



**Estudio del fenómeno de caída de papel y propuesta de mejora para el aumento de  
producción en la línea de laminación, 2023**

Natalia Sánchez Franco

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Juan Carlos Orrego, Magister en Gestión Energética Industrial

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Mecánica  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2023

---

<b>Cita</b>	(Sánchez Franco, 2023)
<b>Referencia</b>	Sánchez Franco, N. (2023). <i>Estudio del fenómeno de caída de papel y propuesta de mejora para el aumento de producción en la línea de laminación, 2023</i> [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Asesor externo: Juan Camilo Zapata Sánchez



Centro de documentación de ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## Tabla de contenido

Introducción.....	7
1 Planteamiento del problema.....	8
2 Antecedentes .....	9
3 Objetivos .....	11
3.1 Objetivo general .....	11
3.2 Objetivos específicos.....	11
4 Marco teórico .....	12
Electricidad estática.....	12
Carga de sólidos electrostáticamente .....	12
Resistividad superficial .....	14
Campo eléctrico.....	15
Inducción eléctrica .....	15
SMED.....	16
5 Metodología .....	19
6 Resultados .....	20
6.1 Caída de papel .....	20
6.1.1 Entendimiento del fenómeno .....	20
6.1.2 Variables relevantes .....	23
6.1.3 Relación entre el fenómeno y las variables.....	27
6.1.4 Calentamiento de tableros en presa.....	29
6.1.5 Calentamiento de tableros con radiación .....	31
6.1.6 Otras maneras de atacar el problema .....	32
6.2 SMED cambio de pallet de papel .....	33
Etapa 0. ....	34

Etapa 1 y 2. ....	35
Etapa 3. ....	37
6.2.1 Tiempo estándar ejecución cambio de pallet de papel.....	39
6.2.2 Ahorros de tiempo.....	40
6.3 SMED cambio de calibre – sustrato .....	45
Etapa 0. ....	46
Etapa 1 y 2. ....	46
Etapa 3. ....	48
6.3.1 Tiempo estándar ejecución cambio de calibre - sustrato .....	49
6.3.2 Ahorros de tiempo.....	50
7 Conclusiones .....	51
Referencias .....	52

## Lista de tablas

Tabla 1. Frecuencias rango humedad relativa .....	25
Tabla 2. Frecuencias rango humedad tablero. ....	25
Tabla 3. Frecuencias humedad papel.....	25
Tabla 4. Condiciones ambientales del ensayo. ....	26
Tabla 5. Condiciones de operacion del Insulator Tester. ....	26
Tabla 6. Resultados resistividad eléctrica.....	27
Tabla 7. Condiciones para el calentamiento de tableros con prensa .....	29
Tabla 8. Parámetros pruebas calentamiento con calefactor.....	31
Tabla 9. Tiempos perdidos por cambio de estiba de papel.....	34
Tabla 10. Actividades y tiempo promedio medido para el cambio de pallet de papel .....	34
Tabla 11. Clasificación de actividades de cambio de pallet de papel.....	36
Tabla 12. Funciones y tiempo estimado cambio de pallet de papel .....	37
Tabla 13. Colaboradores línea BP2 por turno. ....	39
Tabla 14. Tiempo total y estándar cambio de pallet de papel 2 estibas.....	39
Tabla 15. Tiempo total y estándar cambio pallet de papel mesa 1. ....	40
Tabla 16. Tiempo total y estándar cambio pallet de papel mesa 2. ....	40
Tabla 17. Comparativa tiempos 2022 vs SMED .....	41
Tabla 18. Tiempos perdidos por cambio de calibre - sustrato2022.....	45
Tabla 19. Actividades y tiempo promedio medido para el cambio de calibre - sustrato.....	46
Tabla 20. Clasificación de actividades cambio de calibre - sustrato, .....	47
Tabla 21. Funciones y tiempo estimado cambio calibre – sustrato. ....	48
Tabla 22. Actividades simultaneas cambio de calibre - sustrato. ....	49
Tabla 23. Tiempo total y estándar cambio de calibre - sustrato. ....	50
Tabla 24. Comparativa tiempos 2022 vs SMED .....	50

## Lista de figuras

Figura 1. Interaccion entre cargas .....	12
Figura 2. Carga por contacto. ....	13
Figura 3. Resistividad superficial de varios plásticos a 50%RH y 23°C.....	14
Figura 4. Líneas de campo eléctrico en un capacitor de placas paralelas .....	15
Figura 5. Secuencia de inducción eléctrica .....	16
Figura 6. Número de eventos por sustrato.....	20
Figura 7. Número de eventos por calibre .....	21
Figura 8. Número de eventos por año. ....	21
Figura 9. Ubicación barra generadora papel inferior línea BP2.....	22
Figura 10. Configuración barras generadoras .....	23
Figura 11. Humedad relativa (%). ....	24
Figura 12. Humedad del tablero (%). ....	24
Figura 13. Humedad del papel (%). ....	24
Figura 14. Contenido de humedad de equilibrio de la madera sólida .....	28
Figura 15. Evolución temperatura del tablero salida de prensa .....	30
Figura 16. Configuración de las pruebas.....	31
Figura 17. Banda mesa colocación de papel inferior. ....	33
Figura 18. Diagrama GANTT, cambio de pallet de papel ambas estibas .....	42
Figura 19. Diagrama GANTT cambio de pallet de papel mesa 1. ....	43
Figura 20. Diagrama GANTT cambio de pallet de papel mesa 2. ....	44

## Introducción

En Colombia el uso de tableros de madera en la industria de la construcción ha ido creciendo a medida de los años, según el estudio de estimación y caracterización del consumo de madera en los sectores de vivienda y grandes obras de infraestructura (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016) los tableros de partículas y fibras tienen una participación del 3,47% en madera para la construcción (donde la madera tiene uso temporal, no tiene procesos de preservación y secado, y generalmente se desecha después de ser utilizada), sin embargo, se espera que su participación incremente en el futuro, debido a la inclusión de este tipo de productos principalmente como formaletas; en cuanto a la madera en la construcción (que hace referencia a la madera usada en la fase de acabados de la vivienda) se usan principalmente tableros de partículas y fibras (71,78% del total de madera usada en esta fase) para la fabricación de muebles de cocina y baños, closets y puertas ya sea recubiertos con chapas, cubiertas melamínicas o fórmica para aumentar su duración.

La laminación de tableros con papeles melamínicos es una etapa fundamental en la producción de tableros de madera de partículas y fibra, ya que es una forma práctica de ofrecer infinitas posibilidades en cuanto a variedad, aportando además mejoras en calidad de superficie y durabilidad.

En la empresa Dexco Zona Franca S.A.S ubicada en Barbosa Antioquia se encuentra la línea de laminación con recubrimiento melamínico BP2 con capacidad para laminar aproximadamente 190 tableros/hora. Durante este proceso, se ha detectado un problema recurrente de caída de papel que ha generado importantes tiempos perdidos (10.364 min en el año 2022) además de desperdicio de materiales. Este fenómeno se produce cuando el papel inferior en la superficie del tablero se desprende antes de que ingrese a la prensa de ciclo corto.

El objetivo principal del presente trabajo es determinar las causas del desprendimiento del papel, identificando las variables determinantes y proponiendo mejoras en la línea de laminación para reducir o eliminar tiempos perdidos y desperdicio de materias primas causados por set-up. Para lograrlo, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la información recopilada y se aplicará la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) al set-up de cambio de pallet de papel y cambio de calibre y sustrato.

## **1 Planteamiento del problema**

En la empresa Dexco Zona Franca S.A.S ubicada en Barbosa Antioquia se encuentra la línea de laminación con recubrimiento melamínico BP2 con capacidad para laminar aproximadamente 190 tableros/hora. Durante este proceso, se ha detectado un problema recurrente de caída de papel que ha generado importantes tiempos perdidos (10.364 min en el año 2022), desperdicio de materiales y afectaciones en la eficiencia del proceso.

Este fenómeno se presenta de forma inesperada durante la operación de la línea, causando el desprendimiento del papel inferior en la superficie del tablero antes de que ingrese a la prensa, lo que resulta en interrupciones en la producción y la necesidad de realizar tareas de reajuste.

Esta situación representa un desafío significativo para la empresa, ya que afecta la productividad de la línea. A pesar de los esfuerzos realizados para abordar este problema, no se ha logrado identificar con precisión las causas del desprendimiento de papel ni se han implementado medidas efectivas para prevenirlo.

Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un estudio para identificar las variables detonantes y establecer sus relaciones con el fenómeno.

## 2 Antecedentes

La empresa desde el año 2017 ha venido trabajando en medidas de contención del problema a partir de estudios con personal interno y externo, a continuación, se mencionan las principales implementaciones que se han realizado:

- **Sustrato**

La humedad ideal del sustrato PB definida para garantizar un buen desempeño en el proceso de laminación es 6-9% para cualquier espesor y en sustrato MDF es del 5-9%, este rango no compromete la estabilidad dimensional del laminado incluso en los espesores más finos.

Los sustratos de menor consumo, que pasan largo tiempo en bodega deben ser embalados en película plástica para evitar el aumento de la humedad hasta los niveles que impiden operación regular (11% o mayores). Al implementar esta sugerencia se encontró que los paquetes de tableros absorbían mayor humedad, esto debido a que la cobertura no es hermética por lo tanto el agua contenida en el aire que circula se condensa dentro del paquete.

- **Impregnación del papel**

Se hicieron ajustes en las condiciones de impregnación, cambios en la dosis de melamina en el coater y se aumentó el curado del papel en la impregnación buscando controlar las siguientes propiedades: volátiles inferiores a 5,8 – 6,2% y estado B entre 45 – 60%. El ajuste de estas variables ayudó a reducir la higroscopicidad del papel de esta manera se disminuye su tendencia a absorber la humedad del ambiente.

Se estableció que el tack o pegajosidad de las hojas a la salida de impregnación debe ser lo menor posible ya que se corre el riesgo del “blocking” durante el almacenamiento.

- **Línea de producción BP2**

Se instaló un aire acondicionado portátil dirigido sobre el papel en la mesa 1 con el fin de atenuar la variación de temperatura y humedad ambiente; como la zona no está aislada, el efecto del aire fue despreciable.

Se instalaron resistencias eléctricas en la vía de rodillos de tablero crudo para el calentamiento del tablero, sin embargo, debido a que no se tenía un sistema de control de temperatura adecuado se observaron riesgos de sobrecalentamiento del material causándole marcas y defectos.

Modificación de parámetros en las unidades estáticas que adhieren el papel al tablero y verificación de su funcionamiento.

Modificación y reducción de cantidades de papel disponibles por turno para laminar en planta BP2 con el fin de reducir su exposición a la humedad.

## **3 Objetivos**

### **3.1 Objetivo general**

Determinar las causas de la caída de papel en la línea de laminación BP2, identificar las variables detonantes y sus relaciones con el fenómeno, y desarrollar estrategias para reducir los tiempos perdidos asociados al set-up de la línea.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Identificar las causas específicas del desprendimiento de papel en la línea de laminación BP2.
- Determinar las variables detonantes que contribuyen al fenómeno de caída de papel y establecer relaciones entre estas variables y el desprendimiento.
- Plantear estrategias y propuestas de mejora para reducir y prevenir el desprendimiento de papel, incluyendo posibles ajustes en los parámetros de operación, cambios en los materiales utilizados o modificaciones en los equipos y sistemas de la línea de laminación.
- Aplicar la metodología SMED para analizar y optimizar los tiempos de set-up de la línea de laminación, identificando actividades que puedan ser simplificadas, estandarizadas o eliminadas.
- Establecer nuevos tiempos estándar para la realización de los set-up, considerando las mejoras propuestas a partir del análisis SMED.
- Evaluar los beneficios potenciales de implementar las mejoras propuestas, tanto en términos de reducción de tiempos perdidos y rendimiento de la línea de laminación.

## 4 Marco teórico

### Electricidad estática

La electricidad estática se ocupa de fenómenos debidos a atracciones o repulsiones de cargas eléctricas (Figura 1). La presencia de carga eléctrica se manifiesta en fuerzas entre cuerpos cargados.

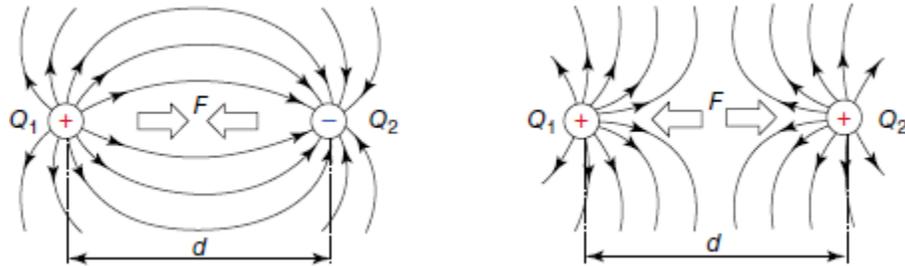


Figura 1. Interacción entre cargas.

*Nota: Tomado de Static Electricity, Understanding, Controlling, Applying. (Lüttgens, G., Lüttgens, S., & Schubert, W., 2017)*

Coulomb fue el primero en expresar la relación empírica entre carga, fuerza y distancia para campos eléctricos. En sus fundamentos expresa que la magnitud de la fuerza entre dos cargas eléctricas depende de la magnitud de las propias cargas y que la fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos.

Un excedente de electrones, que son cargas negativas, da como resultado una región de polaridad negativa. Una deficiencia de electrones significa cargas positivas, una región de polaridad positiva. Se puede lograr un equilibrio de estas cargas mediante la conexión eléctrica de ambos polos. Los electrones de la parte con carga negativa se mueven hacia la parte con carga positiva.

Un cuerpo puede almacenar una carga y producir una descarga de chispa inflamable cuando se toca, por lo que, en la mayoría de las industrias se busca disipar las cargas por medio de conexiones a tierra.

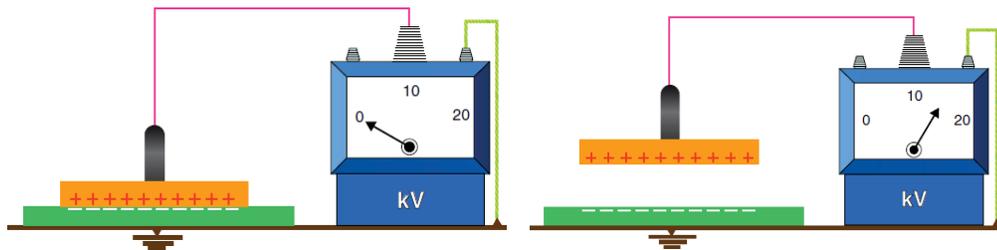
### Carga de sólidos electrostáticamente

El origen de las cargas electrostáticas se basa en el hecho de que las superficies sólidas emiten electrones cuando se induce suficiente energía, por ejemplo, al calentarse. La energía requerida para eliminar un electrón de la superficie de un material al vacío se define como la "función de trabajo de los electrones", y es diferente para varios materiales. En general, con

materiales aislantes eléctricos (p. ej., plásticos) que disponen de menos electrones libres, esta función de trabajo es siempre mayor que con los metales, ya que en estos últimos hay un número suficiente de electrones móviles libres.

Cuando dos materiales con diferentes funciones de trabajo electrónico se ponen en contacto firme entre sí, es decir, con una distancia de menos de 10 nm entre ellos, se produce una transferencia de electrones a través de la interfaz. El número de electrones transferidos aumenta con la diferencia en las funciones de trabajo de los dos materiales.

Los electrones del material con una función de trabajo más baja migran al material con una función de trabajo más alta. Por lo tanto, se forma una capa de carga negativa en una superficie y carga positiva en la otra (Figura 2). Este efecto se conoce como electrificación por contacto (carga por contacto).



*Figura 2. Carga por contacto.*

*Nota: Tomado de Static Electricity, Understanding, Controlling, Applying. (Lüttgens, G., Lüttgens, S., & Schubert, W., 2017)*

La carga por contacto en sí misma depende únicamente del contacto de la superficie entre los materiales, independientemente de si las superficies están o no estacionarias o en movimiento entre sí. La diferencia de potencial causada por esta polarización de la carga en la interfaz suele ser del orden de milivoltios y, debido al espacio extremadamente pequeño entre las superficies, la capacitancia del sistema es relativamente alta.

El término “electrificación por fricción” (carga por fricción) ha estado en uso durante muchos años con la implicación de que es un proceso diferente de la electrificación por contacto. Sin embargo, ahora se sabe que la fricción en sí misma no influye en el proceso de electrificación. Todo lo que hace es provocar un aumento en el área de contacto entre las superficies.

Cuando se levanta la placa de metal de la parte de plástico, deben vencerse las fuerzas de atracción electrostática entre las dos cargas de diferente polaridad gastando energía mecánica en el sistema. Esta energía se convierte instantáneamente en energía eléctrica, y es entonces cuando los

campos eléctricos de las cargas expuestas pueden volverse efectivos para causar descargas de gas e inducción eléctrica (Figura 2).

### Resistividad superficial

Durante la separación de dos superficies, la carga de cada una de ellas tiende a fluir a través de las superficies a través de los últimos puntos de contacto. La velocidad con la que se produce esta descarga parcial de las superficies por conducción depende de la resistencia del camino recorrido por las cargas. Cuanto mayor sea la resistencia, más lento será el efecto de descarga y viceversa. De esto se puede deducir que con altas velocidades de separación de las superficies (tiempos cortos de descarga) y/o altas resistencias superficiales, la neutralización de carga por conducción se verá restringida y una mayor cantidad de la carga original permanecerá en las superficies. Por otro lado, con bajas velocidades de separación (largos tiempos de descarga) y/o bajas resistencias superficiales, las cargas en las superficies se neutralizarán fácilmente, dejando así menos carga.

De ello se deduce que la carga de las superficies sólo puede ocurrir si al menos uno de los materiales que se separan es de alta resistencia.

Los valores de las resistividades superficiales de varios materiales plásticos se muestran en la Figura 3.

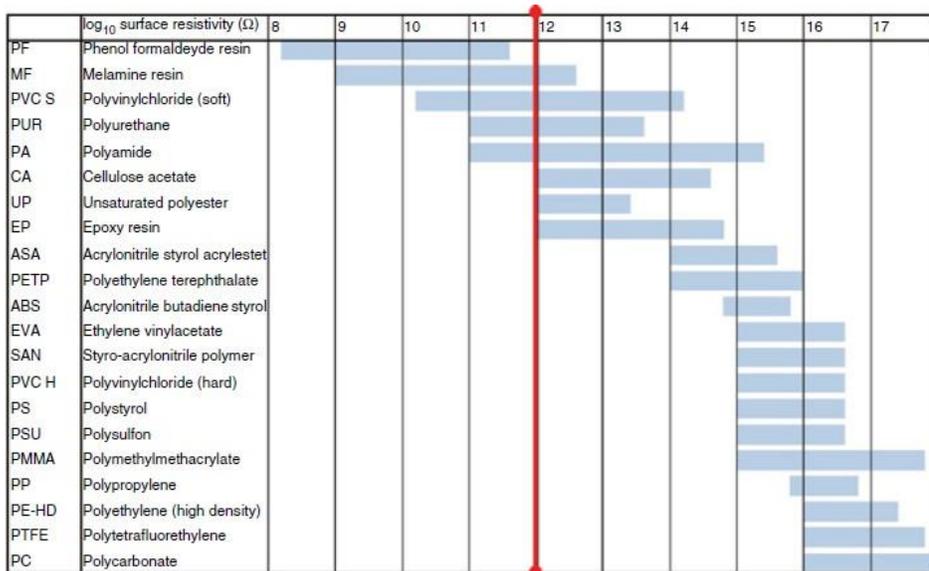


Figura 3. Resistividad superficial de varios plásticos a 50%RH y 23°C.

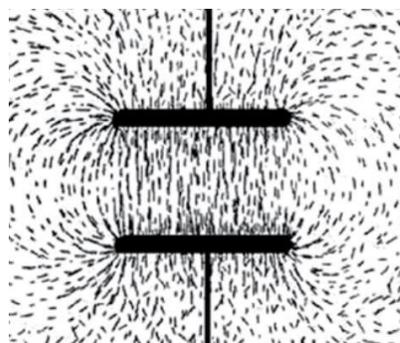
Nota: Tomado de *Static Electricity, Understanding, Controlling, Applying.* (Lüttgens, G., Lüttgens, S., & Schubert, W., 2017)

Un factor importante que influye en la resistividad superficial de los materiales es la humedad relativa de la atmósfera ambiental. Al absorber la humedad del aire, su resistividad superficial se reduce. En consecuencia, las pruebas de resistividad superficial deben realizarse en las condiciones de uso predominantes si difieren de los climas de prueba estándar.

### **Campo eléctrico**

El campo eléctrico muestra la distribución en el espacio de la dirección y magnitud de las fuerzas resultantes de un objeto cargado electrostáticamente, sin importar si está hecho de material conductor o aislante.

Las líneas de campo representan gráficamente el campo eléctrico en cualquier punto, mientras que el número de líneas por unidad es proporcional a la magnitud del campo en esa región.



*Figura 4. Líneas de campo eléctrico en un capacitor de placas paralelas.*

*Nota: Tomado de Static Electricity, Understanding, Controlling, Applying. (Lüttgens, G., Lüttgens, S., & Schubert, W., 2017)*

El campo eléctrico, como se muestra en la Figura 4, es más intenso cuando las líneas de campo están más juntas y más débil cuando están más separadas.

Por definición, las líneas de campo eléctrico apuntan en la dirección en la que se aceleraría una carga de prueba positiva si se colocara sobre la línea. Entonces, las líneas se alejan de los objetos cargados positivamente hacia los negativos.

### **Inducción eléctrica**

Los objetos conductores sin carga siempre muestran la misma cantidad de cargas positivas y negativas, que están unidas entre sí. Cuando son influenciadas por un campo eléctrico externo, estas cargas, de acuerdo con la ley de Coulomb, pueden dislocarse parcialmente.

El proceso denominado inducción eléctrica se representa en la Figura 5. Paralelamente a las placas de un capacitor cargado (boceto a), dos placas de metal en contacto mutuo se insertan en el campo homogéneo (boceto b). Estas placas se fijan a varillas aislantes (no representadas), lo que

facilita su desplazamiento sin disipación de carga. Dentro del campo del capacitor de placa, en la placa que mira hacia el lado positivo, se acumuló carga negativa debido a la inducción eléctrica y, viceversa, carga positiva en la otra placa. Luego, las placas metálicas se separan unas de otras (esbozo c) y se sacan del campo, permaneciendo la carga respectiva (esbozo d).

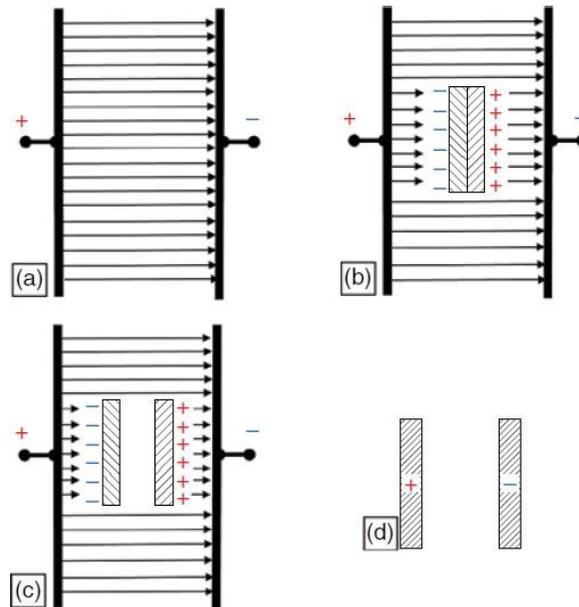


Figura 5. Secuencia de inducción eléctrica.

Nota: Tomado de *Static Electricity, Understanding, Controlling, Applying.* (Lüttgens, G., Lüttgens, S., & Schubert, W., 2017)

## SMED

El SMED (Single Minute Exchange of Die, traducido al español como cambio de matriz en menos de 10 minutos) se basa en una serie de conceptos y principios desarrollados por Shigeo Shingo un experto en mejora de procesos de fabricación; esta técnica se enfoca en reducir los tiempos de cambio de herramientas y ajustes en una línea, con el objetivo de aumentar la flexibilidad, mejorar la eficiencia y reducir los costos asociados con los cambios de producción. (Shingo, 1985)

El SMED se define como un enfoque sistemático para reducir los tiempos de cambio de herramientas en la producción, desde el estado actual hasta un estado futuro ideal, la técnica busca simplificar y optimizar las operaciones involucradas en cada set-up, y al mismo tiempo convertir la mayor cantidad posible de actividades en “tareas externas” al proceso.

Etapa 0: Análisis detallado

Para implementar exitosamente el SMED, es fundamental comenzar por identificar el equipo y la operación general de set-up que se desea analizar. Este proceso implica desglosar el cambio de configuración en etapas y tareas individuales hasta alcanzar un nivel de detalle adecuado. (Anel, 2022)

Al subdividir el proceso, se deben identificar y registrar todas las actividades necesarias para llevar a cabo el cambio. Esto puede incluir desde desmontar y limpiar equipos, hasta ajustar parámetros o reemplazar herramientas. Cada una de estas acciones puntuales debe ser registrada cuidadosamente, junto con el tiempo que lleva realizarla.

Etapa 1: Separar tareas internas, externas y no necesarias

Esta etapa consiste en clasificar las tareas involucradas en el set-up en tres categorías bien definidas: internas, externas e innecesarias. (Andrada, 2022)

Las tareas internas son aquellas directamente relacionadas con el set-up y que requieren que el equipo se detenga o funcione a una velocidad reducida. Estas tareas se realizan dentro del tiempo de parada del equipo y pueden incluir actividades como el desmontaje y montaje de partes, ajustes precisos, cambios de herramientas y configuración de parámetros.

Las tareas externas son aquellas que se llevan a cabo mientras el equipo sigue en funcionamiento a su velocidad normal, ya sea antes o después del cambio de configuración. Estas tareas suelen estar relacionadas con la preparación de materiales, la carga y descarga de productos, la inspección de calidad y otras actividades que no requieren que el equipo se detenga.

Por otro lado, las tareas no necesarias, no están directamente relacionadas con el cambio de configuración y pueden incluir acciones redundantes, pasos obsoletos o actividades que no aportan valor al proceso.

Etapa 2: Convertir tareas internas en externas

Analizar en detalle las actividades internas del set-up. Este análisis implica cuestionar y evaluar qué tareas podrían realizarse mientras el proceso de producción funciona normalmente, ya sea antes o después del set-up.

El objetivo de cuestionar y replantear estas tareas es maximizar la utilización del tiempo de producción y minimizar los tiempos muertos asociados al set-up. Al llevar a cabo estas actividades mientras el equipo está en funcionamiento, se reduce la dependencia de una parada completa y se logra un uso más eficiente del tiempo disponible.

Etapa 3: Perfeccionar tareas internas y externas y definir roles.

Realizar un análisis detallado de las actividades involucradas en el set-up. Una estrategia efectiva para abordar este análisis es descomponer las tareas en operaciones elementales y luego optimizar cada una de ellas, redefiniendo la forma en que se ejecutan actualmente.

La descomposición de las actividades en operaciones elementales implica identificar los pasos más pequeños y básicos que componen cada tarea del set-up. Esto permite tener una visión más clara y detallada de cada acción específica que se lleva a cabo durante el proceso de cambio de configuración. (Morgan, 2020)

Una vez que se han identificado las operaciones elementales, es posible analizar y evaluar cada una de ellas en busca de oportunidades de optimización. Esto implica cuestionar la forma en que se están ejecutando actualmente y buscar alternativas más eficientes y rápidas para llevar a cabo cada operación.

En este paso también se definen los roles y responsabilidades de cada miembro del equipo involucrado en el set-up. Es fundamental asignar claramente los roles para garantizar una ejecución eficiente y coordinada de las tareas. Cada miembro del equipo debe comprender su función específica y las tareas que le corresponden durante el proceso de cambio de configuración.

Para la ejecución del análisis de caída de papel, se analizó información que contiene detalles sobre el desprendimiento del papel, incluyendo bitácoras turno a turno, observaciones del personal y datos de producción. Se realizó un estudio exhaustivo de los registros para identificar patrones, tendencias y posibles relaciones causales con el fin de determinar las variables clave que influyen en el desprendimiento del papel.

Una vez identificadas las variables, se estableció su relación y como aporta al desprendimiento de papel para establecer rangos en los cuales se pueda operar satisfactoriamente. Posterior a esto se realizaron ensayos en busca de mitigar el fenómeno y encontrar posibles soluciones alternas.

Por otro lado, se procedió al desarrollo de la metodología SMED para reducir y eliminar tiempos perdidos asociados al set-up.

Durante la implementación del SMED, se llevó a cabo la comprensión detallada de cada paso del set-up, buscando oportunidades para simplificar las tareas, estandarizar los procedimientos, eliminar pasos innecesarios y buscar alternativas más eficientes. Se establecieron tiempos estándar para cada actividad y se propusieron cambios en la secuencia de tareas con el objetivo de minimizar los tiempos de inactividad. Una vez definidos los tiempos estándar, se determinaron los ahorros de realizar las mejoras propuestas.

## 6.1 Caída de papel

### 6.1.1 Entendimiento del fenómeno

El problema de caída de papel afecta principalmente al sustrato de tablero de partículas (PB). Según los datos recopilados durante los años 2020, 2021 y 2022, se observó que, de un total de 231 eventos registrados de caída de papel, 124 de ellos ocurrieron en el sustrato PB, lo que representa aproximadamente el 54% de los casos (Figura 6). Además, se registraron 104 eventos de caída de papel en el sustrato PB RH, lo que representa alrededor del 45% de los casos.

Estos hallazgos indican que el sustrato PB es más propenso a experimentar problemas de caída de papel en comparación con MDF. La frecuencia y la cantidad de eventos registrados en el sustrato PB y PB RH sugieren que existen factores específicos relacionados con estos materiales que pueden contribuir al problema.

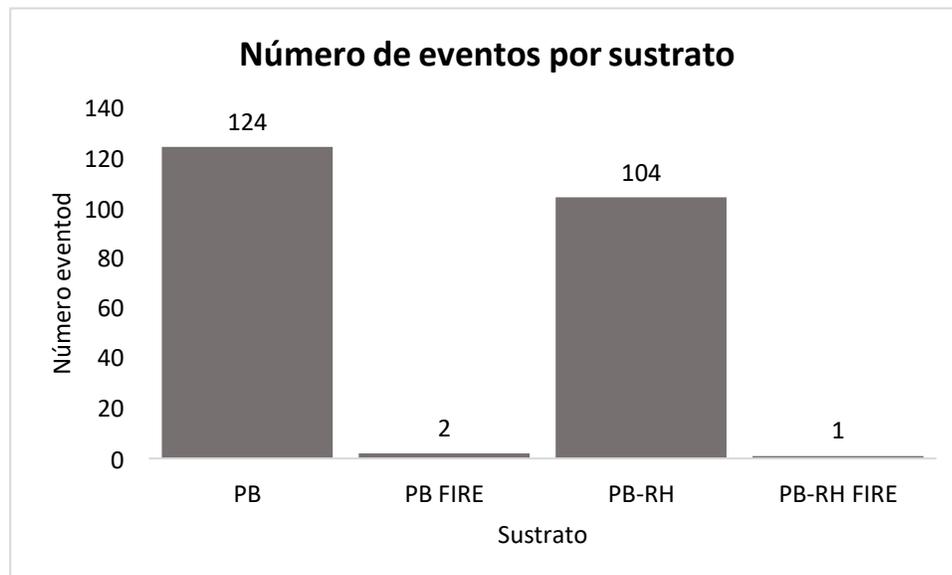


Figura 6. Número de eventos por sustrato.

Además, se observó que el problema se presenta con mayor frecuencia en los tableros de 15mm, con un total de 143 eventos de los 231 registrados (Figura 7). Sin embargo, también se encontraron casos de caída en otros calibres, como 9mm, 12mm, 18mm, 25mm, 30mm y 36mm.

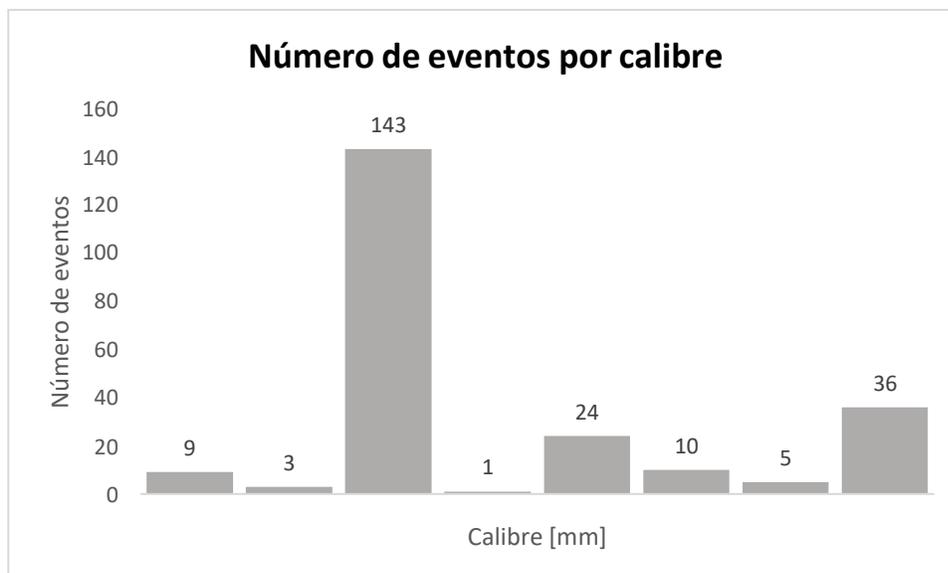


Figura 7. Número de eventos por calibre.

El diseño que presenta la mayor incidencia de caídas es el diseño nevado. Este diseño, inspirado en la blancura y textura de la nieve, ha registrado un total de 73 eventos de caída (Figura 8).

Al analizar los demás diseños presentes en la línea de laminación, se observó que algunos de ellos mostraron una frecuencia de eventos inferior, con menos de 5 eventos registrados cada uno (se presentan en la Figura 8 agrupados en “Otros”). Estos diseños incluyen Amaretto, Ámbar, Boreal, Brixton, Carbono, Cinza C, Fendo, Gracia, Grizzo, Ión, Koa, Lino, Lunar, Markina, Mitte, Pignetto, Polar, Roble Mall, Sagano, Salvaje, Senda, Tabbaco, Volcano y Wengué.

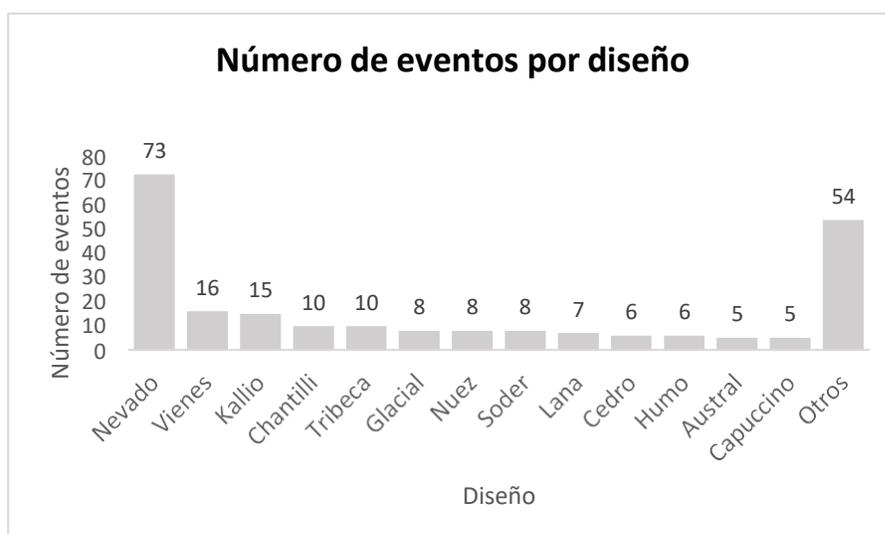


Figura 8. Número de eventos por año.

La adherencia del papel con el tablero se logra a partir de los generadores electrostáticos de alta tensión dispuestos en la línea. Para generar esta carga estática, se utiliza un voltaje de corriente continua (DC) de alta tensión, que puede llegar hasta 60 kV. Este voltaje se dirige hacia la barra generadora, donde se conecta a una serie de pines emisores. Al aplicar el voltaje a estos emisores, se genera lo que se conoce como una "corona", que es un fenómeno eléctrico caracterizado por un campo eléctrico fuerte y saturado de iones alrededor de los puntos de alta tensión y polaridad única.



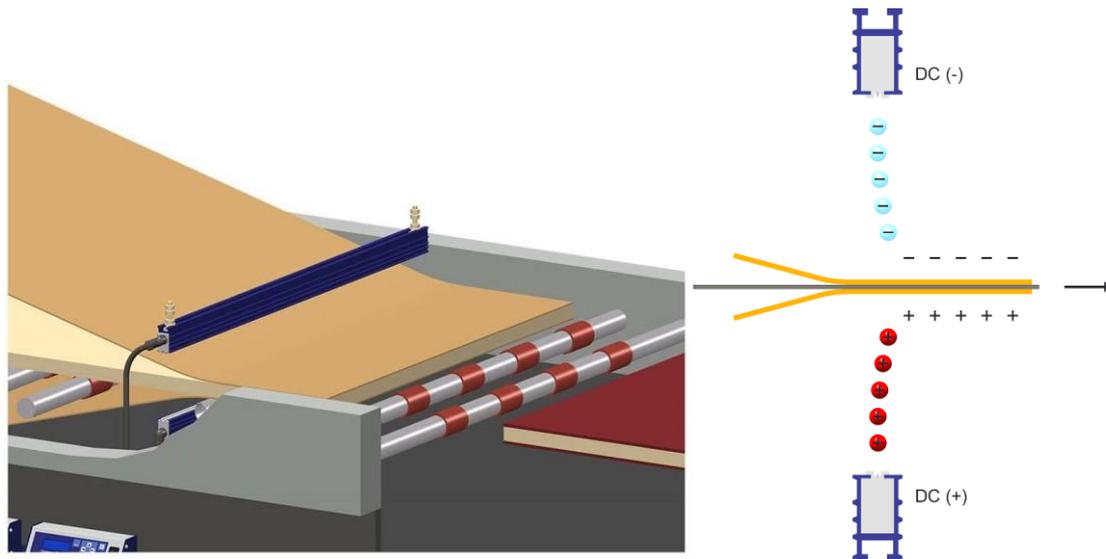
*Figura 9. Ubicación barra generadora papel inferior línea BP2.*

Este campo eléctrico ionizado tiene la capacidad de atraer y polarizar las cargas en el material que se encuentra cerca, en este caso, el papel y el tablero. La polarización de las cargas positivas en uno y las cargas negativas en el otro genera una fuerza de atracción electromagnética, lo que resulta en la adherencia temporal de las dos superficies.

La configuración de la barra generadora por encima y por debajo (Figura 10) es considerado como el método más eficaz para lograr una adhesión máxima entre las capas superior e inferior de un material, así como con el portador intermedio. Esta configuración utiliza dos electrodos, uno ubicado en la parte superior y otro en la parte inferior del material a cargar estáticamente.

En esta configuración, el electrodo superior emite iones negativos, mientras que el electrodo inferior emite iones positivos. Estos iones de polaridad opuesta se atraen mutuamente, creando un campo eléctrico intenso en la región entre las capas del material y el portador intermedio. La presencia de iones negativos en el electrodo superior provoca que los iones positivos presentes en

el electrodo inferior se vean atraídos hacia él. Como resultado, se genera una fuerza de adhesión significativa entre las capas superior e inferior del material, así como con el portador intermedio.



*Figura 10. Configuración barras generadoras.*

Nota: Adherencia electrostática. (s. f.). <https://www.simco-ion.es/productos/adherencia-electrostatica>

### **6.1.2 Variables relevantes**

Teniendo en cuenta que la adhesión generada por la carga estática es temporal y depende de las características del material (conductividad-resistividad eléctrica) y del ambiente en el que se encuentra (humedad relativa y temperatura), se realizan registros de algunas de estas variables. Las ediciones fueron recolectadas desde el año 2020, y se registraron específicamente durante la ocurrencia de eventos de caída de papel en la línea de laminación.

Las gráficas correspondientes a los datos de humedad relativa del ambiente, del tablero y papel se muestran en las figuras 11, 12 y 13, proporcionando una representación visual clara de las fluctuaciones de la humedad a lo largo de los eventos.

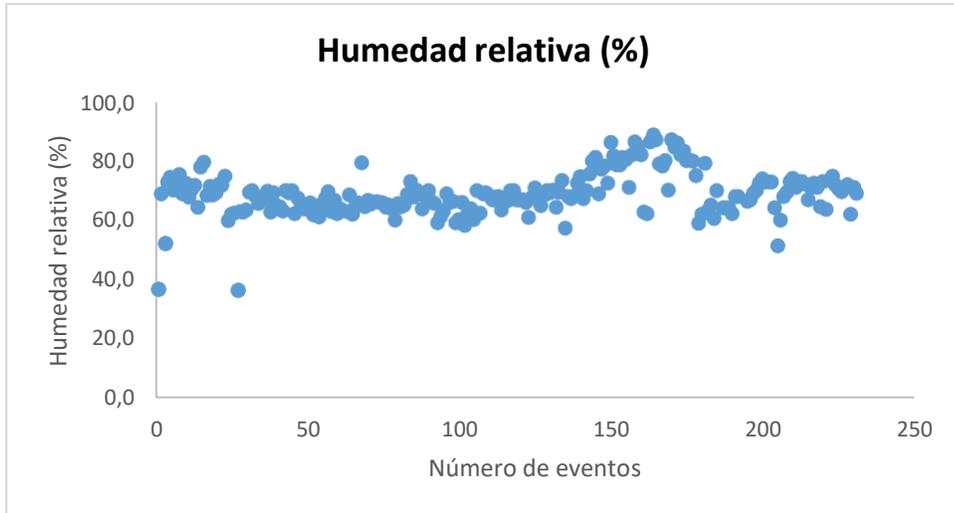


Figura 11. Humedad relativa (%).

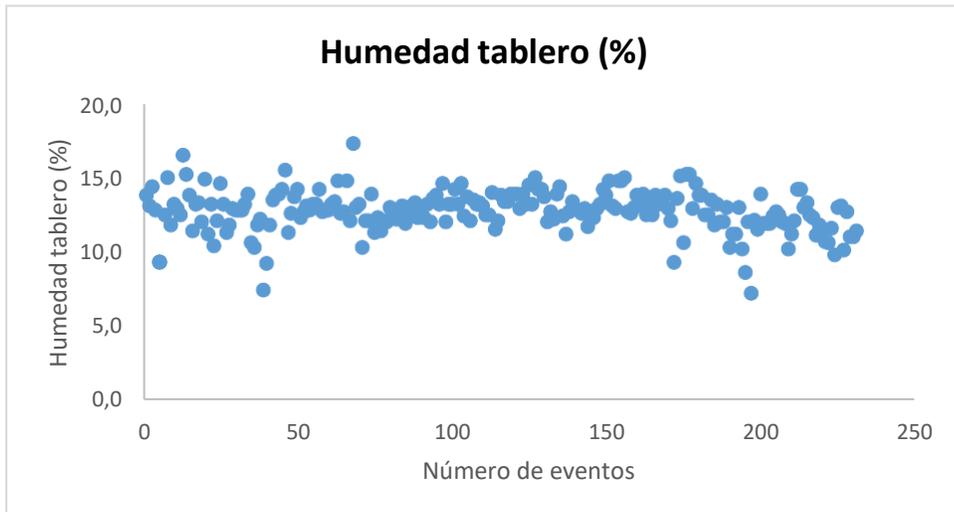


Figura 12. Humedad del tablero (%).

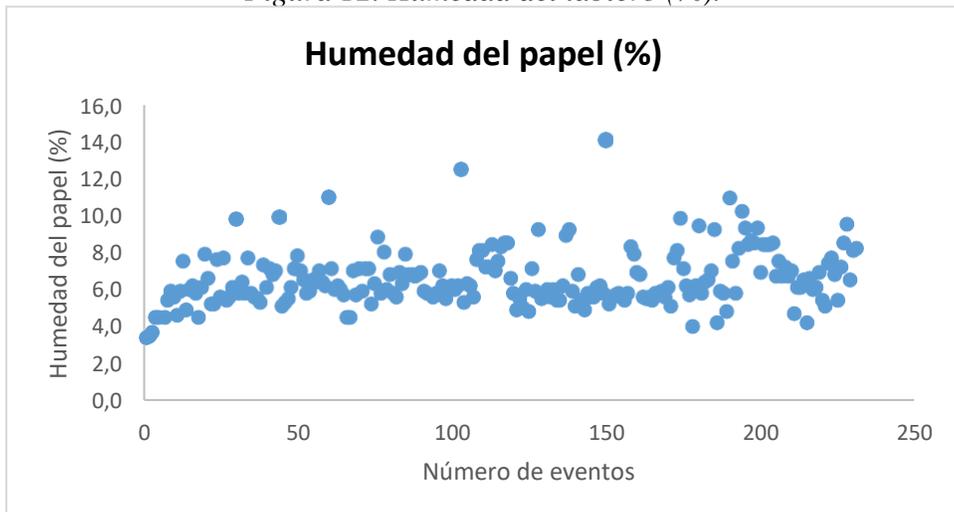


Figura 13. Humedad del papel (%).

En las tablas 1, 2 y 4 se muestra la distribución de frecuencias de los valores observados en cada una de las variables. La tabla de frecuencias consta de dos columnas principales: la columna de valores y la columna de frecuencias. En la columna de valores se enumeran los diferentes valores que puede tomar la variable, mientras que en la columna de frecuencias se muestra la proporción o porcentaje de veces que aparece cada valor en relación con el total de observaciones.

*Tabla 1. Frecuencias rango humedad relativa.*

Rango humedad relativa (%)	Frecuencia
>50	1%
[50-60)	4%
[60-70)	58%
[70-80)	29%
[80-90)	9%

*Tabla 2. Frecuencias rango humedad tablero.*

Rango humedad tablero (%)	Frecuencia
[7-9)	1%
[9-11)	7%
[11-13)	46%
[13-15)	42%
≥15	4%

*Tabla 3. Frecuencias humedad papel.*

Rango humedad papel (%)	Frecuencia
[3-5)	9%
[5-7)	62%
[7-9)	23%
≥9	7%

A partir de los datos, se establece el umbral o el valor límite de cada variable que marca el punto a partir del cual hay una alta probabilidad de que se produzca caída de papel. Estos valores críticos indican las condiciones específicas en las cuales la adhesión entre el papel y los tableros se ve comprometida, lo que lleva a la ocurrencia de eventos de caída. Los rangos de partida se

subrayan en las tablas y corresponden a: humedad relativa mayor a 60%, humedad tablero mayor a 11% y humedad del papel mayor a 5%

Para determinar la resistividad eléctrica de los papeles se realizó un ensayo, específicamente en los diseños Auro, Nevado, Ferrata y Ambar. Para llevar a cabo dicho ensayo, se utilizaron probetas de papeles con longitud de 7.5 cm y un ancho aproximado de 3.7 cm. Se empleó un Fluke 1555 FC 10 kV Insulation Tester, que permitió aplicar un voltaje a través del papel y medir la resistencia eléctrica en ohmios.

*Tabla 4. Condiciones ambientales del ensayo.*

Condiciones ambientales		Unidades
Temperatura	30,6	C
Humedad relativa	55,1	%

*Tabla 5. Condiciones de operacion del Insulator Tester.*

Condiciones de la prueba		Unidades
Voltaje	5000	V
Tiempo	1	min
Distancia de las pinzas eléctricas	6	cm

A partir de los valores de resistencia eléctrica obtenidos (Tabla 6) y con la ecuación, se pudo determinar la resistividad eléctrica.

$$\rho = R * \frac{A}{l}$$

*R = resistencia eléctrica*

*A = area transversal*

*l = longitud = distancia entre las pinzas*

En la Tabla 6 se presentan los resultados de la resistividad eléctrica obtenidos para cada probeta de papel analizada. Al examinar los datos, se observa una tendencia clara que muestra una menor resistividad en el papel de diseño Nevado en comparación con los otros tipos de papel evaluados.

Estos resultados confirman y respaldan la idea de que el papel Nevado posee una característica desfavorable en comparación con los demás.

Tabla 6. Resultados resistividad eléctrica.

Diseño	Resistencia	Unidades	Dimensiones de la probeta			Resistividad [Ohm*m]	Log10 Resistividad
			Longitud [cm]	Ancho [cm]	Espesor [mm]		
Auro	2,15	TOhm	7,5	3,7	0,18	2,39E+08	8,4
Auro	3,16	TOhm	7,5	3,5	0,16	2,95E+08	8,5
Ferrata	303	GOhm	7,5	3,6	0,15	2,73E+07	7,4
Ferrata	303	Gohm	7,5	3,8	0,19	3,65E+07	7,6
Nevado	396	GOhm	7,5	3,7	0,2	4,88E+07	7,7
Nevado	116	GOhm	7,5	3,5	0,2	1,35E+07	7,1
Nevado	757	GOhm	7,5	3,7	0,21	9,80E+07	8,0
Ambar	1,65	TOhm	7,5	3,6	0,15	1,49E+08	8,2

### 6.1.3 Relación entre el fenómeno y las variables

El análisis de la resistividad eléctrica de los diferentes tipos de papel brinda una comprensión más precisa de cómo responden a la carga estática y cómo esto influye en la probabilidad de la caída de papel. Al examinar la resistividad eléctrica de los papeles, se pueden identificar patrones y tendencias significativa para explicar el por qué un diseño presenta una mayor incidencia de caídas, al tener una resistividad menor en comparación con los demás. Esta diferencia en la resistividad puede atribuirse a varios factores, como la composición química, la densidad del papel, la presencia de aditivos, la humedad y otros aspectos relacionados.

La resistividad eléctrica más baja en un papel indica que tiene una mayor capacidad para conducir cargas eléctricas en comparación con los otros tipos de papel evaluados. Esta característica propicia la pérdida de carga estática con mayor facilidad, lo que a su vez aumenta la probabilidad de caída.

Los hallazgos relacionados con la resistividad eléctrica se pueden utilizar para la selección y diseño de papeles con propiedades eléctricas adecuadas que minimicen el riesgo de caída en entornos donde otras variables son dominantes.

La humedad relativa del ambiente desempeña un papel crucial en la generación y disipación de la carga electrostática. En ambientes secos, donde la humedad relativa es baja, los materiales tienden a retener la carga electrostática por períodos más prolongados. Esto se debe a que la baja humedad actúa como un aislante, lo que dificulta la disipación de las cargas acumuladas.

Por otro lado, en ambientes húmedos, donde la humedad relativa es alta, la carga electrostática tiende a disiparse más rápidamente. La presencia de humedad en el aire aumenta la

conductividad superficial de los materiales, permitiendo que la carga electrostática se disperse a través de vías de conducción, como el aire. Como resultado, las cargas electrostáticas se neutralizan más fácilmente en ambientes húmedos reduciendo su acumulación.

Es importante tener en cuenta que la humedad relativa no solo afecta la generación y disipación de la carga electrostática, sino que también puede influir en la resistividad de los materiales.

La absorción de humedad por parte de los tableros puede verse influenciada por factores ambientales, como la humedad relativa en el área de almacenamiento, esto sumado a largos tiempos de permanencia en bodega y un FIFO incorrecto generan ganancia de humedad de los tableros por los cantos y caras expuestas hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio de la madera con el ambiente.

En la Figura 14 se muestran los contenidos de humedad en equilibrio de madera sólida los cuales indican que para una humedad relativa del ambiente de 65% y una temperatura promedio de 26,7°C se alcanzan humedades del 11,7% superando el límite establecido para esta variable (11%). La condición de temperatura y humedad relativa mencionadas son fácilmente alcanzadas en la planta de Barbosa, e incluso superadas en temporada de lluvia aumentando aún más el contenido de humedad en equilibrio de los tableros.

Temperature		Moisture Content (%) at Various Relative Humidities																		
°F	°C	5%	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
30	(-1.1)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.4	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
40	(4.4)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.3	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
50	(10.0)	1.4	2.6	3.6	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.4	14.8	16.4	18.4	20.9	24.3
60	(15.6)	1.3	2.5	3.5	4.6	5.4	6.2	7.0	7.8	8.6	9.4	10.2	11.1	12.1	13.3	14.6	16.2	18.2	20.7	24.1
70	(21.1)	1.3	2.5	3.5	4.5	5.4	6.2	6.9	7.7	8.5	9.2	10.1	11.0	12.0	13.1	14.4	16.0	17.9	20.5	23.9
80	(26.7)	1.3	2.4	3.5	4.4	5.3	6.1	6.8	7.6	8.3	9.1	9.9	10.8	11.7	12.9	14.2	15.7	17.7	20.2	23.6
90	(32.2)	1.2	2.3	3.4	4.3	5.1	5.9	6.7	7.4	8.1	8.9	9.7	10.5	11.5	12.6	13.9	15.4	17.3	19.8	23.3
100	(37.8)	1.2	2.3	3.3	4.2	5.0	5.8	6.5	7.2	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.6	15.1	17.0	19.5	22.9
110	(43.3)	1.1	2.2	3.2	4.0	4.9	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4	9.2	10.0	11.0	12.0	13.2	14.7	16.6	19.1	22.4
120	(48.9)	1.1	2.1	3.0	3.9	4.7	5.4	6.1	6.8	7.5	8.2	8.9	9.7	10.6	11.7	12.9	14.4	16.2	18.6	22.0

Figura 14. Contenido de humedad de equilibrio de la madera sólida.

Nota: Tomado de :Composite Panel Association.. Storage and handling of particleboard and MDF

La temperatura puede influir en dos factores que son la acumulación de cargas electrostáticas, (A temperaturas más bajas, los materiales pueden acumular más carga electrostática debido a la menor movilidad de las cargas.) y el contenido de humedad en equilibrio de los tableros (a mayor temperatura, menor contenido de humedad en equilibrio).

#### 6.1.4 Calentamiento de tableros en prensa

Uno de los métodos empleados actualmente para contrarrestar el fenómeno de la caída de papel es el calentamiento de los tableros en la prensa de ciclo corto previo al proceso de laminación. Este enfoque busca modificar la humedad total de los tableros antes de la aplicación del papel, con el objetivo de reducir la probabilidad de caída.

Con el fin de comprender en mayor detalle qué ocurre durante el calentamiento en la prensa y cómo afecta a los tableros, se lleva a cabo un estudio donde se recopilaron datos de temperatura del tablero.

Las condiciones para el calentamiento del tablero con prensa se muestran en la Tabla 7, estos dan cuenta de las temperaturas de cada una de las placas, el tiempo y la presión empleada.

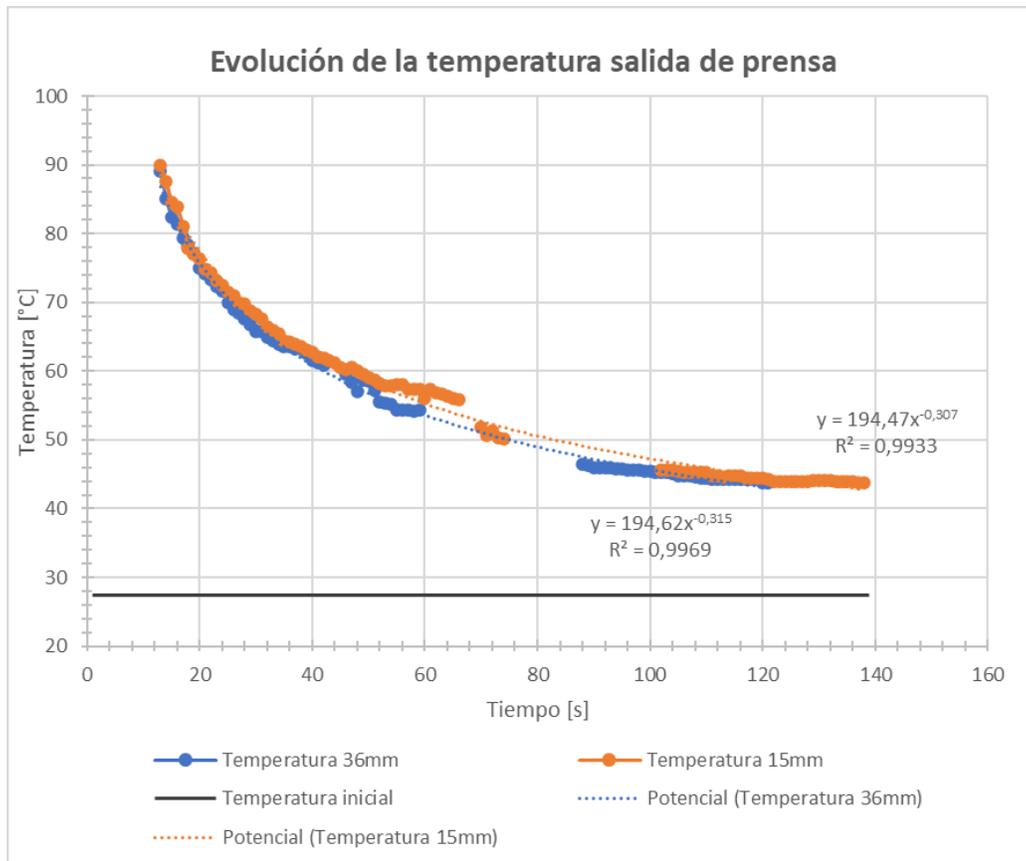
Tabla 7. Condiciones para el calentamiento de tableros con prensa.

Condiciones para el calentamiento de tablero con prensa		
Parametro	Magnitud	Unidades
Temp. de la placa superior	198	°C
Temp. de la placa inferior	203	°C
Tiempo	11	s
Presión	3	kg/cm <sup>2</sup>

Posterior al paso del tablero por la prensa, se llevan a cabo mediciones de temperatura en a lo largo de la línea, hasta llegar a la vía de rodillos de apilado. Durante este recorrido, la cara superior del tablero está expuesta a transferencia de calor por mecanismos de convección y radiación. Estas mediciones se realizaron en tableros de PB con calibres de 15 y 36 mm, y los resultados se presentan en la Figura 15.

De la Figura 15, se puede observar que el comportamiento térmico de los tableros no varía significativamente en función del calibre (curva de calentamiento y enfriamiento). Esto se debe a que el calentamiento ocurre de manera superficial en la cara de los tableros. Los resultados también revelan que ambos tableros alcanzan la misma temperatura en la cara superior, alrededor de 90°C, cuando son sometidos a las condiciones de prensado descritas en la Tabla 7.

El aumento de temperatura en la cara de los tableros ocurre a una tasa de 5,7°C por segundo y se da de manera uniforme en toda la superficie. Cuando existe un gradiente de temperatura más pronunciado entre la superficie del tablero y el ambiente, se produce una pérdida más acelerada de esta energía térmica.



*Figura 15. Evolución temperatura del tablero salida de prensa.*

La temperatura medida en los tableros al llegar a la vía de rodillos de apilado es ligeramente superior a 40°C. Posteriormente, cuando se inicia el proceso de laminación, la temperatura de entrada de los tableros en la superficie es de aproximadamente 36°C.

Durante la etapa de prensado, se plantea la hipótesis de que se produce evaporación del agua presente en la superficie del tablero, conduciendo a una disminución del contenido total de humedad. Esto se debe a que la presión ejercida por la prensa reduce la temperatura de evaporación del agua. Esta evaporación contribuye a la formación de una superficie más seca y favorece la adherencia de los papeles decorativos al tablero.

Además, se plantea la suposición de que a la temperatura de entrada de los tableros después del calentamiento (36°C), inicia la reacción de la resina presente en los papeles decorativos. Esta reacción puede dar lugar a una mayor sensación de pegajosidad en la superficie de los papeles promoviendo una mejor adherencia en el tablero.

### 6.1.5 Calentamiento de tableros con radiación

Con el fin de incrementar la temperatura del tablero alcanzando los 36°C se propuso utilizar calefactores de infrarrojo. La radiación producida atraviesa el aire sin calentarlo significativamente y llega directamente a los objetos y las personas en la habitación, donde se absorbe y convierte en calor.

Los calefactores de infrarrojo seleccionados para la aplicación utilizan lámparas de cuarzo como fuente de calor. Estas lámparas se calientan rápidamente y emiten radiación infrarroja de onda corta. Los calefactores de infrarrojo son eficientes en términos energéticos porque calientan directamente los objetos y las personas, evitando la pérdida de calor asociada con la calefacción del aire. También ofrecen la ventaja de calentar de manera rápida y focalizada, ya que la radiación infrarroja se dirige hacia donde se necesita el calor.

La metodología empleada para llevar a cabo las pruebas se basó en apuntar el calefactor hacia el tablero a una distancia de un metro y medir el tiempo necesario para que la temperatura del tablero aumentara desde la temperatura ambiente (aproximadamente 23°C) hasta 36°C.

*Tabla 8. Parámetros pruebas calentamiento con calefactor.*

Parámetro	Magnitud	Unidades
Potencia del calefactor	2000	W
Eficiencia	95	%
Altura del calefactor	1	m
Área de exposición	1	m <sup>2</sup>



*Figura 16. Configuración de las pruebas.*

Los principales resultados obtenidos fueron los siguientes: se observó que la temperatura en la superficie de los tableros aumentaba a una tasa promedio de aproximadamente 2,5°C por minuto, con un margen de error de 0,5°C. Sin embargo, no fue posible medir adecuadamente el aumento de temperatura mientras el calefactor estaba encendido, ya que la lectura no correspondía con la temperatura real del tablero en estas condiciones.

Además, se observó que el calentamiento se producía de manera superficial, es decir, afectando principalmente la capa externa del tablero, también se identificaron gradientes de temperatura de alrededor de 4°C en la superficie del tablero, lo que indica que la distribución del calor no era uniforme en toda la superficie.

Debido a los limitados tiempos disponibles en la línea de producción para calentar los tableros (aproximadamente 15 segundos por estación), se ha llegado a la conclusión de que los calefactores de infrarrojo no son una opción eficiente para lograr este objetivo.

#### ***6.1.6 Otras maneras de atacar el problema***

- Secado de las superficies externas de los paquetes de tableros, de esta manera se busca eliminar la humedad presente en las superficies para garantizar condiciones adecuadas del sustrato. Para lograr este objetivo, se pueden utilizar diferentes métodos y tecnologías, entre los cuales se destacan los calentadores industriales con soplador o los turbocalefactores. Estos sistemas aprovechan el aire caliente forzado para dirigirlo hacia los paquetes de tableros, permitiendo que interactúe con las superficies y extraiga la humedad presente en ellas.
- Calentamiento de la banda. Se ha observado que, durante el paso por la línea de los tableros que han sido calentados previamente en prensa, se produce un calentamiento adicional en la banda de la mesa de colocación número 2 (Figura XX). Este calentamiento de la banda ha demostrado ser beneficioso, ya que evita la caída de papel, incluso en tableros que no han sido calentados previamente. A raíz de esta observación, se plantea como medida para abordar el problema el calentamiento de las bandas mediante el uso de calefactores de infrarrojo. La propuesta consiste en disponer calefactores de infrarrojo en la parte superior de la línea de producción, de manera que la banda se encuentre constantemente expuesta a su radiación, de esta forma, se lograría el calentamiento de la banda y posterior calentamiento de la cara inferior de los tableros y papeles. Esta energía puede iniciar la

reacción de la resina de manera más rápida y eficiente, lo que a su vez podría reducir los tiempos de prensado.



*Figura 17. Banda mesa colocación de papel inferior.*

## **6.2 SMED cambio de pallet de papel**

Dentro del proceso de laminado de tableros de MDF y PB (ambiente húmedo o seco) con papeles decorativos con recubrimiento melamínico, se cuenta con una amplia variedad de diseños, según el catálogo de Duratex, hay más de 40 opciones. Estos diseños abarcan simulaciones de madera, mármol y fondos unicolores, brindando opciones versátiles para satisfacer las necesidades estéticas y funcionales de los productos finales.

En cuanto a los tipos de tableros laminados obtenidos en el proceso, se distinguen principalmente dos: SUPERCOR y UNICOR.

El SUPERCOR es un tablero que se produce con laminado melamínico en ambas caras, lo que proporciona un acabado decorativo y resistente en ambos lados.

El UNICOR es un tablero que cuenta con laminado melamínico decorativo en una sola cara, mientras que en la otra puede tener un papel de balance, generalmente con un diseño unicolor.

El suministro de los papeles melamínicos se realiza desde la planta de Yarumal, donde son impregnados con resina y apilados en estibas y posteriormente transportados a la planta Barbosa. En Barbosa, los papeles se almacenan en un cuarto climatizado para mantener estables sus propiedades.

En la línea de laminación se ubican las estibas con el diseño requerido según la orden de producción. La Mesa 1 se destina al papel de la cara inferior, mientras que la Mesa 2 se utiliza para

el papel de la cara superior. En esta etapa, un colaborador despliega cada papel sobre la banda transportadora (para la cara inferior) o sobre el tablero (para la cara superior) antes de ingresar a la prensa de laminado.

Se realiza un cambio de estiba o pallet de papel cada vez que se presenta un cambio de diseño en las órdenes de producción. También se efectúa un cambio de estiba cuando, estando en el mismo diseño, se agotan los papeles de la estiba en uso. Esta práctica asegura la continuidad del proceso y la correcta correspondencia entre los diseños requeridos y los papeles utilizados.

Los tiempos de parada asociados a este set-up se contabilizan y se cargan al tipo producción. Durante el año 2022, se registraron un total de 1371 cambios de estiba, que en conjunto sumaron 9.060,2 minutos perdidos (Tabla 9).

*Tabla 9. Tiempos perdidos por cambio de estiba de papel.*

<b>Tipo</b>	<b>Modo de fallo</b>	<b>Tiempo [min]</b>	<b>N° cambios</b>
PRODUCCIÓN	SET UP - CAMBIO DE PALLET DE PAPEL	9060,20	1371

El tiempo registrado en la bitácora comienza cuando se abre prensa con el último tablero laminado y termina cuando se cierra la prensa al ingresar el primer tablero después de realizado el cambio.

### ***Etapa 0.***

En la tabla 10 se presentan las actividades y tiempos promedio medidos para el cambio de pallet de papel, determinados a partir del análisis de grabaciones y observación en campo.

Los tiempos medidos corresponden a los actuales de ejecución para cada actividad y fueron tomados desde el comienzo de una actividad hasta el inicio de la siguiente, por lo tanto, incluyen también los tiempos requeridos para trasladarse de un punto a otro.

*Tabla 10. Actividades y tiempo promedio medido para el cambio de pallet de papel.*

<b>Actividades</b>	<b>TM [s]</b>
Enrollar el papel sobrante y ponerlo sobre la banca MESA 1	0
Enrollar el fomi y ponerlo sobre la banca MESA 1	12
Poner en semiautomático el brazo transportador de tablero crudo MESA 1	11
Levantar el plástico del borde de la estiba MESA 1	10
Desplazar la plataforma corrediza MESA 1	13
Dar aviso y esperar al montacargas	47
Sacar y descargar estiba vacía MESA 1	57
Levantar y poner estiba nueva MESA 1	51
Cerrar la plataforma corrediza MESA 1	12
Posicionar la estiba con la palanca MESA 1	9

Organizar el plástico de la estiba MESA 1	12
Poner el fomi por debajo de los papeles MESA 1	121
Traer papel adicional a MESA 1	132
Desenrollar el papel sobre la estiba MESA 1	11
Sopletear MESA 1	15
Extender el primer papel MESA 1	8
Marcar con tiza la ubicación del papel MESA 1	9
Enrollar el papel sobrante y ponerlo sobre la banca MESA 2	52
Enrollar el fomi y ponerlo sobre la banca MESA 2	19
Desde el panel de control detener el carro de ingreso de tableros a prensa	17
Levantar el plástico del borde de la estiba MESA 2	9
Desplazar la plataforma corrediza MESA 2	9
Desplazamiento montacarga	15
Sacar y descargar estiba vacía MESA 2	83
Levantar y poner estiba nueva MESA 2	57
Cerrar la plataforma corrediza MESA 2	8
Organizar el plástico de la estiba MESA 2	11
Poner el fomi por debajo de los papeles MESA 2	167
Programar próxima receta	42
Traer papel adicional a MESA 2	38
Desenrollar el papel sobre la estiba MESA 2	26
Sopletear MESA 2	10
Extender el primer papel MESA 2	12

**\*TM Tiempo promedio medido**

Las actividades resaltadas en gris no son comunes en todos los cambios, se presentan en algunos casos dada la disponibilidad y disposición del montacarguista, así como del tamaño específico de la orden de producción que se vaya a realizar. Las actividades subrayadas en rojo presentan una alta dispersión en los tiempos medidos. Esto se debe en gran medida a que dichos tiempos dependen de factores variables, como la cantidad de papeles en la estiba y la experiencia y habilidad del colaborador que realiza la tarea influyendo en la velocidad y eficiencia con la que se lleva a cabo cada actividad.

***Etapa 1 y 2.***

En la tabla 11 se muestra la clasificación actual de las actividades, es decir cómo se realizaban en el momento previo al SMED, además de la reclasificación después del análisis SMED.

Tabla 11. Clasificación de actividades de cambio de pallet de papel.

Actividades	Tipo actual	Tipo SMED
Enrollar el papel sobrante y ponerlo sobre la banca MESA 1	EXT	EXT
Enrollar el fomi y ponerlo sobre la banca MESA 1	EXT	EXT
Poner en semiautomático el brazo transportador de tablero crudo MESA 1	EXT	EXT
Levantar el plástico del borde de la estiba MESA 1	EXT	EXT
Desplazar la plataforma corrediza MESA 1	EXT	EXT
Dar aviso y esperar al montacargas	INT	EXT
Sacar y descargar estiba vacía MESA 1	INT	INT
Levantar y poner estiba nueva MESA 1	INT	INT
Cerrar la plataforma corrediza MESA 1	INT	INT
Posicionar la estiba con la palanca MESA 1	INT	INT
Organizar el plástico de la estiba MESA 1	INT	INT
Poner el fomi por debajo de los papeles MESA 1	INT	EXT
Traer papel adicional a MESA 1	INT	EXT
Desenrollar el papel sobre la estiba MESA 1	INT	EXT
Sopletear MESA 1	INT	INT
Extender el primer papel MESA 1	INT	INT
Marcar con tiza la ubicación del papel MESA 1	INT	INT
Enrollar el papel sobrante y ponerlo sobre la banca MESA 2	EXT	EXT
Enrollar el fomi y ponerlo sobre la banca MESA 2	INT	INT
Desde el panel de control detener el carro de ingreso de tableros a prensa	EXT	EXT
Levantar el plástico del borde de la estiba MESA 2	INT	INT
Desplazar la plataforma corrediza MESA 2	INT	INT
Desplazamiento montacarga	INT	INT
Sacar y descargar estiba vacía MESA 2	INT	INT
Levantar y poner estiba nueva MESA 2	INT	INT
Cerrar la plataforma corrediza MESA 2	INT	INT
Organizar el plástico de la estiba MESA 2	INT	INT
Poner el fomi por debajo de los papeles MESA 2	INT	EXT
Programar próxima receta	EXT	EXT
Traer papel adicional a MESA 2	INT	EXT
Desenrollar el papel sobre la estiba MESA 2	INT	EXT
Sopletear MESA 2	INT	INT
Extender el primer papel MESA 2	EXT	EXT

Durante el proceso de análisis y discusión con el ingeniero de procesos y los operarios, se identificaron varios hallazgos significativos que podrían reducir los tiempos de cambio de configuración. Estos hallazgos se centran en la optimización de las actividades relacionadas con la coordinación del personal, la preparación de la estiba y la gestión de papeles adicionales.

- Coordinación con el montacarguista: Se determinó que el operario debe informar previamente al montacarguista a través del sistema de comunicación por radio sobre la necesidad de su apoyo durante el cambio de set-up. De esta manera, se elimina el tiempo de espera y se convierte en una actividad externa planificada.
- Uso de fomi o lona en la estiba: Se encontró que el fomi o lona utilizado para deslizar los papeles desde la estiba hasta la banda o el tablero puede colocarse durante la preparación inicial de la estiba justo en el momento en que se realiza el conteo de los papeles requeridos para la orden de producción. Esta acción permite ahorrar tiempo durante el set-up, ya que el fomi o lona estará listo, evitando demoras adicionales cuando se tenga la línea parada.
- Gestión de papeles para OP pequeñas o reposiciones: La necesidad de poner papel adicional de otro diseño sobre la estiba de papel se da en los siguientes casos. 1). Cuando se debe reponer para completar la orden de producción, 2). Cuando se va a realizar una OP de pocas unidades. En dichos casos el papel se pondrá sobre la estiba de papel en la zona de preparación, quitando el plástico que lo cubre y desenrollando los papeles, de esta forma se convierten 2 actividades en externas y se reduce la ocupación de colaboradores durante la ejecución del cambio.

### ***Etapa 3.***

Con el objetivo de mejorar el proceso de cambio de estiba de papel se ha propuesto una reestructuración de las actividades, así como la definición de roles claros y el establecimiento de tiempos estándar para la ejecución de cada tarea. La implementación de estos cambios permitirá un enfoque más estructurado y eficiente en el cambio de estiba de papel.

Para establecer los tiempos estándar de cada una de las actividades involucradas en el cambio de estiba de papel, se realizó un análisis detallado de los tiempos medidos y sumado a una revisión con los operarios que ejecutan dichas tareas. Esta aproximación buscó fomentar la participación de los implicados y aprovechar su experiencia y conocimiento directo del proceso.

*Tabla 12. Funciones y tiempo estimado cambio de pallet de papel.*

#	Actividades	Tipo SMED	Funciones	TE [s]
1	Poner el fomi por debajo de los papeles en la estiba MESA 1	EXT	PA + OP	-
2	Preparar papel adicional para la estiba MESA 1	EXT	PA	-
3	Desenrollar el papel sobre la estiba MESA 1	EXT	PA	-

4	Poner el fomi por debajo de los papeles en la estiba MESA 2	EXT	PA + OP	-
5	Preparar papel adicional para la estiba MESA 2	EXT	PA	-
6	Desenrollar el papel sobre la estiba MESA 2	EXT	PA	-
7	Dar aviso al montacarguista por medio del radio	EXT	OP	-
8	Enrollar el papel sobrante y ponerlo sobre la banca MESA 1	EXT	A1	40
9	Enrollar el fomi y ponerlo sobre la banca MESA 1	EXT	A1	15
10	Poner en semiautomático el brazo transportador de tablero crudo MESA 1	EXT	A1	10
11	Programar próxima receta	EXT	OP	35
12	Levantar el plástico del borde de la estiba MESA 1	EXT	A1	10
13	Desplazar la plataforma corrediza MESA 1	EXT	A1 + PA	10
14	Sacar y descargar estiba vacía MESA 1	INT	M	57
15	Levantar y poner estiba nueva MESA 1	INT	M	50
16	Cerrar la plataforma corrediza MESA 1	INT	A1 + PA	10
17	Posicionar la estiba con la palanca MESA 1	INT	A1	10
18	Organizar el plástico de la estiba MESA 1	INT	A1	10
19	Sopletear MESA 1	INT	A1	15
20	Extender el primer papel MESA 1	INT	A1	10
21	Marcar con tiza la ubicación del papel MESA 1	INT	A1	10
22	Seleccionar la receta	INT	OP	10
23	Enrollar el papel sobrante y ponerlo sobre la banca MESA 2	EXT	A2	10
24	Enrollar el fomi y ponerlo sobre la banca MESA 2	INT	A2	15
25	Desde el panel de control detener el carro de ingreso de tableros a prensa	EXT	OP	20
26	Levantar el plástico del borde de la estiba MESA 2	INT	A2	10
27	Desplazar la plataforma corrediza MESA 2	INT	A2 + PA	10
28	Desplazamiento montacarga	INT	M	15
29	Sacar y descargar estiba vacía MESA 2	INT	M	57
30	Levantar y poner estiba nueva MESA 2	INT	M	50
31	Cerrar la plataforma corrediza MESA 2	INT	A2 + PA	10
32	Organizar el plástico de la estiba MESA 2	INT	A2	10
33	Sopletear MESA 2	INT	A2	15
34	Extender el primer papel MESA 2	EXT	A2	15

**\*TE. Tiempo estándar.**

Las actividades del 1 al 9 se enfocan en la preparación de las estibas de papel, las cuales se llevan a cabo de manera externa antes del inicio del cambio. Debido a su naturaleza externa, no se les ha asignado un tiempo estándar específico.

En la Tabla 13 se presenta la cantidad de personal disponible en la línea por turno. Es importante destacar que, aunque se cuenta con dos montacarguistas, se ha tomado la decisión de utilizar solo uno para realizar los movimientos durante el set-up. Esto se debe a que se prioriza que

uno de ellos continúe realizando las labores de embalaje de los paquetes que salen de la línea, garantizando así un flujo continuo en la producción. Asimismo, se evaluó que un montacarguista es suficiente para realizar los movimientos requeridos durante el set-up, lo que evita una posible congestión de personal en la zona de cambio y asegura una distribución eficiente de las tareas.

*Tabla 13. Colaboradores línea BP2 por turno.*

Abreviatura	Cargo	
OP	Operario	
PA	Patinador	
M	Montacarguista	
A1	Ayudante mesa 1	
A2	Ayudante mesa 2	
CL	Clasificador	

### **6.2.1 Tiempo estándar ejecución cambio de pallet de papel**

Para establecer el tiempo estándar de ejecución del cambio de pallet de papel, se utiliza un diagrama Gantt, el cual proporciona una representación visual del flujo de actividades y su secuencia en el tiempo. Este diagrama permite identificar las actividades que pueden realizarse de manera simultánea, así como aquellas que son críticas y determinan la duración total del cambio.

En el diagrama Gantt para el cambio de pallet de papel de ambas estibas (Figura 18), se resaltan con un borde grueso las actividades críticas, es decir, aquellas que tienen un impacto significativo en el tiempo total del cambio.

Se observa que las actividades más críticas están relacionadas con los movimientos del montacarguista. Cualquier variación, ya sea positiva (reducción) o negativa (aumento), en la duración de estos movimientos tendrá un impacto directo en el tiempo total del cambio. Por lo tanto, es crucial fomentar la habilidad y el entrenamiento del montacarguista para lograr una reducción efectiva en el tiempo total del proceso.

Teniendo en cuenta el diagrama Gantt y considerando todas las actividades involucradas, se calcula el tiempo total del cambio de pallet de papel (Tabla 14). Este tiempo total es una estimación basada en la secuencia y duración de las actividades identificadas en el diagrama Gantt.

*Tabla 14. Tiempo total y estándar cambio de pallet de papel 2 estibas.*

<b>Cambio de pallet de papel 2 estibas</b>			
Tiempo total [s]	Tiempo total [min]	Factor de seguridad	Tiempo estándar [min]
304	5,1	1,25	6,3

Durante el proceso de determinación del tiempo estándar, se tuvo en cuenta un factor de seguridad que considera las posibles variaciones de tiempos en cada actividad según la experiencia y capacidades del personal.

La inclusión de este factor de seguridad tiene como objetivo anticiparse a las variaciones que pueden surgir durante la realización de las actividades. Al considerar estos factores, se busca establecer un margen adicional que permita tener en cuenta posibles contratiempos, imprevistos o variaciones inesperadas.

En la Tabla 15 y 16 se muestran los resultados del tiempo estándar para cada cambio de pallet de papel en Mesa 1 y Mesa 2 respectivamente y en las Figuras 19 y 20 se muestran los correspondientes diagramas GANTT.

*Tabla 15. Tiempo total y estándar cambio pallet de papel mesa 1.*

<b>Cambio de pallet de papel mesa 1</b>			
<b>Tiempo total [s]</b>	<b>Tiempo total [min]</b>	<b>Factor de seguridad</b>	<b>Tiempo estándar [min]</b>
242	4,0	1,25	5,5

*Tabla 16. Tiempo total y estándar cambio pallet de papel mesa 2.*

<b>Cambio de pallet de papel mesa 2</b>			
<b>Tiempo total [s]</b>	<b>Tiempo total [min]</b>	<b>Factor de seguridad</b>	<b>Tiempo estándar [min]</b>
192	3,2	1,25	4,0

La variación en los resultados del tiempo estándar en los cambios de una estiba se da principalmente porque en el caso de mesa 1 se debe esperar a que el tablero haga el recorrido hasta que ingrese a prensa, esto le tarda 1 min aproximadamente.

### **6.2.2 Ahorros de tiempo**

La Tabla 15 presenta una comparativa entre los tiempos perdidos registrados en el año 2022 y los tiempos estimados después de implementar el nuevo tiempo estándar establecido mediante el análisis SMED para el cambio de pallet de papel. De acuerdo con los datos de la tabla, se estima que se pueden ahorrar al menos 1839,6 minutos al año, lo que equivale a aproximadamente 30,66 horas. Esta reducción significativa en los tiempos perdidos se traduce en una mejora notable en la eficiencia y productividad de la línea de laminación. Para contextualizar aún más estos ahorros en tiempo, se considera el patrón productivo de la línea, el cual indica una velocidad de producción de 188 láminas por hora. Basándose en esa información, las 30,66 horas ahorradas representan un total estimado de 5764,08 láminas adicionales que pueden ser producidas durante el año.

Estos resultados demuestran el impacto positivo de la implementación de los nuevos tiempos estándar establecidos después del análisis SMED en términos de eficiencia y capacidad de producción. Además, destacan la importancia de optimizar los tiempos de cambio y reducir las pérdidas para maximizar los recursos y mejorar los resultados operativos en la línea de laminación

*Tabla 17. Comparativa tiempos 2022 vs SMED.*

	<b>Tiempos perdidos[min]</b>	<b>Número de cambios</b>	<b>Tiempo promedio cambio</b>
<b>2022</b>	9060,2	1371	6,6
<b>SMED</b>	<b>7220,6</b>	1371	5,3







### 6.3 SMED cambio de calibre – sustrato

El sustrato en el proceso de laminado se refiere a los diferentes tipos de tableros que se emplean. Por ejemplo, se utilizan tableros de MDF RH, que son tableros de fibras de madera de media densidad diseñados para ambientes húmedos. Además, se utilizan tableros de MDF, PB y PB RH. En cuanto al calibre en los tableros, corresponde a la medida normal del espesor. Se trabajan diferentes calibres entre los que se encuentran 5,5 mm, 9 mm, 12 mm, 15 mm, 18 mm, 25 mm y 36 mm.

Los tableros de PB pueden provenir tanto de la planta de Yarumal como ser importados de Brasil. Estos tableros, junto con los de MDF, se almacenan en la bodega BTL. El montacarguista se encarga de bajar los paquetes de las torres de almacenamiento y retirar los zunchos de sujeción. Luego, transporta los paquetes hacia la vía de rodillos de alimentación, donde se retira la tapa superior del paquete y se inicia el proceso de laminado.

Los cambios de calibre o sustrato se realizan según lo indiquen las órdenes de producción. Cuando es necesario efectuar un cambio, se procede a detener la producción y realizar la sustitución correspondiente. Estos cambios implican una parada en el flujo de trabajo y están asociados a tiempos de inactividad que se registran bajo la categoría de PCP (Planificación y Control de la Producción).

Durante el año 2022, se tuvieron 630 reportes de parada relacionados con cambios de calibre, sustrato o calibre-sustrato, sumando un total de 9.676,63 minutos perdidos (Tabla 18). Es importante mencionar que el número de reportes no corresponde al número total de cambios efectuados durante el año debido a que en la mayoría de los casos se especifica el total de cambios por turno en un solo reporte.

Tabla 18. Tiempos perdidos por cambio de calibre - sustrato 2022.

Tipo	Modo de fallo	Tiempo [min]	N° reportes
PCP	SET UP - CAMBIO DE CALIBRE- SUSTRATO	9676,63	630

Estos registros de tiempo perdido evidencian la importancia de optimizar los procesos de cambio de calibre y sustrato para minimizar los tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia global de la línea de producción. El análisis y mejora de estos cambios mediante la metodología SMED puede ser una estrategia efectiva para reducir los tiempos de parada y aumentar la productividad de la planta.

### ***Etapa 0.***

En la tabla 19 se presentan las actividades y tiempos promedio medidos para el cambio de calibre – sustrato, determinados a partir del análisis de grabaciones y observación en campo.

Los tiempos medidos corresponden a los actuales de ejecución para cada actividad y fueron tomados desde el comienzo de una actividad hasta el inicio de la siguiente, por lo tanto, incluyen también los tiempos requeridos para trasladarse de un punto a otro.

*Tabla 19. Actividades y tiempo promedio medido para el cambio de calibre - sustrato.*

<b>Actividades</b>	<b>TM [min]</b>
Verificar que estén los tableros para cumplir la OP	-
Quitar los topes de la mesa de tapas	18
Sacar las tapas inferiores y ponerlas en el acopio de tapas superiores	56
Barrer la línea, hasta verificar el último tablero	39
Poner en modo manual la zona de tablero crudo	5
Subir el brazo empujador y bajar la mesa de desapilado	31
Sacar los tableros sobrantes de la mesa de desapilado	18
Programar la receta	10
Volver a modo automático (Pasar los tableros de la vía de rodillos a la mesa de desapilado, bajar el brazo empujador y subir la mesa de desapilado)	30
Poner los topes en la mesa de tapas	20
Transporte de tablero a prensa	90

**\*TM. Tiempo promedio medido.**

Durante el análisis del set-up, se identificó que la mayoría de los tiempos asociados a este proceso se deben a los movimientos de la máquina. Estos movimientos son en su mayoría constantes y no varían significativamente de un cambio a otro, por lo que las variaciones medidas se presentan porque el colaborador encargado no proporciona las instrucciones necesarias a la máquina en el momento oportuno. Estos retrasos se deben a distintos factores, como la comunicación ineficiente o la falta de atención en la ejecución de las tareas.

### ***Etapa 1 y 2.***

En la tabla 20 se muestra la clasificación actual de las actividades, es decir cómo se realizaban en el momento previo al SMED, además de la reclasificación después del análisis SMED.

Tabla 20. Clasificación de actividades cambio de calibre - sustrato,

Actividades	Tipo actual	Tipo SMED
Verificar que estén los tableros para cumplir la OP	EXT	EXT
Quitar los topes de la mesa de tapas	EXT	EXT
Sacar las tapas inferiores y ponerlas en el acopio de tapas superiores	EXT-INT	EXT
Barrer la línea, hasta verificar el último tablero	EXT	EXT
Poner en modo manual la zona de tablero crudo	EXT	EXT
Subir el brazo empujador y bajar la mesa de desapilado	INT	INT
Sacar los tableros sobrantes de la mesa de desapilado	INT	INT
Programar la receta	INT	INT
Volver a modo automático (Pasar los tableros de la vía de rodillos a la mesa de desapilado, bajar el brazo empujador y subir la mesa de desapilado)	INT	INT
Poner los topes en la mesa de tapas	EXT	EXT
Transporte de tablero a prensa	EXT	EXT

Durante el análisis del set-up, se identificaron varios hallazgos importantes que pueden contribuir a la optimización y mejora del proceso. Estos hallazgos se basan en la observación detallada de las actividades y en las discusiones realizadas con el personal involucrado en el cambio de sustrato y calibre. A continuación, se presentan los principales hallazgos encontrados:

- Aviso previo al montacarguista: Se determinó que, al dar un aviso anticipado al montacarguista mediante el uso de la comunicación por radio, se puede agilizar el proceso al permitir que el montacarguista esté listo para apoyar en el cambio. Esto implica realizar la actividad de sacar las tapas inferiores antes del set-up, lo cual contribuye a reducir el tiempo total del cambio.
- Revisión del último tablero: Se identificó que se pueden ahorrar 40 segundos en el tiempo total del set-up si no se revisa el último tablero en el clasificador. Sin embargo, se determinó que existe un riesgo de que el tablero presente defectos de calidad, lo cual requeriría alimentar otro tablero después del cambio para completar la orden de producción. Esto implica manipulación de cargas y ocupación adicional del personal. Por lo tanto, se decidió revisar el tablero para evitar posibles riesgos y garantizar la calidad del producto final.
- Adición de tableros para completar la OP anterior (Solo en cambio de sustrato): Se exploró la posibilidad de agregar los tableros necesarios para completar la orden de producción del sustrato anterior al paquete de tableros del cambio de sustrato. Esto permitiría evitar el paro y el barrido de la línea. Sin embargo, se identificaron riesgos asociados a la manipulación

de cargas (tableros) por parte de los colaboradores. Esta opción requeriría una cuidadosa evaluación de los riesgos y la implementación de medidas de seguridad adecuadas antes de su ejecución.

- Cambio de calibre con "engaño" a la máquina: Se descubrió que en algunos cambios de calibre con una variación máxima de  $\pm 3\text{mm}$ , es posible "engañar" a la máquina para realizar la adición de tableros mencionada anteriormente. Sin embargo, después de discutirlo con el personal de mantenimiento electrónico, se determinó que esta práctica debe descartarse ya que existe el riesgo de sobre esforzar y descalibrar algunos elementos de la línea al trabajar con calibres diferentes a los programados en la receta. Por lo tanto, se prioriza la integridad y la eficiencia a largo plazo de la maquinaria.

### ***Etapa 3.***

Con el objetivo de mejorar el proceso de cambio de estiba de papel se ha propuesto una reestructuración de las actividades, así como la definición de roles claros y el establecimiento de tiempos estándar para la ejecución de cada tarea. La implementación de estos cambios permitirá un enfoque más estructurado y eficiente en el cambio de estiba de papel.

Para establecer los tiempos estándar de cada una de las actividades involucradas en el cambio de estiba de papel, se realizó un análisis detallado de los tiempos medidos y sumado a una revisión con los operarios que ejecutan dichas tareas. Esta aproximación buscó fomentar la participación de los implicados y aprovechar su experiencia y conocimiento directo del proceso.

Con el fin de perfeccionar las tareas y el modo en que se ejecuta el cambio de estiba de papel, se propone la siguiente reestructuración de actividades, así como la definición de roles y el establecimiento de tiempos estándar para la ejecución de cada tarea.

*Tabla 21. Funciones y tiempo estimado cambio calibre – sustrato.*

#	Actividades	Tipo SMED	Funciones	TE [s]
1	Verificar que estén los tableros para cumplir la OP	EXT	M	-
2	Quitar los topes de la mesa de tapas	EXT	A1	-
3	Sacar las tapas inferiores y ponerlas en el acopio de tapas superiores	EXT	M	-
4	Barrer la línea, hasta verificar el último tablero	EXT	OP + CL	39
5	Poner en modo manual la zona de tablero crudo	EXT	A1	5
6	Subir el brazo empujador y bajar la mesa de desapilado	INT	A1	18
7	Sacar los tableros sobrantes de la mesa de desapilado	INT	A1	20
8	Programar la receta	INT	OP	10

9	Volver a modo automático (Pasar los tableros de la vía de rodillos a la mesa de desapilado, bajar el brazo empujador y subir la mesa de desapilado)	INT	A1	25
10	Poner los topes en la mesa de tapas	EXT	A1	15
11	Transporte de tablero a prensa	EXT	-	90

\*TE. Tiempo estándar.

Durante el análisis del proceso de cambio de sustrato y calibre, se identificó que las actividades del 1-3 corresponden a tareas de preparación que deben realizarse de manera externa antes del inicio del cambio. No se especifica tiempo estándar para estas actividades debido a que estos tiempos pueden variar en función de factores específicos, como la experiencia del personal, y a que no representan una amenaza en el tiempo total del set-up.

Los tiempos estándar para cada una de las actividades se determinaron a partir del análisis de los tiempos medidos durante el proceso y de las discusiones con los operarios. La participación de los operarios fue fundamental para garantizar que se tengan en cuenta sus conocimientos y experiencia.

### 6.3.1 Tiempo estándar ejecución cambio de calibre - sustrato

Para establecer el tiempo estándar de ejecución del cambio de calibre-sustrato, se han definido cuidadosamente las actividades que ocurren antes de que se tome el tiempo para el cambio o que pueden llevarse a cabo de manera simultánea. Estas actividades se han resaltado en gris para facilitar su identificación. (Tabla 22).

Tabla 22. Actividades simultaneas cambio de calibre - sustrato.

#	ACTIVIDADES	TE [s]
1	Verificar que estén los tableros para cumplir la OP	-
2	Quitar los topes de la mesa de tapas	15
3	Sacar las tapas inferiores y ponerlas en el acopio de tapas superiores	60
4	Barrer la línea, hasta verificar el último tablero	39
5	Poner en modo manual la zona de tablero crudo	5
6	Subir el brazo empujador y bajar la mesa de desapilado	18
7	Sacar los tableros sobrantes de la mesa de desapilado	20
8	Programar la receta	10
9	Volver a modo automático (Pasar los tableros de la vía de rodillos a la mesa de desapilado, bajar el brazo empujador y subir la mesa de desapilado)	25
10	Poner los topes en la mesa de tapas	15
11	Transporte de tablero a prensa	90

Por lo tanto, el tiempo total del cambio encontrado corresponde a:

*Tabla 23. Tiempo total y estándar cambio de calibre - sustrato.*

<b>Cambio de calibre - sustrato</b>			
<b>Tiempo total [s]</b>	<b>Tiempo total [min]</b>	<b>Factor de seguridad</b>	<b>Tiempo estándar [min]</b>
192	3,2	1,25	4,0

### **6.3.2 Ahorros de tiempo.**

Considerando un tiempo promedio de cambio de 5,5 minutos en el año 2022, se estima que se realizaron al menos 2 cambios por turno, lo que suma un total de 1759 cambios a lo largo del año (Tabla 22). Estos datos permiten evaluar de manera más precisa los ahorros de tiempo logrados después de la implementación del método SMED.

Según los resultados obtenidos, se calcula que los ahorros de tiempo por año ascienden a 2613,63 minutos, lo que equivale a aproximadamente 43,6 horas. Estas horas ahorradas representan 8189 láminas adicionales que se pueden producir en el transcurso del año.

*Tabla 24. Comparativa tiempos 2022 vs SMED.*

	<b>Tiempo [min]</b>	<b>Número de cambios</b>	<b>Tiempo promedio cambio</b>
<b>2022</b>	9676,63	1759	5,5
<b>SMED</b>	7036	1759	4,0

Las principales causas de caída de papel son altas humedades relativas, del tablero y el papel. Los valores a partir de los cuales se presenta son humedad relativa del ambiente >60%, humedad del tablero >11%, humedad del papel >5%.

La humedad relativa incrementa la humedad superficial del tablero y el papel aumentando la conductividad eléctrica y facilitando la disipación de las cargas estáticas, impidiendo la adherencia del papel.

La humedad del tablero está influenciada por la temperatura del ambiente (mayor temperatura menor contenido de humedad en equilibrio) y la humedad relativa (mayor humedad relativa mayor contenido de humedad en equilibrio), a partir de tablas se puede establecer el contenido de humedad de equilibrio de la madera en dichas condiciones.

El análisis de resistividad de papeles sirve para determinar que diseños cuentan con propiedades eléctricas favorables para laminar en entornos donde otras variables detonantes del problema estén por fuera de los rangos.

Otras maneras de atacar el problema de caída de papel son secando las superficies de los paquetes de tablero para reducir su humedad o calentar la banda de la mesa de colocación de papel número 2 para iniciar la activación de la resina del papel aumentando su adherencia.

Por medio del análisis de SMED se puede reducir 1839,6 minutos al año en el set-up de cambio de pallet de papel, lo que corresponde a 5764,08 láminas adicionales que pueden ser producidas durante el año. Análogamente para el set-up de cambio de calibre-sustrato se puede reducir 2613,63 minutos al año, equivalentes a producir 8189 láminas.

## Referencias

- Adherencia electrostática. (s. f.). <https://www.simco-ion.es/productos/adherencia-electrostatica>
- Andrada, A. M. (2022, March 3). SMED: qué es y cómo puede implementarse. Universidad Americana De Europa. <https://unade.edu.mx/smed-que-es/>
- Anel, J. (2022). SMED. Las 6 Etapas Para El Éxito En El Cambio Rápido De Modelo. » Lean Componentes. Lean Componentes. <https://leancomponentes.com/smed/>
- Composite Panel Association. (n.d.). Storage and handling of particleboard and MDF. Composite Panel Association.
- Lüttgens, G., Lüttgens, S., & Schubert, W. (2017). Static Electricity, Understanding, Controlling, Applying.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016). Estudio de estimación y caracterización del consumo de madera en los sectores de vivienda y grandes obras de infraestructura. <https://cutt.ly/hwqp2lzJ>
- Morgan, I. (2020). El método SMED: reduciendo tiempos y costos. DataScope. <https://datascope.io/es/blog/el-metodo-smed-reduciendo-tiempos-y-costos/>
- Prensas de tablero de viruta. (s. f.). <https://www.simco-ion.es/soluciones-para-su-industria/madera/prensas-de-tablero-de-viruta>
- Shingo, S. (1985). A Revolution in Manufacturing: The SMED System. Productivity Press.