Required with skills	2	4	3	4	2	4	2	1	4	4	
		Current gap	1	1	1	3	1	1	2	0	1	0	
		To be trained	1	1	1	3	1	1	2	0	1	0	
		Skill Assessment Key		Novice Learning the job		Partially Trained, able to work under supervision		Fully trained, able to work without supervision		Fully skilled, Qualified to train		Skill Not Required	
			(Training Required)		(In Training)		(Trained & competent)			(Not Required)			

Planificación

PROJECT PLAN - *This is an overview plan of the project. If more detail is required use the standard 100 Day Plan form as well.*

Action		Responsibility	Week Beginning	14/01/19	28/01/19	11/02/19	25/02/19	04/03/19	01/04/19	06/05/19	03/06/19	17/06/19	01/07/19	15/07/19			Complete	Comments
			Week	3	5	7	9	10	14	19	23	25	27	29				
1	Preparación del proyecto (planificación, equipo, objetivo)	Soledad, Begoña	Plan Actual															
2	Despliegue de costes	Begoña	Plan Actual															
3	Planos de localización del proyecto	Begoña	Plan Actual															
4	Funcionamiento de la estufa	Begoña	Plan Actual															
5	Toma de medidas y balance de energía	Sofía, Begoña	Plan Actual															Sólo el 24 de abril se pudieron tomar todas las medidas (fabricación estable del PV Acustiver).
6	Análisis observacional	Soledad, Begoña	Plan Actual															
7	Estudio estadístico de las 5W	Santiago, Fernando, Begoña	Plan Actual															Santiago y Fernando sí pudieron tomar datos para las 5W durante todos los meses.
8	Estudio histórico de las 4M	Soledad, Begoña	Plan Actual															Marzo: pausa en el proyecto por fabricación del Climaver, paradas en la línea y auditorías.
9	Descripción del fenómeno	Begoña	Plan Actual															Abril: pausa en el proyecto por fabricación del Climaver. Decisión: Standard Kaizen.
10	Análisis de la causa raíz	Begoña	Plan Actual															Mayo: pausa en el proyecto por fabricación del Climaver, paradas en la línea y auditorías.
11	Contramedidas	Sofía, Begoña	Plan Actual															
12	Evaluación de riesgos de las contramedidas	Begoña	Plan Actual															
13	Plan de implementación	Begoña	Plan Actual															
14	Comprobación de los resultados	Soledad, Begoña	Plan Actual															
15	Gestión del cambio (expansión horizontal)	Begoña	Plan Actual															
16	Cierre del proyecto	Soledad, Begoña	Plan Actual															
17			Plan Actual															

Planning Key

Plan

Actual

= Scheduled Planned Time Line for each action

= Actual Time Line for each action

Date

= Planned Milestone

= Date Action completed

= Behind Schedule

Date

= Date Delayed Action Completed



ANEXO II

HOJA 2

	Workshop: LÍNEA B	Process Step: ESTUFA DE CURADO	Problem: REDUCCIÓN 53,36 kWh/m DE CONSUMO ENERGÉTICO ESTUFA LÍNEA B	Team Leader: B.L., S.G.	Team: F.C., S.G., S.P., B.L.		
	Project KPI and target: KPI: pérdidas en KWhton		Planned Savings: 32,02 k€	Budget: 15,14 k€	Start Date: 15/01/2019	Completion Date: 19/07/2019	

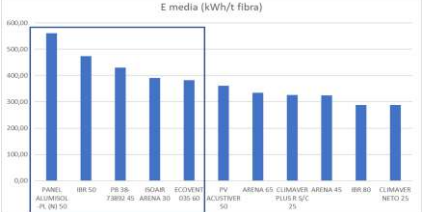
DEFINING THE PHENOMENON THAT HAS CREATED THE PROBLEM - worksheet 2
this worksheet is the analysis of the observational evidence and the data evidence collected to define the phenomenon that is creating the problem

OBSERVATIONAL ANALYSIS - the way the observed part / machine / process is different to standard

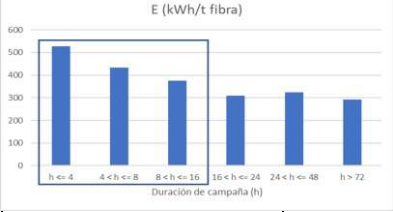
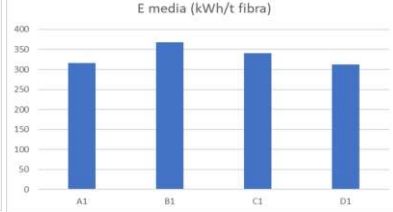
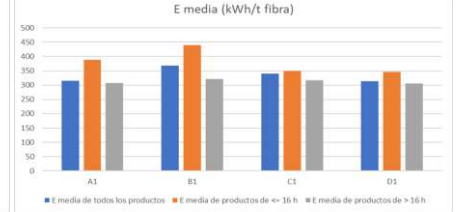
What Can You See?	What Are The Observable Differences?			
Observational evidence of the Damaged Part or Damaged Machine or Damaged Process with Photographic & Video evidence	Description Of The Specific Part / Machine / Process Observed	Reference (Undamaged Part / Machine / Process)	Observational Differences (From The Investigation)	Findings (What Has Led To The Difference?)
1 Ausencia de la barandilla en el Venturi de la aspiración de humos de la sección de entrada.	Falta de barandilla en el Venturi de la entrada, por lo que existe un alto riesgo de caída y lesión con otros elementos.	100% de barandilla.	Faltan 50 cm de barandilla.	Evaluación de riesgos incompleta.
2 Sobrecurado del producto.	Parámetros del proceso de curado fuera del rango teórico.	Curva Datapaq: Tª entre 180 y 220°C durante 10-15 s para R232.	Curva Datapaq: algunos perfiles de Tª por encima de 220°C o entre 180 y 220°C entre 20 y 30 s.	Desconocimiento para ajustar correctamente los parámetros en función del producto.
3 Entrada de aire exterior en la estufa a través de la puerta frontal y excesiva aspiración del calor de la estufa.	La consigna excesiva de la aspiración y la apertura excesiva de la puerta frontal hacen que entre aire exterior a 20°C, lo que supone una pérdida de energía. Además, se absorbe más calor del inevitable del interior de la estufa.	Velocidad del ventilador de aspiración: 400 – 800 rpm (en función del producto y del estado de los conductos). Apertura de la puerta: espesor del producto + 3 – 5 cm.	Velocidad del ventilador de aspiración: + 100 - 400 rpm. Apertura de la puerta: + 20 cm.	Desconocimiento para ajustar correctamente los parámetros en función del producto.
4 Salida de los humos de la estufa a través de la puerta frontal.	La consigna insuficiente de la aspiración y la apertura excesiva de la puerta frontal hacen que salgan humos de la estufa a Tª entre 140 y 200°C, lo que supone una pérdida de energía. Además, contienen sustancias no saludables que se acumulan en la nave. También se acumulan en la puerta frontal.	Velocidad del ventilador de aspiración: 400 – 800 rpm (en función del producto y del estado de los conductos). Apertura de la puerta: espesor del producto + 3 – 5 cm.	Velocidad del ventilador de aspiración: < 400 rpm. Apertura de la puerta: + 20 cm.	Desconocimiento para ajustar correctamente los parámetros en función del producto.
5 Fugas y pérdidas de energía en el motor del cepillo de limpieza del transportador superior.	Escape de humo a través del hueco del motor del cepillo del transportador superior, por lo que se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado. Detección de Tª de hasta 187°C en esa zona.	100% de estanqueidad. Temperatura: 40 – 50°C.	0% de estanqueidad. Temperatura: + 137°C.	Ausencia de la estanqueidad que cubre el hueco que conecta con el interior de la estufa.
6 Fugas y pérdidas de energía en el detector de atascamiento del transportador superior.	Escape de humo a través del hueco del detector de atascamiento del transportador superior, por lo que se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado en esa zona.	100% de estanqueidad.	0% de estanqueidad.	Ausencia de la estanqueidad que cubre el hueco que conecta con el interior de la estufa.
7 Fugas y pérdidas de energía en los paneles de explosión.	Escape de humo a través de las juntas de los paneles de explosión. Debido a ello, se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado en esas zonas y los paneles se deterioran. Detección de una Tª de hasta 106°C en esas zonas.	0 fugas en los paneles. Sellado: 100%. Temperatura: 35 – 55°C.	Presencia de fugas. Sellado: 30%. Temperatura: + 51°C.	Falta de mantenimiento o inadecuada instalación de su sellado.
8 Fugas y pérdidas de energía en las puertas de los cajones.	Escape de humo a través de las juntas de las puertas. Debido a ello, se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado en esas zonas, lo que degrada el sellado de las puertas. Detección de una Tª de hasta 127°C en esas zonas.	0 fugas en las puertas. Sellado: 100%. Temperatura: 25 – 45°C.	Presencia de fugas. Sellado: 50%. Temperatura: + 82°C.	Falta de mantenimiento o inadecuada instalación de su sellado.
9 Pérdidas de energía y acumulación de lana y suciedad en la zona del transportador inferior.	La compuerta de cierre del cepillo inferior siempre está abierta porque la suciedad acumulada en ella impide su cierre, por lo que esa parte del transportador queda a la intemperie. Debido a ello, transfiere calor al ambiente. Detección de una Tª de hasta 227°C en esa zona.	Acceso al cepillo limpio y cerrado. Temperatura: 40 – 50°C. 0 kg de lana acumulada.	Acceso al cepillo sucio y siempre abierto. Temperatura: + 127°C. 20 kg de lana acumulada durante una campaña de 20 días.	La acumulación de suciedad impide el cierre del acceso al cepillo.
10 Ausencia de las telas aislantes entre las zonas de calentamiento.	No hay telas aislantes entre las zonas de calentamiento, lo que puede dar lugar a turbulencias y a pérdidas de eficiencia en el funcionamiento de los flujos de aire.	Presencia de 1 tela aislante entre dos cajones (4 en total).	0 telas instaladas.	No reposición de las telas de estanqueidad durante el mantenimiento ordinario de la estufa.
11 Suciedad y lana acumulada en las secciones de entrada y salida (rodillos, fosos u otras zonas del interior de la sección).	Algunas fibras de vidrio del colchón de lana están menos adheridas, por lo que se enganchan y acumulan en los rodillos de las secciones de entrada y salida, en los fosos o en otras zonas de la sección. También son absorbidas por los ventiladores de extracción.	0 kg de suciedad y lana acumulada.	Suciedad y lana acumulada: 20 kg en 20 días.	Falta de limpieza de la suciedad y lana acumulada.
12 Lana acumulada en el interior del segundo cajón.	Algunas fibras de vidrio del colchón de lana están menos adheridas a él, por lo que se desprenden y acumulan en el interior del cajón.	0 kg de fibras acumuladas.	10 kg de fibras acumuladas en 20 días.	Las fibras menos adheridas se desprenden debido a la presión del aire.
13 Ausencia del cepillo de limpieza del transportador superior.	Ausencia del cepillo de limpieza del transportador superior.	Presencia del cepillo de limpieza. 1 cepillo.	No hay cepillo instalado. 0 cepillos.	Falta del cepillo porque no hay repuesto disponible.
14 Fugas en el sistema de tensado de las cadenas del transportador superior.	Escape de humo a través de las juntas de unión del sistema de tensado, por lo que se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado.	100% de estanqueidad.	Falta parcial de estanqueidad.	Falta de mantenimiento o inadecuada instalación de su sellado.
15 Fugas de encolado en la tolva de retorno del primer cajón.	Escape de encolado a través de las juntas que hay en la tolva de retorno.	100% de estanqueidad.	Falta parcial de estanqueidad.	Falta de mantenimiento o inadecuada instalación de la estanqueidad.
16 Fugas en el conducto de lavado de humos de la sección de entrada.	Escape de agua de proceso a través de las juntas del sistema de lavado.	100% de estanqueidad.	Falta parcial de estanqueidad.	Falta de mantenimiento o inadecuada instalación de su sellado.

	Workshop: LÍNEA B	Process Step: ESTUFA DE CURADO	Problem: REDUCCIÓN 53,36 kWh/t DE CONSUMO ENERGÉTICO ESTUFA LÍNEA B	Team Leader: B.L., S.G.	Team: F.C., S.G., S.P., B.L.	
	Project KPI and target: KPI: pérdidas en kWh/t	Planned Savings: 32,02 k€	Budget: 15,14 k€	Start Date: 15/01/2019	Completion Date: 19/07/2019	

DATA ANALYSIS - 5Ws (What, When, Where, Who, Which) - with stratification if required. What does the 5W Data tell you?		
WHAT? - What product? What size? What dimension? What machine was the product on? What material was used?	WHERE? - Where is the problem being created? Where did you see the problem (Line / Machine / Location)? Where exactly on part did you see the problem? Where exactly on the machine did you see the problem?	WHICH? - Are there any patterns or trends in any of the What, When, Where, Who data?

		
---	--	---

WHEN? - Was the problem during continuous running or intermittent? What time or period?	WHO? - Is the problem procedure or people related? Does any individual or shift affect the problem but not others? Do engineers encounter the problem but the operators don't?
--	---

		
--	---	--

DATA ANALYSIS - 4Ms (Machine, Material, Method, Man) - within the relevant time frame, what changes have occurred? List any known changes to "Machine", "Material", "Method", "Man", that have occurred which could have had an impact on causing the problem			
Machine Changes? Fecha de instalación de la máquina: septiembre 2008.	Material Changes? Marzo 2014: estabilización de las tiradas de Climaver: de 92 t/día a 88 para las referencias en formato sin caja y a 84 para el resto.	Method Changes? Desapareció el ingeniero de proceso encargado de realizar Datapaqs y controlar los reglajes de la estufa. Los CPL se encargan de reglar la estufa. Los conocimientos sobre los reglajes de la estufa se los transmiten unos CPL a otros. No hay una estandarización de los procedimientos para reglar la estufa que poder transmitir a los CPL durante la formación industrial.	Man Changes? 29/04/2018: cambio de 3 a 5 turnos. Implicó incorporación de nuevo personal, por lo que se encuentran en formación desde entonces hasta la actualidad 5 CPL (Francisco Gil, David Portero, Carlos de la Mata, Marco A. Díaz y Agustín Fernández) y 4 polivalentes de CPL (David Romanillos, Jonatan López San Vicente, David López Moreno y Santos del Egidio).

 Project No. 36	Workshop: LÍNEA B	Process Step: ESTUFA DE CURADO	Problem: REDUCCIÓN 53,36 kWh/t DE CONSUMO ENERGÉTICO ESTUFA LÍNEA B		Team Leader: B.L., S.G.	Team: F.C., S.G., S.P., B.L.		 WORKSHEET 2
	Project KPI and target: KPI: pérdidas en kWh/ton		Planned Savings: 32,02 kt	Budget: 15,14 kt	Start Date: 15/01/2019	Completion Date: 19/07/2019		

THE PHENOMENON FACTS

Observational Analysis Facts	5W Data Analysis Facts	4M Data Analysis Facts
Sobrecurado: reglajes de los parámetros de la estufa por encima del rango adecuado para los diferentes productos ($T^*>220^{\circ}\text{C}$ y/o $20\text{s}<t<30\text{s}$). Fugas y pérdidas de energía por ausencia del aislamiento en el motor del cepillo (+137°C), falta de mantenimiento del sellado de los paneles de explosión (+51°C) y de las puertas de los cajones (+82°C), consignas incorrectas de las aspiraciones (+400 rpm), puertas frontales excesivamente abiertas (+20 cm), ausencia de telas aislantes (0 telas) y cierre del cepillo inferior siempre abierto. Acumulaciones de suciedad y lana por falta de limpieza (20 kg de fibra acumulada en 20 días).	Los productos que se fabrican en campañas cortas ($\leq 16\text{ h}$) tienen un consumo superior a la media (Panel Alumisol: 560 kWh/t fibra), y los productos que se fabrican en campañas largas ($> 16\text{ h}$) tienen un consumo inferior (Climaver: 300 kWh/t fibra). Los equipos B1 y A1 son menos eficientes al establecer los ajustes de la estufa, lo cual se manifiesta fundamentalmente en los productos de corta duración, que son los más complicados. Las pérdidas de la estufa son debidas, de mayor a menor importancia, a las aspiraciones de humos, a las superficies de la estufa y al sobrecurado. Las aspiraciones de humos suponen el 73,6% de las pérdidas totales, y el 50,1% de la energía total de gas proporcionada a la estufa.	Durante la formación, no hay una estandarización de los procedimientos establecidos sobre los reglajes de la estufa; los conocimientos se los transmiten de unos CPL a otros, y esos conocimientos pueden variar de un CPL a otro o pueden no ser 100% acertados y completos. Además, nadie controla de forma regular los reglajes del horno.

HOW is the problem occurring? (Phenomenon description)

Problema de la estufa: pérdidas de energía. 3 causas de pérdidas:



Pérdidas de la estufa de la línea B en kWh/t fibra: 6,86 kWh/t fibra (4,55% del total). % sobre las pérdidas totales.

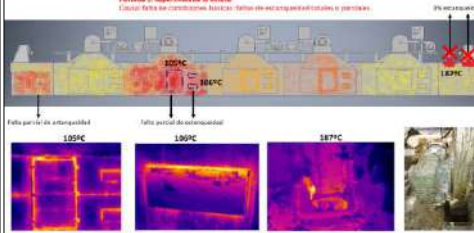
Problema de la estufa: pérdidas de energía. 3 causas de pérdidas:



Pérdidas y potencial de mejora:

Pérdidas estructurales (kWh/t Fibra): 6,86 kWh/t fibra (4,55% del total).

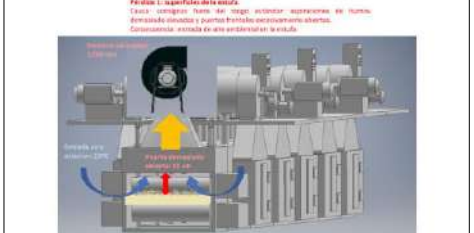
Pérdida 1: superficies de la estufa.
Causa: Fugas en condiciones de funcionamiento de las superficies de la estufa.



Pérdida 1: superficies de la estufa.
Causa: Consigna fuera del rango (sistema) aspiración de humos excesivamente abierta y puertas frontales excesivamente abiertas. Consecuencia: caída de humos de la estufa.



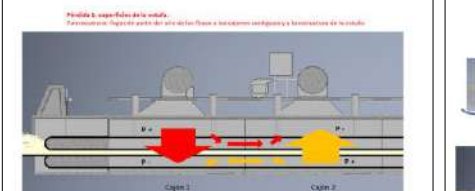
Pérdida 1: superficies de la estufa.
Causa: Consigna fuera del rango (sistema) aspiración de humos excesivamente abierta y puertas frontales excesivamente abiertas. Consecuencia: caída de humos de la estufa.



Pérdida 1: superficies de la estufa.
Causa: Fugas en condiciones de funcionamiento de las superficies de la estufa.



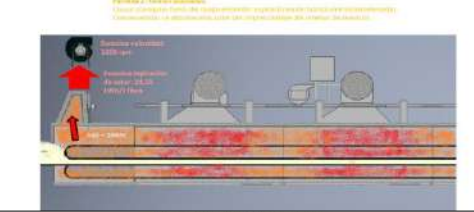
Pérdida 1: superficies de la estufa.
Causa: Fugas en condiciones de funcionamiento de las superficies de la estufa.



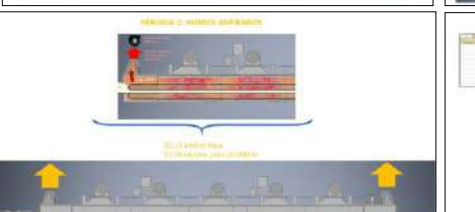
Pérdida 1: superficies de la estufa.
Causa: Fugas en condiciones de funcionamiento de las superficies de la estufa.



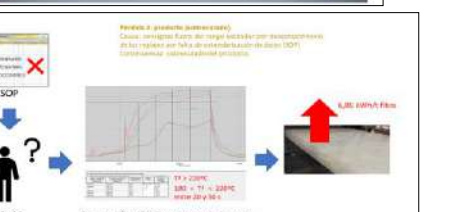
Pérdida 2: sobrecurado.
Causa: Consigna fuera del rango (sistema) aspiración de humos excesivamente abierta y puertas frontales excesivamente abiertas. Consecuencia: caída de humos de la estufa.



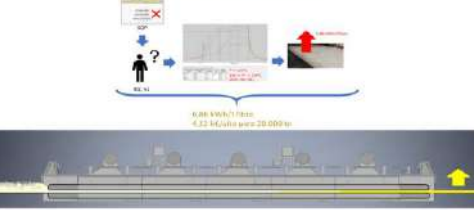
Pérdida 2: sobrecurado.
Causa: Consigna fuera del rango (sistema) aspiración de humos excesivamente abierta y puertas frontales excesivamente abiertas. Consecuencia: caída de humos de la estufa.



Pérdida 2: sobrecurado.
Causa: Consigna fuera del rango (sistema) aspiración de humos excesivamente abierta y puertas frontales excesivamente abiertas. Consecuencia: caída de humos de la estufa.



Pérdida 3: producto (sobrecurado).



Pérdida 3: producto (sobrecurado).



Pérdida 3: producto (sobrecurado).



If you are unable to describe the phenomenon and HOW the problem is occurring, then go to worksheet 3

The "Working Principle" that needs to be understood is ...

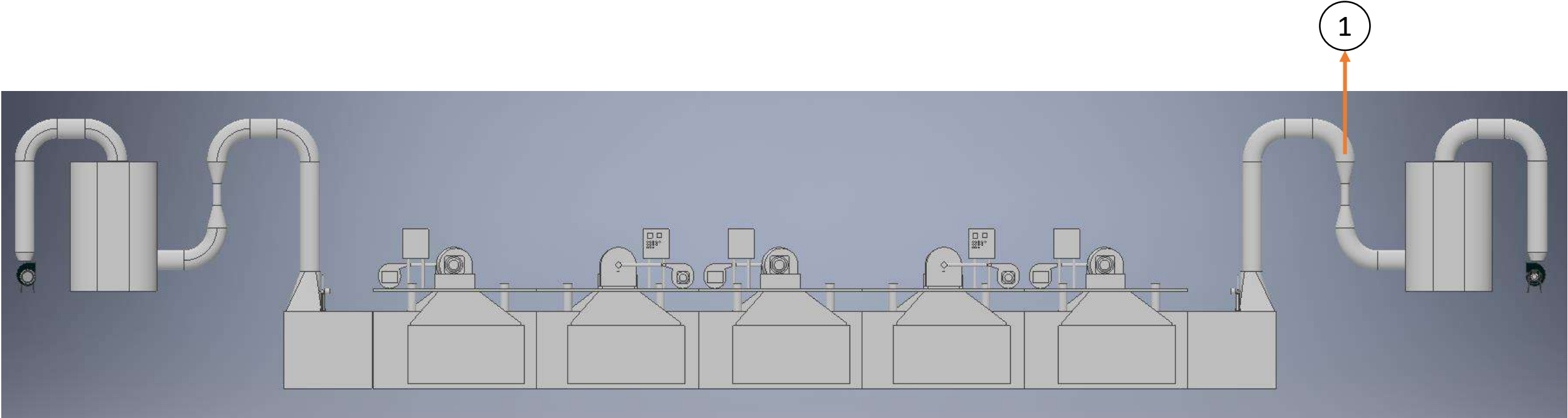
Análisis observacional: seguridad

OBSERVACIÓN

1 – Ausencia de barandilla en el Venturi de la aspiración de humos de la sección de entrada.

1 – Ausencia de barandilla en el Venturi de la aspiración de humos de la sección de entrada

Evidencia observacional	Ausencia de la barandilla en el Venturi de la aspiración de humos de la sección de entrada.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Existe un espacio en altura situado en la zona del Venturi de la aspiración de humos de la sección de entrada. En una parte de este espacio no hay barandilla, por lo que existe un alto riesgo de caída por este espacio y lesión con otros elementos.
Referencia (componente/máquina /proceso no dañado)	100% de barandilla.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Faltan 50 cm de barandilla.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Evaluación de riesgos incompleta.
Solución	Instalar la barandilla.



0036602/MSM/2019

2/11/19 12:00 AM

General Information

Plant	Sg Isover Ibérica	Start time	End Time
Shift moment	Mitad	Shift	Mañana
Person who reported	Maria Soledad Montejo Hernandez	Job profile	Jefa S° Calidad Y Logística
Person who inform	Maria Soledad Montejo Hernandez	Job profile	Supervisor

Incident Place

Area	Tel	Department	Vidrio Frio Tel
Workstation/Machine	Línea B Estufa		
Working conditions	Revisión del venturi de salida humos situado en la entrada estufa Línea B		

Generic Hazard

Caída de personas a distinto nivel

Other Generic Hazard

TF5 Description

Subimos con el encargado de la limpieza del venturi a comprobar el estado del mismo tras su limpieza. Observamos que en la plataforma donde se encuentra el registro hay parte de la barandilla que está cortada y una persona puede caer por el hueco que queda.

Standard

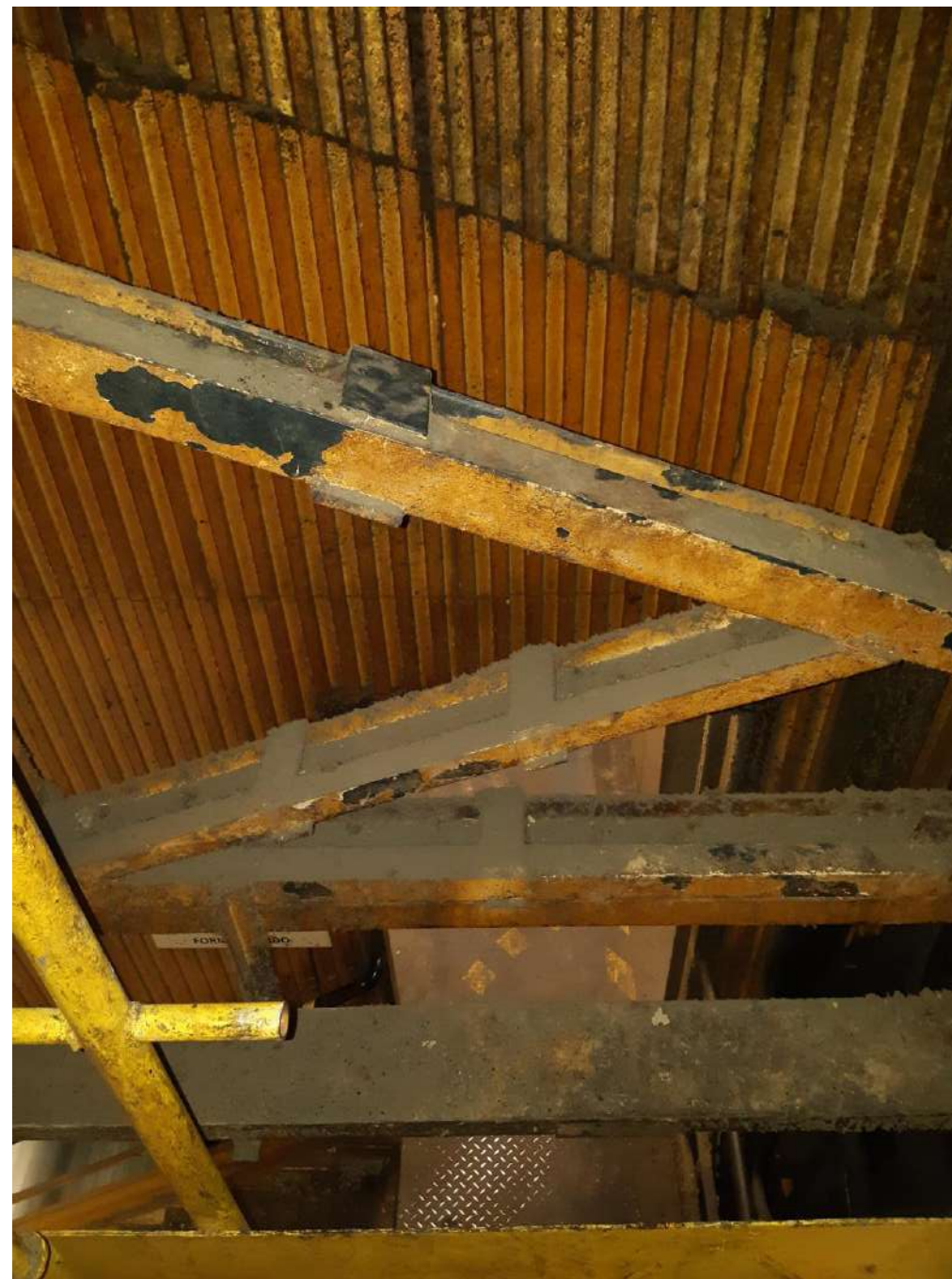
Trabajos en altura

Other Information

Action that you propose to take

Colocar la parte de barandilla que se ha cortado. Valorar con la persona de ECOTAI que limpia ahí si es necesario prolongar la plataforma antes de colocar la barandilla.

Availability to participate in the analysis YES



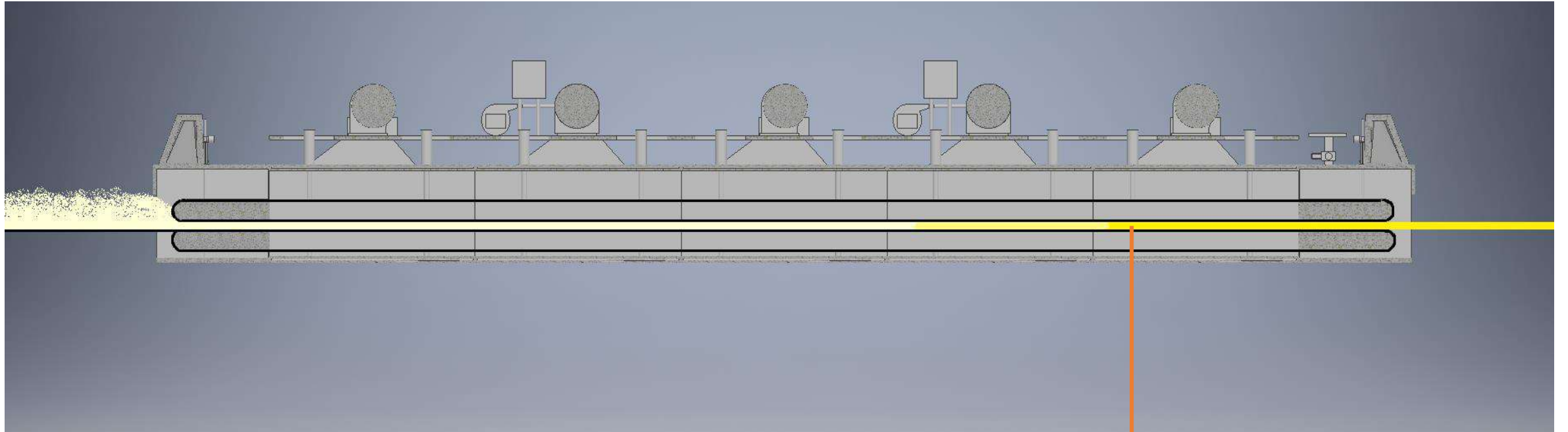
Análisis observacional: sobrecurado

OBSERVACIÓN

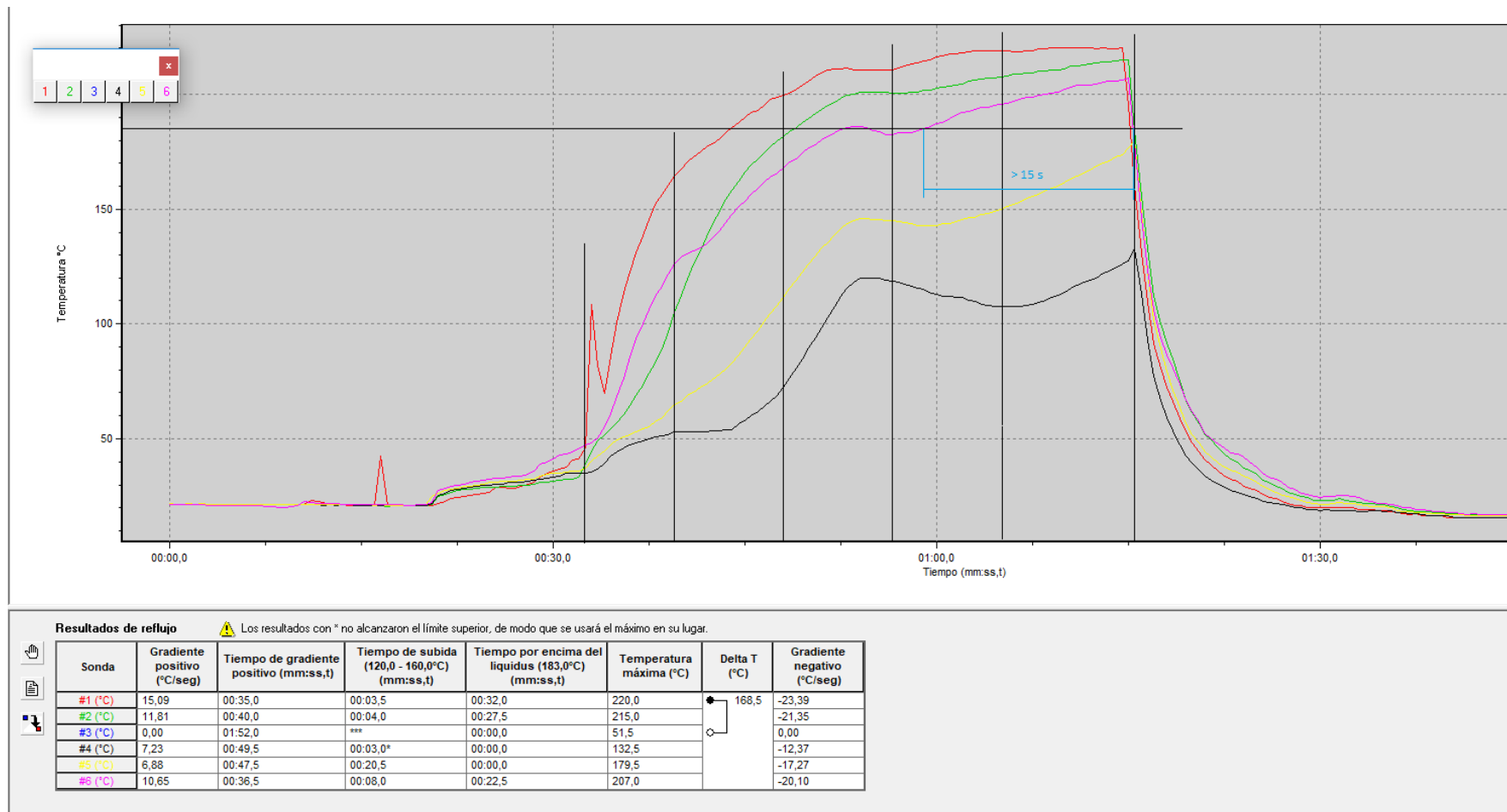
2 – Sobrecurado del producto.

2 – Sobrecurado del producto

Evidencia observacional	Sobrecurado del producto.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Parámetros del proceso de curado fuera del rango teórico.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	Curva Datapaq: la temperatura debe estar comprendida entre 180 y 220°C durante 10 – 15 s para el encolado R232.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Curva Datapaq: algunos perfiles de temperatura se encuentran por encima de 220°C o entre 180 y 220°C entre 20 y 30 s.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Desconocimiento para establecer correctamente los parámetros del horno en función del producto.
Solución	Definir rangos para las variables del proceso a fin de optimizar el curado. Estandarización de los procedimientos de ajuste durante la formación a los CPL.



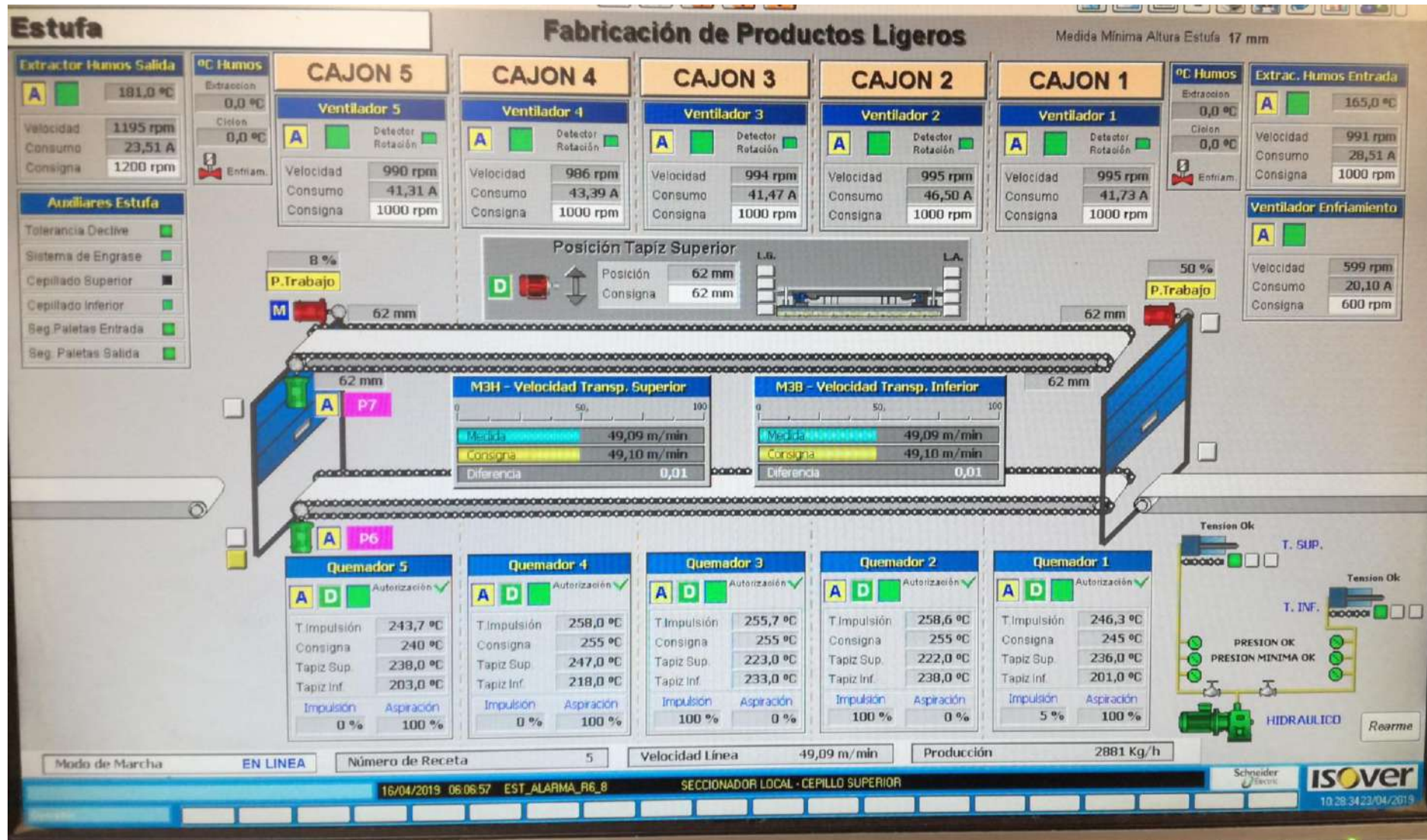
2



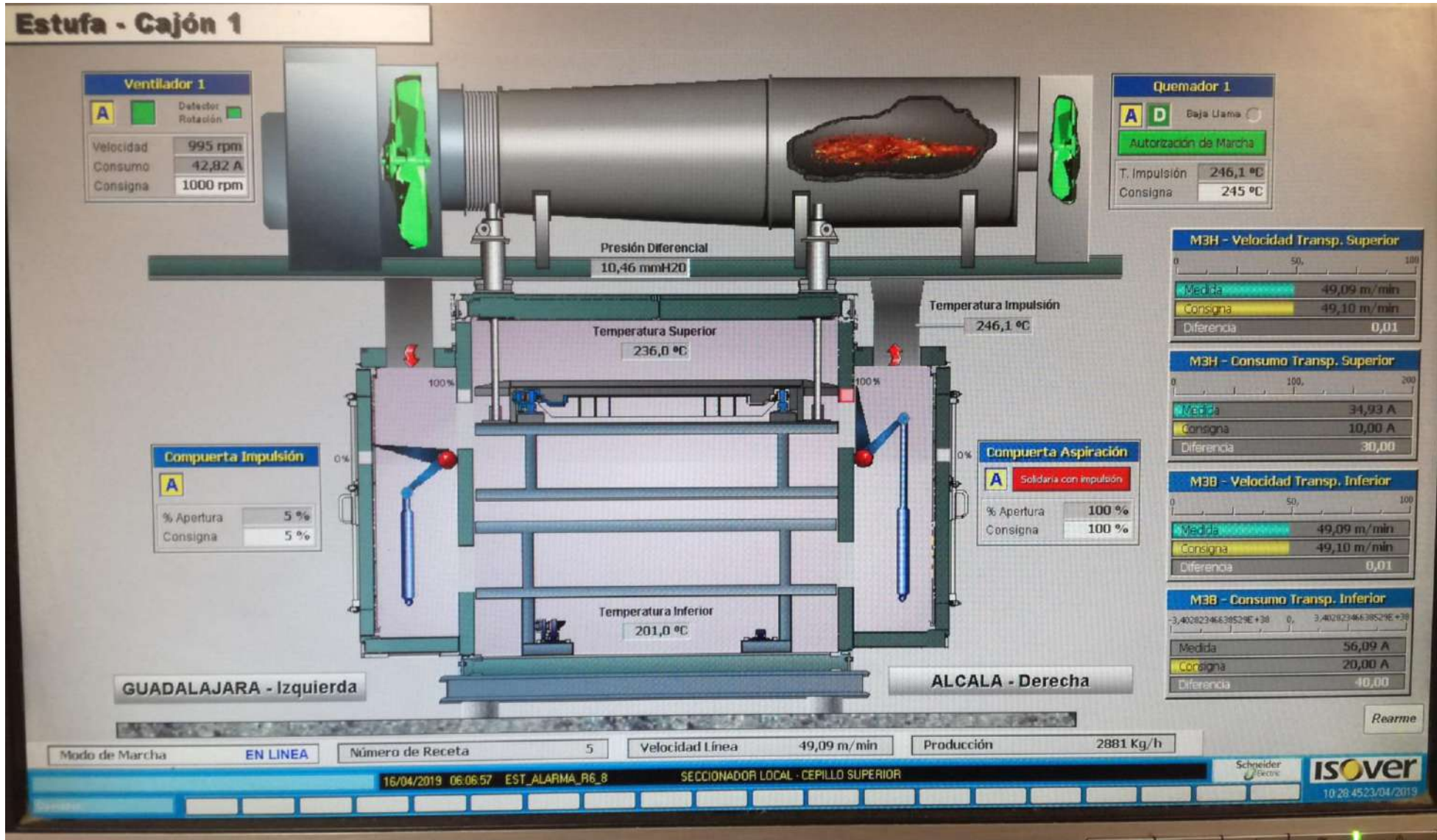
En la siguiente curva Datapaq se observa que tres perfiles de temperatura (rojo, verde y magenta) permanecen por encima de 180°C durante un tiempo excesivo. El perfil rojo durante 30 s, el verde durante 27 s y el rosa durante 22 s. Además, el perfil rojo supera la máxima temperatura de curado (220°C).

Los perfiles negro y amarillo no son representativos porque no midieron correctamente o no estaban bien situados en el producto. Esto se sabe porque el producto obtenido cumplía los parámetros de calidad.

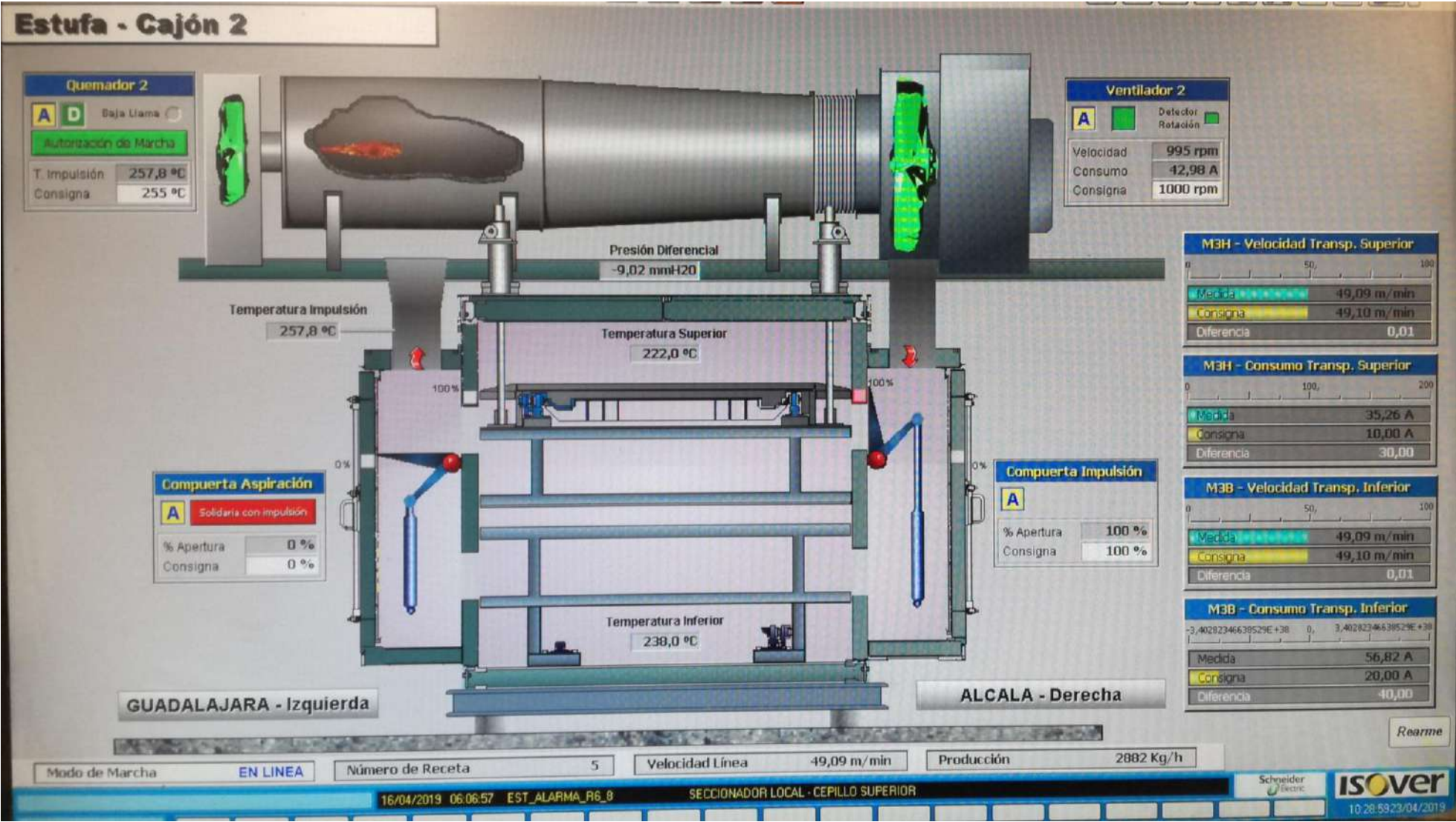
Consignas establecidas por el CPL para los parámetros de la estufa (velocidad de los ventiladores, temperatura de los quemadores, etc).



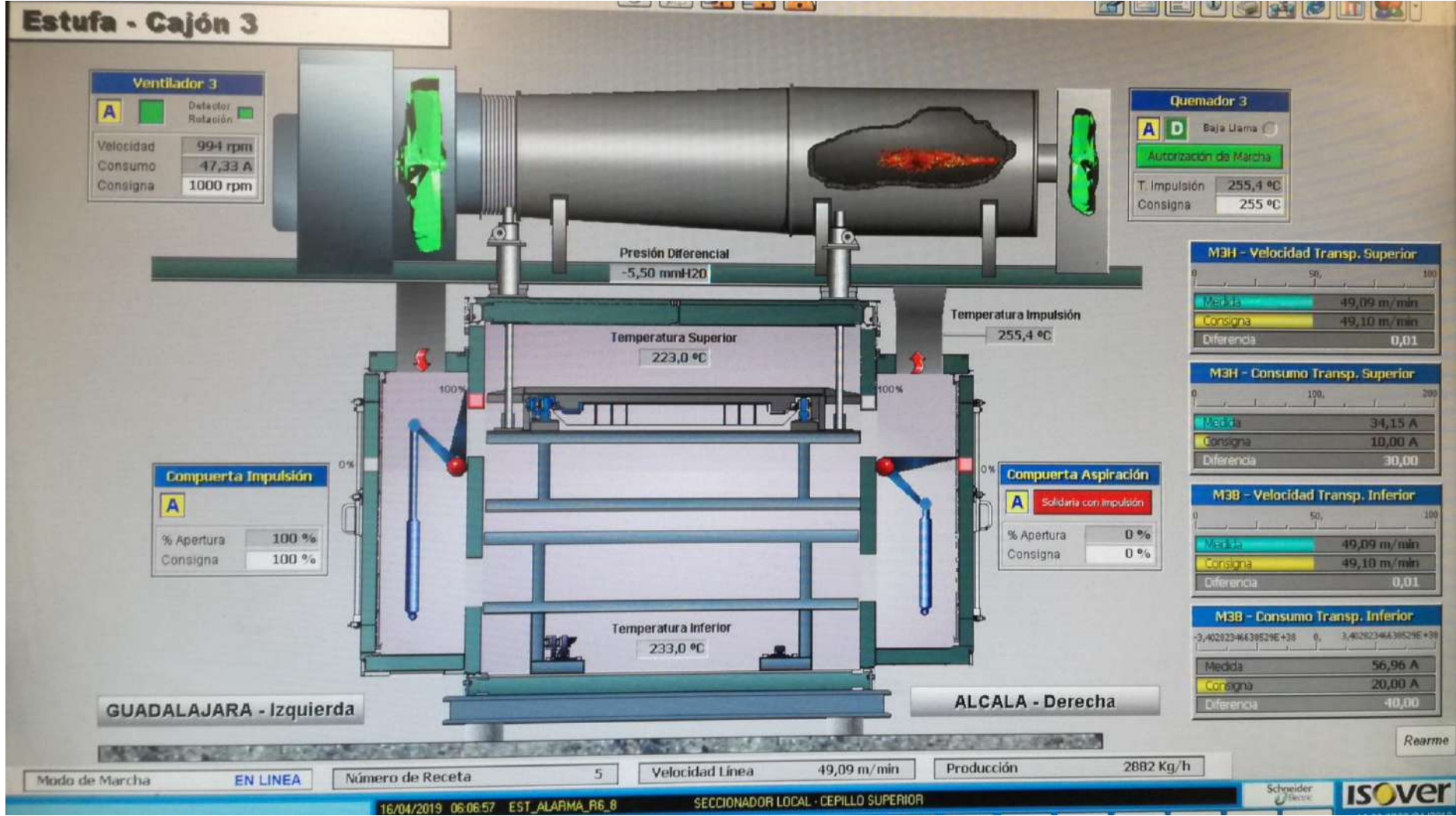
Consignas establecidas por el CPL para los parámetros de la estufa (velocidad de los ventiladores, temperatura de los quemadores, etc).



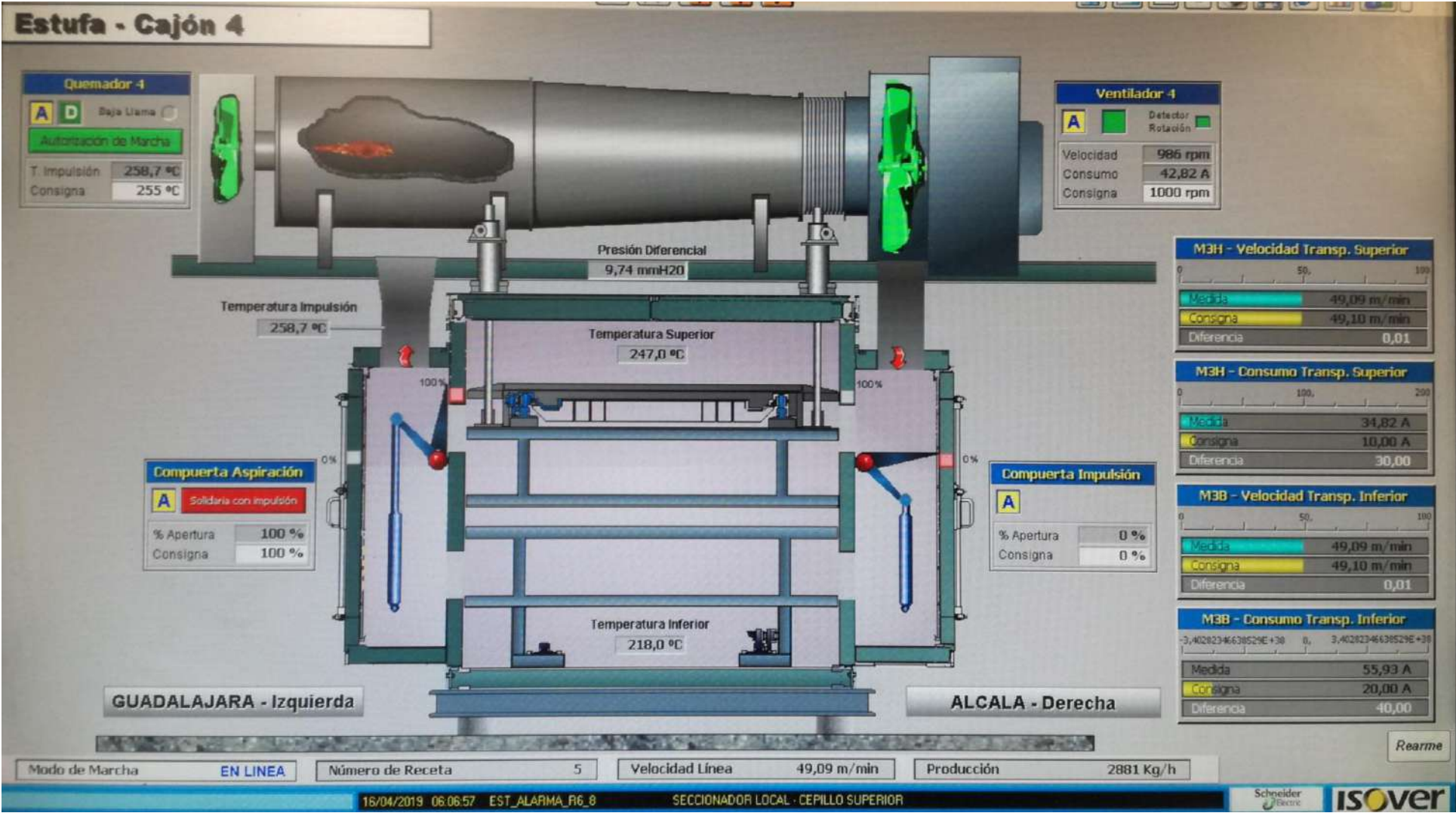
Consignas establecidas por el CPL para los parámetros de la estufa (velocidad de los ventiladores, temperatura de los quemadores, etc).



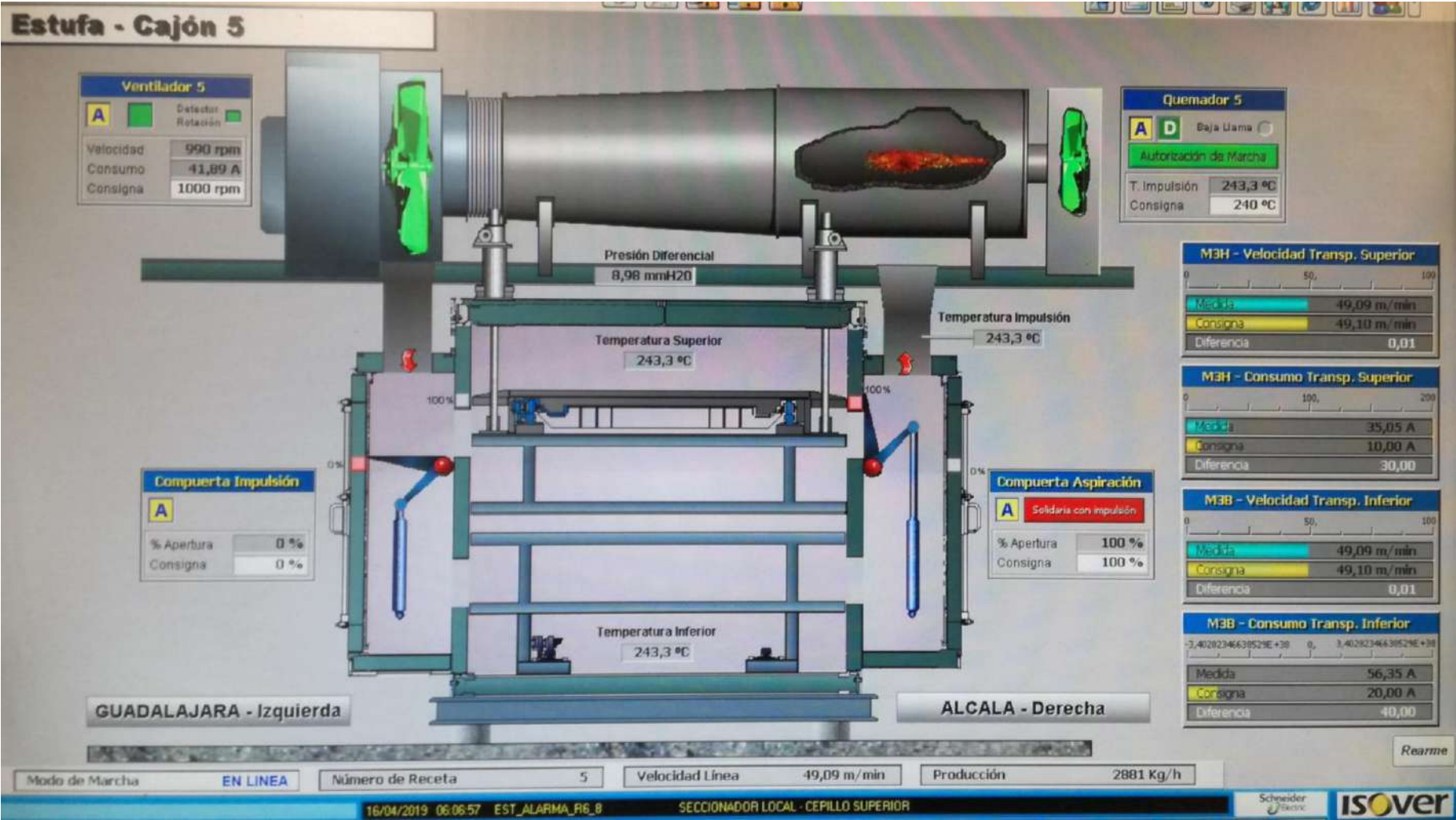
Consignas establecidas por el CPL para los parámetros de la estufa (velocidad de los ventiladores, temperatura de los quemadores, etc).



Consignas establecidas por el CPL para los parámetros de la estufa (velocidad de los ventiladores, temperatura de los quemadores, etc).



Consignas establecidas por el CPL para los parámetros de la estufa (velocidad de los ventiladores, temperatura de los quemadores, etc).

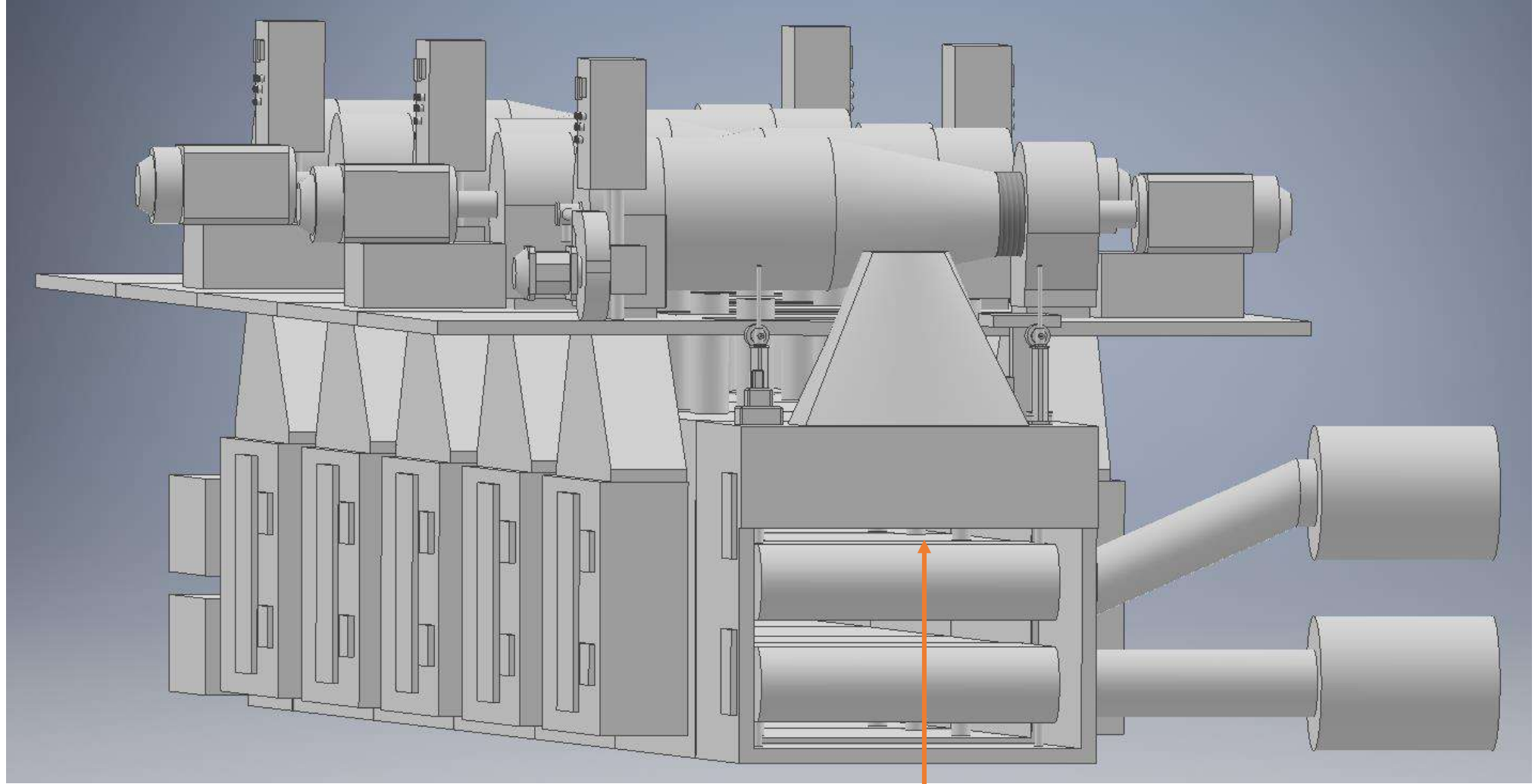


Análisis observacional: fugas, pérdidas de energía y suciedad

OBSERVACIÓN
3 – Entrada de aire exterior en la estufa a través de la puerta frontal y excesiva aspiración del calor de la estufa.
4 – Salida de los humos de la estufa a través de la puerta frontal.
5 – Fugas y pérdidas de energía en el motor del cepillo de limpieza del transportador superior.
6 – Fugas y pérdidas de energía en el detector de atascamiento del transportador superior.
7 – Fugas y pérdidas de energía en los paneles de explosión.
8 – Fugas y pérdidas de energía en las puertas de los cajones.
9 – Pérdidas de energía y acumulación de lana y suciedad en la zona del transportador inferior.
10 – Ausencia de las telas aislantes entre las zonas de calentamiento.
11 – Suciedad y lana acumulada en las secciones de entrada y salida.
12 – Lana acumulada en el interior del segundo cajón.

3 – Entrada de aire exterior en la estufa a través de la puerta frontal y excesiva aspiración del calor de la estufa

Evidencia observacional	Entrada de aire exterior en la estufa a través de la puerta frontal.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	La consigna excesiva de la velocidad del ventilador de aspiración y la apertura que hay entre la puerta frontal y el producto hacen que entre aire exterior. Este aire está a 20°C, lo que supone una pérdida de energía para la estufa porque hace disminuir la temperatura de su interior. Además, se absorbe más calor del imprescindible del interior de la estufa.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	Evitar la entrada de aire ambiental en la estufa. Velocidad del ventilador de aspiración: 400 – 800 rpm (en función del producto y del estado de los conductos). Apertura de la puerta: espesor del producto + 3 – 5 cm.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Entrada de aire ambiental en la estufa. Velocidad del ventilador de aspiración: + 100 - 400 rpm. Apertura de la puerta: + 20 cm.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Desconocimiento para establecer correctamente los parámetros de la estufa en función del producto.
Solución	Mantener la puerta lo más cerrada posible. Ajustar correctamente la velocidad del ventilador de aspiración: se parte de un valor pequeño y se aumenta progresivamente hasta comprobar visualmente que los humos dejan de salir y que no entra aire de fuera.



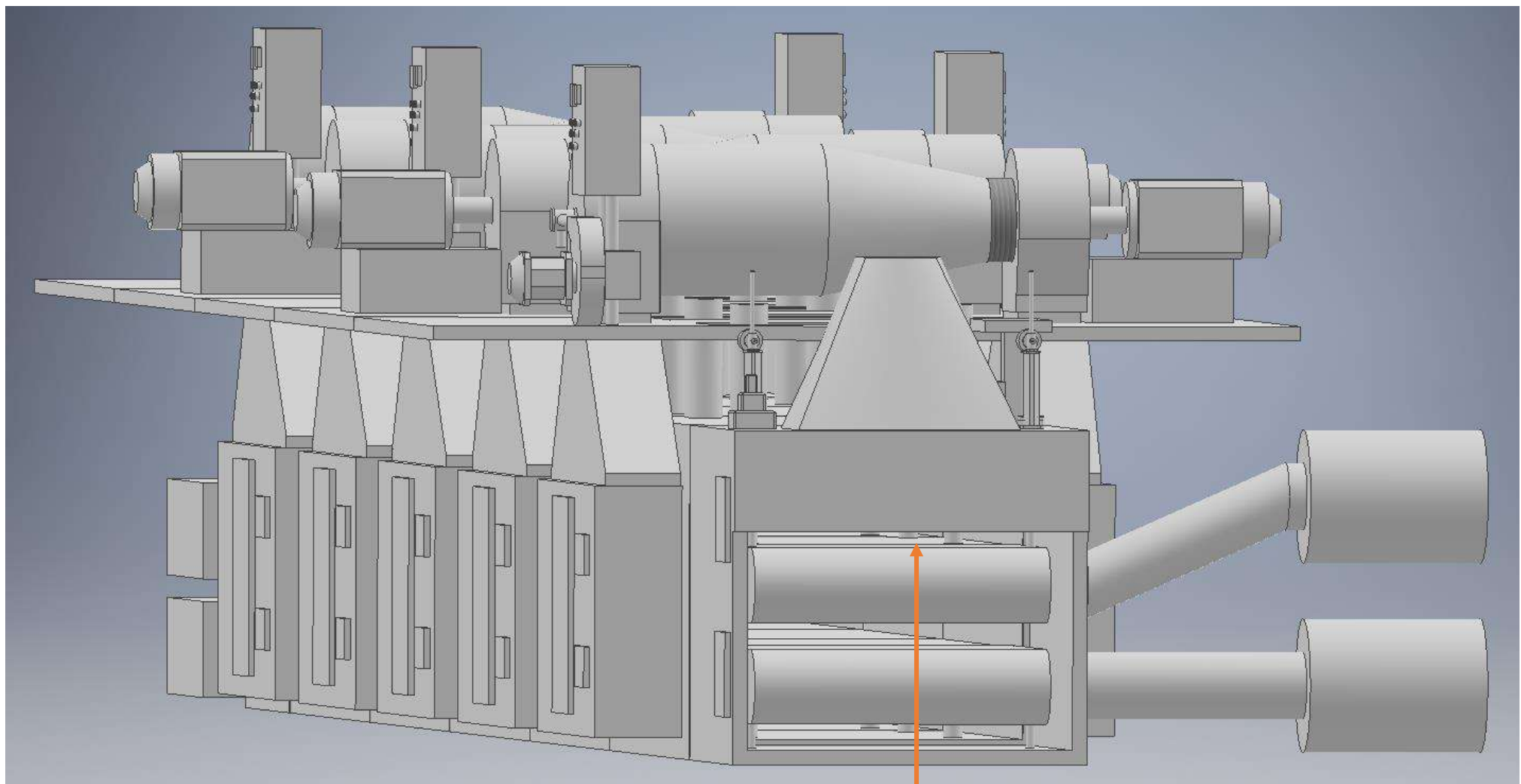
3

Apertura excesiva de la puerta frontal de la sección de entrada: 20 cm más que la referencia (23 cm). Debido a ello y a la elevada velocidad del ventilador de aspiración de humos, entra aire exterior en la estufa.



4 – Salida de los humos de la estufa a través de la puerta frontal

Evidencia observacional	Salida de los humos de la estufa a través de la puerta frontal.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	La consigna insuficiente de velocidad del ventilador de aspiración y la apertura que hay entre la puerta frontal y el producto hacen que salgan humos de la estufa. Estos humos están a una temperatura comprendida entre 140 y 200°C, lo que supone una pérdida de energía. Además, contienen sustancias no saludables, como polvo de vidrio o vapores de encolado, que se acumulan en la nave. También se acumulan en la puerta frontal.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	Evitar la salida de los humos de la estufa. Velocidad del ventilador de aspiración: 400 – 800 rpm (en función del producto y del estado de los conductos). Apertura de la puerta: espesor del producto + 3 – 5 cm.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Salida de los humos. Velocidad del ventilador de aspiración: < 400 rpm. Apertura de la puerta: + 20 cm.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Desconocimiento para establecer correctamente los parámetros de la estufa en función del producto.
Solución	Mantener la puerta lo más cerrada posible. Ajustar correctamente la velocidad del ventilador de aspiración: se parte de un valor pequeño y se aumenta progresivamente hasta comprobar visualmente que los humos dejan de salir y que no entra aire de fuera.



4

Apertura excesiva de la puerta frontal de la sección de entrada: 20 cm más que la referencia (23 cm). Debido a ello y a la insuficiente velocidad del ventilador de aspiración de humos, salen humos de la estufa.



Los humos que salen de la estufa contienen polvo de vidrio y encolado, que se acumulan en los laterales y en la propia puerta frontal.



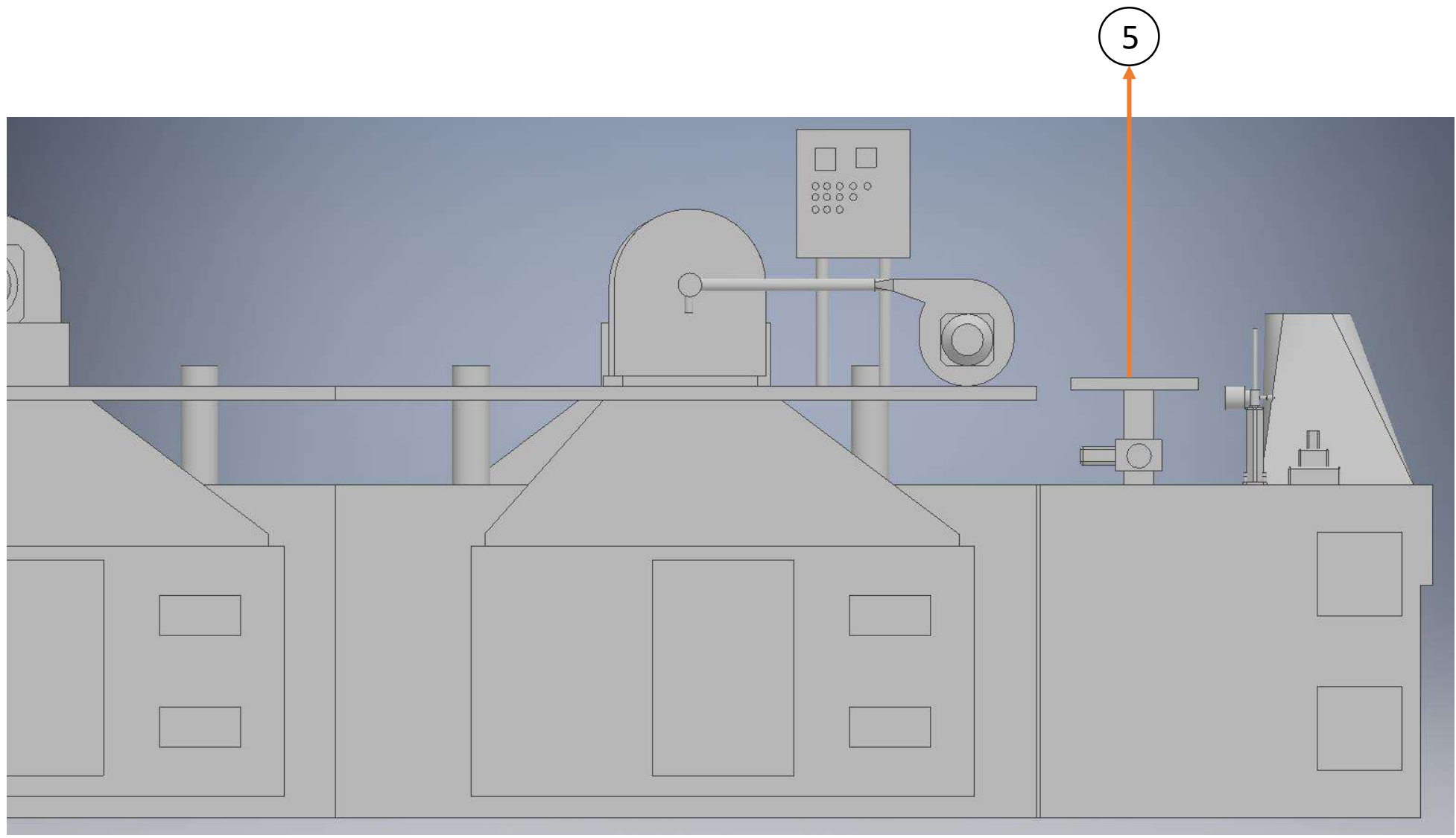
Polvo de vidrio acumulado



Encolado acumulado

5 – Fugas y pérdidas de energía en el motor del cepillo de limpieza del transportador superior

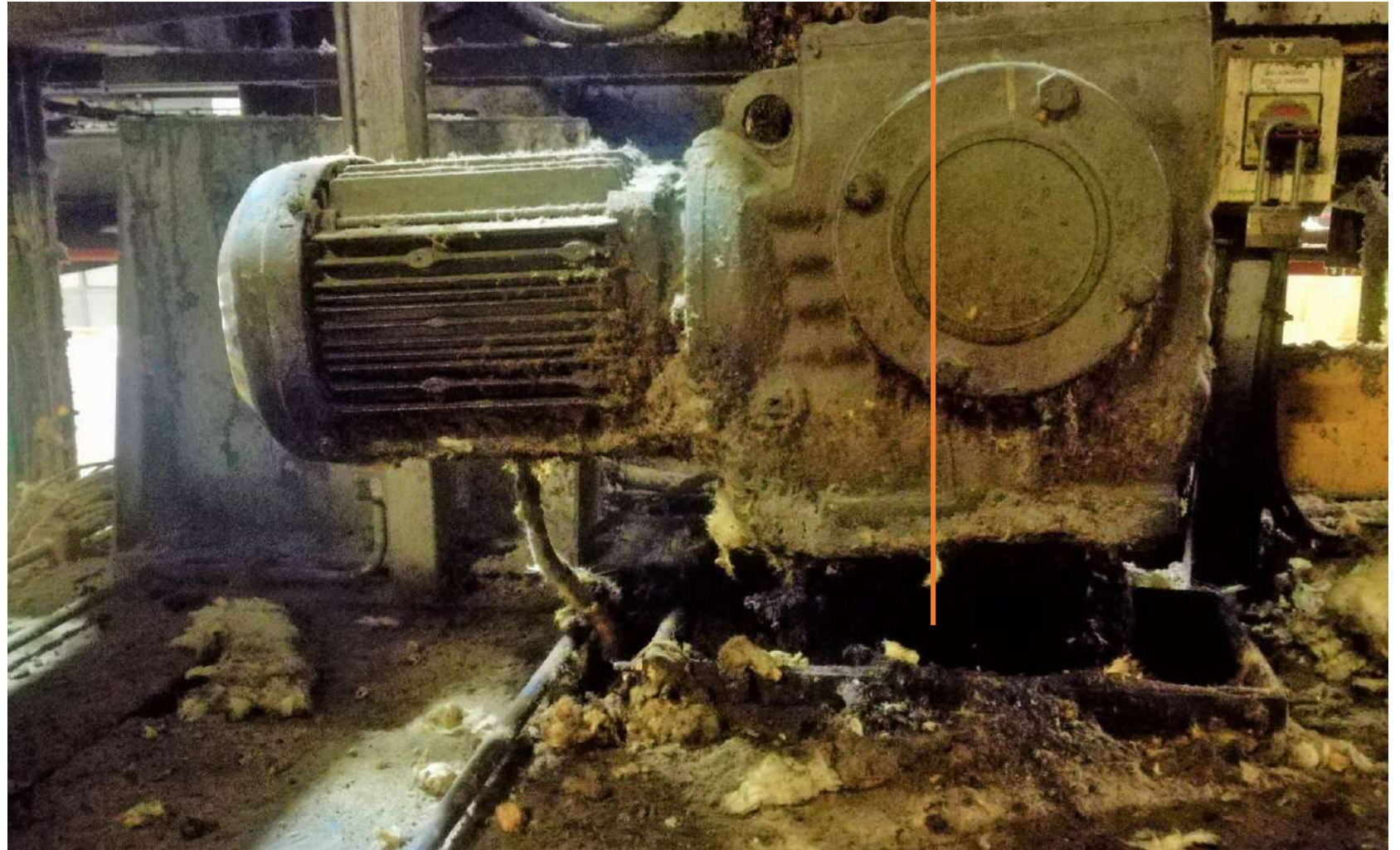
Evidencia observacional	Fugas y pérdidas de energía en el motor del cepillo de limpieza del transportador superior.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Escape de humo a través del hueco que hay en el techo de la sección de salida, en la zona donde está el motor que acciona el cepillo de limpieza del transportador superior, por lo que se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado. Detección con cámara termográfica de una temperatura de hasta 187°C en esa zona.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	100% de estanqueidad. Temperatura: 40 – 50°C.
Diferencias observacionales (de la investigación)	0% de estanqueidad. Temperatura: + 137°C
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Ausencia de la estanqueidad que cubre el hueco que conecta con el interior de la estufa.
Solución	Instalar fuelle o tela aislante. Tapa completamente el hueco, lo que impediría la salida de los humos y del calor. Además, la tela permite el desplazamiento vertical del cepillo: si el cepillo se eleva, la tela se estira y si el cepillo descende, la tela se pliega.





Acumulación de las fibras y encolado que se encontraban en los humos.

Hueco sin estanqueidad. A través de él, salen los humos de la estufa.





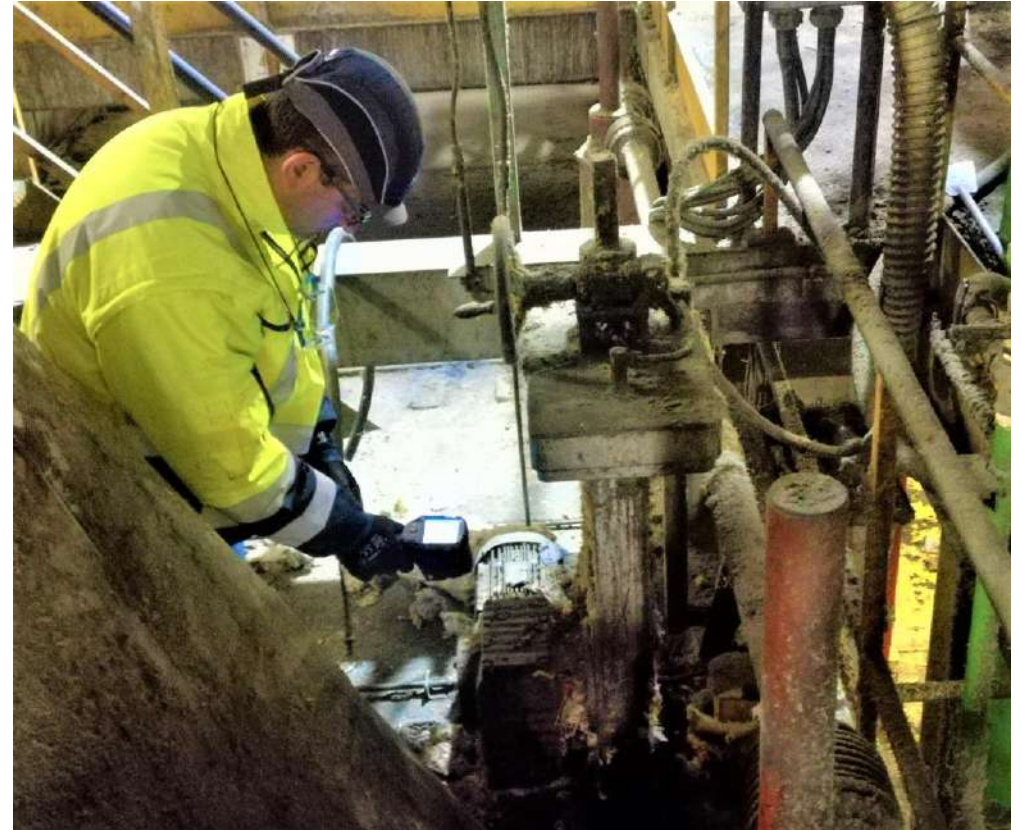
Hueco sin estanqueidad. A través de él, salen los humos de la estufa.



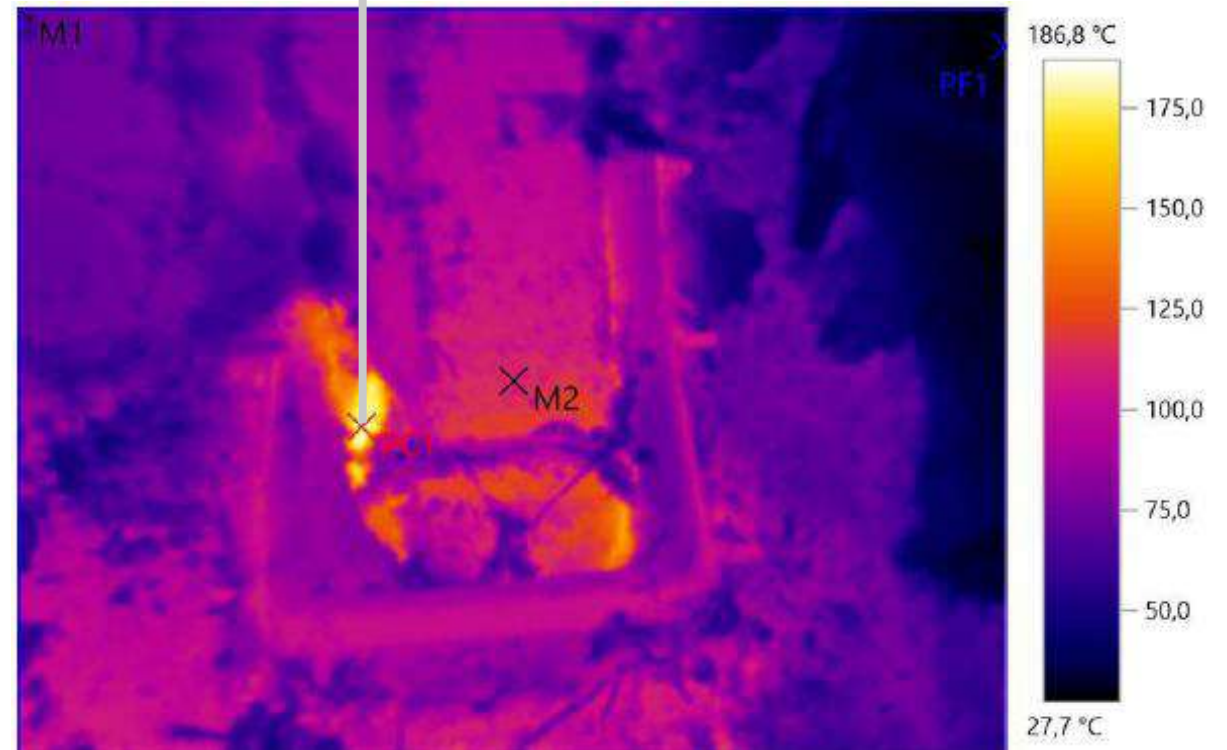


Humos saliendo a través del hueco. Están a una temperatura entre 160 y 200°C, lo que supone una pérdida de energía. Además, no son saludables para el organismo.

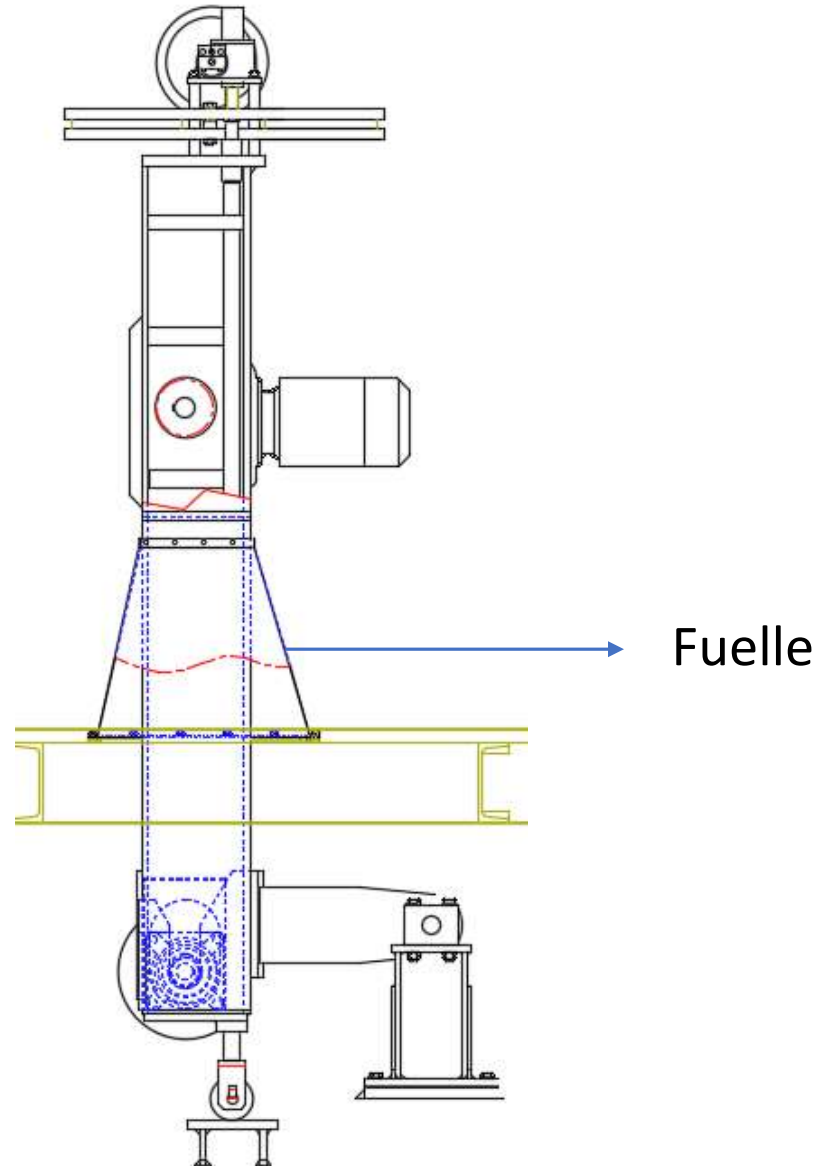
Realización de una termografía para conocer la máxima temperatura alcanzada por el motor del cepillo.



Punto más caliente: 187°C

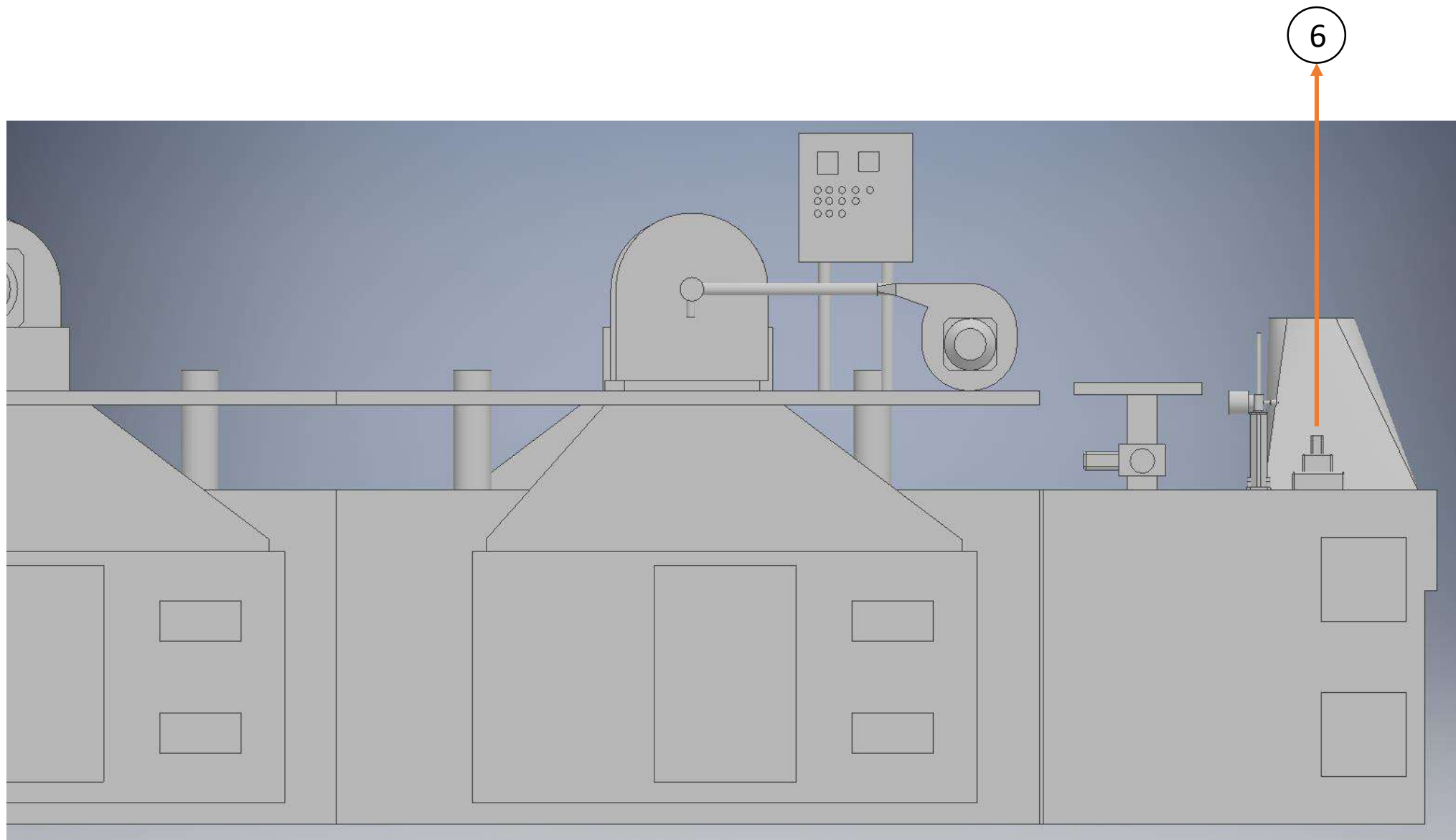


El fuelle es el elemento aislante ausente en el motor del cepillo.



6 – Fugas y pérdidas de energía en el detector de atascamiento del transportador superior

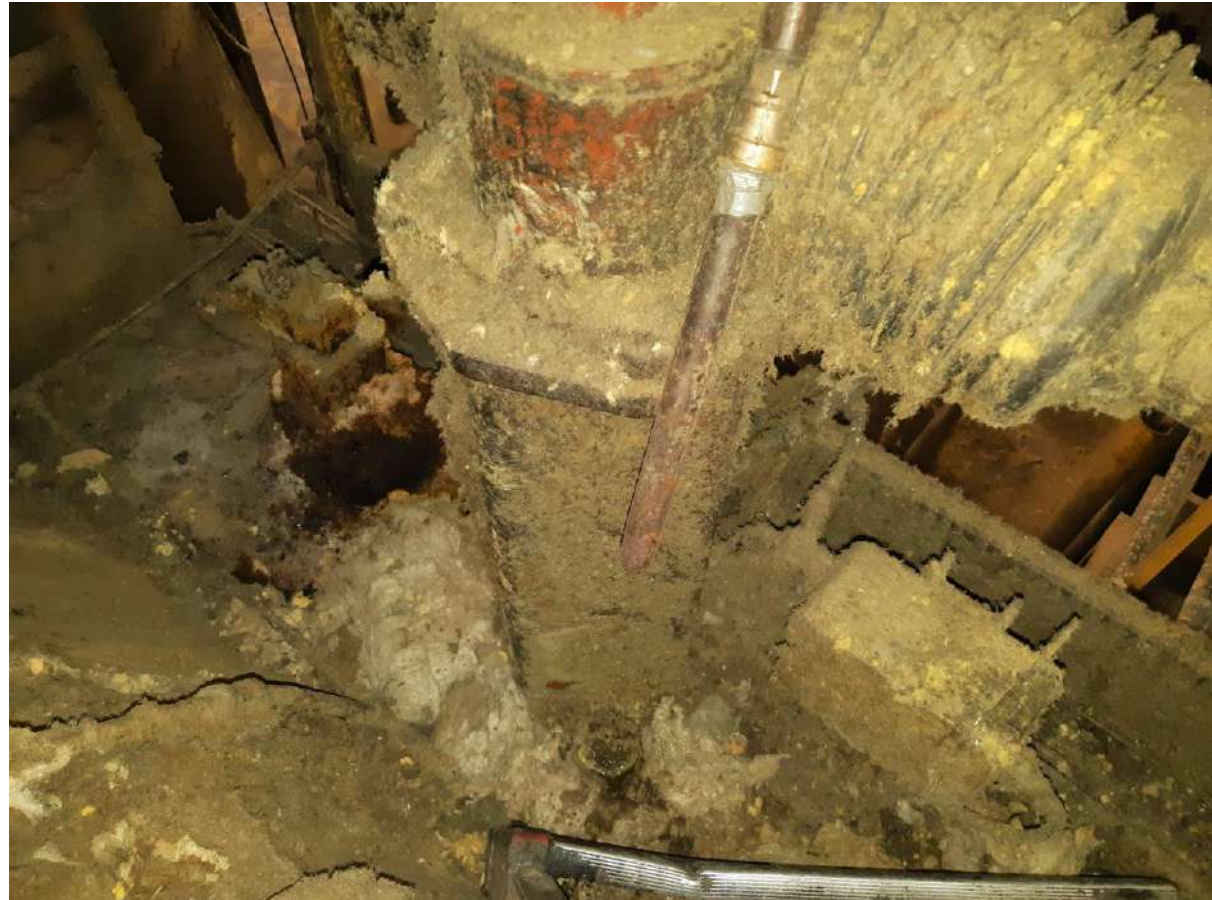
Evidencia observacional	Fugas y pérdidas de energía en el detector de atascamiento del transportador superior.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Escape de humo a través del hueco que hay en el techo de la sección de salida, en la zona donde está el detector de atascamiento del transportador superior, por lo que se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado en esa zona.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	100% de estanqueidad.
Diferencias observacionales (de la investigación)	0% de estanqueidad.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Ausencia de la estanqueidad que cubre el hueco que conecta con el interior de la estufa.
Solución	Instalar fuelle o tela aislante. Tapa completamente el hueco, lo que impediría la salida de los humos y del calor. Además, la tela permite el desplazamiento vertical del sensor: si el sensor se eleva, la tela se estira y si el sensor desciende, la tela se pliega.



Detector de atascamiento del transportador superior.



Acumulación de fibras de vidrio y encolado en el detector y en los elementos circundantes.



Acumulación de fibras de vidrio y encolado en el detector y en los elementos circundantes.

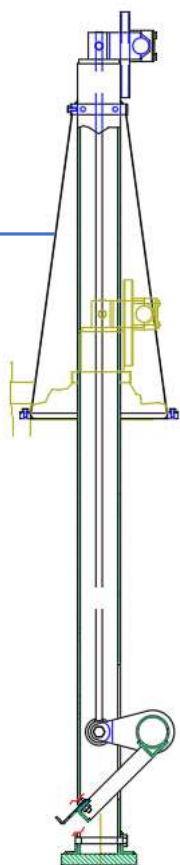


Realización de una termografía para conocer la máxima temperatura alcanzada por el detector.



El fuelle es el elemento aislante ausente en el detector de atascamiento.

Fuelle

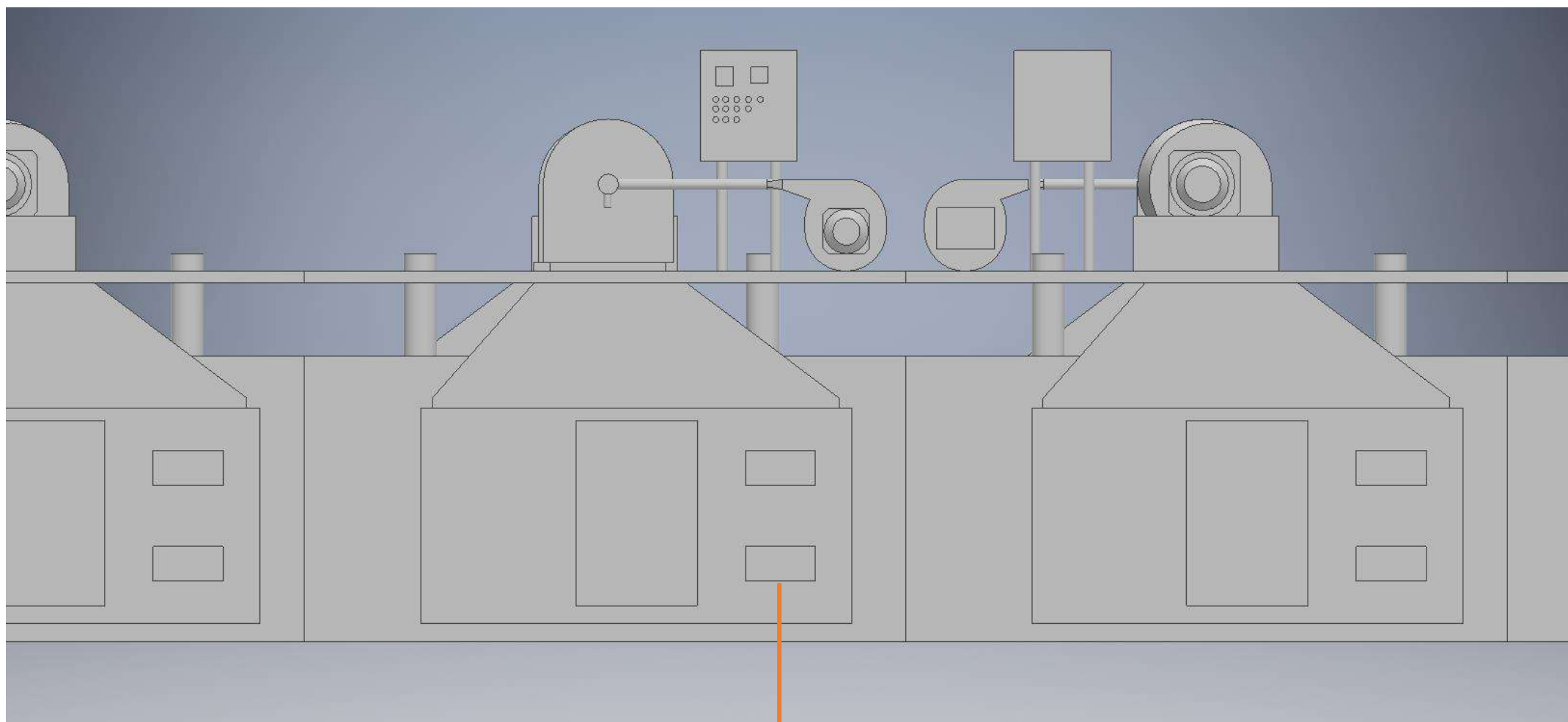


Fuelle



7 – Fugas y pérdidas de energía en los paneles de explosión

Evidencia observacional	Fugas y pérdidas de energía en los paneles de explosión.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Escape de humo a través de las fugas que se generan en los paneles de explosión, principalmente en las zonas de unión de los paneles con la chapa de acero del cajón. Debido a ello, se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado en esas zonas y los paneles se deterioran. Detección con cámara termográfica de una temperatura de hasta 106°C en esas zonas.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	0 fugas en los paneles. Paneles en buen estado, sin acumulación de fibras y encolado. Sellado: 100%. Temperatura: 35 – 55°C.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Presencia de fugas. Paneles con diferentes estados de deterioro, con fibras y encolado acumulados. Sellado: 30%. Temperatura: + 51°C.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Falta de mantenimiento o inadecuada instalación de su sellado.
Solución	Limpiar las fugas, reemplazar los paneles, instalar correctamente los nuevos paneles y establecer una gama de mantenimiento preventivo.



7

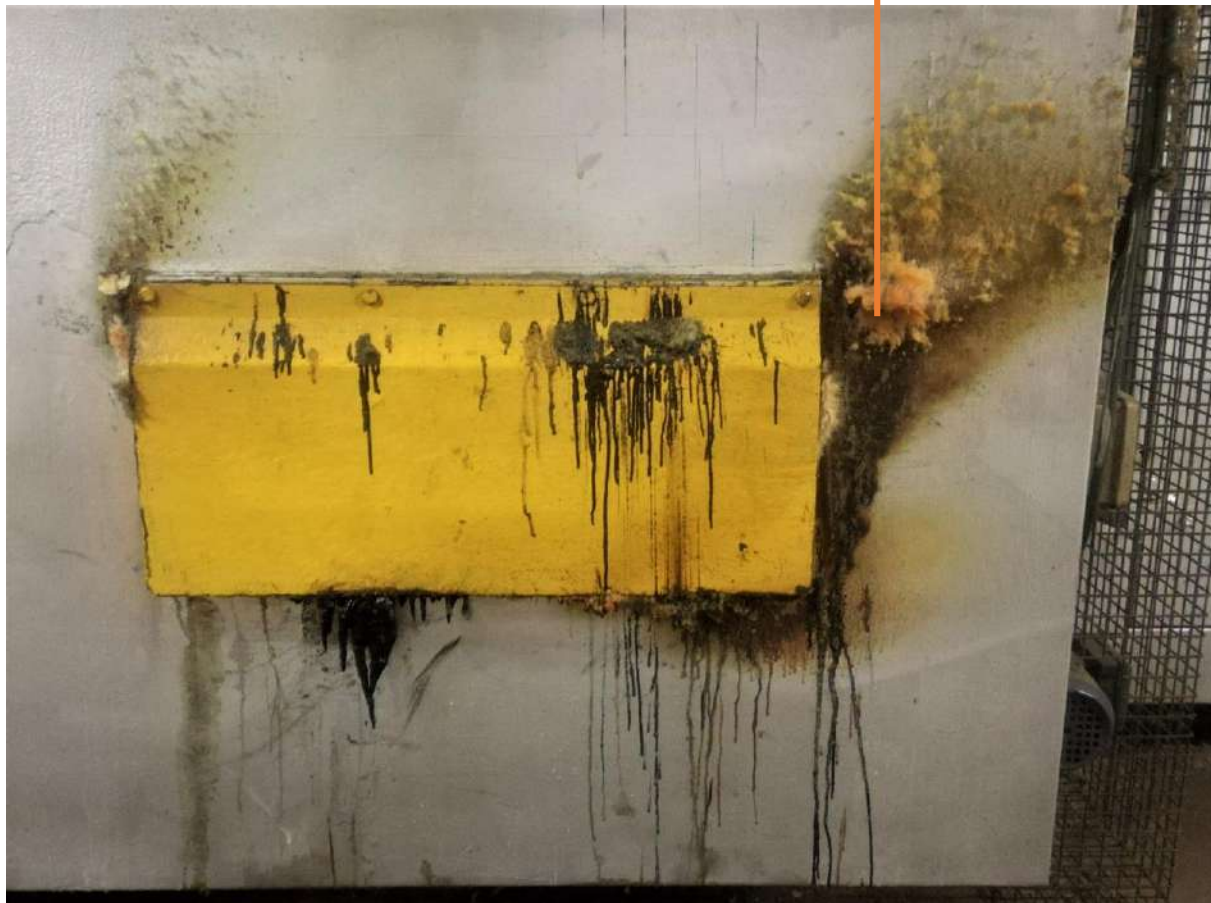
Panel de explosión con muy elevado estado de deterioro.



Paneles de explosión con elevado estado de deterioro.



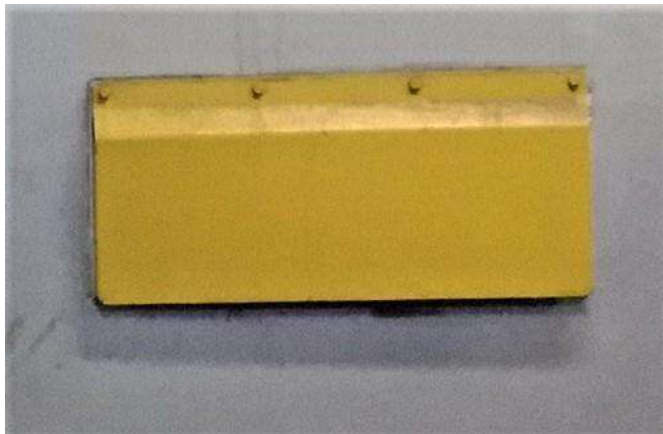
Acumulación de fibras y encolado



Panel de explosión con bajo estado de deterioro.

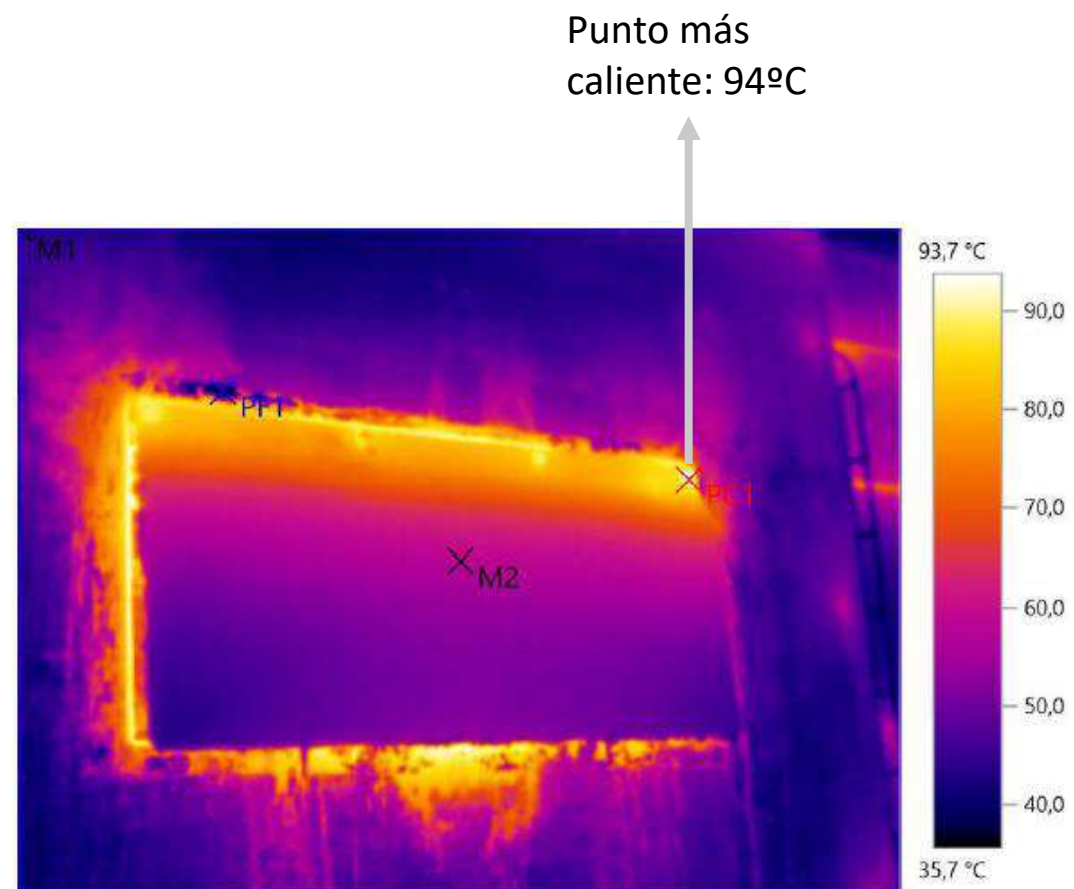


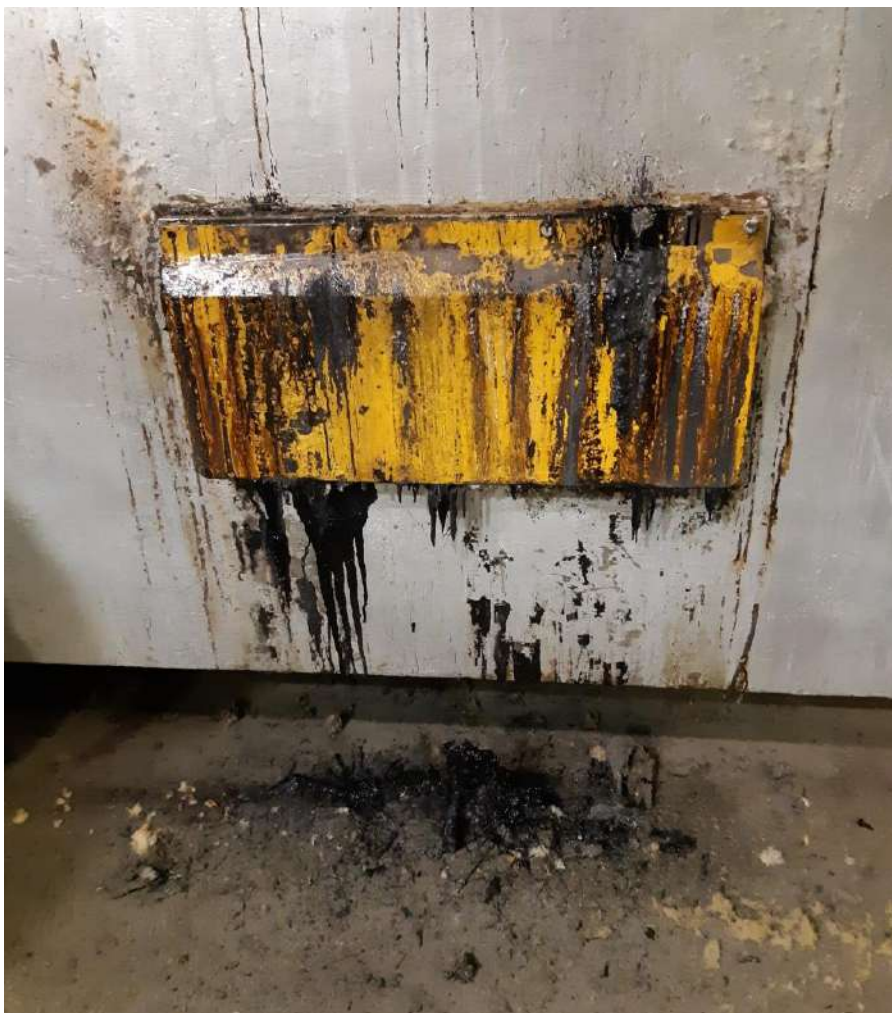
Paneles de explosión en buen estado.



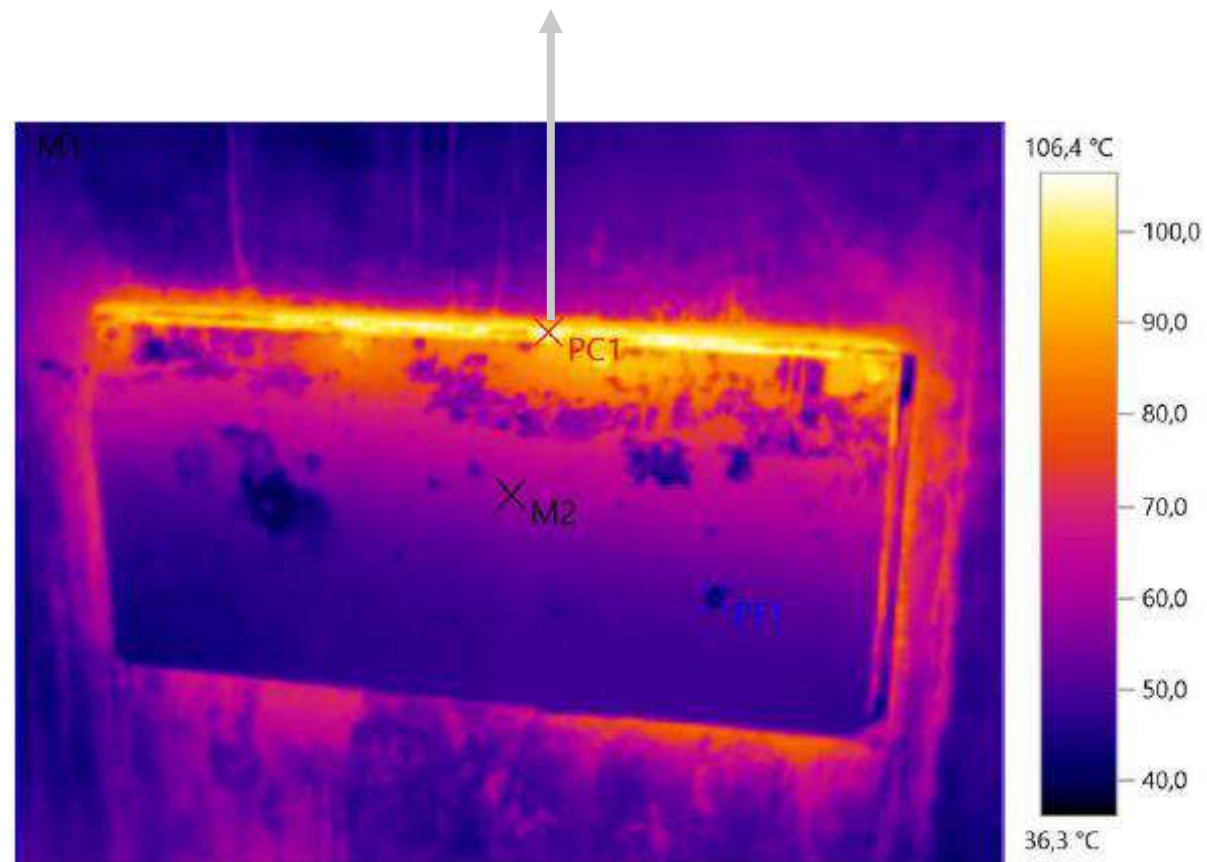
Realización de termografías para conocer la máxima temperatura alcanzada por un panel de explosión.





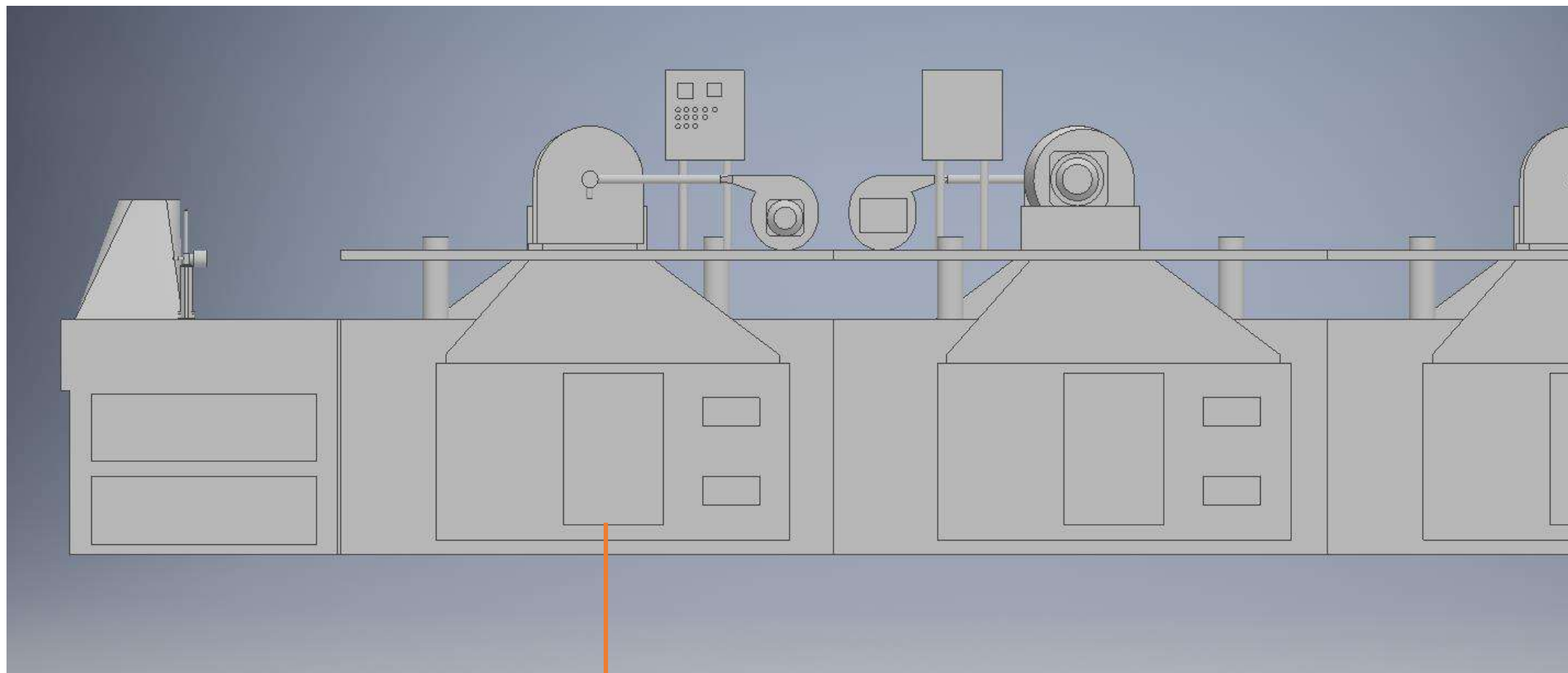


Punto más
caliente: 106°C



8 – Fugas y pérdidas de energía en las puertas de los cajones

Evidencia observacional	Fugas y pérdidas de energía en las puertas de los cajones.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Escape de humo a través de las fugas que hay en las puertas, principalmente en las juntas de unión de la puerta con la chapa de acero del cajón. Debido a ello, se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado en esas zonas, lo que degrada el sellado de las puertas. Detección con cámara termográfica de una temperatura de hasta 127°C en esas zonas.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	0 fugas en las puertas. Sellado: 100%. Temperatura: 25 – 45°C.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Presencia de fugas. Puertas con diferentes estados de deterioro, con fibras y encolado acumulados. Sellado: 50%. Temperatura: + 82°C.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Falta de mantenimiento o inadecuada instalación de su sellado.
Solución	Limpiar las fugas, reemplazar el sellado de las puertas, instalar correctamente el nuevo sellado, pintar las puertas con el ral correspondiente para facilitar la detección de nuevas fugas y establecer una gama de mantenimiento preventivo. No utilizar palancas para abrir las puertas.



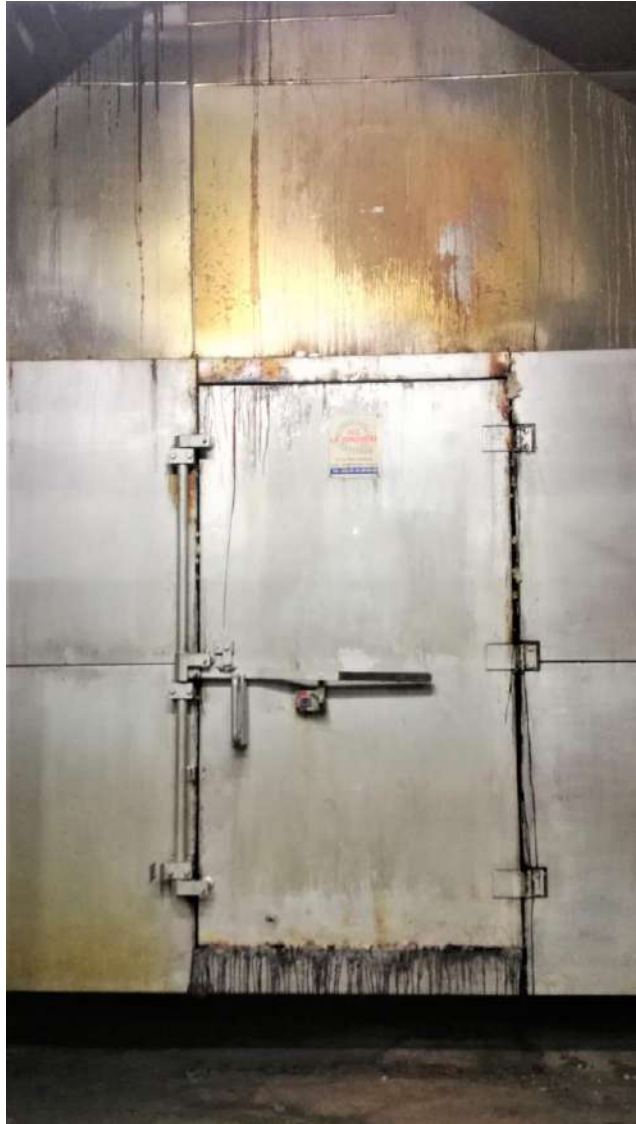
8

Puerta en buen estado.



Vista del exterior de una puerta con alto estado de deterioro.





Acumulación de fibras y encolado en la parte inferior del exterior de la puerta.



Realización de termografías para conocer la máxima temperatura alcanzada por la puerta.



Realización de termografías para conocer la máxima temperatura alcanzada por la puerta.

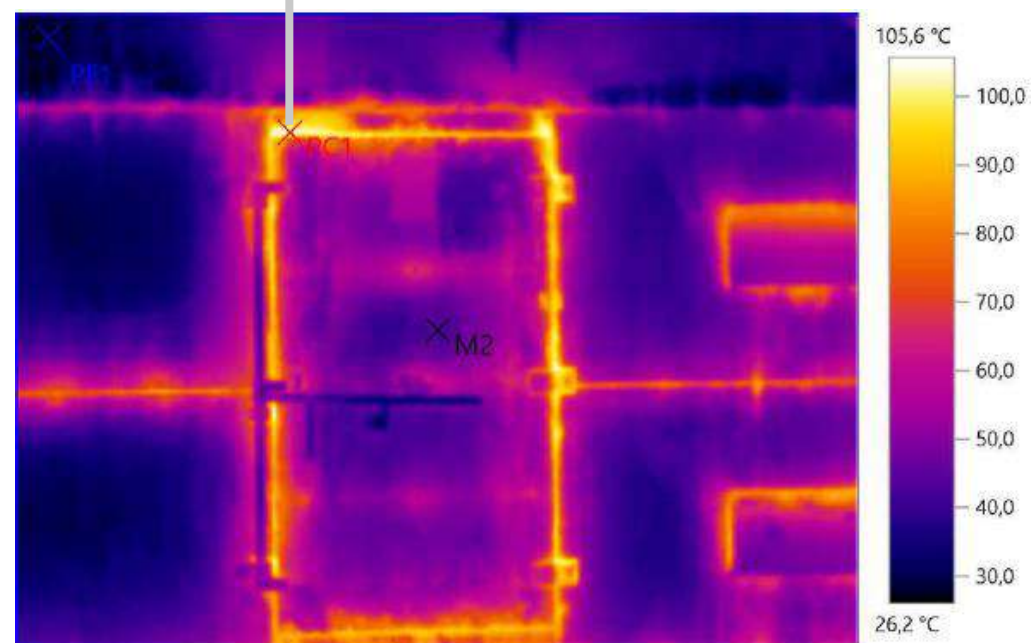
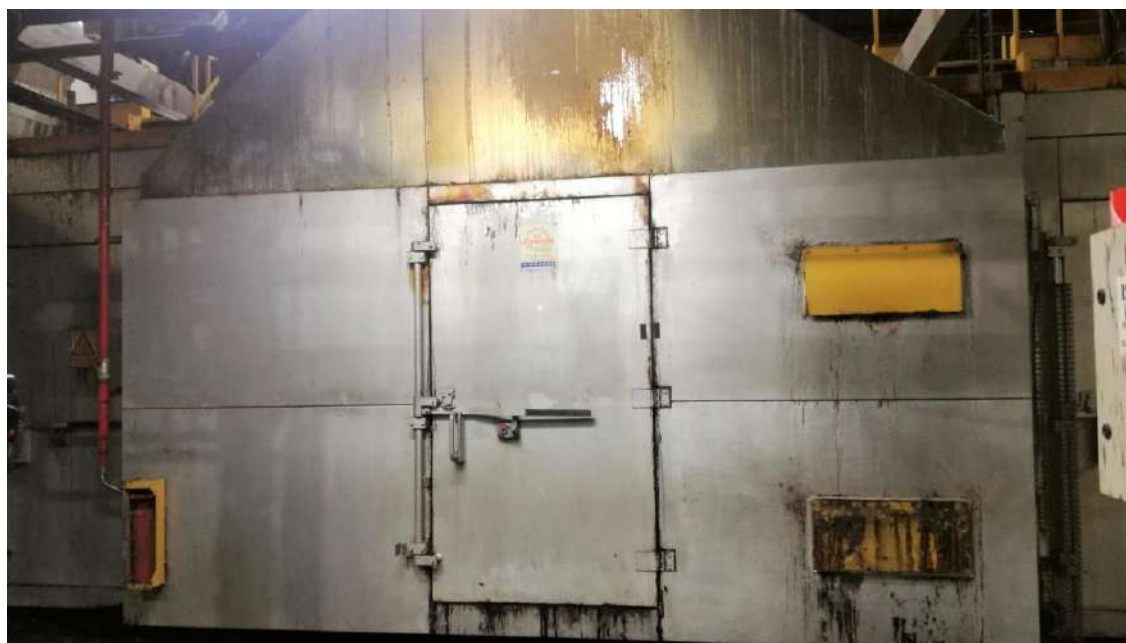




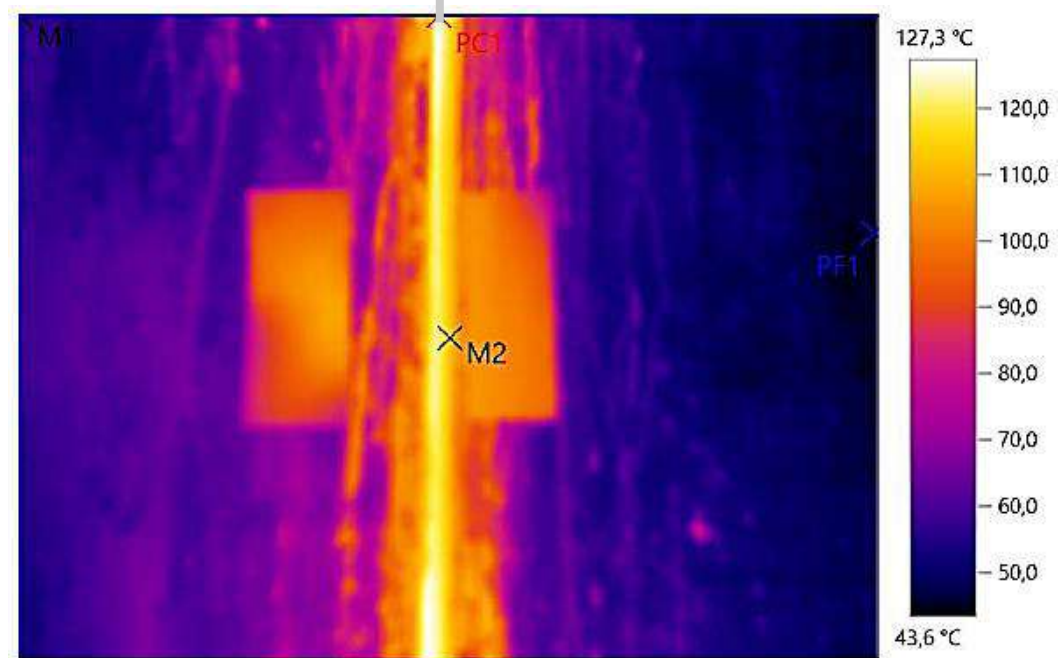
Realización de termografías para conocer la máxima temperatura alcanzada por la puerta.



Punto más caliente: 105°C



Punto más
caliente: 127°C



Vista del interior de la puerta con alto estado de deterioro.



Acumulación de encolado









Acumulaciones de encolado y sellado de las puertas deteriorado



Acumulaciones de encolado y sellado de las puertas deteriorado



Acumulaciones de encolado y sellado de las puertas deteriorado



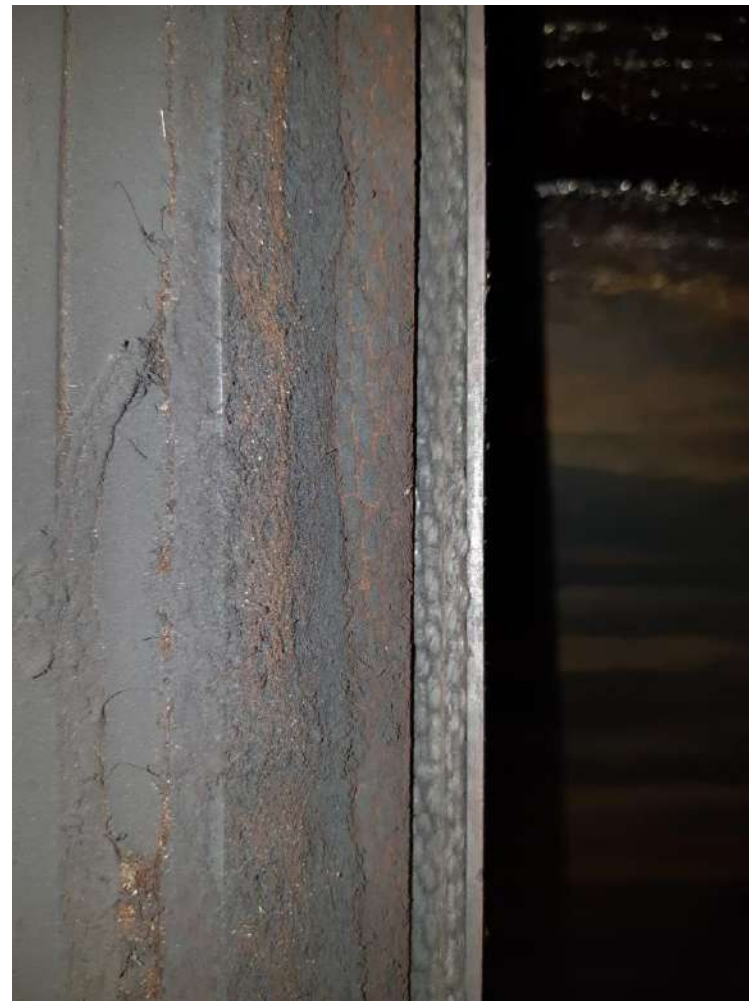
Acumulaciones de encolado



Acumulaciones de encolado y sellado de las puertas deteriorado

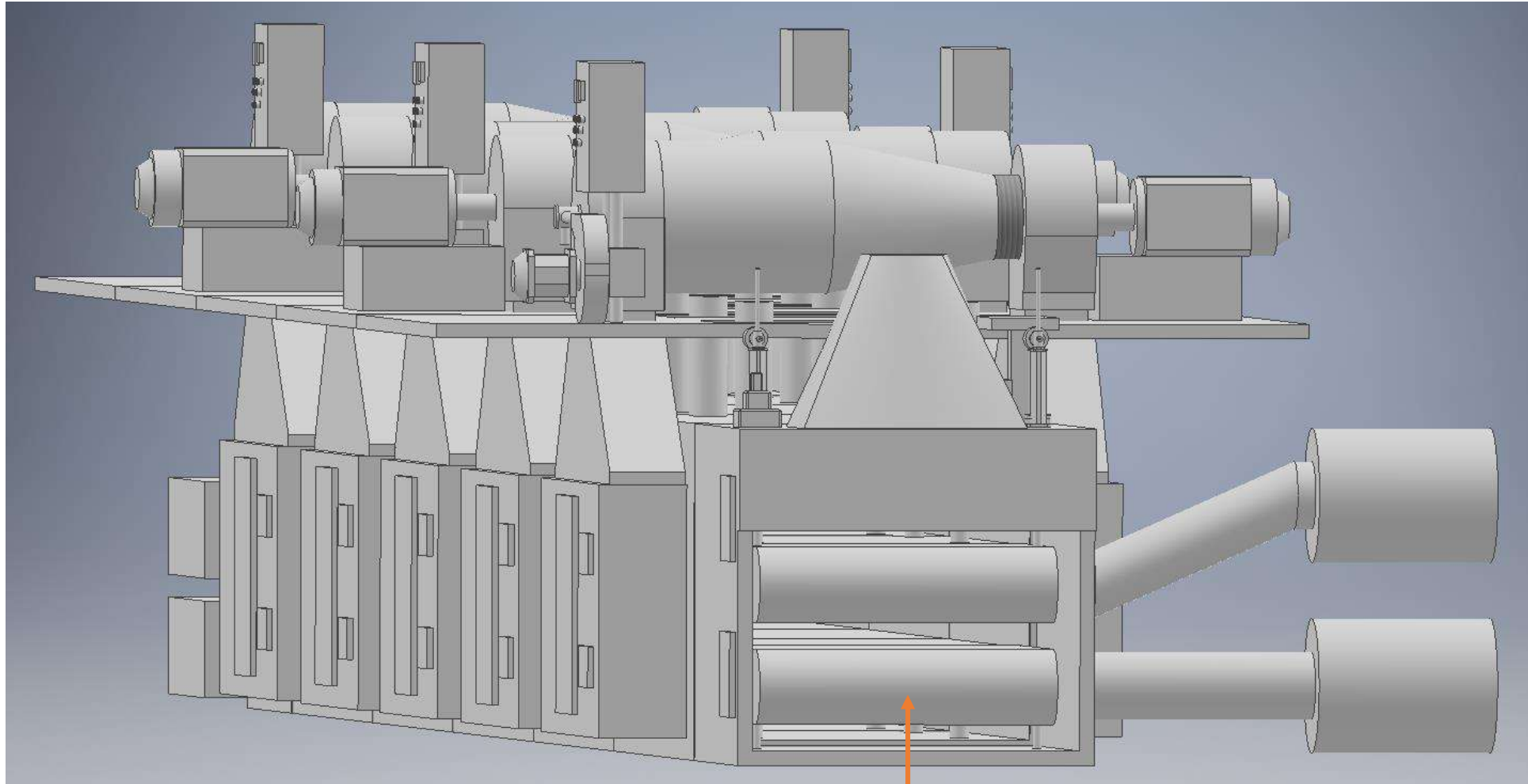


Comparación de una puerta con acumulaciones de encolado y sellado deteriorado, con otra en buen estado.



9 – Pérdidas de energía y acumulación de lana y suciedad en la zona del transportador inferior

Evidencia observacional	Pérdidas de energía y acumulación de lana y suciedad en la zona del transportador inferior.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Hay una zona del transportador inferior que está en contacto con el ambiente (sin aislar), por lo que le transfiere calor (pérdida de energía). Detección con cámara termográfica de una temperatura de hasta 227°C en esa zona del transportador. La compuerta del cepillo inferior siempre está abierta porque la suciedad acumulada en ella impide su cierre, por lo que esa parte del transportador queda a la intemperie.
Referencia (componente/máquina/proceso o no dañado)	Acceso al cepillo limpio y cerrado. Temperatura: 40 – 50°C. 0 kg de lana acumulada.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Acceso al cepillo sucio y siempre abierto. Temperatura: + 127°C. 20 kg de lana acumulada durante una campaña de 20 días.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	La acumulación de suciedad impide el cierre del acceso al cepillo.
Solución	Limpiar la lana acumulada, mantener siempre cerrada la compuerta del cepillo inferior y establecer una gama de limpieza preventiva en cada parada de producción para mantenimiento.

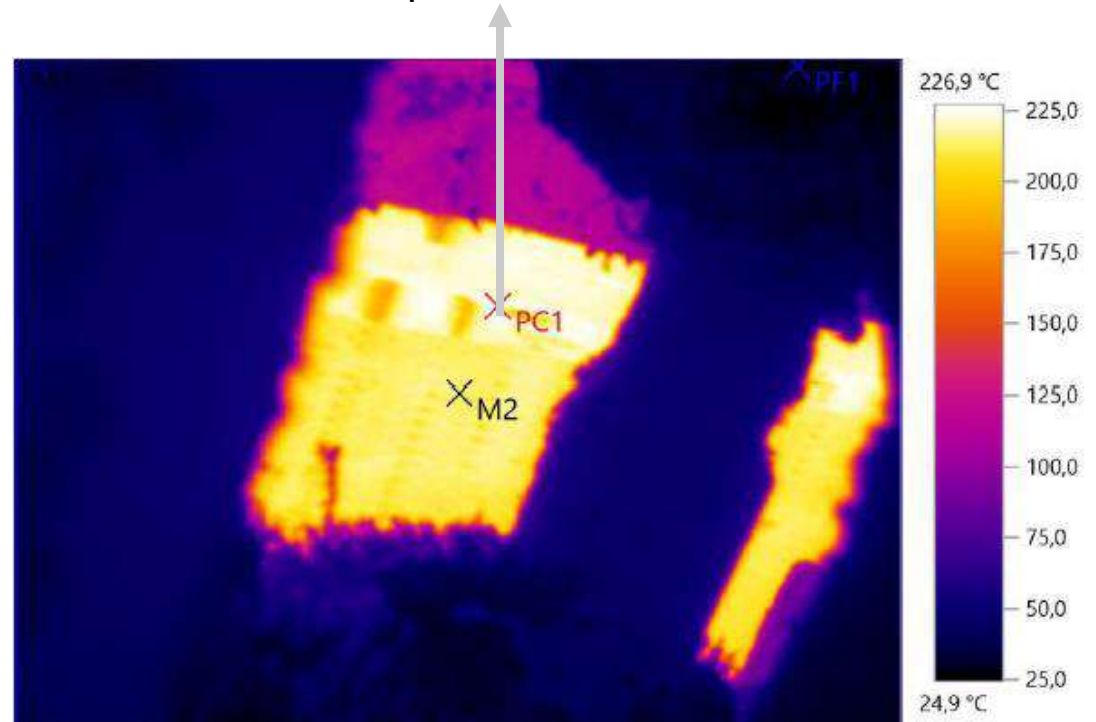


9

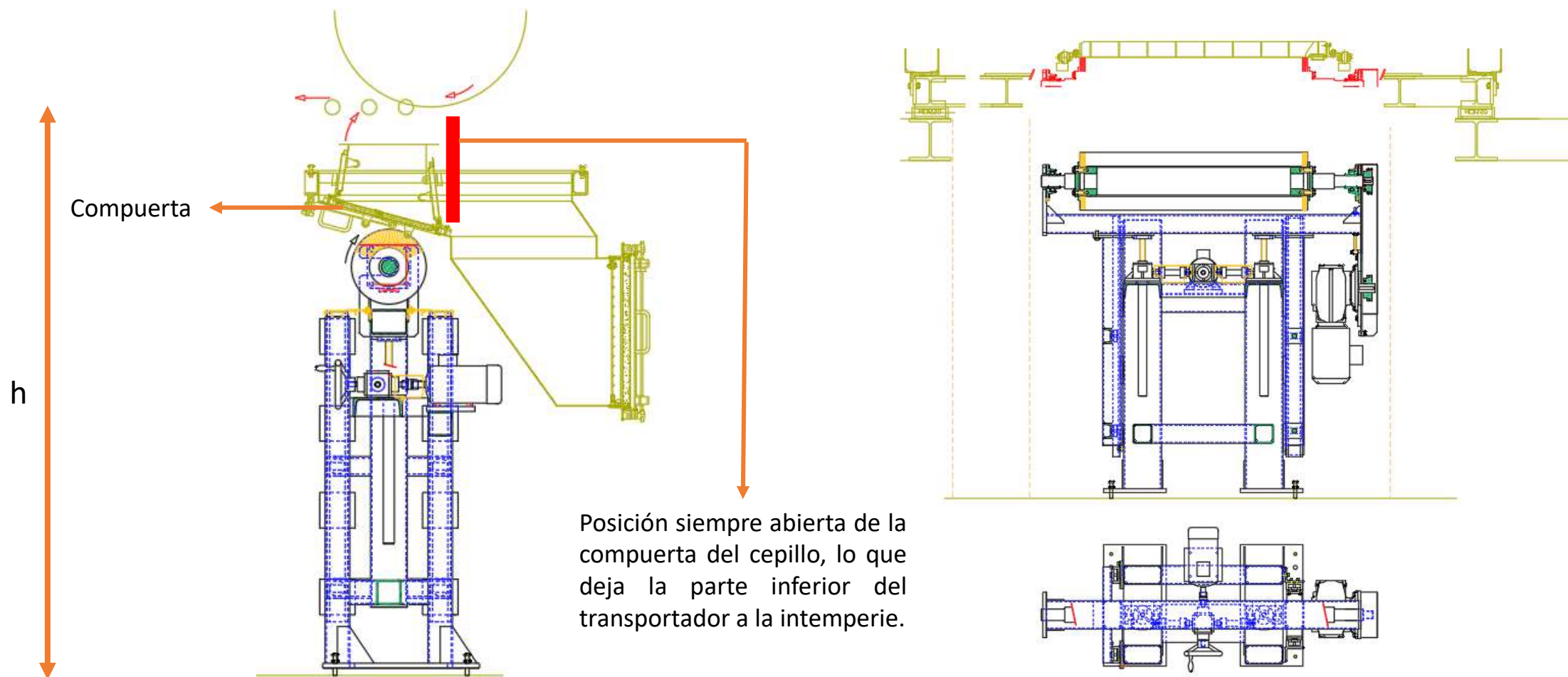
Realización de una termografía para conocer la máxima temperatura alcanzada por la parte del transportador inferior que se encuentra a la intemperie.



Punto más caliente del transportador: 227°C

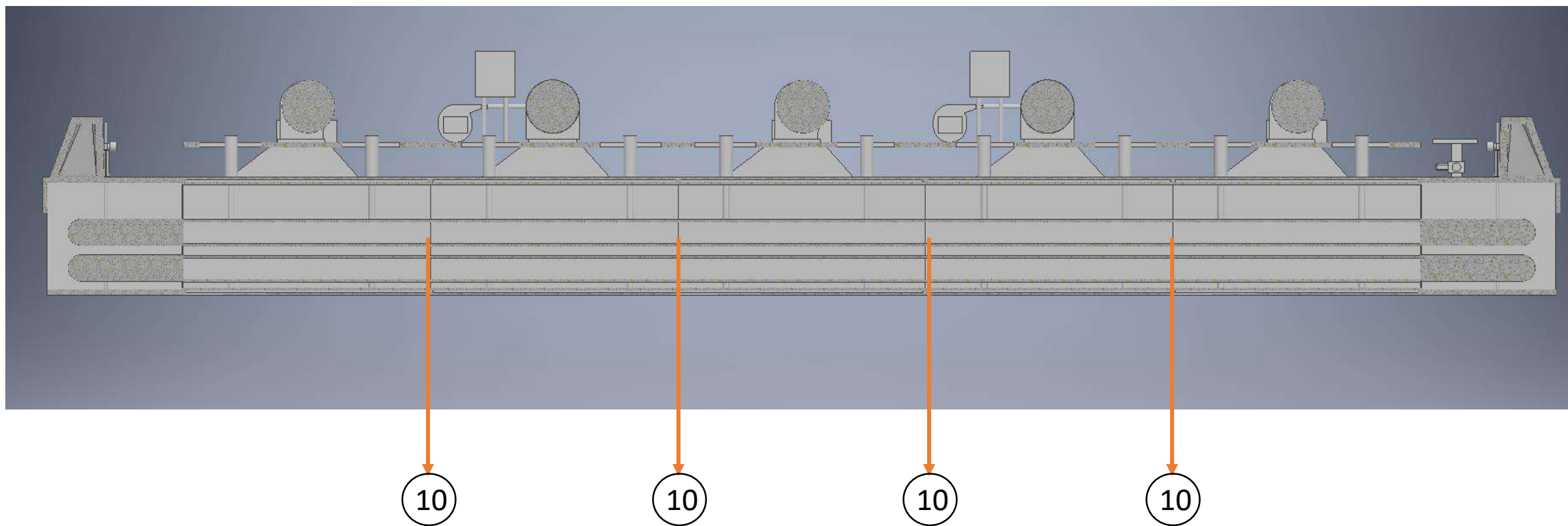


Perfil, alzado y vista superior del transportador inferior, compuerta, cepillo y sus elementos asociados. La compuerta se muestra cerrada en la vista en perfil. Sin embargo, se encuentra siempre abierta (posición marcada en rojo sobre esa vista). Ello se debe a que la acumulación de suciedad impide el cierre de la compuerta. El transportador se encuentra a una altura h lo suficientemente elevada como para que no haya peligro de que alguien lo toque.



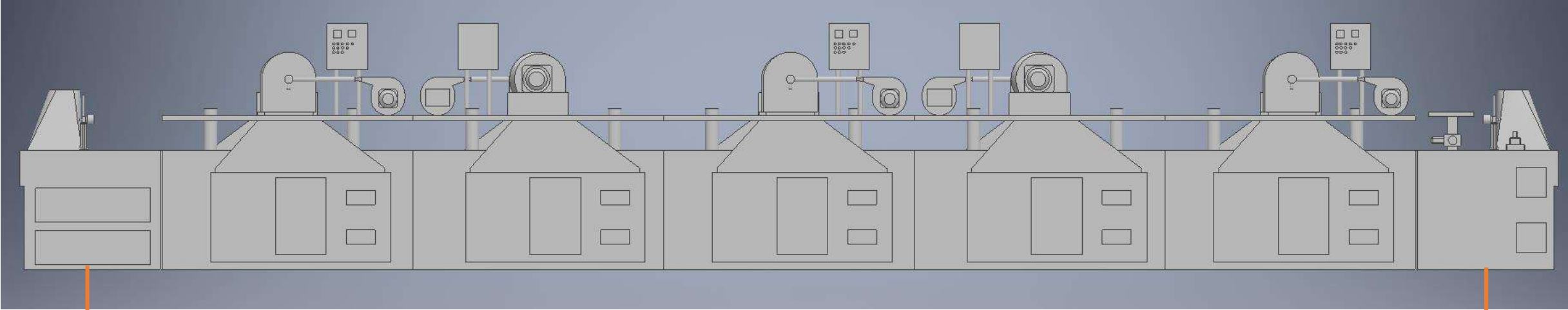
10 – Ausencia de las telas aislantes entre las zonas de calentamiento

Evidencia observacional	Ausencia de las telas aislantes entre las zonas de calentamiento.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	No hay telas aislantes entre las zonas de calentamiento, lo que puede dar lugar a turbulencias de aire dentro de los cajones al entrar en contacto flujos de aire de diferentes características. Esto supone una pérdida de eficiencia en el funcionamiento de los flujos de aire.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	Presencia de las telas aislantes entre las zonas de calentamiento. 4 telas.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Ausencia de las telas. 0 telas.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	No reposición de las telas de estanqueidad durante el mantenimiento ordinario de la estufa.
Solución	Instalar las telas y hacer un mantenimiento periódico de ellas.



11 – Suciedad y lana acumulada en las secciones de entrada y salida

Evidencia observacional	Suciedad y lana acumulada en las secciones de entrada y salida (rodillos, fosos u otras zonas del interior de la sección).
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Algunas fibras de vidrio del colchón de lana están menos adheridas a él, por lo que se enganchan y acumulan en los laterales de los rodillos de las secciones de entrada y salida, en los fosos que hay bajo el transportador inferior o en otras zonas del interior de la sección. También son absorbidas por los ventiladores de extracción.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	0 kg de suciedad y lana acumulada.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Suciedad y lana acumulada: 20 kg en 20 días.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Falta de limpieza de la suciedad y lana acumulada.
Solución	Retirada de forma periódica de la suciedad y la lana acumulada en cada parada de línea por mantenimiento.



11

11

Sección de entrada

Lana no adherida al colchón que se engancha en alguno de los elementos de la sección de entrada.



Lana acumulada en el borde del transportador inferior de la sección de entrada.

Sección de entrada

Lana acumulada en el borde del transportador inferior y en el rodillo de la sección de entrada (lado derecho de la línea).



Sección de entrada

Lana acumulada en el borde del transportador inferior y en el rodillo de la sección de entrada (lado izquierdo de la línea).



Foso de la sección de entrada

20 kg de lana acumulada en el foso de la sección de entrada durante 20 días de campaña. Es la zona que se encuentra un nivel por debajo de la sección de entrada, bajo el transportador inferior.



Interior de la sección de entrada



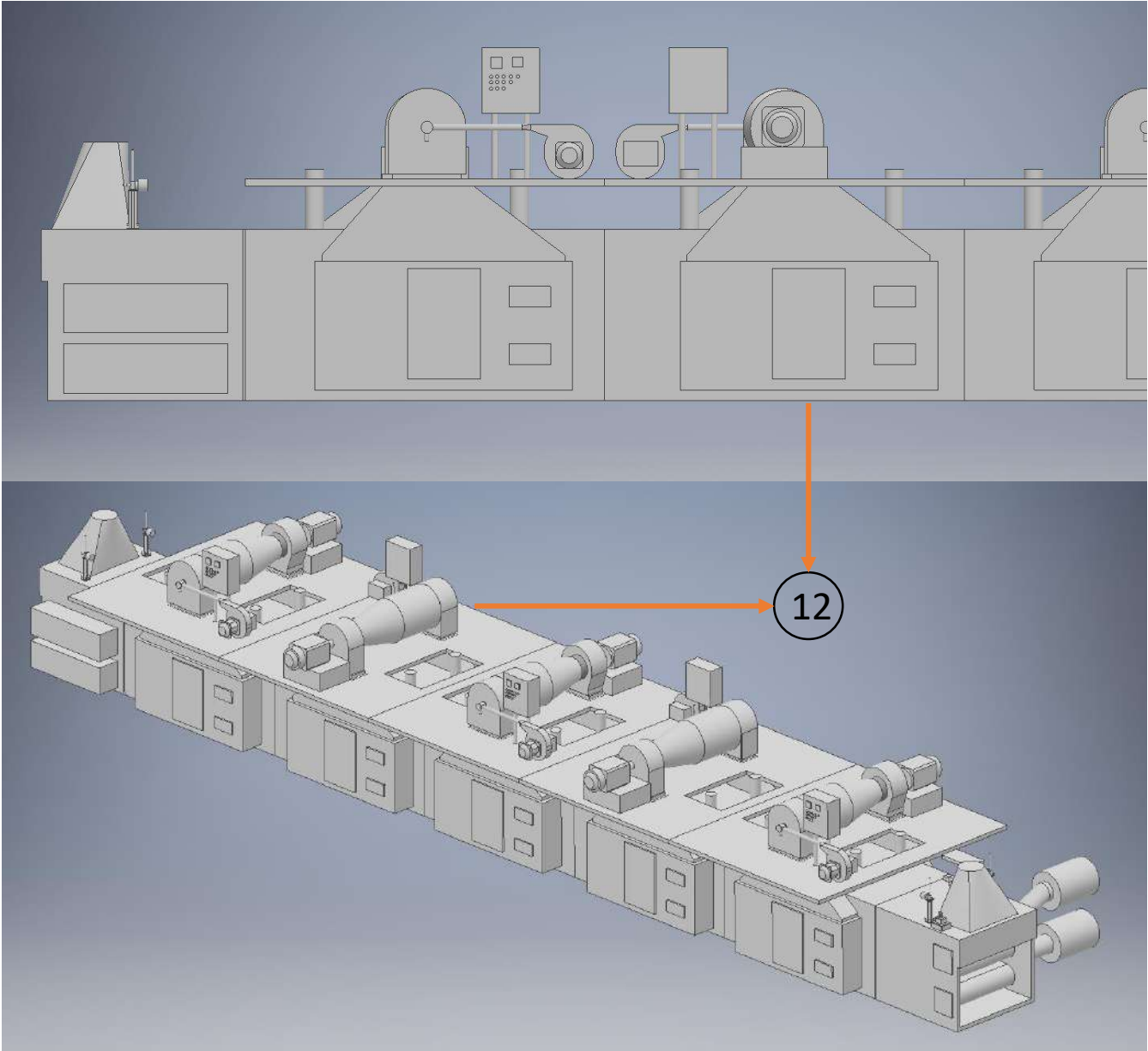
Foso de la sección de salida

20 kg de lana acumulada en el foso de la sección de salida durante 20 días de campaña. Es la zona que se encuentra un nivel por debajo de la sección de salida, bajo el transportador inferior.



12 – Lana acumulada en el interior del segundo cajón

Evidencia observacional	Lana acumulada en el interior del segundo cajón.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Algunas fibras de vidrio del colchón de lana están menos adheridas a él, por lo que se desprenden y acumulan en el interior del cajón.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	0 kg de fibras acumuladas.
Diferencias observacionales (de la investigación)	10 kg de fibras acumuladas en 20 días.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Las fibras menos adheridas se desprenden debido a la presión del aire.
Solución	Inspección y limpieza del cajón en cada parada de línea por mantenimiento.



Acumulaciones de lana en el interior del segundo cajón.



Acumulaciones de lana en el interior del segundo cajón.



Interior de otro cajón sin apenas lana acumulada.



Inspección del interior del cajón.



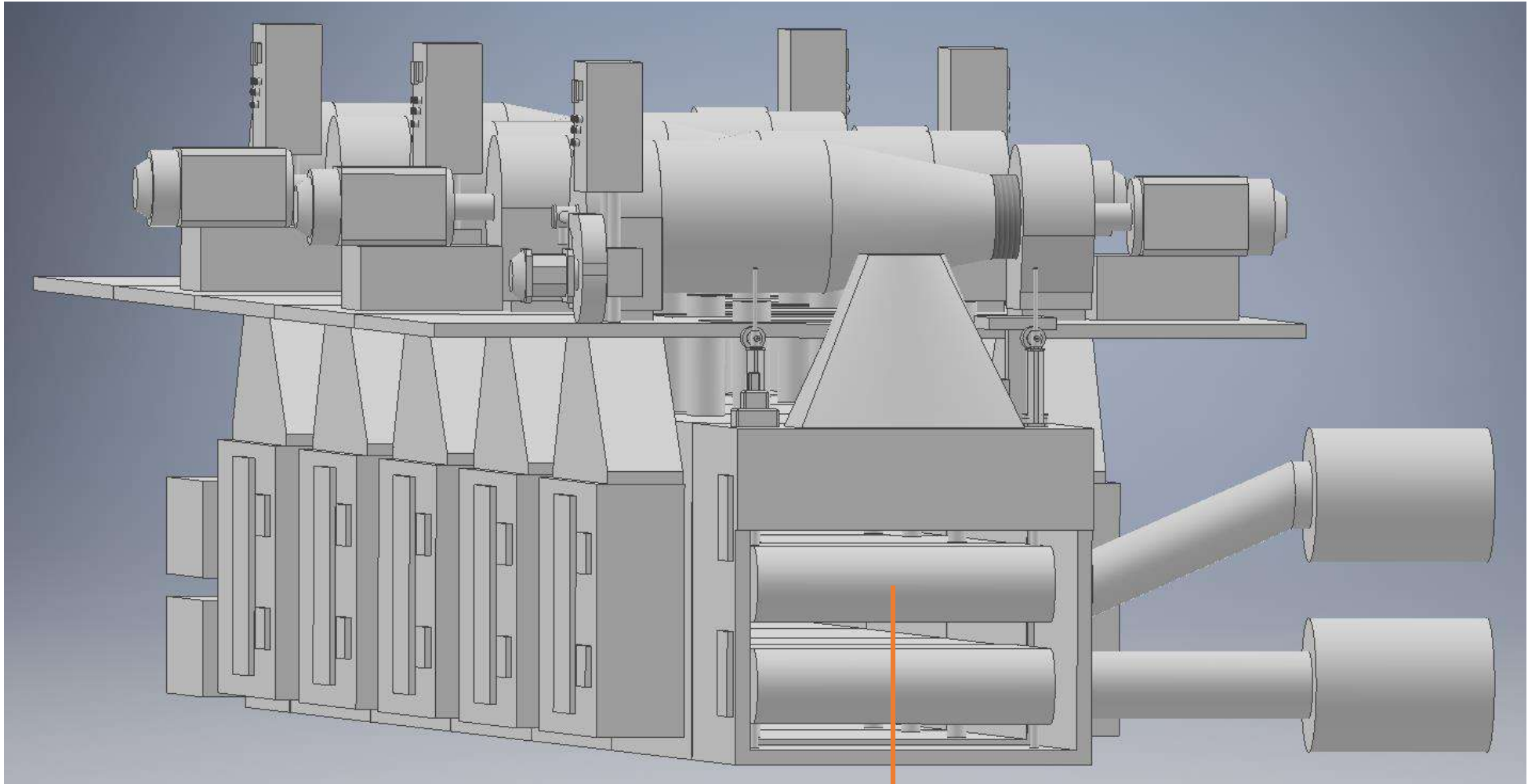
Análisis observacional: ausencia de elementos

OBSERVACIÓN

13 – Ausencia del cepillo de limpieza del transportador superior.

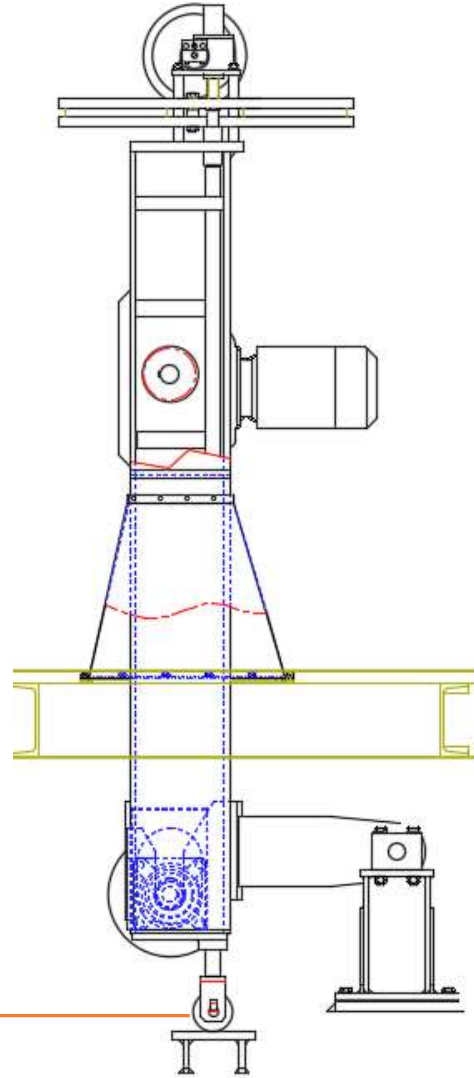
13 – Ausencia del cepillo de limpieza del transportador superior

Evidencia observacional	Ausencia del cepillo de limpieza del transportador superior.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Ausencia del cepillo de limpieza del transportador superior.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	Presencia del cepillo de limpieza. 1 cepillo.
Diferencias observacionales (de la investigación)	No hay cepillo instalado. 0 cepillos.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Falta del cepillo porque no hay repuesto disponible.
Solución	Hasta la instalación del cepillo, arrancar la estufa con los transportadores a una temperatura superior a 180°C para evitar la adherencia de fibras y encolado a ellos.



13

Cepillo de limpieza del
transportador superior

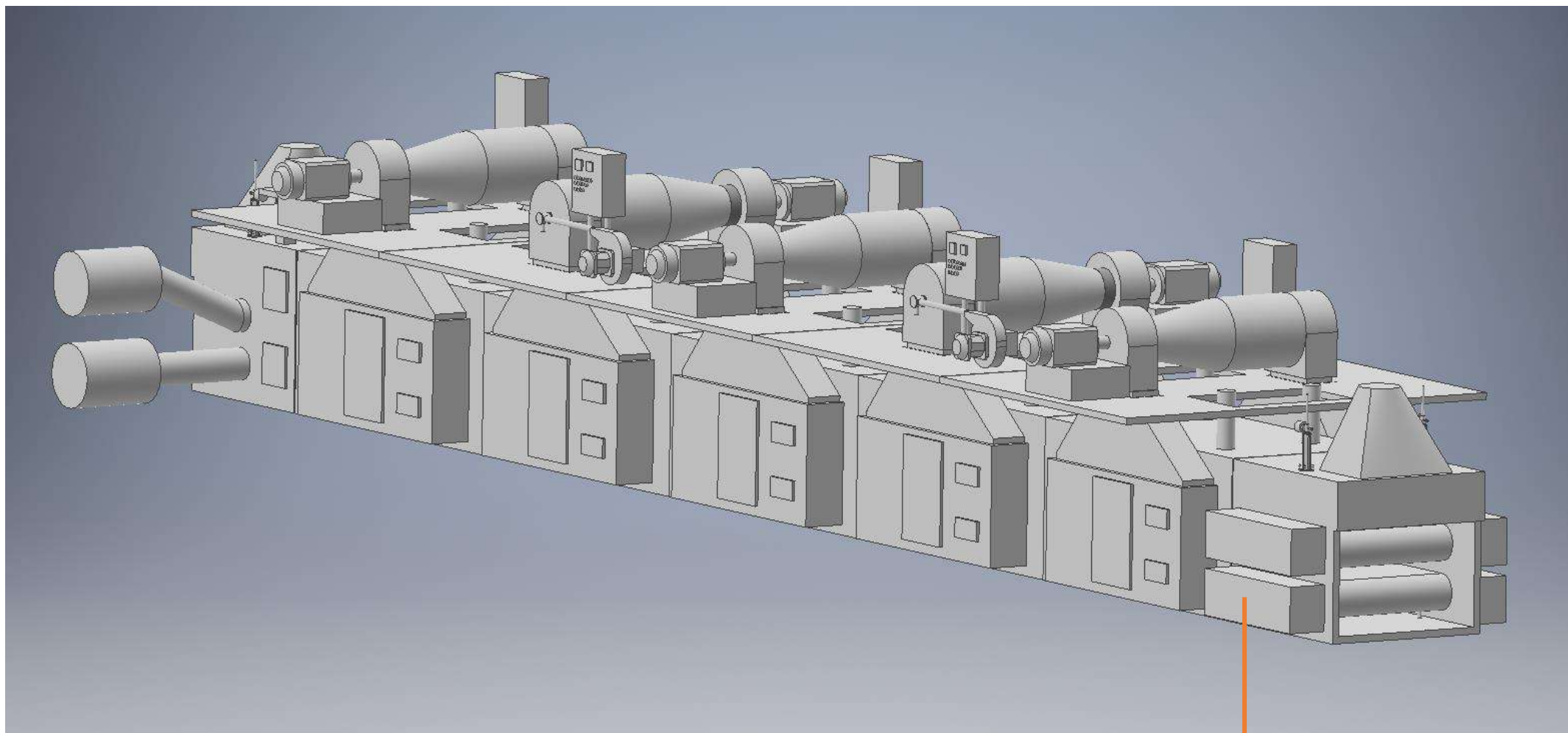


Análisis observacional: otras fugas

OBSERVACIÓN
14 – Fugas en el sistema de tensado de las cadenas del transportador superior.
15 – Fugas en la tolva de retorno del primer cajón.
16 – Fugas en el conducto del lavado de humos de la sección de entrada.

14 – Fugas en el sistema de tensado de las cadenas del transportador superior

Evidencia observacional	Fugas en el sistema de tensado de las cadenas del transportador superior.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Escape de humo a través del sistema de tensado, en las zonas de unión del sistema con la chapa de acero del cajón, por lo que se acumulan fibras, polvo de vidrio y encolado.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	100% de estanqueidad.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Falta parcial de estanqueidad.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Falta de mantenimiento o inadecuada instalación de su sellado.
Solución	Limpiar la zona, reestablecer la estanqueidad y pintar la zona para facilitar la identificación de nuevas fugas.



14

Sistema de tensado de las cadenas del transportador superior.

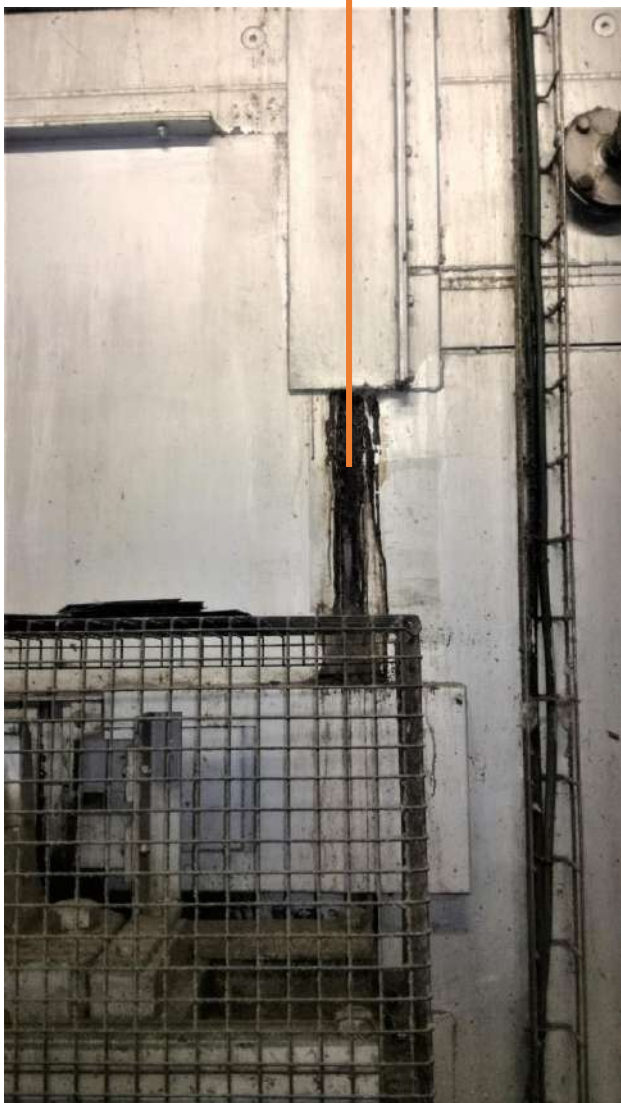


Acumulación de polvo de vidrio en sus diferentes elementos.



Acumulación de encolado.





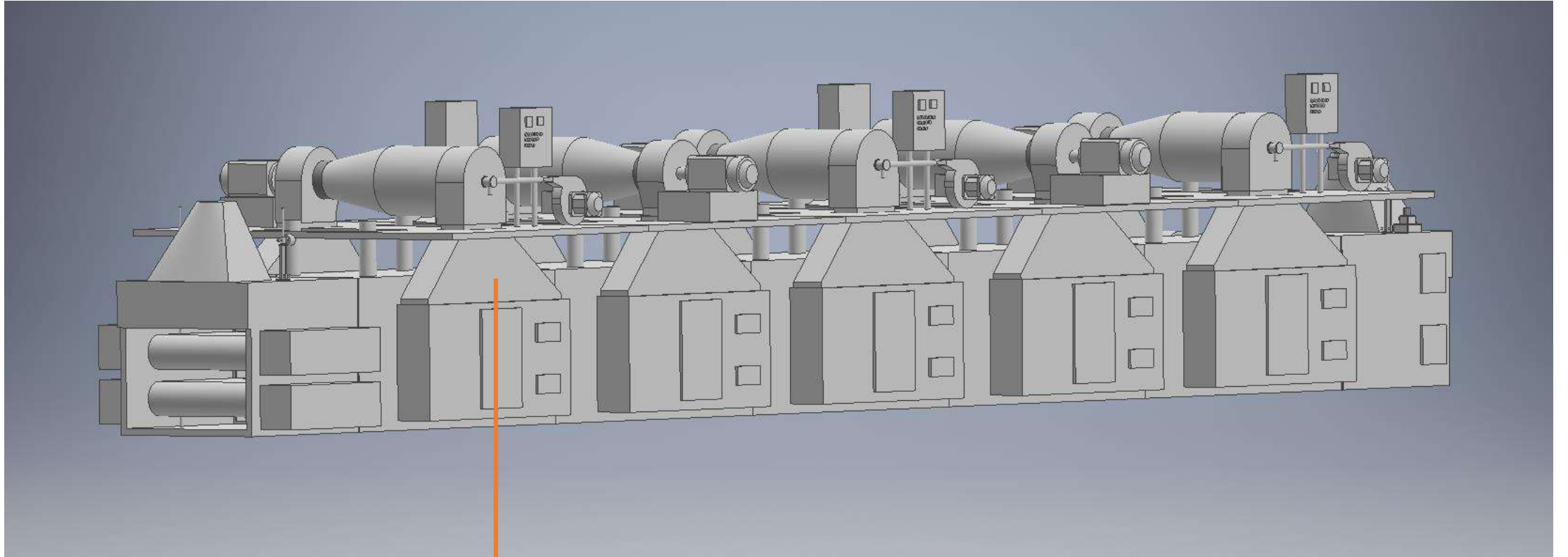
Acumulaciones de encolado.

Acumulaciones de encolado.



15 – Fugas en la tolva de retorno del primer cajón

Evidencia observacional	Fugas de encolado en la tolva de retorno del primer cajón.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Escape de encolado a través de las juntas que hay en la tolva de retorno, principalmente en las zonas de unión de la tolva con la chapa de acero del cajón o con el hogar de combustión.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	100% de estanqueidad.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Falta parcial de estanqueidad.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Falta de mantenimiento o inadecuada instalación de la estanqueidad.
Solución	Limpiar las fugas y reemplazar el sellado de las juntas.



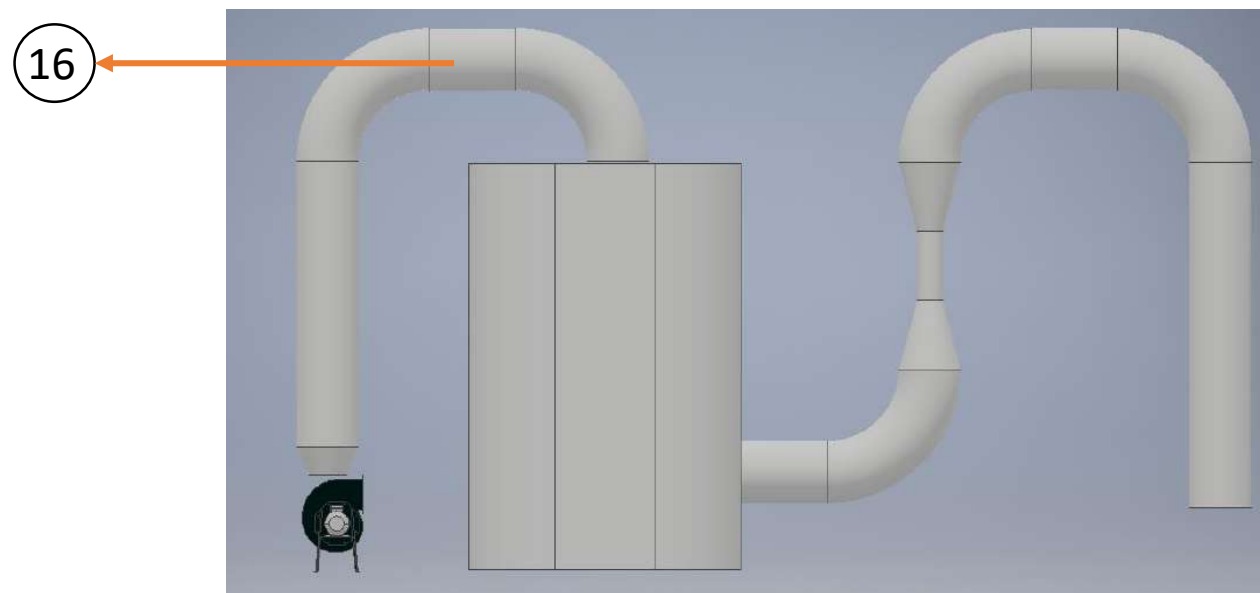
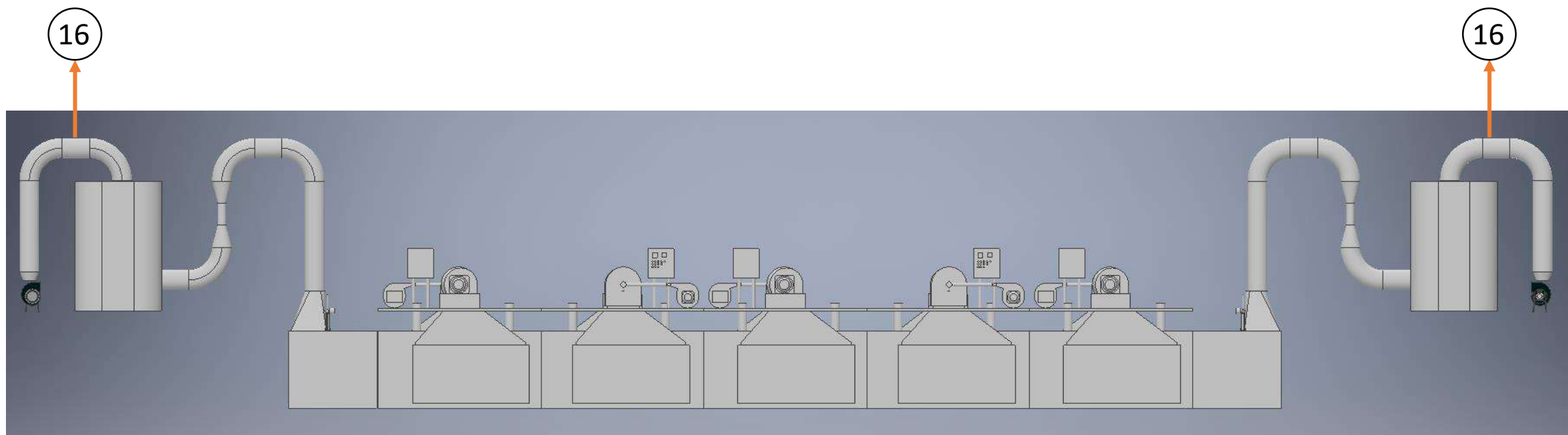
15





16 – Fugas en el conducto de lavado de humos de la sección de entrada

Evidencia observacional	Fugas en el conducto de lavado de humos de la sección de entrada.
Descripción del componente/máquina/proceso observado	Escape de agua de proceso a través de las juntas del sistema de lavado.
Referencia (componente/máquina/proceso no dañado)	100% de estanqueidad.
Diferencias observacionales (de la investigación)	Falta parcial de estanqueidad.
Descubrimientos (lo que ha llevado a la diferencia)	Falta de mantenimiento o inadecuada instalación de su sellado.
Solución	Limpiar las fugas, pintar el conducto para detectar las nuevas fugas con mayor facilidad y sellar correctamente el sistema de lavado.





Conducto del lavado de humos de la sección de entrada.



Conducto del lavado de humos de la sección de entrada.



Escape de agua de proceso a través de las juntas del sistema de lavado de humos.



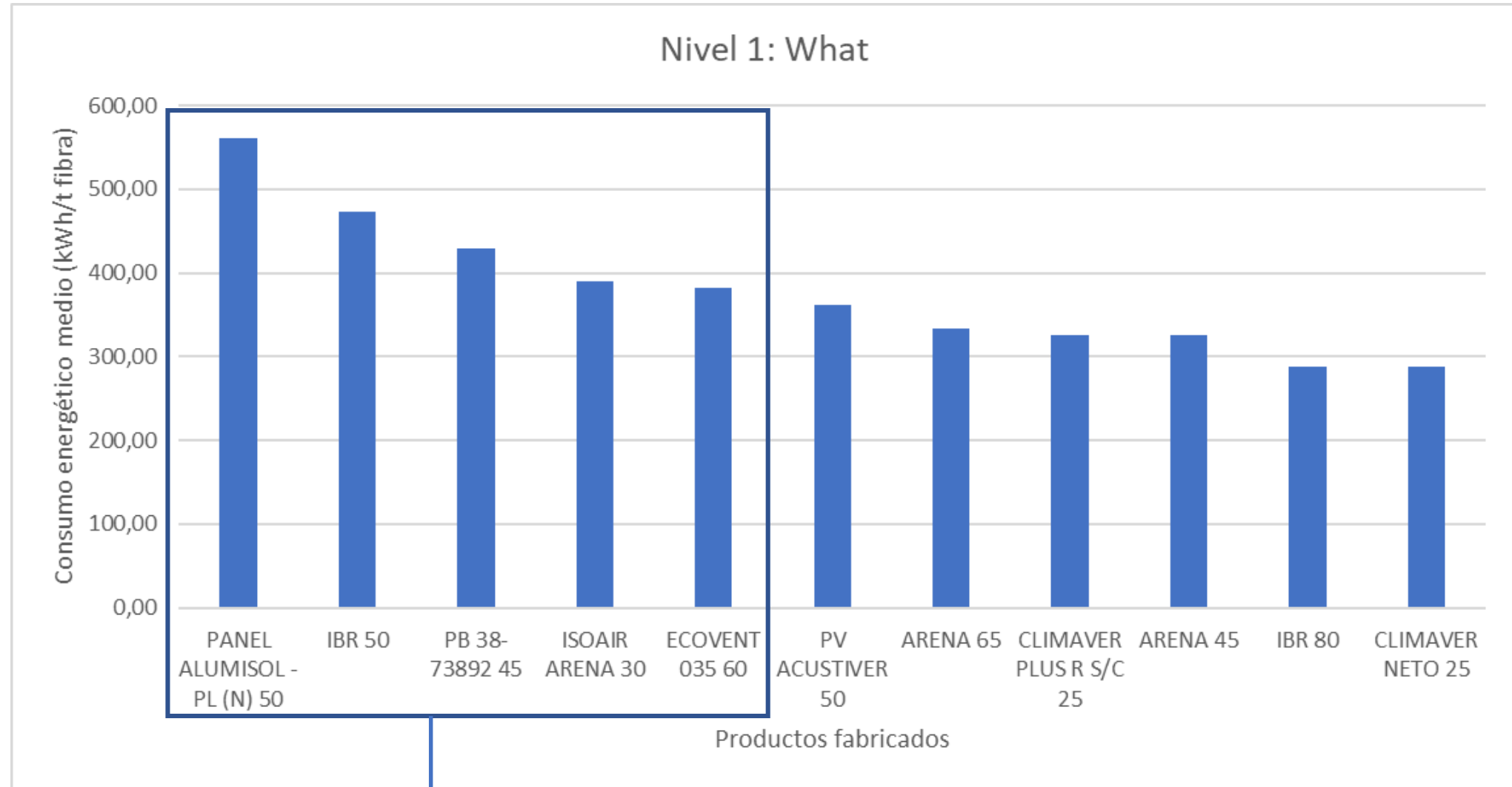
Líquido acumulado en el techo de la estufa debido al goteo de las fugas.



Líquido acumulado en el techo de la estufa debido al goteo de las fugas.

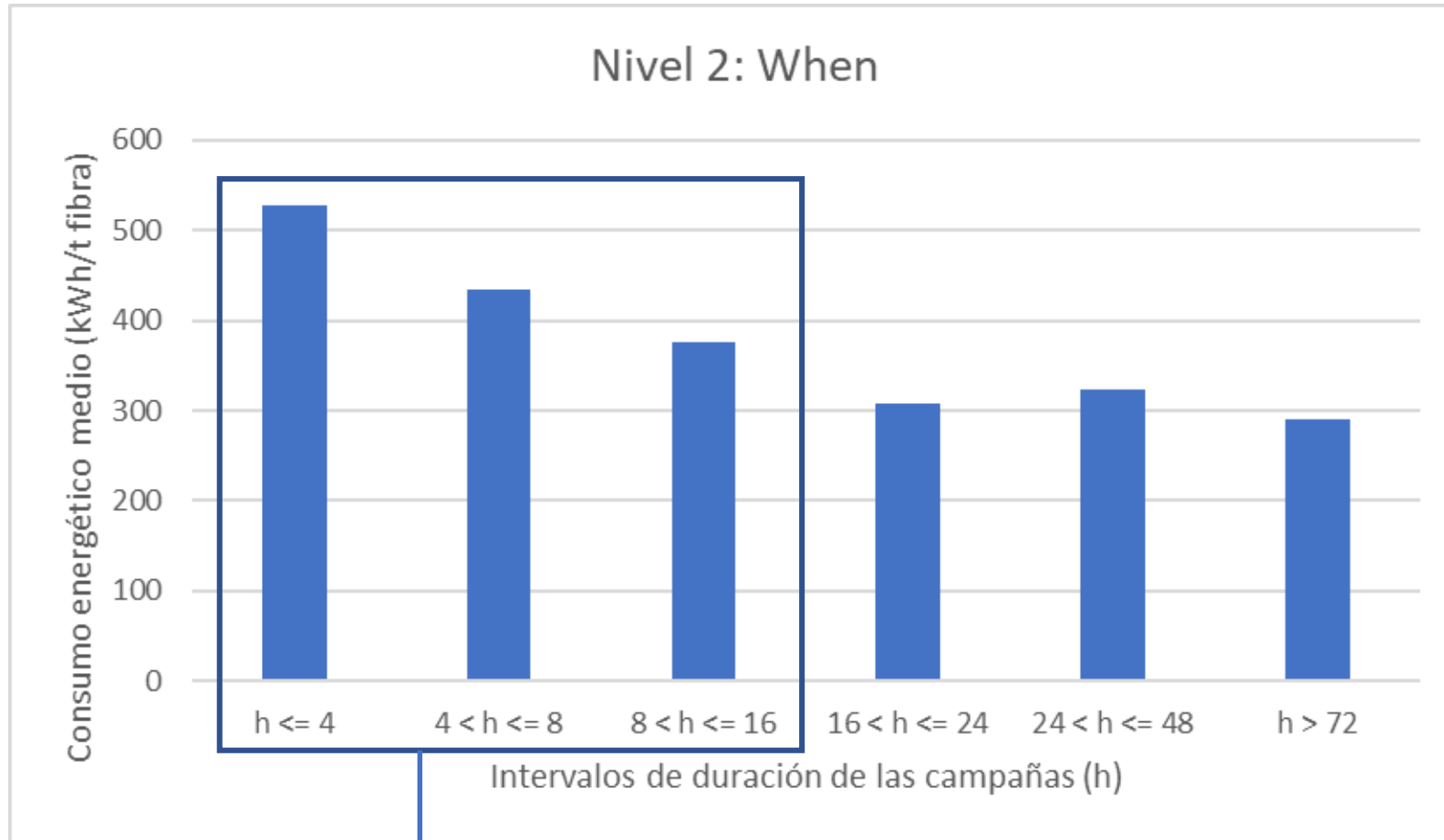


WHAT: PRODUCTOS. ENERGÍA MEDIA CONSUMIDA POR CADA PRODUCTO



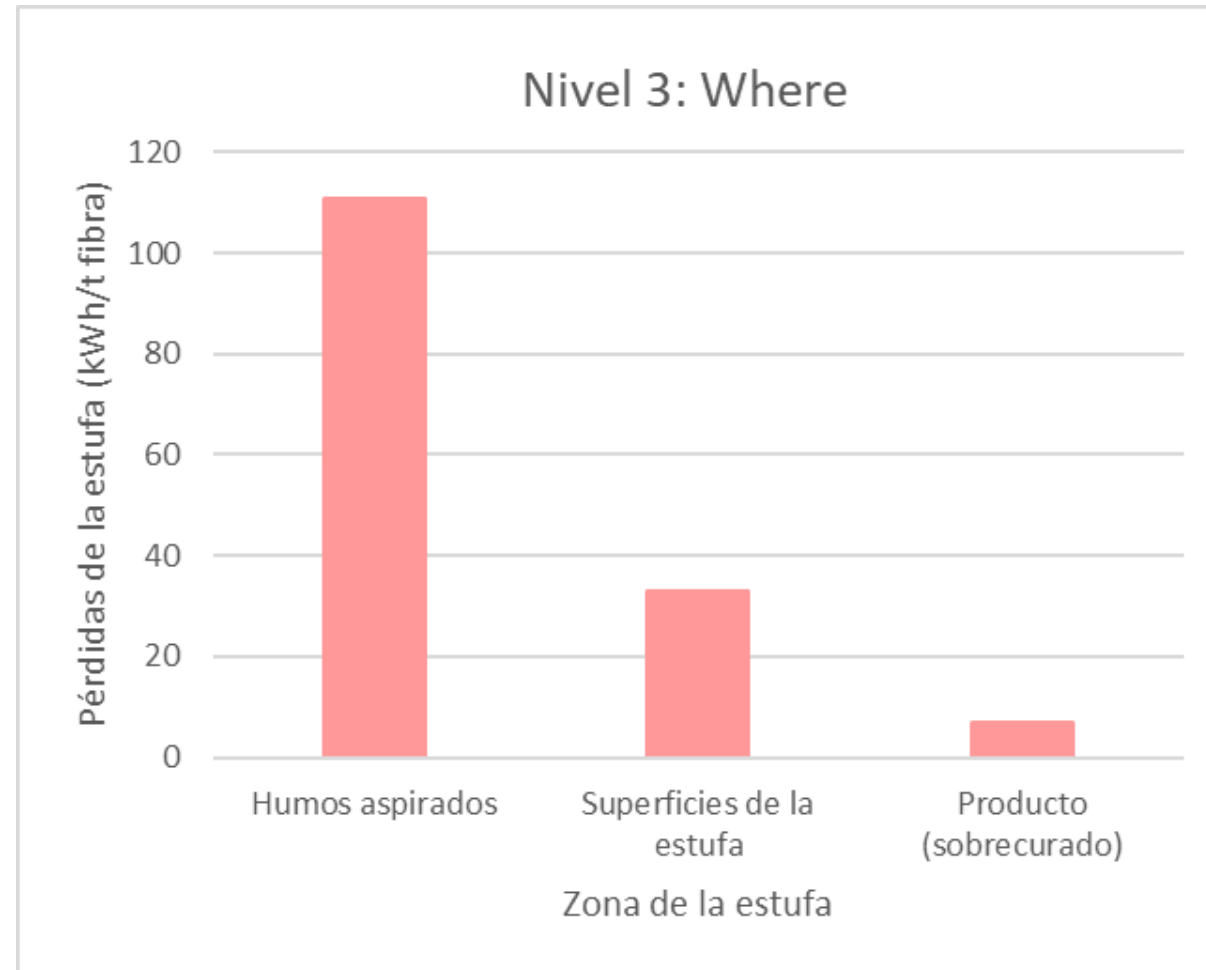
Estos productos, de 447 kWh/t fibra de consumo medio, se fabrican habitualmente en campañas cortas. En cambio, los productos restantes tienen un consumo medio de 320 kWh/t fibra y se fabrican, habitualmente, en campañas más largas.

WHEN: DURACIÓN DE LAS CAMPAÑAS. ENERGÍA MEDIA CONSUMIDA EN FUNCIÓN DE LA DURACIÓN DE LAS CAMPAÑAS



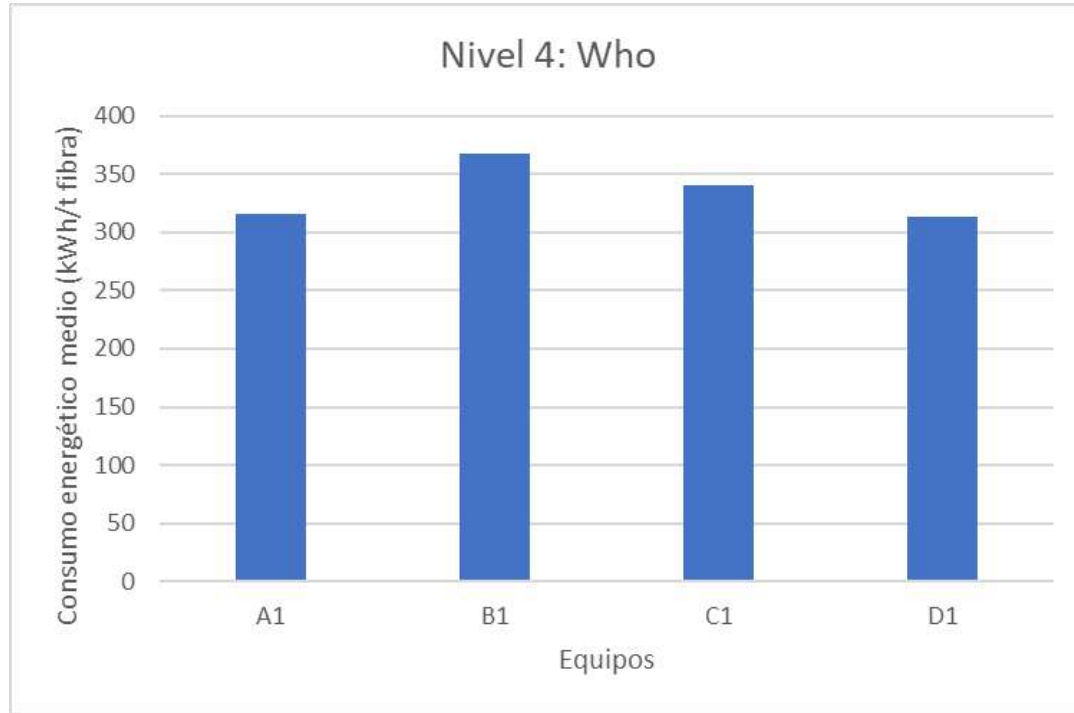
Se comprueba que, cuando las campañas tienen una duración de hasta 16 horas, el consumo medio es tanto mayor cuanto menor es la duración de estas campañas (oscila entre 375 y 527 kWh/t de fibra). En cambio, cuando las campañas duran más de 16 horas, el consumo medio es inferior y se estabiliza en torno a 300 kWh/t de fibra, independientemente de la duración de la campaña.

WHERE: ZONAS DE LA ESTUFA. PÉRDIDAS DE ENERGÍA DE LA ESTUFA EN FUNCIÓN DE LA ZONA

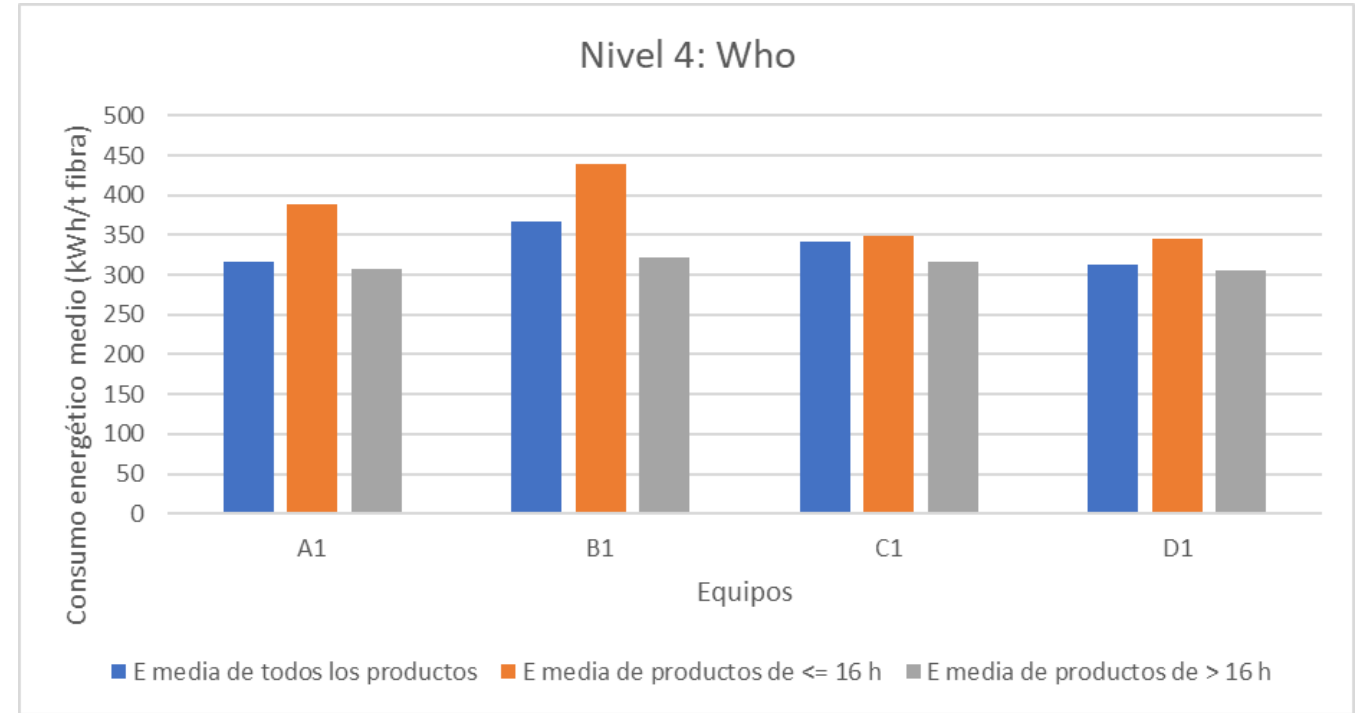


De toda la energía consumida por cada producto, esta gráfica muestra la energía perdida o no aprovechada por el producto y las causas de estas pérdidas. La causa de mayor impacto son los humos aspirados.

WHO: EQUIPOS. ENERGÍA MEDIA CONSUMIDA EN FUNCIÓN DEL EQUIPO



El consumo medio en función de cada equipo es muy similar, aunque el equipo B1 es el que más consume, aparentemente.



Se desglosan los consumos de cada equipo en dos grupos: los productos con duración de campaña ≤ 16 horas y los productos con duración de campaña > 16 horas. De los primeros se ve que hay variaciones de los consumos en función del equipo. Por tanto, estos productos son sensibles al nivel de competencia de cada equipo en el reglaje de la estufa. En cambio, los productos de larga duración tienen un consumo inferior y prácticamente igual para todos los equipos, por lo que el nivel de competencia de los equipos queda ensombrecido por la estabilidad que alcanza la estufa durante las campañas largas.

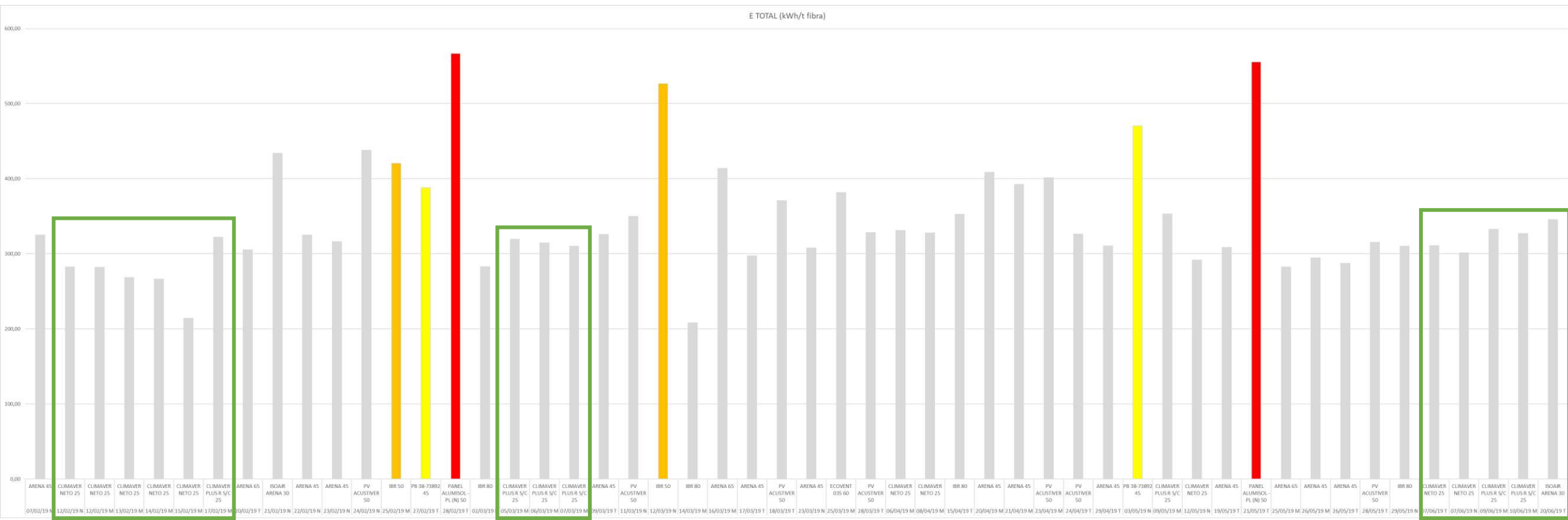
WHICH: ENERGÍA CONSUMIDA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO. DURACIÓN DE LAS CAMPAÑAS

Panel Alumisol: campañas cortas

IBR 50: campañas cortas

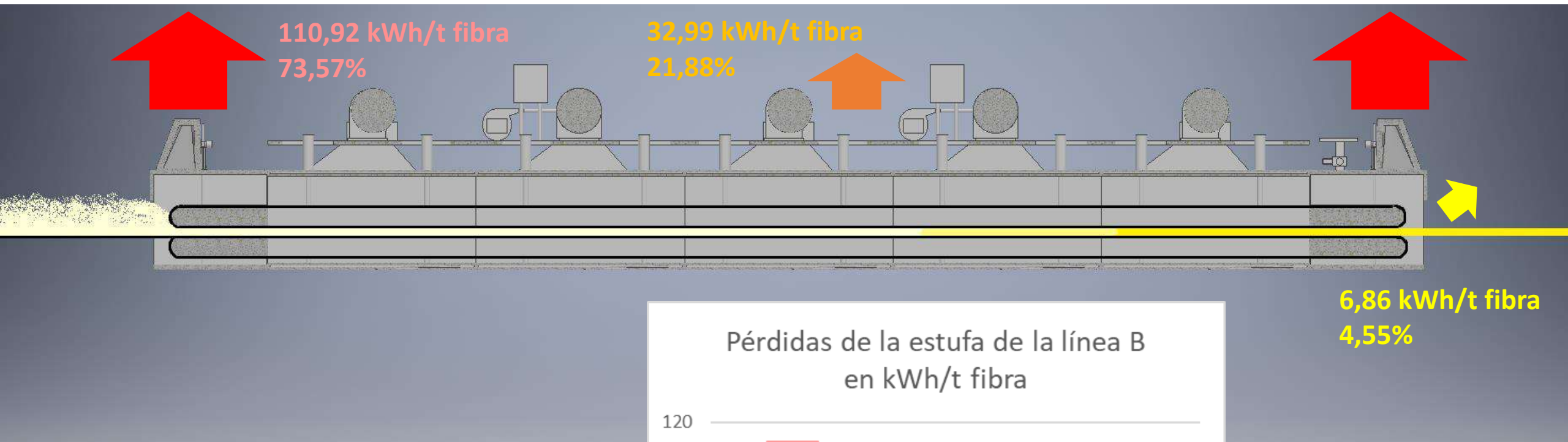
PB 38: campañas cortas

Climaver: campañas largas

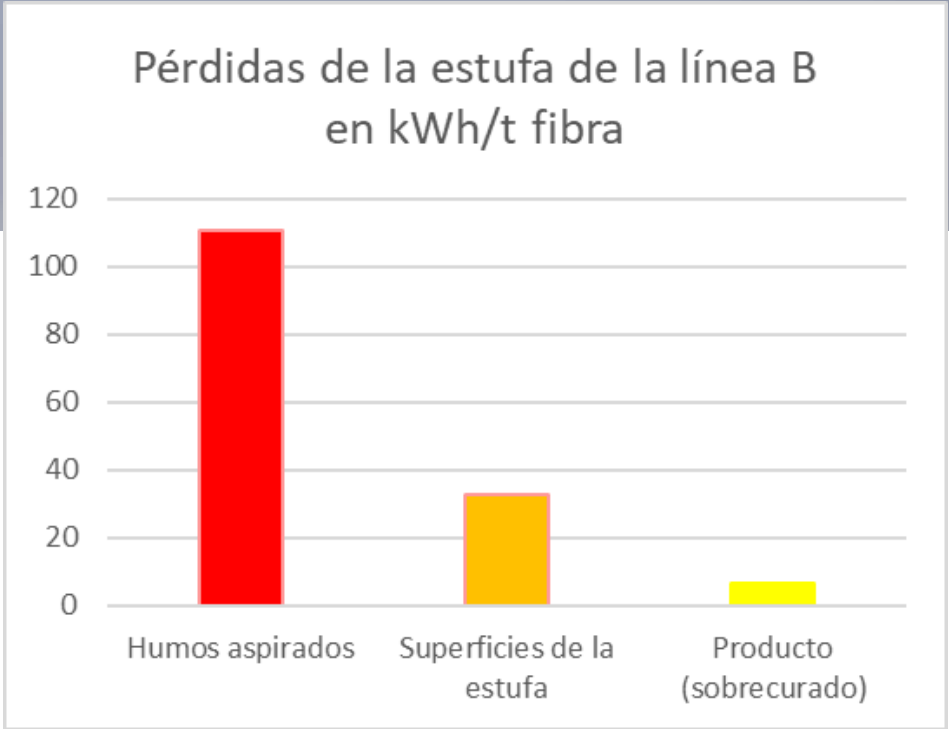


Los productos que se fabrican en campañas cortas tienen un consumo superior a la media (Panel Alumisol: 560 kWh/t fibra). En cambio, los productos que se fabrican en campañas largas tienen un consumo inferior (Climaver: 300 kWh/t fibra). Por lo tanto, sería conveniente, como parámetro de programación, hacer menos campañas de mayor duración para cada producto, en la medida de lo posible.

Problema de la estufa: pérdidas de energía. 3 causas de pérdidas:



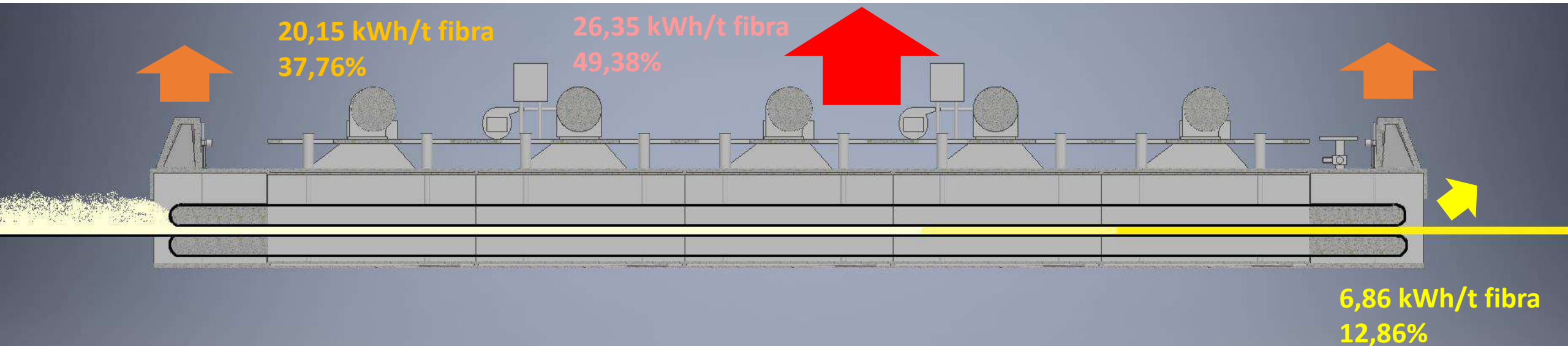
- 3 causas de pérdidas
- Humos aspirados
 - Superficies de la estufa
 - Producto (sobrecurado)



% sobre las pérdidas totales

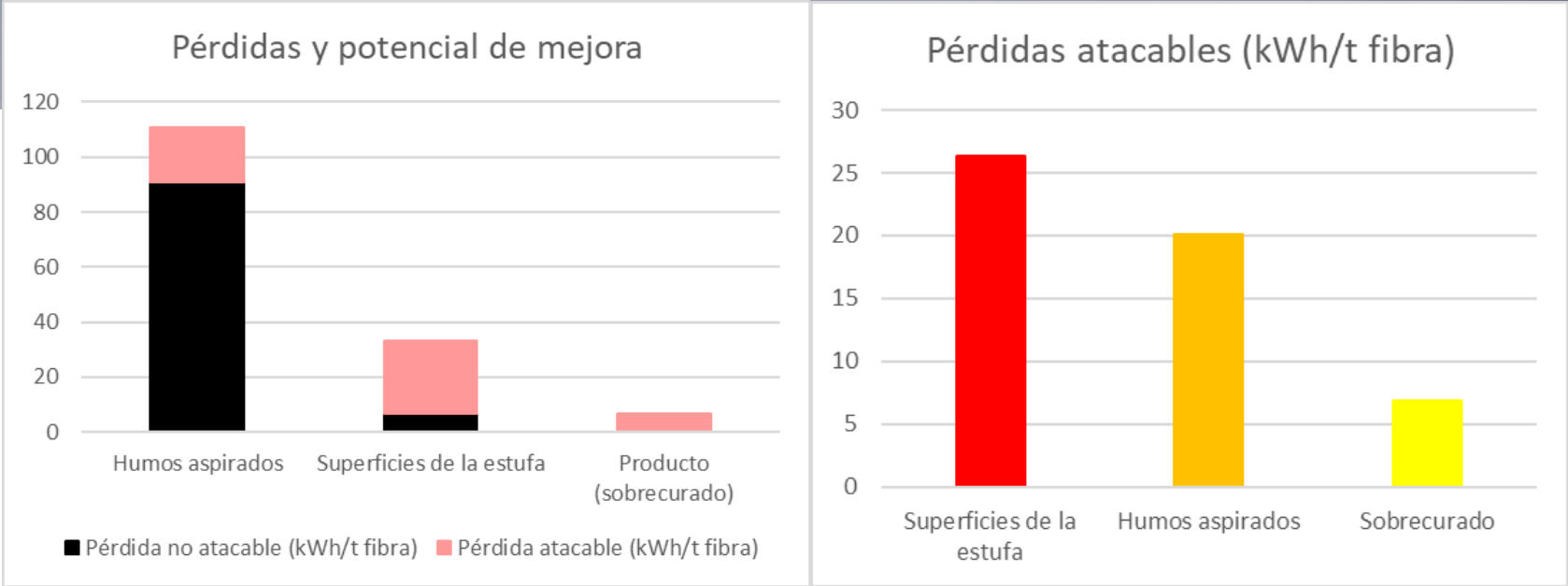
Problema de la estufa: se producen 3 pérdidas de energía:

% sobre las pérdidas mejorables



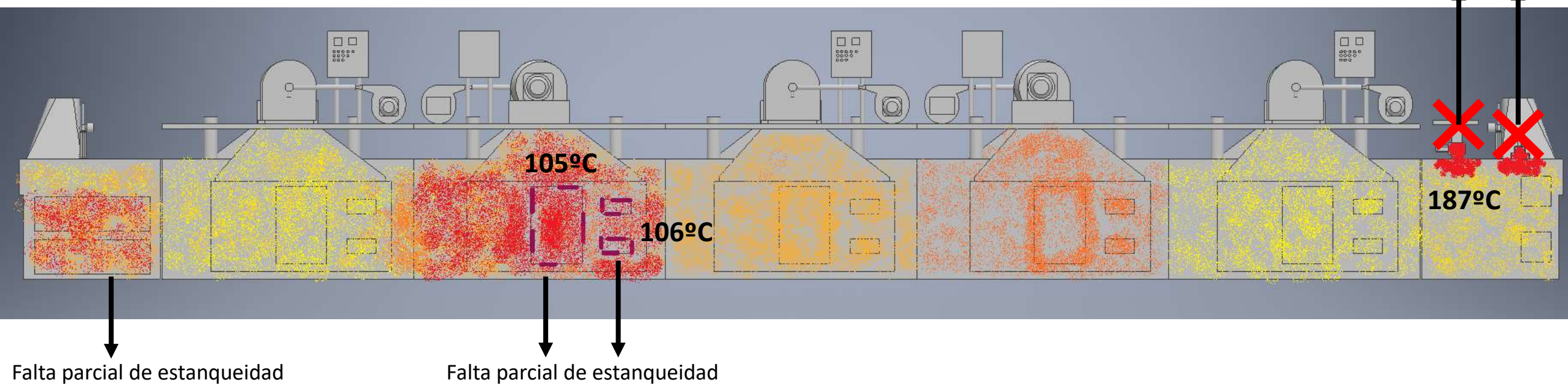
3 pérdidas de energía

- Superficies de la estufa
- Humos aspirados
- Producto (sobrecurado)

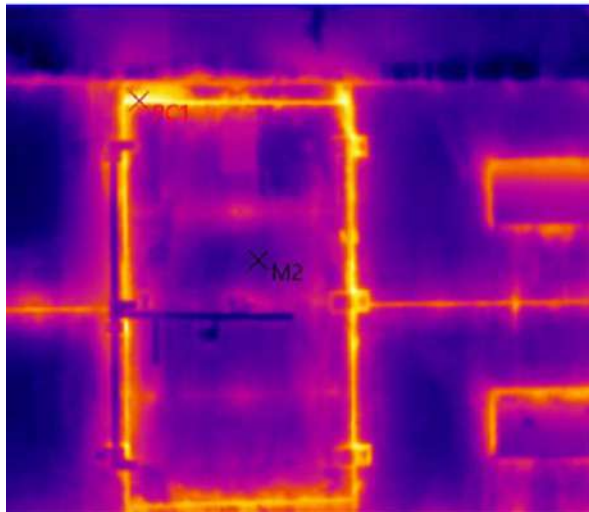


Pérdida 1: superficies de la estufa.

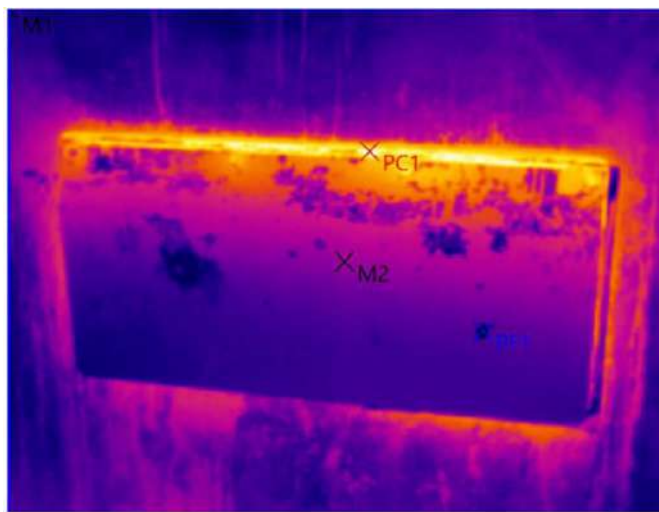
Causa: falta de condiciones básicas: faltas de estanqueidad totales o parciales.



105°C



106°C

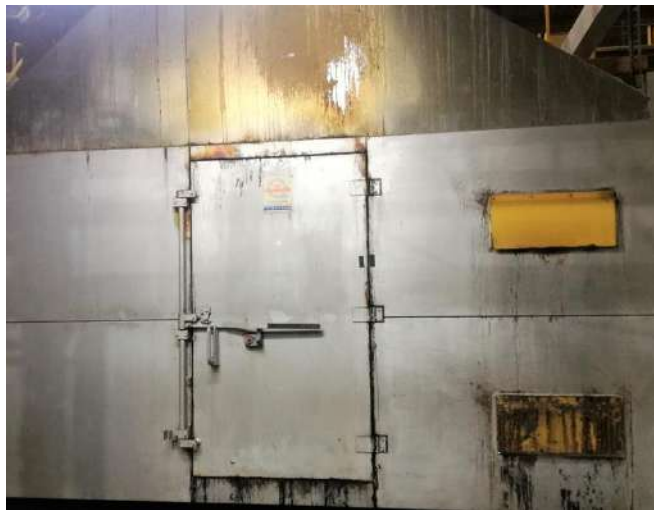
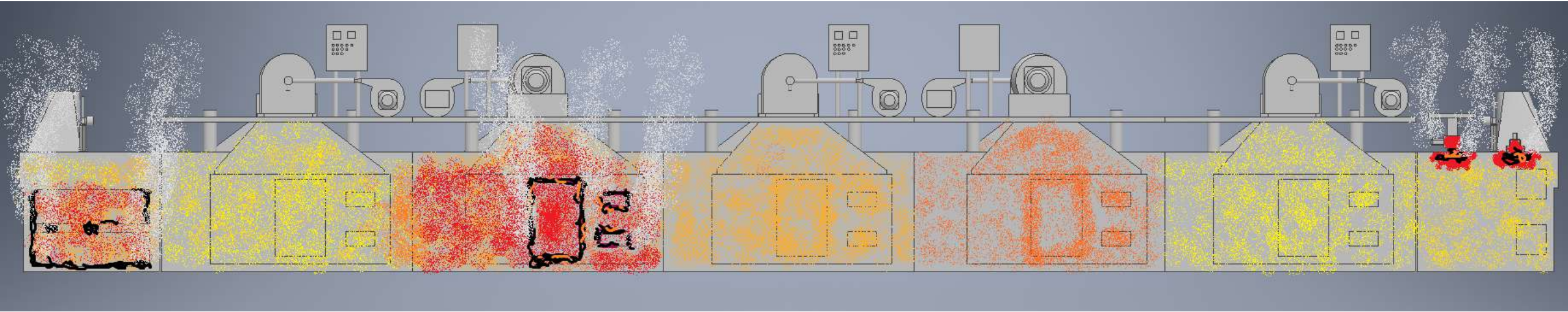


187°C



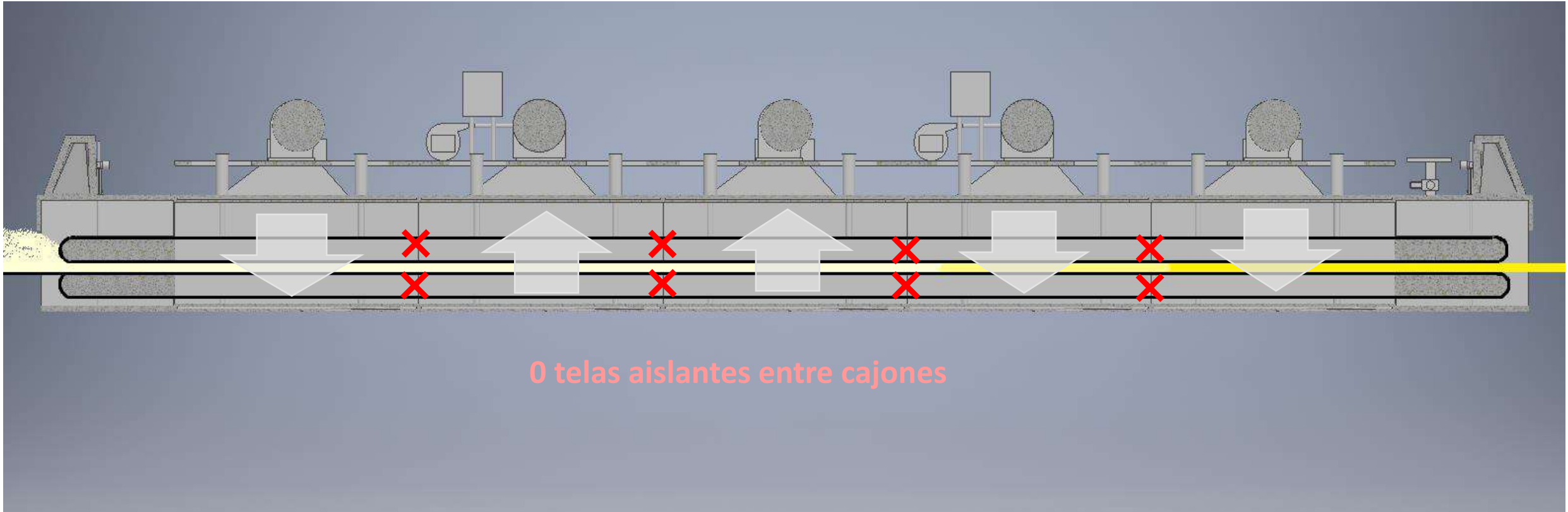
Pérdida 1: superficies de la estufa.

Consecuencia: fugas y pérdidas de energía a través de las superficies de la estufa.



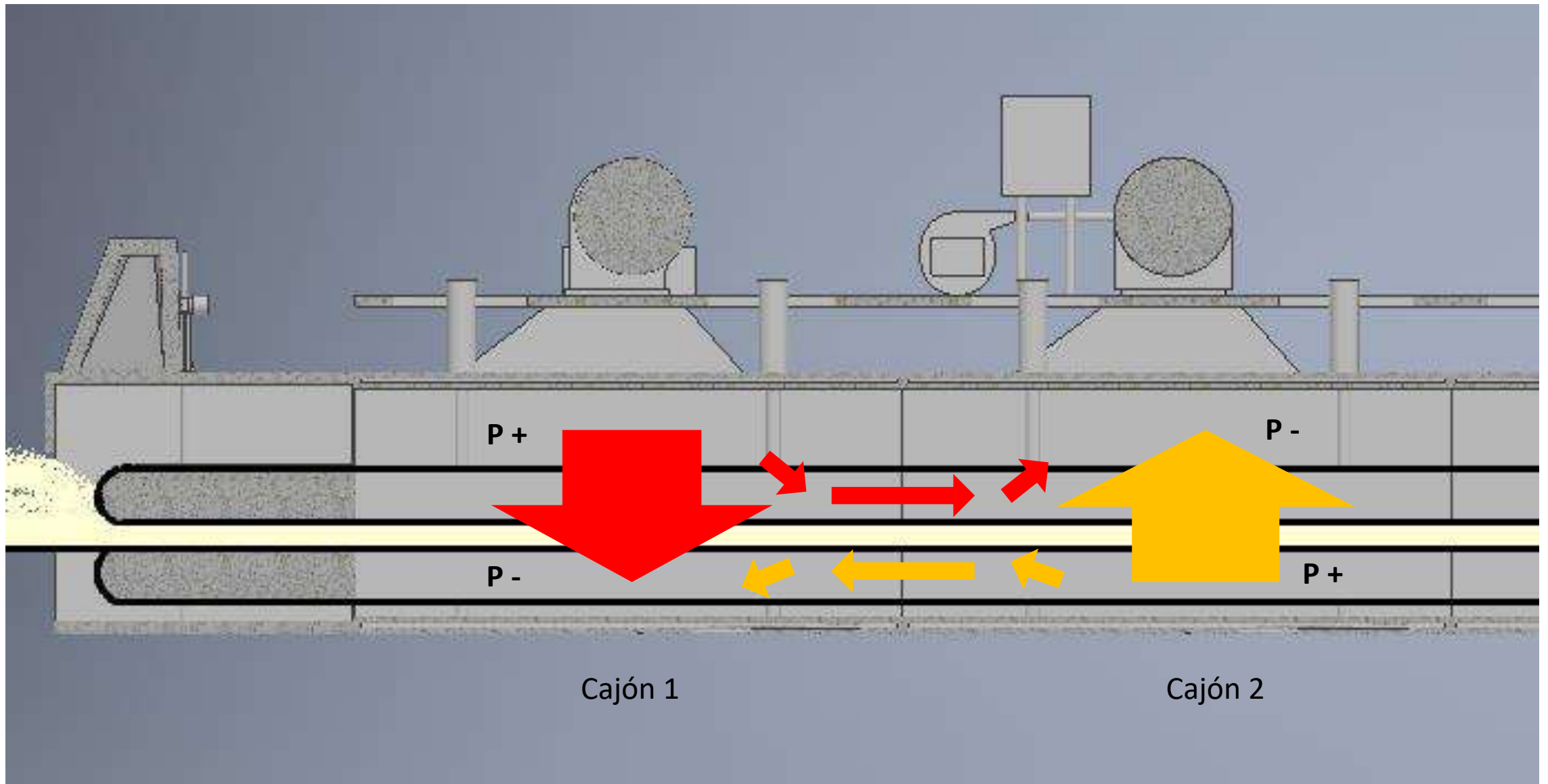
Pérdida 1: superficies de la estufa.

Causa: falta de condiciones básicas: ausencia de telas aislantes entre cajones.



Pérdida 1: superficies de la estufa.

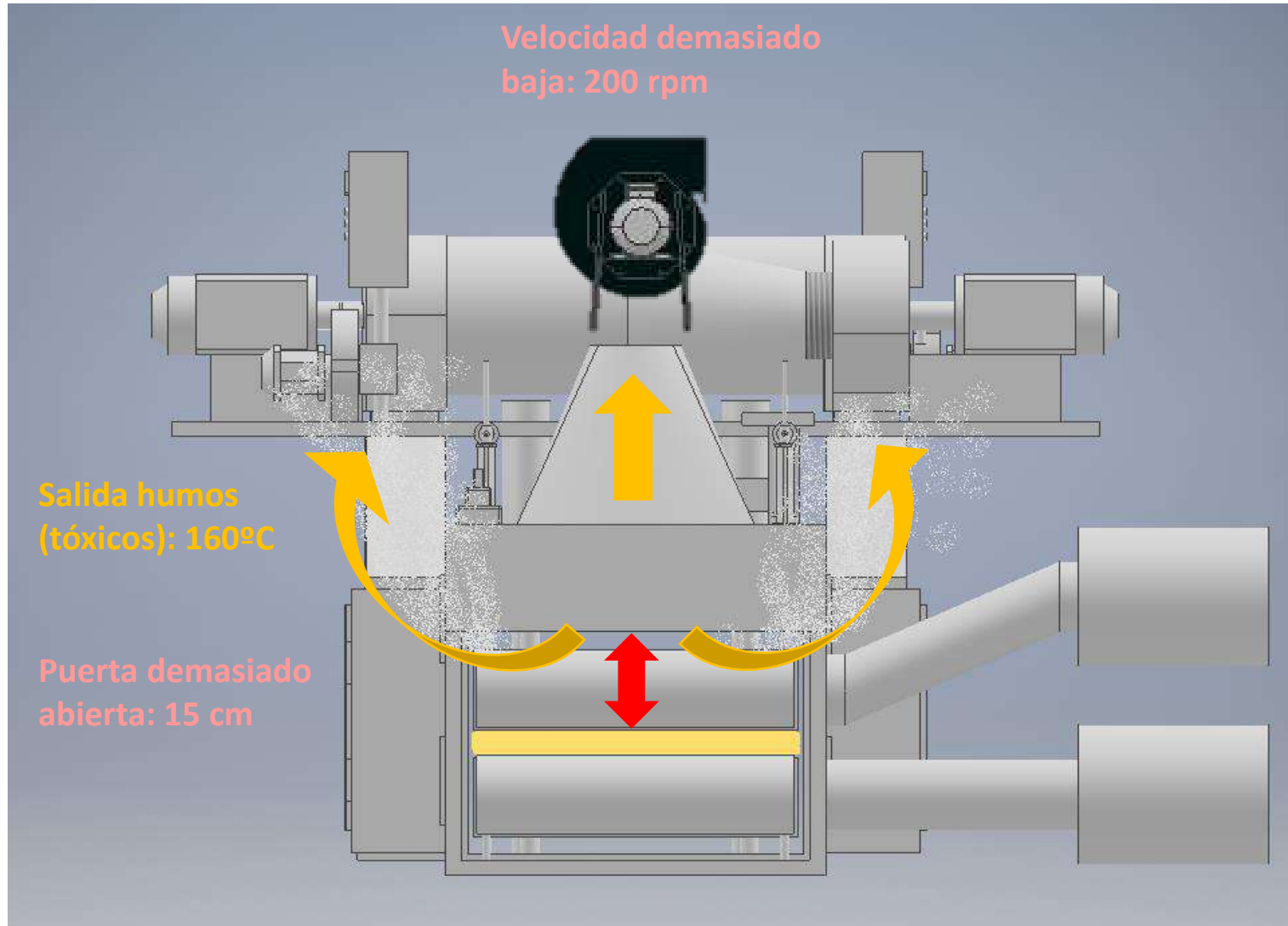
Consecuencia: fugas de parte del aire de los flujos a los cajones contiguos y a la estructura de la estufa.



Pérdida 1: superficies de la estufa.

Causa: consignas fuera del rango estándar: aspiraciones de humos insuficientes y puertas frontales excesivamente abiertas.

Consecuencia: salida de humos de la estufa.

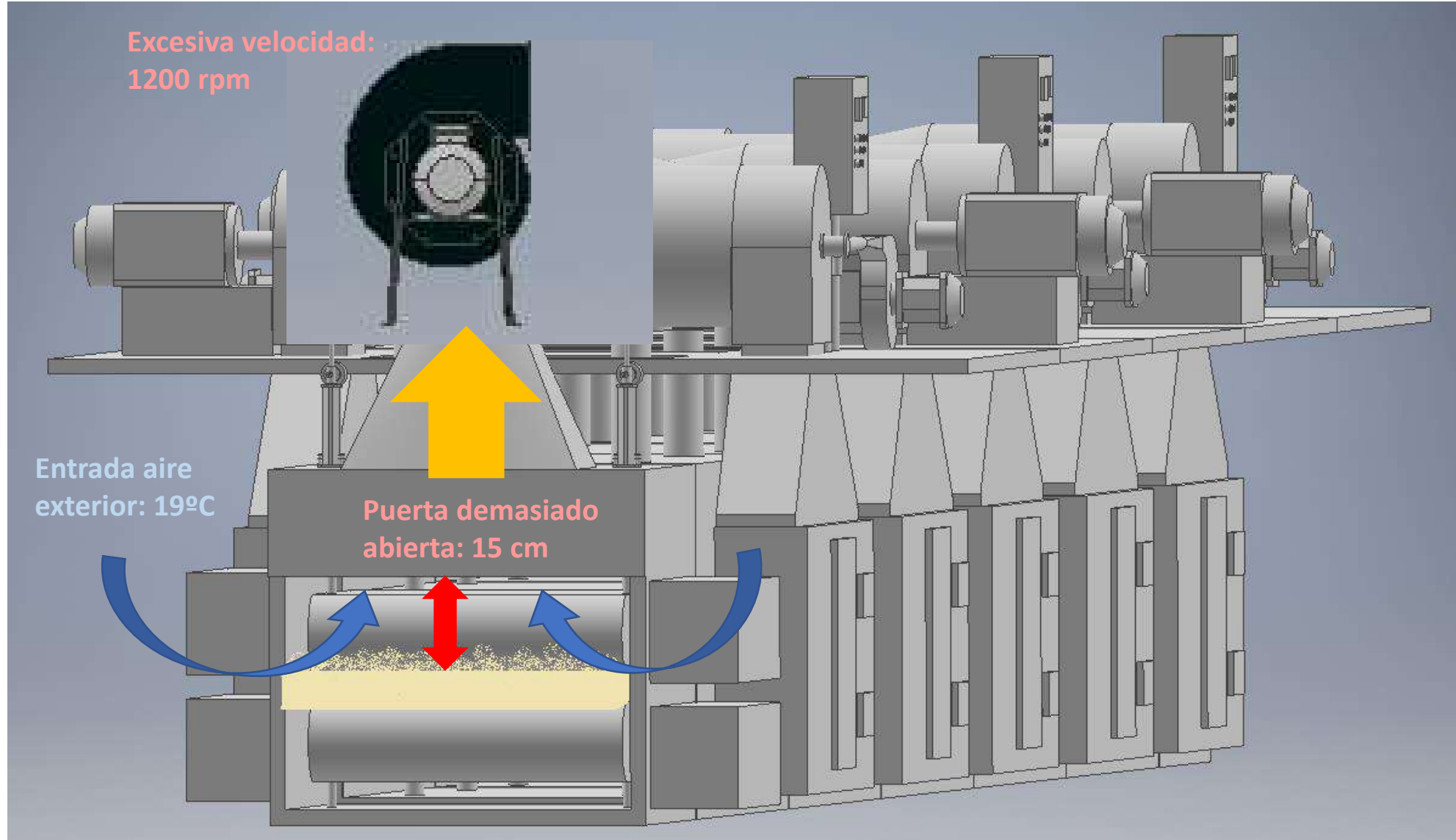


Polvo de vidrio y encolado acumulado

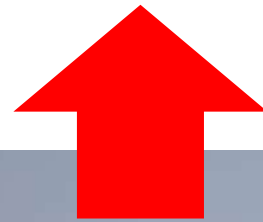
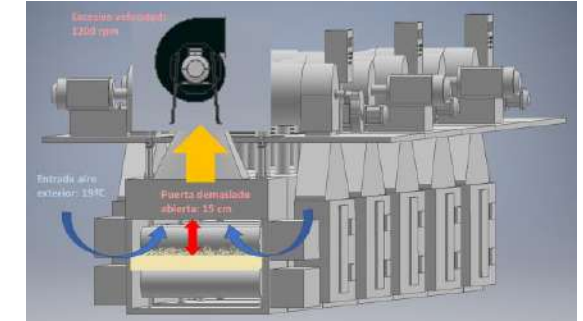
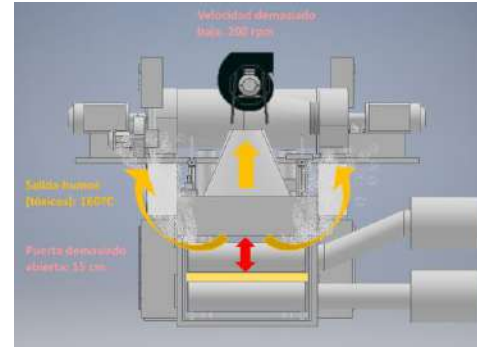
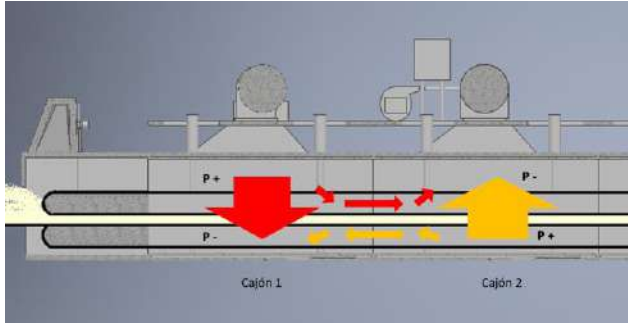
Pérdida 1: superficies de la estufa.

Causa: consignas fuera del rango estándar: aspiraciones de humos demasiado elevadas y puertas frontales excesivamente abiertas.

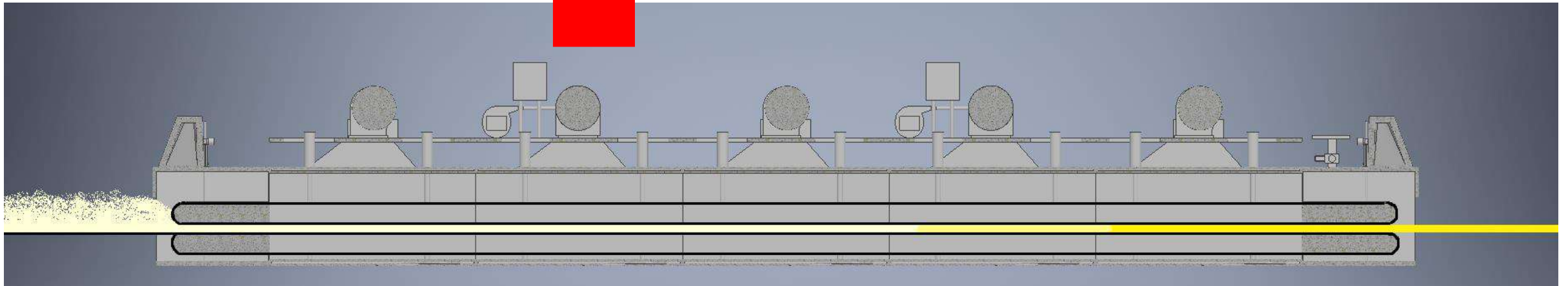
Consecuencia: entrada de aire ambiental en la estufa.



PÉRDIDA 1: SUPERFICIES DE LA ESTUFA



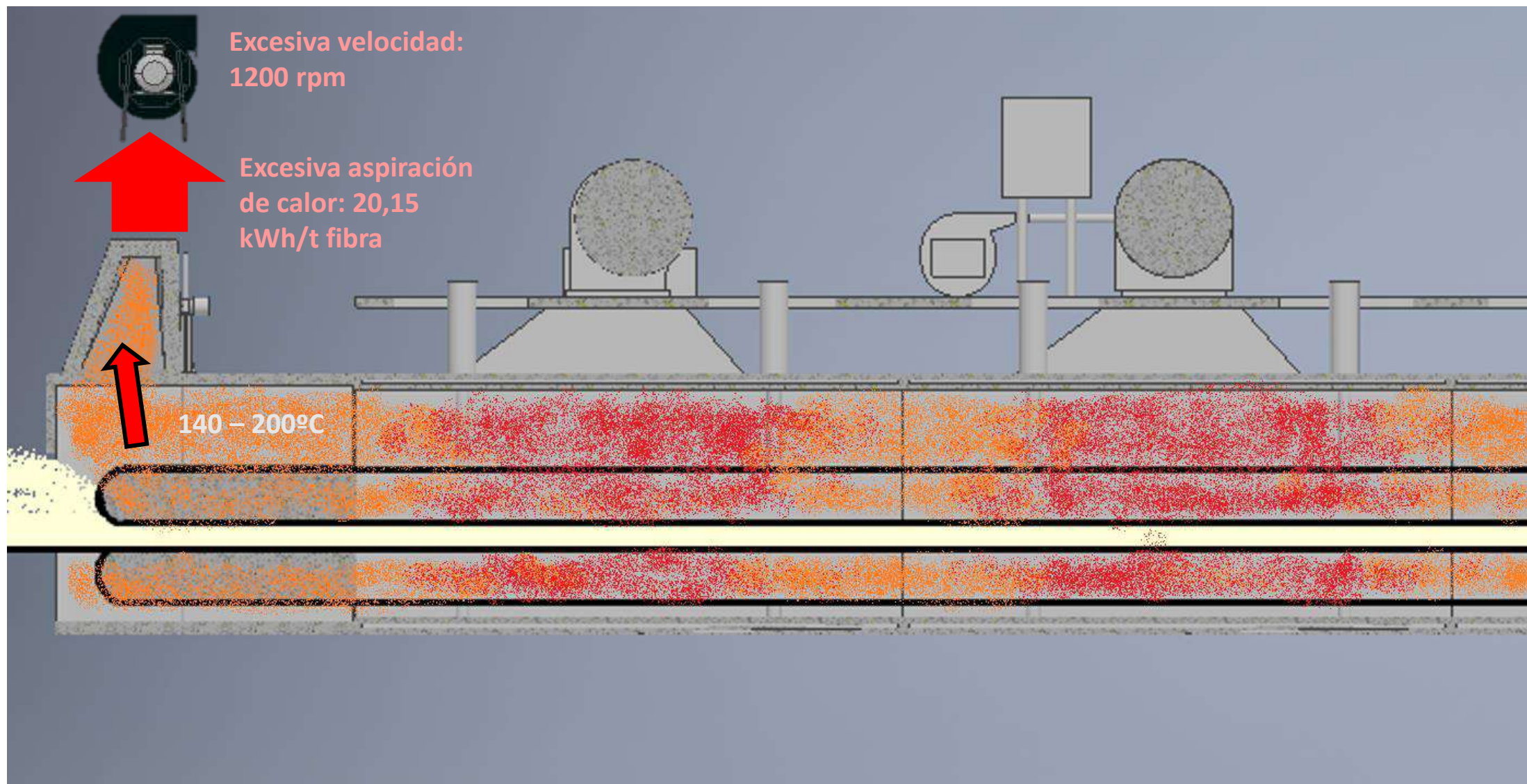
26,35 kWh/t fibra
15,81 k€/año para 20.000 tn



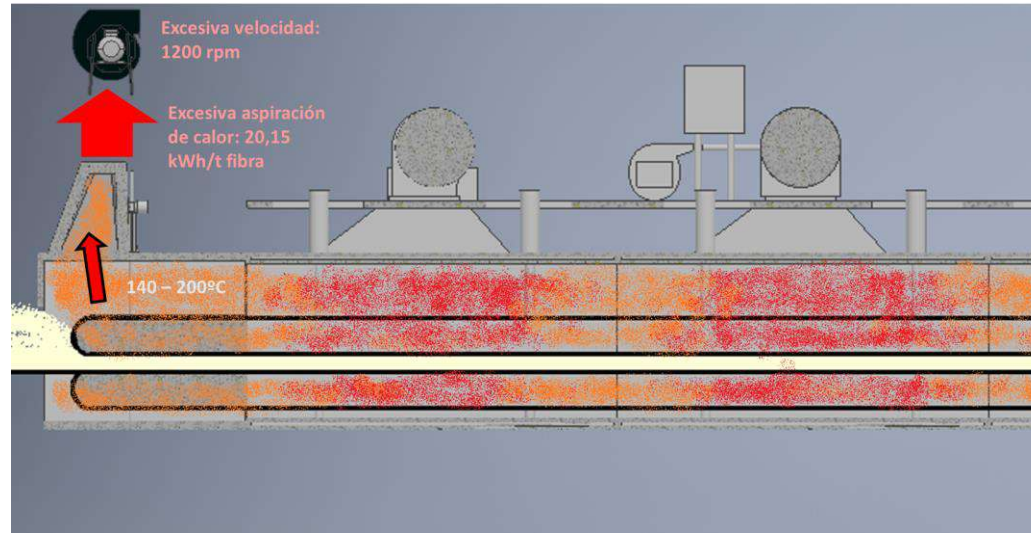
Pérdida 2: humos aspirados.

Causa: consignas fuera del rango estándar: aspiraciones de humos demasiado elevadas.

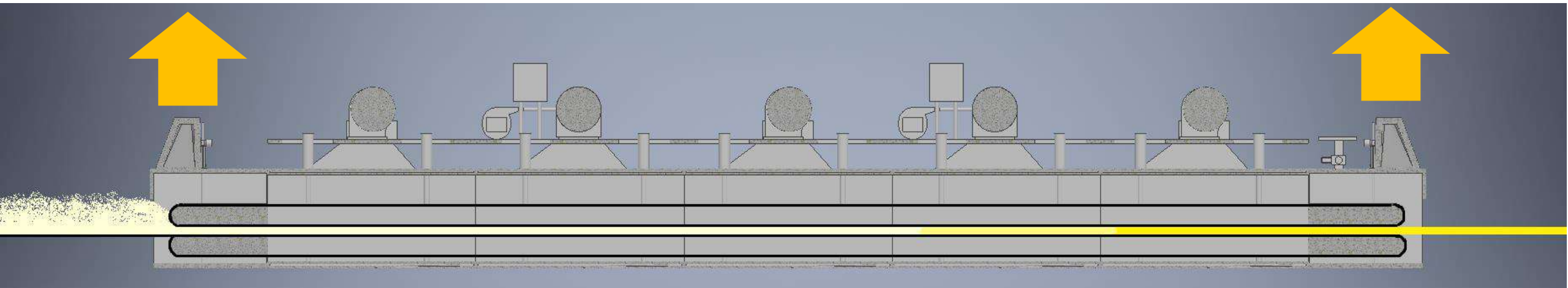
Consecuencia: se absorbe más calor del imprescindible del interior de la estufa.



PÉRDIDA 2: HUMOS ASPIRADOS



20,15 kWh/t fibra
12,09 k€/año para 20.000 tn





SOP

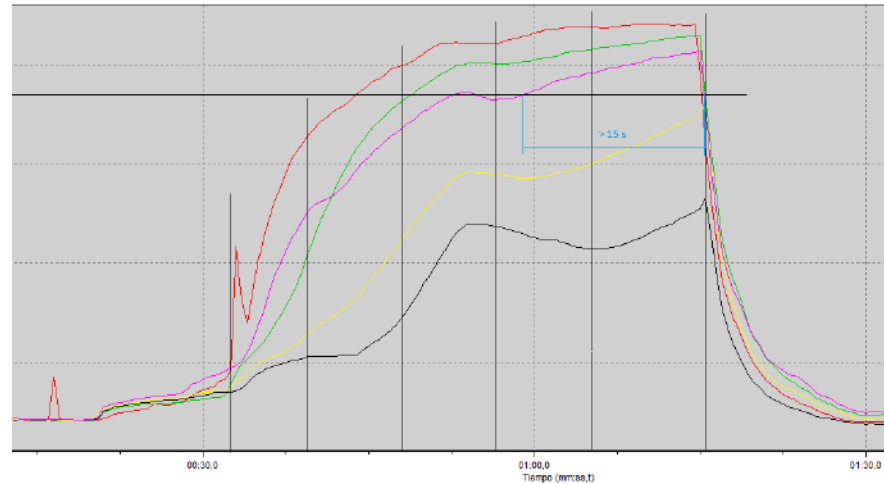


B1

Pérdida 3: producto (sobrecurado).

Causa: consignas fuera del rango estándar por desconocimiento de los reglajes por falta de estandarización de éstos (SOP)

Consecuencia: sobrecurado del producto.



*no alcanzaron el límite superior, de modo que se usó el próximo en su lugar.

Tiempo de subida (120.0 - 180.0°C) (mm:ss.s)	Tiempo por encima del líquido (180.0°C) (mm:ss.s)	Temperatura máxima (°C)	Delta T (°C)	Gradiente negativo (°C/seg)
00:03.5	00:32.0	220.0	168.5	-23.39
00:04.0	00:27.5	215.0		-21.35
00:05.0*	00:00.0	51.5		0.00
00:05.0*	00:00.0	132.5		-12.37
00:20.5	00:00.0	175.5		-17.27
00:08.0	00:22.5	207.0		-20.10

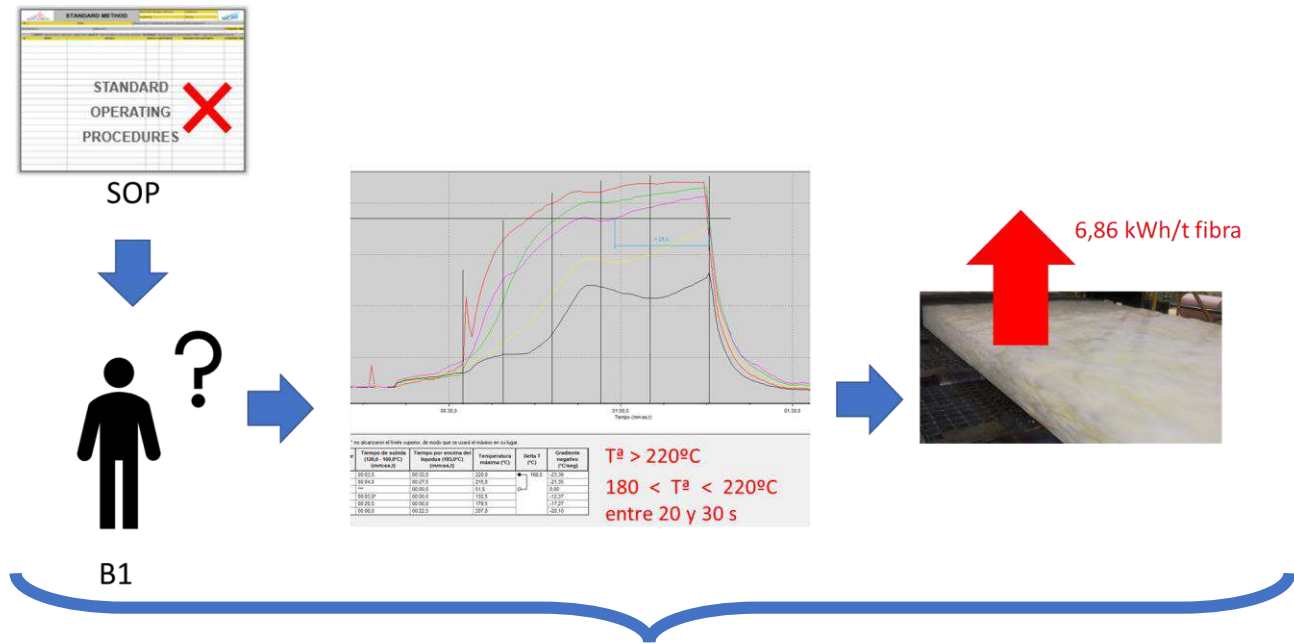
$T^a > 220^{\circ}\text{C}$

$180 < T^a < 220^{\circ}\text{C}$
entre 20 y 30 s

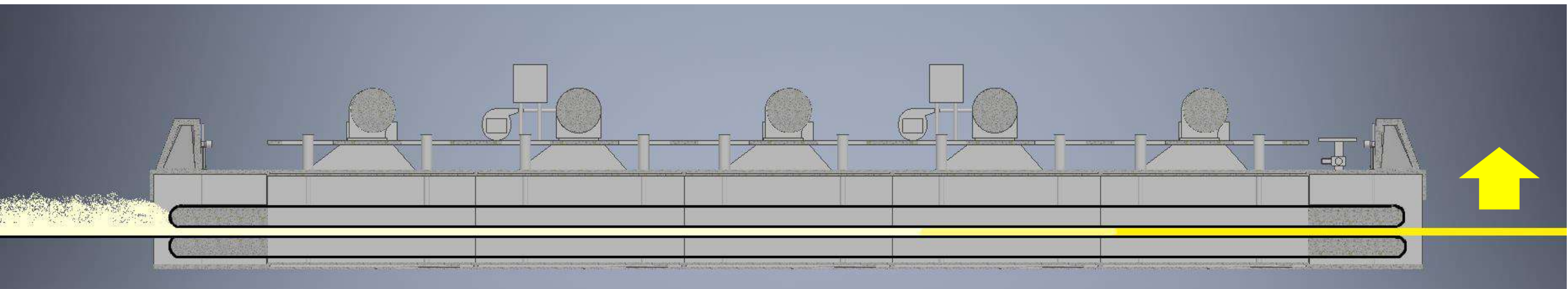


6,86 kWh/t fibra

PÉRDIDA 3: PRODUCTO (SOBRECURADO)

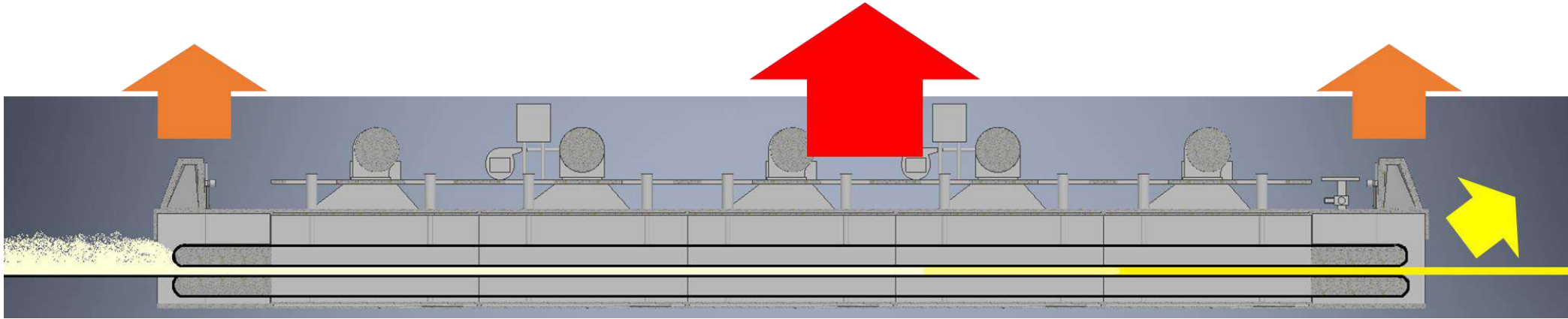


6,86 kWh/t fibra
4,12 k€/año para 20.000 tn

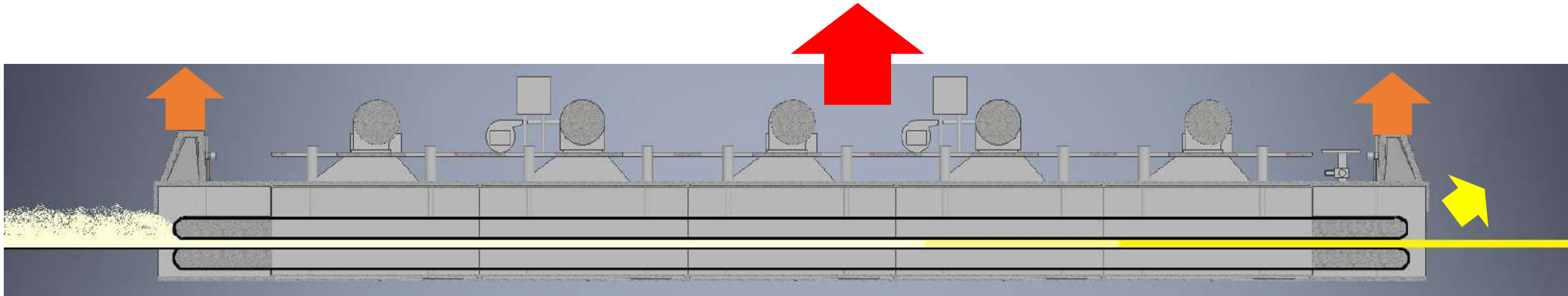


EFFECTO DE LA DURACIÓN DE LA CAMPAÑA EN LAS PÉRDIDAS DE LA ESTUFA

Duración
campaña ≤ 16 h:



Duración
campaña > 16 h:



Precio electricidad: 0,09 €/kWh
Precio gas: 0,03 €/kWh

Consumo medio (kWh/t
fibra)

Productos de corta duración (≤ 16 h)

398,5

Productos de larga duración (> 16 h)

313,5

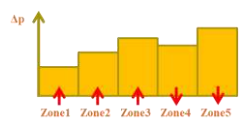
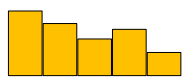
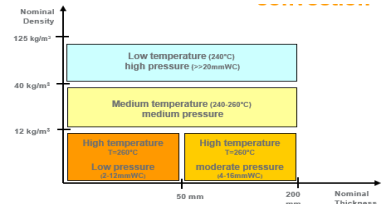
Potencial de mejora (energía) con
campañas > 16 h: 85 kWh/t fibra.

Potencial de mejora (coste variable)
con campañas > 16 h: 2,55 €/t fibra.



ANEXO III

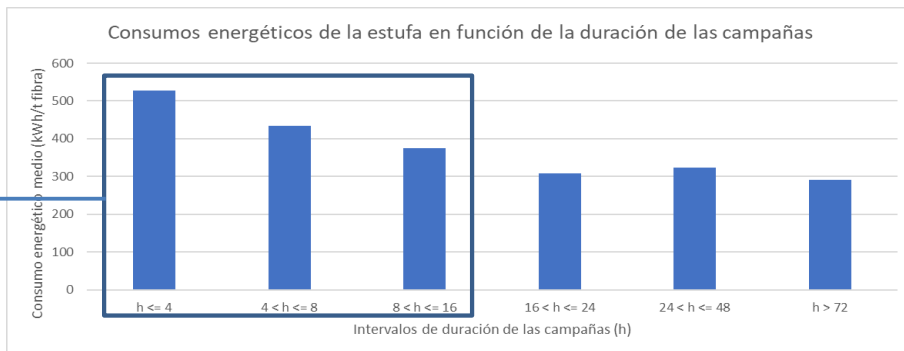
HOJA 4

		MÉTODO ESTÁNDAR		Aprobado por (jefe de área): Angel Blanco González		Actualizado a: 14/07/2019			
				Preparado por: María Begoña Luaces Geijo		Versión : 1			
Nº		TÍTULO		Dónde se usa ? (= departamento, área, línea, nombre del equipo, nº del equipo, ...)					
1		PROCEDIMIENTO PARA ESTABLECER LOS REGLAJES DEL HORNO DE POLIMERIZACIÓN		Horno de polimerización					
Quién debe hacerlo ?			Cuándo se hace ?					TIEMPO ESTÁNDAR	
CPL			Durante el funcionamiento del horno de polimerización y cada vez que se cambia de producto.					44'	
(*) SEGURIDAD : prevención de daños, ergonomía, puntos peligrosos / CALIDAD : prevención de defectos, check points, estándar / TÉCNICOS: Eficiencia,movimientos, método especial/ COSTE : Gestión propia de recursos									
Nº		PASOS		DETALLES		S/I/T/C (*)	CLAVE	RAZONES PARA LOS PUNTOS CLAVE	TIEMPO ESTÁNDAR
1		Asegurarse de que el material que entra en el horno es de buena calidad.		Distribución homogénea y cantidad adecuada de fibras, agua y encolado. Así, el curado será óptimo.		Q/T/C			20'
2		Sentidos de los flujos de aire: 		Se minimizan las inversiones del flujo. En la entrada de la estufa, el material es más denso por su parte inferior, por lo que se empieza a soplar por esa zona porque es menos frágil y para compensar la diferencia de densidad con respecto a la parte superior del material. En las últimas zonas de calentamiento se sopla por arriba para polimerizar esa parte.		Q/T	X	Si hay más inversiones de flujo, se resta eficiencia al funcionamiento de los flujos de aire. Si se sopla con sentidos diferentes, se puede dañar el material y éste puede no ser válido.	1'
3		Gradientes de presión: 		Se deben ajustar al máximo admitido por el producto para favorecer la convección. El gradiente de presión en cada zona de calentamiento debe ser directamente proporcional a la resistencia mecánica del producto en esa zona (cuanto más curado, más resistente). En general, los productos frágiles soportan menos gradiente que los resistentes. 		Q/T/C	X	Gradientes de presión insuficientes pueden provocar la falta de curado en el producto. Gradientes de presión excesivos suponen un mayor consumo energético y, además, pueden sobrecargarlo o dañar sus superficies (sobre todo, la cara superior, más frágil que la inferior).	1'
4		Apertura de las derivaciones: 10-20% en primeras zonas de calentamiento para productos frágiles, y 0-5% en esas mismas zonas para productos resistentes. En las últimas zonas, las derivaciones deben estar cerradas.		La apertura es mayor para los productos frágiles para precalentar las paletas de los transportadores y favorecer así la transferencia de calor por conducción. Además, se consigue reducir el gradiente de presión al que quedan sometidos, con lo que se evita dañarlos.		Q/T			1'
5		Temperaturas de los flujos de aire: 		Se deben ajustar al mínimo requerido por el producto para polimerizarse correctamente. La temperatura en cada zona de calentamiento debe ser inversamente proporcional a la resistencia mecánica del producto en esa zona (en la zona donde es más frágil, la mayor temperatura). En general, en los productos frágiles se debe establecer mayor temperatura que en los resistentes para favorecer la transferencia de calor por conducción. 		Q/T/C	X	Una temperatura insuficiente puede provocar falta de curado en el producto. Una temperatura excesiva supone un mayor consumo energético, además de que puede provocar sobrecurado e incluso incendios.	1'
6		Temperaturas de los transportadores: 200-210°C productos frágiles. 180-200°C: productos resistentes. 190-200°C: productos con superficies de poliéster.		Mayor temperatura en los productos frágiles para favorecer la conducción del calor al material; menor temperatura en los resistentes porque en ellos se establece mayor gradiente de presión para favorecer la convección. Rango de temperaturas intermedio en los productos con superficie de poliéster porque ésta se podría quemar y provocar un incendio. Además, dentro de esos rangos de temperaturas, el producto no se adhiere a las superficies de los transportadores.		Q/T/C	X	Si la temperatura de los transportadores no se encuentra dentro de los rangos establecidos, puede dañar las superficies del producto, provocar que las fibras se adhieran a las paletas o provocar incendios.	10'
7		Aspiraciones de humos: las mínimas posible.		Mínimas velocidades de los ventiladores de aspiración para evitar que salgan humos de la estufa, que entre aire del exterior y que se absorba más calor de la estufa del inevitable. Ello se comprueba visualmente.		S/T/C	X	Si las aspiraciones son excesivas, puede entrar aire del exterior y se absorbe excesivo calor del interior de la estufa. Todo ello supone pérdidas energéticas. Si las aspiraciones son insuficientes, pueden salir humos de la estufa, lo que supone una pérdida de energía y un riesgo para la salud de las personas, ya que los humos no se deben inhalar.	5'
8		Apertura de las puertas frontales de las secciones de entrada y salida: las mínimas posible.		Mínima apertura de las puertas para evitar que salgan humos o que entre aire exterior a través de ellas. Ello se comprueba visualmente.		S/T	X	Si las puertas frontales están excesivamente abiertas, puede entrar aire de fuera o salir humos de la estufa. Ello supone pérdidas de energía y un riesgo para la salud.	5'

	LECCIÓN PUNTUAL	☐	Conocimiento básico	OPL No.			
		☒	Idea de mejora	1			
		☐	Solución de un problema				
TEMA	DURACIÓN DE LAS CAMPAÑAS DE LOS PRODUCTOS FABRICADOS EN LA LÍNEA B	Preparado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
		Begoña Luaces		Ángel Blanco González		Ángel Blanco González	
		Fecha:	14/07/19	Fecha:	17/07/19	Fecha:	17/07/19

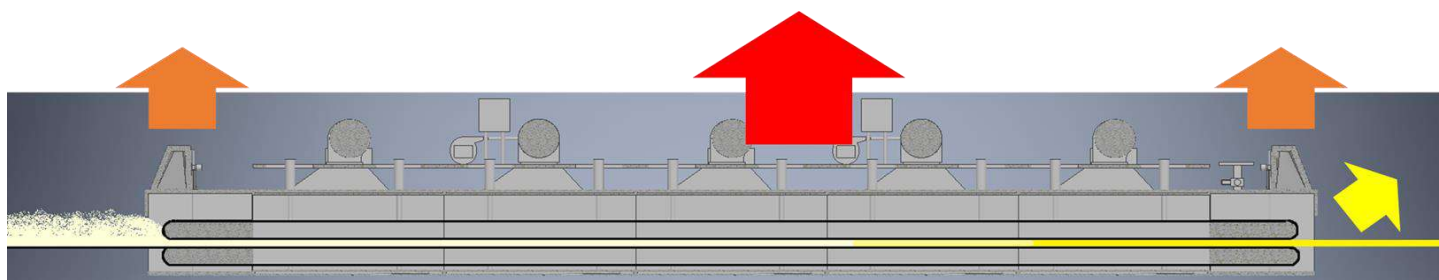
EFFECTO DE LA DURACIÓN DE LAS CAMPAÑAS SOBRE LOS CONSUMOS DE ENERGÍA DE LA ESTUFA DE LA LÍNEA B

Se observa que el consumo de la estufa se optimiza a medida que se incrementa la duración de la campaña. Así, a partir de 16h, el consumo medio se estabiliza en torno a los 300 Kwh/t. Pero cuando las campañas duran hasta 16 h, el consumo medio es tanto mayor cuanto menor es la duración de estas campañas (entre 375 y 527 kWh/t de fibra).

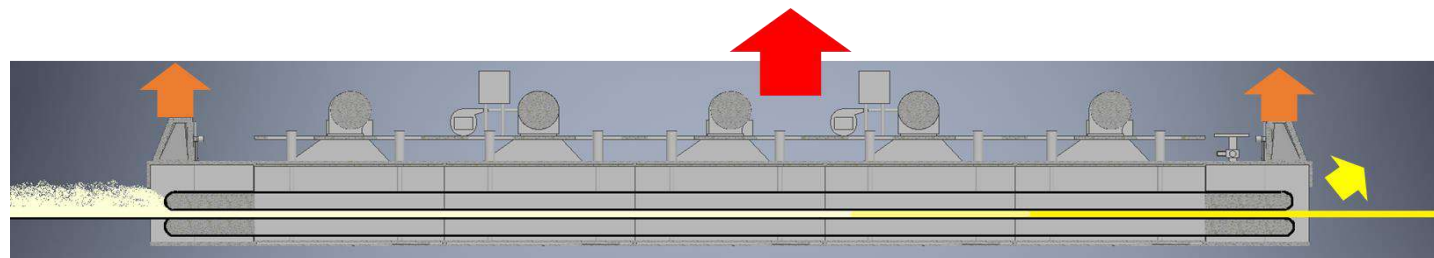


EFFECTO DE LA DURACIÓN DE LAS CAMPAÑAS SOBRE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA DE LA ESTUFA DE LA LÍNEA B

DURACIÓN DE LAS CAMPAÑAS ≤ 16 HORAS: MAYORES PÉRDIDAS ENERGÉTICAS:



DURACIÓN DE LAS CAMPAÑAS > 16 HORAS: MENORES PÉRDIDAS ENERGÉTICAS:



POTENCIAL DE MEJORA:

Precio electricidad: 0,09 €/kWh
Precio gas: 0,03 €/kWh

Consumo medio (kWh/t fibra)

Potencial de mejora (energía) con campañas > 16 h: 85 kWh/t fibra.

Potencial de mejora (coste variable) con campañas > 16 h: 2,55 €/t fibra.

Productos de corta duración (≤ 16 h)	398,5
Productos de larga duración (> 16 h)	313,5

RECOMENDACIÓN:

Como regla de programación de la producción, agrupar los productos para reducir el número de campañas y para que su duración sea lo más próxima posible o mayor que 16h. Siempre que sea posible

REGISTRO DE APRENDIZAJE	Fecha:									
	Enseña:									
	Aprende:									



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)



III. BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

BIBLIOGRAFÍA

- *World Class Manufacturing como perspectiva para el liderazgo empresarial*. C. Benítez Morales, 2012.
- Material interno de ISOVER sobre la metodología *Standard Kaizen*, la línea B y el horno de polimerización.

PÁGINAS WEB VISITADAS

- <https://www.saint-gobain.es/>
- <https://equipo.altran.es/el-ciclo-de-deming-la-gestion-y-mejora-de-procesos/>
- <https://www.saint-gobain.es/saint-gobain/grupo-saint-gobain>
- <https://www.saint-gobain.es/nuestras-marcas>
- <https://www.saint-gobain.es/mercados/saint-gobain-sekurit>
- <https://www.saint-gobain.es/mercados/automocion/acristalamiento#>
- <https://www.saint-gobain.es/mercados/automocion/componentes>
- <https://www.saint-gobain.es/mercados/automocion/abrasivo>
- <https://www.saint-gobain.es/mercados/habitat/sistemas>
- <https://www.saint-gobain.es/mercados/industria>
- <https://www.saint-gobain.es/saint-gobain/saint-gobain-espana>

PROGRAMAS INFORMÁTICOS

- AutoCAD 2019
- Autodesk Inventor 2019
- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- Microsoft PowerPoint

RECURSOS

- Equipo y colaboradores del proyecto.
- Material interno de ISOVER:
 - Formatos Excel para la metodología *Standard Kaizen*.
 - Despliegue de costes.
 - Planos de la fábrica y del horno de polimerización.
 - Instrumentos de medida.
 - Balance de potencia de la estufa.
 - Formato Excel del procedimiento de operación estándar (SOP).
 - Formato Excel de la lección puntual (OPL).