



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**“Diseño e implementación de un Dashboard de Control para
Variables Críticas del Proceso de Fabricación de vidrio
laminado en Vidrios Lirquén S.A.”**

POR

Luis Matias Cerna Eyzaguirre

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniero Civil Industrial.

Profesor guía

Hernaldo Del Carmen Reinoso

Profesional Supervisora

Ivonne Beltrán Barriga

Diciembre 2025

Concepción (Chile)

© 2025 Luis Matias Cerna Eyzaguirre

© 2025 Luis Matias Cerna Eyzaguirre

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Sumario

En el presente proyecto se aborda el diseño e implementación de una herramienta de gestión visual para el proceso de fabricación de vidrio laminado en Vidrios Lirquén S.A., a través del desarrollo de un dashboard operativo y otro para la jefatura en la plataforma corporativa Sequoia. El trabajo apunta a integrar en un solo sistema las variables críticas que inciden directamente en el proceso, calidad del producto y rendimiento operativo, consolidando el monitoreo en tiempo real, antes inexistente.

Esta iniciativa surge ante la necesidad de mejorar el control del proceso productivo, dada la existencia de información desagregada y difícil de visualizar, como el comportamiento térmico de la EPY, maquina que da el sellado preliminar a las láminas. Además, la ausencia de indicadores automáticos en disponibilidad y flowrate, que son el tiempo disponible para operar y la velocidad a la que operan en los tiempos disponibles respectivamente. lo que dificultaba la toma de decisiones. Estas brechas aumentan la probabilidad de generar mermas reduciendo la capacidad de actuar con rapidez ante desviaciones y limitaban la comprensión integral por parte de los operadores en la línea.

El desarrollo se ejecutó mediante una metodología iterativa, comenzando por el levantamiento de variables críticas del proceso, seguido por la definición de los datos y la construcción de componentes visuales en Sequoia. Se crearon vistas específicas para operadores y supervisores, incorporando gráficos, indicadores numéricos y rangos de alerta para las variables, permitiendo así realizar análisis históricos de fácil interpretación. Asimismo, se configuraron cálculos automáticos de disponibilidad y flowrate, utilizando sensores incorporados en la línea. Finalmente, se validaron en terreno los valores en Sequoia y las mediciones reales, asegurando fiabilidad en la información presentada, además de que se validó que la herramienta era de utilidad para el personal.

Como resultado, se implementó un sistema de visualización integral que mejora la gestión visual del proceso de laminado. El dashboard operativo consolida 7 variables críticas para identificar en tiempo real desviaciones que eventualmente impactan en los indicadores de merma, especialmente “sopladas”, que constituyeron un 13% de las mermas del S-1 2025. Además, da trazabilidad de las variables presentadas. Por su parte, el dashboard de la jefatura consolida 4 indicadores clave para la gestión diaria y semanal, proporcionando una visión táctica de la operación de la línea. En conjunto, estas herramientas fortalecen la toma de decisiones, aumentan la trazabilidad del proceso y sientan las bases para una gestión más eficiente y estandarizada en el área de laminado, estando ya en funcionamiento y operativos ambos dashboards diseñados.

Abstract

This project addresses the design and implementation of a visual management tool for the laminated glass manufacturing process at Vidrios Lirquén S.A., through the development of an operational dashboard and another for management on the Sequoia corporate platform. The work aims to integrate into a single system the critical variables that directly affect the process, product quality, and operational performance, consolidating real-time monitoring, which was previously non-existent for operations and management.

This initiative arose from the need to improve control of the production process, given the existence of disaggregated and difficult-to-visualize information, such as the thermal behavior of the EPY, coupled with the absence of automatic indicators of availability and flow rate, which made decision-making difficult. These gaps increase the likelihood of generating losses, reducing the ability to act quickly in the event of deviations and limiting the comprehensive understanding of operators on the line.

The development was carried out using an iterative methodology, beginning with the collection of critical process variables, followed by the definition of the data and the construction of visual components in Sequoia. Specific views were created for operators and supervisors, incorporating graphs, numerical indicators, and alert ranges for the variables, thus enabling easy-to-interpret historical analyses. Automatic availability and flow rate calculations were also configured using sensors built into the line. Finally, the values in Sequoia and the actual measurements were validated in the field, ensuring the reliability of the information presented, as well as confirming that the tool was useful for staff.

As a result, a comprehensive visualization system was implemented that significantly improves the visual management of the rolling process. The operational dashboard consolidates seven critical variables to identify deviations in real time that may impact loss indicators, especially “blowouts,” which accounted for 13% of losses in S-1 2025. It also provides traceability of the variables presented. For its part, the management dashboard consolidates four key indicators for daily and weekly management, providing a tactical view of the line's operation. Together, these tools strengthen decision-making, increase process traceability, and lay the foundation for more efficient and standardized management in the rolling area, with both dashboards already up and running.

Contenido

Sumario	3
Abstract	4
1. Introducción	1
1.1 Industria del vidrio y proceso de laminados.....	3
2. Marco Teórico	7
2.1 Gestión visual en la industria	7
2.2 Dashboards y visualización de datos en la Industria.....	7
2.3 Indicadores de desempeño en procesos industriales	8
2.4 Sistemas de apoyo a la toma de decisiones en entornos industriales	9
2.5 Metodologías de diseño e implementación de dashboards industriales	10
3. Metodología	12
3.1 Diseño metodológico general.....	12
3.2 Metodología de implementación del dashboard.....	13
3.2.1 Levantamiento de requerimientos y definición de variables.....	14
3.2.2 Modelado de datos y estructura en Sequoia	17
3.2.3 Diseño visual y construcción de los dashboards	18
3.2.4 Validación en terreno y feedback de usuarios	19
3.2.5 Automatización, mejora y control de versiones	20
3.3 Herramientas y tecnologías utilizadas.....	21
3.3.1 Plataforma Sequoia	21
3.3.2 Fuentes de datos y sistemas asociados	22
3.3.3 Herramientas de análisis.....	23
3.4 Criterios de validación y confiabilidad de datos	25
3.4.1 Consistencia entre fuentes de información.....	25

3.4.2	Frecuencia y actualización de lecturas.....	26
3.4.3	Integridad de los registros manuales	26
3.4.4	Coherencia temporal de datos por turno	26
3.4.5	Síntesis de la validación de calidad de datos.....	27
4.	Resultados	28
4.1	Dashboard operativo	28
4.1.1	Temperatura láminas procesadas.....	28
4.1.2	Settings y temperaturas reales de cada zona	29
4.1.3	Condiciones climáticas de la sala y Flowrate.....	30
4.1.4	Pestaña de gráficos	31
4.2	Dashboard de la Jefatura	33
4.2.1	Disponibilidad de la Línea	33
4.2.2	Flowrate de trabajo.....	34
4.2.3	Consumo energético del sistema de Autoclave	35
4.2.4	Rendimiento de Mermas	36
5.	Conclusiones	38
5.1	Trabajo realizado	38
5.2	Conclusiones generales	39
5.3	Recomendaciones para el futuro	40
5.4	Reflexión final.....	41
6.	Referencias	43
7.	Anexos.....	45

1. Introducción

Vidrios Lirquén S.A. es una empresa fundada en el año 1933, siendo en la actualidad la única productora de vidrio plano en el país para la industria de la construcción. La planta se ubica en Penco, región del Biobío y es parte del grupo NSG/Pilkington y Saint-Gobain, además del grupo local Pathfinder. La compañía opera bajo un sistema de gestión certificado con la norma ISO 9000:2015 que cubre los procesos de producción de vidrio float, vidrio laminado plano y servicios de corte.

El vidrio laminado estructural es un producto fundamental en la industria de vidrio arquitectónico dado su aporte en seguridad ante quiebres, resistencia mecánica y resistencia a impactos. El proceso de laminado consiste en unir dos cristales de vidrio mediante una lámina de polivinil butiral (PVB), esto mediante condiciones controladas de temperatura, humedad y presión, en procesos de armado manual, calandrado y autoclave.

En la empresa, actualmente la información asociada a las variables críticas del proceso, en algunos casos se visualiza, pero de forma poco clara y con acceso dificultoso, debiendo utilizar tiempo de más e incluso obligando a los operadores a desplazarse innecesariamente por la línea para poder establecer un control de las variables, razón por la cual el control es casi nulo por parte de los operarios en sala mientras están produciendo.

Ante esto surge la oportunidad de desarrollar una herramienta de gestión basada en visualizar estos valores en dashboards digitales, que permitan generar alertas tempranas cuando variables se desvíen más de lo debido durante la operación, sentando las bases para que los operadores sean aún más parte del proceso de fabricación, controlando ellos en tiempo real sin la necesidad de tener desplazamientos innecesarios ni procedimientos complejos, sino que la información presentada sea comprensible con un solo vistazo, contribuyendo a tener una gestión operativa de los turnos más fuerte y eficiente por medio del diseño e implementación de esta herramienta, facilitando la toma de decisiones por parte de los operarios, con mayores fundamentos y en un menor tiempo.

Además, de que en el dashboard se podrá incluir como fluctúan las variables en el tiempo, para realizar análisis posteriores cuando se requiera, de manera de dar trazabilidad durante los turnos permitiendo a supervisores poder controlar las variables críticas del proceso y poder asignar causas ante problemas ocurridos según información fidedigna que el mismo proceso entrega y registra. Algunas variables

trabajan con un setpoint por lo que evaluar cómo se comportan es relevante para el producto que se procesa en la línea, ya que debe cumplir con ciertos estándares de calidad que se afectan directamente ante desviaciones en las etapas productivas.

Por otra parte, también se plantea automatizar KPI's agregados a nivel de jefatura del área, debido a que la situación actual obliga a que se obtengan manualmente a través de registros en planillas Excel, las cuales no son 100% seguras respecto a la integridad de la información, ya que si alguien olvida realizar el registro o si pasa a borrar información, esta se pierde ya que no tiene ningún respaldo y por ende, es información a la cual no se tendrá acceso para análisis posteriores para aumentar la eficiencia del área de producción de vidrio laminado.

La problemática actual de la empresa que se aborda con el desarrollo de este proyecto es la ausencia de control y visualización de variables críticas de proceso y una mayor automatización para KPI's críticos en los distintos niveles de gestión del área de laminado, ya que por un lado los operarios requieren un dashboard en la sala de operaciones que les permita tener control sobre el proceso, observando en tiempo real las variables críticas, entregando alertas y haciendo notar cuando algún valor se encuentre fuera o a punto de salir de los rangos aceptables. Además, el tener gráficas para análisis de comportamiento de las variables en el transcurso del turno, generando información que antes no estaba disponible. Y por otro lado la jefatura necesita un dashboard que permita tener una visión más agregada del funcionamiento, con indicadores distintos a los operacionales, tales como disponibilidad, rendimiento y consumo energético de los equipos críticos que requieren monitoreo continuo, debido al alto consumo que representan para el área, pudiendo con desviaciones leves disparar el target energético establecido.

El objetivo general consiste en poder diseñar e implementar dashboards que estén orientados tanto a controlar y tener trazabilidad de variables críticas del proceso a través del tiempo, así como a indicadores de gestión más agregados, todo según valores capturados con sensores ubicados estratégicamente en los equipos para utilizar como datos que alimenten a los dashboards que posteriormente se construirán, constituyendo así una herramienta que facilite la gestión operativa y táctica del área.

El desarrollo a grandes rasgos consiste en levantar las variables relevantes para la producción y la jefatura y analizar cuáles deben ser cargadas al sistema para ser visualizadas o si requieren algún paso extra de procesamiento para su obtención y luego analizar las métricas para generar dashboards claros con la información más relevante y precisa, presentada de la manera más prolija posible.

Posteriormente se diseñarán los dashboard y se construirán los dashboards para así poder realizar distintas etapas de validación para confirmar si realmente la información que se presenta en los dashboards es la correcta y si cumple con el propósito para el cuál se está diseñando la siguiente herramienta.

Lo anterior se desarrolló en un sistema propio del grupo NSG llamado Sequoia, el cual permite centralizar diversos tipos de datos de la operación, y también procesar estos datos para generar otros indicadores para posteriormente emplearlos en varios tipos de componentes gráficos capaces de implementarse en dashboards digitales en tiempo real, apoyando la toma de decisiones tanto en la operación como en la jefatura del área de procesados.

En la sección 2, se realiza una revisión exhaustiva del marco teórico del proyecto, abarcando diversos temas como lo son la producción del vidrio laminado, gestión visual en las industria, sistemas de apoyo a decisiones industriales, metodologías de diseño de dashboards, entre otras.

En la tercera sección se presenta la metodología de desarrollo que se utilizó para la selección de datos, fuentes, implementación y posterior validación para los dashboards construidos, para posteriormente en la sección 4 detallar los resultados obtenidos para cada dashboard, mostrando con capturas de qué manera se diseñaron los componentes y se agregaron a los dashboards digitales.

Ya en la sección 5 se presentan conclusiones sobre los resultados y el trabajo realizado, a manera de discusión de resultados obtenidos para concluir con las referencias y posteriormente fotografías de los dashboards completos, ya funcionando.

1.1 Industria del vidrio y proceso de laminados

El vidrio laminado estructural es un producto de seguridad que se utiliza de manera amplia en la industria de la construcción y la arquitectura debido a las propiedades resistivas y de seguridad que posee. Se compone de dos láminas de vidrio unidas por una capa de polivinil butiral (PVB), la cual mantiene los fragmentos adheridos en caso de algún accidente o quiebre, brindando una mayor protección al usuario (Vidrio Andino, 2022).

Las etapas críticas del proceso son las siguientes:

1. Preparación y limpieza: las distintas láminas de vidrio ingresan a una lavadora para eliminar algún tipo de contaminante que pudiese afectar la adhesión del PVB. Posterior a esto se secan

de manera controlada con dispositivos sopladores. En la figura 1.1 se muestra el equipo responsable en esta etapa del proceso.



Figura 1.1: Lavadora y Secadora

Fuente: Elaboración propia

2. Ensamblaje en sala de prelamado: en condiciones de temperatura ($\sim 20^\circ$) y humedad especiales ($< 25\%$) y controladas, se coloca una lámina de PVB entre las hojas de vidrio. Es crucial que las superficies estén limpias y secas, y el PVB no esté excedido en humedad ya que eso compromete la adherencia. En la figura 1.2 se encuentra una imagen del funcionamiento que tiene la sala de prelamado.



Figura 1.2: Lavadora y Secadora

Fuente: Elaboración propia

3. Calandrado y prelamado en la EPY: las láminas ingresan a un equipo que mediante rodillos a alta temperatura y con una determinada apertura, comprimen la lámina para eliminar burbujas de aire y sellar preliminarmente antes de entrar a la etapa de autoclave.



Figura 1.3: Epy

Fuente: Elaboración propia

4. Autoclave: se ingresan los carros con los prelamados consolidando de manera definitiva la lámina en temperaturas aproximadas de 130°–140°C y presiones de entre 10 y 13 bar, logrando la adhesión permanente de la lámina (Coherent Market Insights, 2025).



Figura 1.4: Autoclave

Fuente: Elaboración propia

El control de variables críticas, tales como temperatura, presión, humedad, entre otras, es determinante para obtener un producto que cumpla con los indicadores de calidad. El exceso de humedad en el PVB contribuye a la formación de burbujas, mientras que ciclos incompletos en el autoclave pueden ocasionar problemas de delaminación en bordes u otras zonas de la lámina, generando merma de producto. Asimismo, el autoclave es uno de los dispositivos que consume mayor energía a lo largo del proceso, lo que lo transforma en un factor clave tanto en costos operativos como en sostenibilidad ambiental (Smartech, 2025).

Es un desafío en la industria asegurar el control de los procesos y mantenerlos estables, asegurando cumplir con las normativas existentes y optimizando los consumos energéticos, garantizando un producto de calidad para los clientes.

2. Marco Teórico

2.1 Gestión visual en la industria

La gestión visual en las empresas es uno de los cimientos fundamentales del Lean Manufacturing, originada en el Toyota Production System, cuyo principio base es que ningún problema permanezca oculto (Liker, 2004). A través de herramientas como 5S, Kanban y Andon, se busca estandarizar puestos de trabajo, visibilizar flujos y evidenciar anomalías en el proceso de manera inmediata (Hirano, 1995). Este enfoque permite que cualquier trabajador logre identificar desviaciones en el proceso sin necesitar reportes complejos, potenciando así la mejora continua.

En base a la Industria 4.0, implementar gestión visual en los procesos evoluciona los dashboards físicos a dashboards en línea que integran datos en tiempo real desde sensores, por ejemplo, tipo SCADA. Estos dashboards digitales permiten consolidar KPI's y configurar alertas en la operación que enviadas a tiempo permiten actuar con mayor rapidez, conformando una herramienta estratégica.

El diseño de un dashboard exige seguir una lógica clara; resaltar lo crítico, evitar la información en exceso, y adecuar las vistas dependiendo del nivel de usuario. Few (2013) destaca que un dashboard para que sea efectivo debiese permitir el “at a glance monitoring”, es decir, comprensión rápida del estado del proceso y permitir profundizar en detalles si así se requiere. Además, estudios empíricos evidencian que la gestión visual fortalece la comunicación organizacional y genera mejoras evidentes en el desempeño, calidad y en mejora continua de procesos, cuando se aplica sistemáticamente (Bititci et al., 2015).

En este contexto Sequoia— Software utilizado en la empresa— amplía las capacidades de la gestión permitiendo crear dashboards configurables mediante diversos componentes gráficos de datos obtenidos en tiempo real.

2.2 Dashboards y visualización de datos en la Industria

En la actualidad, la digitalización de los procesos industriales ha permitido disponer de más datos operacionales, sin embargo, el valor de esa información radica en transformarla de manera que sea accesible de manera clara y funcione como diagnostico para realizar acciones de mejora o sostenibilidad. Es en este contexto que los dashboards que consolidan datos en tiempo real, facilitan la toma de decisiones proactiva.

El rol que desempeñan es de permitir a usuarios comunes ver datos de planta , logrando que operarios, supervisores y gerentes puedan ver el estado actual de la producción. Pueden integrar datos, presentar KPI's, emitir alertas, entre otros; lo anterior responde a una necesidad potente en la industria, detectar de manera temprana desviaciones en el proceso y reaccionar con rapidez (Nachmanovitch, 2023).

Los dashboards generan mejoras medibles en la eficiencia de las empresas, un ejemplo de esto es el caso de Taiwan Glass, en donde la implementación de un sistema de gestión de energía con dashboards permitió identificar consumos no detectados, y proyectar ahorros de entre 7% y 10% en costos operativos (Advantech, 2020).

Casos también como el de AGC Glass, empresa que implementó dashboards en PI Vision para poder monitorear más de 1500 variables, muestran como esta herramienta redujo paradas planificadas y mejoró el mantenimiento predictivo de equipos (Hand, 2020).

Respecto a un rol crítico que debe desempeñar un dashboard es la adaptación al rol del usuario. A nivel operativo, los dashboards deben mostrar variables inmediatas (tiempo real), de manera simple y con códigos de color, facilitando así una reacción rápida de los operarios (Vilarinho, Lopes, & Sousa, 2017). En niveles tácticos y estratégicos, los dashboards deben consolidar indicadores ya más agregados, tales como, disponibilidad, rendimientos por turno, entre otros.

La literatura remarca que esa distinción permite que cada usuario reciba la información que requiere para su función evitando así una sobrecarga de información, consecuencia que disminuye la efectividad y el uso del dashboard, y promoviendo la alineación entre niveles jerárquicos (Lavonius, 2025). La efectividad de los dashboards, además de ser centrados en el usuario, radica en que transversalmente entre niveles aseguren la alineación vertical con los objetivos globales de la empresa, usando datos confiables y que permitan trazabilidad, fomentando la toma de decisiones en hechos.

2.3 Indicadores de desempeño en procesos industriales

Los Key Performance Indicators (KPI) son métricas que cuantifican el grado de avance de un proceso u organización respecto a los objetivos que se ha propuesto. Su valor se encuentra en que permiten convertir metas tácticas o estratégicas en números comparables. Actualmente en la industria los KPI son algo de vital importancia, priorizando acciones correctivas basadas en métricas y datos.

Según la literatura un KPI entrega valor solamente cuando se encuentra bien definido, señalan además que deben cumplir el enfoque SMART, es decir específicos, medibles, alcanzables con los recursos

disponibles, relevantes para la empresa y evaluables en plazos definidos (Undru, 2024). La ausencia de este enfoque puede generar indicadores que sean confusos o desalineados con la estrategia de la empresa, consumiendo recursos y apuntando a objetivos totalmente desviados o contrarios.

Los KPI's se estructuran con cierta jerarquía. Primero tenemos los estratégicos, que corresponden a la alta dirección, midiendo desempeño global o cumplimiento de planes anuales. Luego tenemos los de tipo táctico, que se vinculan a jefaturas o ingenieros de proceso, abordando indicadores como productividad semanal, rendimientos, etc. Finalmente tenemos los operativos, que son de un muy corto plazo, incluyendo control inmediato en planta, disponibilidad de los equipos, entre otros.

En procesos de la industria hay algunos KPI's universales tales como disponibilidad, rendimiento, calidad, y consumo energético. Los indicadores anteriores reflejan aspectos críticos del desempeño de cualquier empresa, continuidad de equipos, velocidad de producción, calidad del producto, lo producido v/s lo planificado y uso eficiente de los recursos.

Casos documentados evidencian el impacto en la gestión, como ocurrió con Nestlé, que incorporó sensores y dashboards para monitorear calidad y energía, logrando reducciones de hasta un 20 % en desperdicio y del orden del 10% en costos asociados al consumo energético en algunas de sus plantas productivas, validando el rol de KPI's como herramientas para aumentar la eficiencia y sostenibilidad (Vorecol, 2023).

Lo anterior evidencia que KPI's bien definidos y controlados más allá de métricas, actúan como instrumentos que generan cambios grandes en las organizaciones cuando a su vez se apoyan en herramientas visuales transversalmente entre niveles distintos de la empresa. En Vidrios Lirquén, integrar indicadores en el Dashboard permitirá transformar datos dispersos en una herramienta que ayude a la gestión.

2.4 Sistemas de apoyo a la toma de decisiones en entornos industriales

Un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS), combina datos, modelos analíticos y conocimientos para favorecer buenas decisiones en problemas estructurados o no (Olavsrud, 2024). En la actualidad se potencian con BI, analítica avanzada e IA para transformar grandes cantidades de datos operativos en información en tiempo real.

Los DSS permiten mejor comunicación entre la operación y la estrategia, convirtiendo datos como producción, calidad y otros, en decisiones tácticas y estratégicas, gracias a mayor velocidad y calidad en la toma de decisiones, permitiendo una gestión más proactiva.

La herramienta tecnológica de soporte que utilizaremos es Sequoia, que combina una adquisición de datos y visualización analítica para entregar una solución corporativa.

Cuando un DSS se implementa de manera correcta, se eleva la eficiencia y la productividad, debido a que bajan los tiempos muertos, se aceleran decisiones informadas, se refuerza la calidad de los productos y se apoya la sostenibilidad. Como casos relevantes tenemos a la empresa automotriz BMW que mediante la implementación de un DSS para energía optimizan su consumo en tiempo real, y disminuyen su huella de carbono corporativa sin tener que sacrificar la producción (Ozsevim, 2025)

Para Vidrios Lirquén, Sequoia cumple un rol efectivo como DSS, al integrar señales SCADA (temperaturas, presiones, humedad, etc.), realizar cálculos con ellas y ofrecer visualizaciones en dashboards para los distintos niveles organizacionales, priorizando KPI's tales como disponibilidad y rendimiento, el DSS posibilita alertas tempranas para poder realizar un rápido análisis causa-raíz en caso de ser necesario y apoyar la mejora continua de la empresa respecto a los objetivos que se autoimpone.

2.5 Metodologías de diseño e implementación de dashboards industriales

Los dashboards de control en los entornos industriales integran principios de visualización para la información, poseen un diseño centrado en el usuario, gestión visual y aplican metodologías lean o de mejora continua. Esto, además de asegurar que el dashboard sea estéticamente claro, apoya decisiones operativas y gerenciales con datos realmente confiables y legibles en condiciones de funcionamiento y operación continuas.

Dentro de las metodologías encontramos el diseño de dashboards orientado a tareas, el cual comienza por comprender el contexto de uso (preguntas frecuentes, decisiones, etc.), luego selecciona las métricas imprescindibles y finalmente elige la forma gráfica que privilegie rapidez de lectura y baja carga cognitiva, todo lo anterior en ciclos ágiles validando con usuarios reales e implementando mejoras. Enfatiza la jerarquía visual, uso de alertas y la eliminación de gráficas que entorpezcan detectar patrones. Estos principios siguen vigentes hoy en día para diseñar dashboards de manera profesional. (Few, 2013)

Otra metodología comúnmente utilizada es el diseño centrado en el usuario, según el estándar ISO 9241-210 que define requisitos y recomendaciones para diseños centrados en el usuario. Sugieren comprender el contexto de uso, especificar requisitos tanto del usuario e iterar constantemente sobre una solución diseñada. En el contexto de dashboards industriales, implica validar en terreno la comprensibilidad de indicadores, escalas, y corroborar los códigos de color. (ISO,2019)

Otra manera utilizada son los ciclos PDCA y mejora continua que transforman un MVP hacia una herramienta estable, definiendo KPI's (Plan), implementando y desplegando (Do), Verificar y validar desempeño (Check) y ajustar las métricas (Act). Este enfoque favorece iterar sobre versiones, permitiendo trazabilidad sobre las modificaciones que se van realizando.(Deming, 1986)

En la literatura reciente sobre dashboards y analítica en la industria 4.0, se destaca que los dashboards deben combinar datos de múltiples fuentes y cuando es pertinente, agrupar temporalmente, priorizando vistas centradas en tareas. Destaca también la importancia de discernir entre usuarios, ya que el área operativa no requiere tanta agregación temporal de datos debido a el tipo de decisiones que deben tomar en el día a día. No así, la jefatura que requiere analizar tendencias, KPI's agrupados, entre otros. (Allen et al, 2021).

3. Metodología

3.1 Diseño metodológico general

Para el desarrollo del proyecto se adoptó una metodología de enfoque aplicado y descriptivo orientado al diseño, es decir, un proyecto aplicado enfocado a solucionar una problemática real mediante la descripción de las variables del proceso mediante el diseño de un dashboard digital con información en tiempo real. El propósito de esta metodología permite guiar de manera estructurada y sistemática el desarrollo de los dashboards en Sequoia, logrando integrar información que proviene de sensores presentes en la línea, y también registros manuales que brindan información que de momento no se ha podido implementar de manera automática en el sistema, con el fin de aportar con información a decisiones operativas y gerenciales tomadas con una mayor eficiencia ante algún cambio que ocurra con alguna variable o indicador.

La metodología se sustenta en un modelo iterativo e incremental, el cual se ve bastante en proyectos que involucran desarrollo tecnológico industrial centrados en el usuario, los cuales requieren validación y feedback constantes. A diferencia de un enfoque lineal o secuencial, este modelo permitió ir mejorando continuamente el diseño de las soluciones digitales desarrolladas en un principio en función de lo aprendido en cada etapa de la construcción, cuestión que es de suma importancia, considerando que los sistemas de visualización implementados en las industrias van requiriendo ajustes continuos para ajustarse a las condiciones de proceso que apliquen en el momento, pudiendo variar requerimientos del usuario final. El enfoque iterativo emplea ciclos sucesivos de análisis, diseño, implementación, validación y mejora, lo que asegura incorporar retroalimentación técnica y operativa antes de continuar a otra etapa.

Se le da importancia también, al diseño centrado en el usuario y se combina con la ingeniería de datos aplicada, para garantizar que los dashboards que se desarrollen además de contar con información precisa, sean intuitivos y alineados con necesidades reales de los distintos niveles de gestión del área. Es de esta manera que la metodología abarca la ingeniería del flujo de datos, desde la identificación de fuentes y variables clave del proceso hasta la configuración de componentes dinámicos en Sequoia.

Durante el proceso se ejecutaron cinco grandes etapas:

1. Levantamiento de información y diagnóstico inicial acerca del proceso de laminado, levantando variables críticas que influyen en la calidad del proceso, las fuentes de datos

disponibles para alimentar los dashboards, y las necesidades de visualización específicas para cada tipo de usuario.

2. Diseño del modelo de datos y sistema en Sequoia, comprendiendo desde definir tags a visualizar, especificaciones de estos junto a los límites de control ya existentes de las algunas variables, establecer cálculos requeridos y crear registros manuales, para indicadores que no estaban disponibles en el software.
3. Desarrollo e implementación de los dashboards operativo y gerencial, mediante la configuración de componentes (charts, tablas, displays de texto, gráficos, entre otros) para visualizar de manera correcta los datos ya seleccionados y recopilados al sistema.
4. Validación en terreno, en la cual se compararon los datos entregados por Sequoia con los registros físicos de las variables, para así determinar la validez y confiabilidad de la herramienta en la toma de decisiones, y obteniendo una retroalimentación constante .
5. Optimización y automatización, que incluye la creación de tags calculados automáticamente, los cuales deben ser solicitados al equipo de soporte de Sequoia, lo que permitió obtener métricas en tiempo real de indicadores relevantes, pero inexistentes

Esa columna vertebral que sostiene la metodología se apoya en la ingeniería industrial con énfasis en el control de procesos, particularmente en la gestión visual, , utilizada para configurar alertas ante desviaciones excesivas de variables según sus valores adecuados.

En conjunto, se combina la rigurosidad técnica con la flexibilidad práctica, es decir, se garantiza trazabilidad y validez de la información que se visualiza definiendo de manera correcta las estructuras de datos que se utilizarán, y se mantiene la capacidad de ajustar de manera ágil el dashboard ante algún cambio operacional o un surgimiento de una nueva necesidad de control en el área.

Cada fase del proyecto se basa en evidencia técnica de manera de asegurar la replicabilidad de la herramienta y la futura escalabilidad hacia otras líneas productivas del área o hacia otros indicadores corporativos, potenciando a automatización en la obtención de la información.

3.2 Metodología de implementación del dashboard

Como bien se menciona en el punto anterior, el enfoque iterativo incremental orientado a entregar resultados funcionales en cada ciclo de avance. De esta manera a medida que avanzaba la construcción se validaban y perfeccionaban los dashboards digitales. Ambos implementados en Sequoia, sistema corporativo del grupo NSG.

3.2.1 Levantamiento de requerimientos y definición de variables

El inicio de este proyecto comenzó con el levantamiento de información técnica y operativa del proceso de fabricación de vidrio laminado en la planta, mediante la observación directa del funcionamiento de la línea, literatura y en conversaciones con operadores, supervisores e ingenieros del área. Lo anterior con el objetivo de ver de manera general etapas clave del proceso y comprender en mejor medida la complejidad de este junto a información relevante que se requiriera para mejorar el control en la línea.

A partir del diagnóstico se pudieron levantar necesidades claras de información por parte de dos tipos de usuario involucrados en el proceso:

- Operadores y supervisor: Requieren información inmediata sobre el proceso, que les permita de manera rápida, clara y fácil comprender el estado actual del proceso y cómo se comportan los equipos en operación. Esto con el fin de poder reaccionar a tiempo ante alguna desviación que ocurra en el proceso, lo que puede resultar en algo mínimo como ajustar algún parámetro de setting, o el detectar alguna falla más grave en algún equipo que implique detener la producción.
- Jefatura: Requiere información de manera más agregada, que permita consolidar indicadores que reflejan productividad de turnos, disponibilidad en la línea y también control del consumo de energía para comparar con targets de los equipos que tienen un mayor consumo en la línea.

En base a lo anterior se definieron variables críticas para ambos dashboards de control implementados. Comenzando con las variables seleccionadas para el dashboard operativo tenemos las siguientes:

1. Settings EPY: esta variable definida corresponde a los 4 setpoints de temperatura para cada una de las cuatro zonas de la EPY, las cuales varían según el espesor que se esté fabricando. Su monitoreo es crucial ya que estas temperaturas se encargan de eliminar burbujas de aire y dar un sellado preliminar a la lámina en proceso, por lo que al realizar cambios de espesor y no modificar estos parámetros de temperatura, se obtiene un producto que no cumple con los estándares de calidad para el cliente aumentando el indicador de mermas de laminado.
2. Temperaturas de cada zona de la EPY: a diferencia de la variable anterior, esta variable indica la temperatura real a la cual cada zona se encuentra en cada instante, ya que una desviación muy alta con respecto al setting de temperatura afecta por el mismo motivo anterior a la consolidación del prelamado que posteriormente hará ingreso al autoclave. Si esta variable se escapa del setting

definido para el espesor, las láminas que pasan a través de la EPY pueden quedar con aire y mal selladas, problema muy común en este tipo de procesos.

3. Temperatura de salida del prelamado de la EPY: su importancia radica en que es un indicador de calidad del prelamado que sale de la línea, ya que por recomendación del fabricante de PVB, el laminado debe tener temperaturas de entre 58°C y 65°C a la salida para que el sellado preliminar sea adecuado. Por lo que, si al salir de la EPY no se está cumpliendo esta condición, se debe controlar la velocidad a la cual el laminado pasa por la EPY de manera que absorba una mayor temperatura durante el proceso de calandrado.
4. Humedad Relativa en la sala de laminado: la relevancia de esta variable se debe a las condiciones controladas que requiere la manipulación del PVB que se usa para el sándwich entre los cristales, ya que antes de utilizarse se debe acondicionar por horas para que pueda manipularse de manera correcta a causa de su textura un tanto chiclosa. Así el sándwich formado puede ingresar en condiciones a la EPY y se asegura que posteriormente el PVB no se recoja, afectando a la planimetría de las láminas que se fabrican, ya que ese problema igual constituye una causa por la cual aumentan las mermas.
5. Temperatura Ambiente en la sala de laminado: por las razones anteriores la temperatura de la sala tiene los mismos efectos sobre la calidad de los laminados, convirtiéndose también en una variable crítica que requiere control durante la operación.
6. Espesor del cristal trabajado: el espesor del cristal da cuenta de el espesor del prelamado que se está trabajando, y eso repercute en los settings que de deben utilizar para la EPY, el espesor de apriete de las calandras, velocidad de los rodillos transportadores y rangos de temperaturas en las zonas. Razones por las cuales es fundamental tener claro el espesor del cristal que se está utilizando para adecuar correctamente los parámetros según la planificación de producción del turno.
7. Flowrate: este indicador fue creado con la finalidad de que cada turno que esté operando pueda ver a que ritmo está sacando prelamados de la línea, en los tiempos disponibles para operar. De esta manera obtienen un indicador que les permite identificar cuál es su ritmo de trabajo.

Además, se incluyó una pestaña adicional al dashboard para dar la posibilidad al supervisor de tener trazabilidad de todas estas variables en el transcurso del turno, permitiéndole comparar las variables críticas en instantes de tiempo distintos durante la operación en caso de querer realizar análisis ante algún evento ocurrido.

El objetivo de este dashboard digital es mejorar la gestión visual en tiempo real sobre las variables que tienen influencia directa en la calidad y rendimiento de la línea, permitiendo identificar desviaciones a tiempo y reaccionar de manera oportuna para prevenir mermas o reprocesos.

Con relación al dashboard para la jefatura, este se diseñó para consolidar información operativa y entregar una visión más agregada respecto a indicadores relevantes para el área.

Las variables incorporadas fueron:

1. Rendimientos de armado por cada turno: indicador que relaciona los metros cuadrados de prelamado etiquetados en el turno versus la cantidad de metros cuadrados merma obtenida. Esta variable, de momento requiere un registro manual debido a que Sequoia no es capaz de momento de obtener valores provenientes de SAP de manera automática.
2. Consumo energético del sistema de autoclave: a partir de las potencias activas por minuto de los equipo que componen el sistema que más consumo tienen en la línea, se transformaron para que de manera automática calcule los Kwh y se agreguen diariamente, pudiendo así contrastar con los targets energéticos e identificar días en los que el consumo energético sea más alto de lo establecido para investigar y revelar las verdaderas causas de ello.
3. Disponibilidad de la línea: indicador que muestra para cada turno el porcentaje de tiempo el cual está disponible para operar, es decir, en el que no ocurrieron detenciones de ningún tipo. La relevancia de este indicador radica en que actualmente se registra en una planilla manual, por lo que al utilizar ahora un sensor instalado en la línea mejorará la precisión de los tiempos reales de detención, pudiendo así tener un contraste más confiable con el target establecido. Otro motivo pertinente es que constantemente se están realizando proyectos yellow belt y green belt de mejoramiento de variables como esta, por lo que es requerido poder medir el impacto de estos proyectos fielmente para así poder evaluar y controlar estos proyectos.
4. Flowrate: indicador calculado dentro de Sequoia, que registra la velocidad a la cual están operando en la línea, en los tiempos disponibles. Si bien en el dashboard operativo se muestra, allí solamente se muestra el del turno que está en operación, mientras que acá se registra el valor para una cantidad mayor de turnos permitiendo ver tendencias y comparar turnos.

Estas variables concentradas en el dashboard entregan una visión consolidada y comparativa entre turnos , facilitando la identificación de desviaciones productivas o de consumo energético, apoyando la toma de decisiones de la jefatura.

Las variables se integraron en Sequoia mediante 3 tipos de origen en la planta, Tags de proceso conectados a sensores SCADA de la planta, obteniendo mediciones en tiempo real; Tags calculados, los cuales se desarrollaron en Sequoia para automatizar indicadores de productividad, disponibilidad y consumo energético; y Data Sheets, los cuales se utilizaron para registrar manualmente variables tales como los rendimientos por turno.

3.2.2 Modelado de datos y estructura en Sequoia

En esta fase se permitió vincular la información del proceso con los componentes de visualización en los dashboards, definiendo fuentes, cálculos y estructura lógica, garantizando la integridad y coherencia de los indicadores. Para estructurar, se utilizaron principalmente dos módulos de Sequoia, Visualization para la creación de componentes y Data sheets para registros manuales que permitan posterior visualización, ambos cumplen un rol específico dentro del flujo de información, conformando un modelo de datos Jerárquico y replicable.

El flujo de información tiene la siguiente estructura definida en la Figura 3.1:

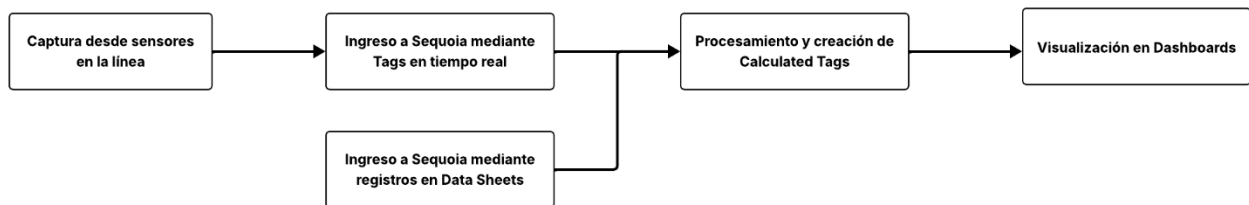


Figura 3.1: Diagrama de flujo de alimentación de datos al dashboard

Fuente: Elaboración propia

Esta arquitectura permitió integrar variables que tenían distintas naturalezas en el mismo sistema, sin la necesidad de consolidar con algún software externo.

Utilizando los calculated tags, que son una función propia de sequoia, que permite utilizar lecturas de las variables para obtener cálculos y generar otros indicadores en tiempo real, el planteamiento de los indicadores que lo requerían se definió de la manera que se presenta en las ecuaciones (1), (2) y (3).

$$Flowrate \left(\frac{pcs}{hr} \right) = \frac{\left(\frac{N^{\circ} cristales\ ingresados}{2} \right)}{(Tiempo\ transcurrido_{min} - Tiempo\ detenido_{min})} \cdot 60 \quad (1)$$

$$Disponibilidad(\%) = \frac{Tiempo\ transcurrido_{min} - Tiempo\ detenido_{min}}{Tiempo\ transcurrido_{min}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$Energía_{día}(Kwh) = \frac{KW_{active} Autoclave + KW_{active} Torre + KW_{active} Compresor}{60} \quad (3)$$

Una vez todos los datos se lograron centralizar, se realizaron pruebas para verificar la consistencia de estos y asegurar la confiabilidad. Se verificó la coincidencia de las lecturas en Sequoia con las lecturas físicas tanto en la sala de laminado como en los equipos que se encuentran fuera. Para los tags calculados se verificó que se actualicen minuto a minuto y que fuese efectivo el reinicio al cambiar de turno diariamente. Y respecto a los data sheets se testearon asegurando que los campos obligatorios funcionasen y los ingresos se visualizaran correctamente en los gráficos.

Una vez verificados todos los datos, disminuyó las dependencias de planillas externas, y se aseguró establecer control sobre las variables en tiempo real y así, los indicadores que se mostrarán posteriormente en el dashboard se basan en un flujo continuo.

3.2.3 Diseño visual y construcción de los dashboards

El desafío de esta etapa fue pasar la información al dashboard y mostrarla de manera clara y coherente según las distintas necesidades de ambos tipos de usuarios, aplicando principios de ergonomía, jerarquía visual y gestión de la información.

Para lograrlo, se combinaron distintos componentes en una disposición tal que permita una lectura rápida de la información relevante.

Todo se sustentó con 3 principios clave:

1. Jerarquización a nivel de usuario: de esta manera se decidió realizar los 2 dashboards ya que el operativo requería mayor inmediatez debido a la naturaleza de sus variables. Por su parte el de nivel de jefatura privilegió la información agregada y comparativa mediante gráficos.
2. Claridad y economía visual: según lo visto en la literatura, se evitó la sobrecarga informativa diseñando las vistas para que de un solo vistazo se entienda la información presentada.
3. Consistencia visual: se utilizaron unidades alertas de colores normalizadas en todas las vistas (rojo, amarillo y verde) aplicadas de manera uniforme en ambos dashboards ante las desviaciones ya establecidas, y se definieron parámetros de alerta para variables que no las tenían.

Se comenzó con la construcción del dashboard operativo destinado a la sala de laminado, y se estructuró de acuerdo con el flujo físico del proceso utilizando una disposición horizontal, utilizando

gráficos, gauges y displays de texto dinámico según se requería. Además, se incluyó un temporizador de actualización automático, garantizando que minuto a minuto, se cuente con los valores más recientes, sin necesidad de actualización manual.

Posteriormente se realizó el diseño del dashboard de la jefatura permitiéndole tener un enfoque que permita alertar y realizar comparaciones a través del tiempo. Se consolidaron indicadores de desempeño, productividad, energía y eficiencia. Se optó por una disposición en bloques debido al tamaño de los componentes a utilizar.

Para la configuración visual se definió la fuente de datos para cada componente y posteriormente se asignaban los criterios de alerta y actualización para luego guardar y repetir con otros componentes, así se fue probando que cada componente lograra la visualización correcta de sus respectivos datos.

3.2.4 Validación en terreno y feedback de usuarios

Posterior a la construcción de los dashboards, se realizó la validación en terreno de ambos, orientado a comprobar su correcto funcionamiento y apoyo para la toma de decisiones en condiciones normales de operación. El carácter de la validación combinó revisar confiabilidad de los datos y el uso de las interfaces creadas.

En la sala de laminado se verificó la precisión de las visualizaciones, contrastando las configuraciones seteadas en los equipos, como por ejemplo temperatura de la EPY, mediciones de sensores de humedad y temperatura, mostrando que los valores corresponden, y tienen un lag máximo de 1 minuto, que es el mínimo tiempo seleccionado para actualización. Se observó el uso en su operación y se vio que las alertas de color configuradas se comprendieron de manera correcta, identificando de inmediato casos en los cuales se habían configurado mal algunos parámetros para corregirlos inmediatamente, además de que el indicador de flowrate les daba un contexto sobre el ritmo de trabajo que llevaban durante el turno. Se valoró la integración de los parámetros en el dashboard ya que antes estaban distribuidos en la sala, e incluso fuera de ella, lo que hacía que el control fuera muy cercano a cero por parte de los operarios. Se realizaron ajustes de distribución y tamaño y se añadió la pestaña de gráficos como una solicitud por parte de los supervisores, para así además de tener todas las variables en cada instante, esto se registre y se pueda tener trazabilidad de las variables de manera continua, permitiéndoles revisar el transcurso completo del turno.

En cuanto al dashboard de la jefatura la validación se centró en la confiabilidad de los indicadores agregados y la utilidad de la información entregada en la gestión táctica del área. Se compararon los

valores de disponibilidad, flowrate y energía diarios con registros históricos disponibles para asegurar coherencia entre lo registrado en períodos anteriores.

La jefatura del área destacó la posibilidad de comparar rendimientos de los turnos mediante los días, logrando destacar turnos y así realizar mejoras en comportamientos o procedimientos en los que destaque algún turno en particular, reflejándolo en su rendimiento. También, la disposición por bloques fue positiva debido a que agrupa los indicadores sin mezclar métricas que no estuviesen relacionadas. Respecto a los ajustes solicitados se ajustaron las alertas y targets de los indicadores y se ajustaron los decimales de algunos indicadores ya que era relevante en cosas como rendimientos, pero no tan importante en energía, por las magnitudes de los valores señalados.

Posterior a los cambios se realizaron más instancias de validación en las cuales se evidenció la utilidad de los cambios, y se garantizó que además de ser técnicamente correctos, eran útiles y permitían un uso adecuado en ambos lugares que se implementaron, logrando un sistema de gestión visual con potencial de replicarse y adaptarse a futuras necesidades informativas.

3.2.5 Automatización, mejora y control de versiones

Ya validados los dashboards con los usuarios, se realizó una etapa para optimizar y automatizar algunos cálculos y registros para garantizar estabilidad de esta herramienta. Se revisó que los sensores de línea estuvieran reportando adecuadamente y se ajustaron los reinicios a la hora correcta coincidiendo con los cambios de turno.

Una de las mejoras relevantes, fue el automatizar indicadores de flowrate y disponibilidad, el primero (piezas por hora) no se encontraba disponible, por lo que los turnos no tenían una manera de mientras trabajaban saber a qué ritmo lo hacían. Por otra parte, la disponibilidad, que se realiza manualmente por el ingeniero a diario según tiempos de detención reportados en una planilla, ahora con el dashboard se podrá visualizar de manera automática minuto a minuto de la línea, gracias a que el tiempo de detención se reporta a través de un sensor, por lo que aumenta la precisión del indicador al calcularse de manera automática y no con un registro.

Se generaron además copias de los dashboards, en caso de alguna modificación que se realice, exista un respaldo que permita volver a la manera original de presentación, además de otorgar distintos niveles de permiso, por lo que para usuarios operativos solamente se les otorgó un permiso de lectura e ingreso de información, mientras que el personal de ingeniería y jefatura es el único que puede modificar los dashboards.

Con todo lo anterior se redujo la cantidad de tareas manuales y se mejoró la trazabilidad en caso de en el futuro generar nuevas versiones, también el automatizar los cálculos les da mayor precisión y aumenta su capacidad de replicarlo en otras áreas. Lo positivo de Sequoia es que en su proceso de crear los dashboards es una herramienta modular, por lo que no es necesario alterar lo ya creado para agregar nuevas variables, brindando potencial de escalabilidad para incorporar otras variables del área si se requiere.

Lo estructurado de la metodología permitió que, desde levantar métricas críticas del proceso hasta automatizar algunos cálculos de indicadores, se basara en la gestión visual para la industria, asegurando que se generara una herramienta confiable y clara, centrada en los usuarios.

Lo anterior permitió lograr un sistema de visualización capaz de integrar en tiempo real variables fundamentales para el proceso, transformando datos operativos en información para una toma de decisiones más eficiente y eficaz.

3.3 Herramientas y tecnologías utilizadas

3.3.1 Plataforma Sequoia

Esta plataforma propiedad del grupo corporativo NSG se utilizó para la integración, monitoreo y configuración para la visualización de las variables. Opera con una arquitectura modular, lo que permite tener distintas fuentes de datos alimentando a un mismo dashboard.

El funcionamiento de la plataforma se sustenta en los siguientes elementos:

1. Tags: representan las variables de proceso provenientes de sensores SCADA, dispositivos de medición o registros manuales configurados en el sistema. Cada uno posee una frecuencia de actualización y permite establecer rangos de alerta para cada uno.
2. Data sheets: Hojas digitales que se configuran y permiten implementar registros manuales para mostrarlos en dashboards y también almacenar información.
3. Dashboards: módulo encargado de la representación gráfica de la información, utilizando gráficos, displays de texto dinámicos, tablas, imágenes, etc.

Esta estructura modular permitió aplicar el enfoque iterativo debido a que, una vez implementado un componente la modificación posterior para añadir alguno no afectaba la visualización del anterior, realizando entregas incrementales.

Esta plataforma facilitó la implementación de los dashboards en tiempo real sin la necesidad de actualizar datos manualmente, debido a su integración nativa con el sistema SCADA, por lo que obtener datos de sensores y controladores de la línea no tuvo mayor complejidad. Otro punto positivo fue que su sistema permite también mostrar data histórica, permitiendo análisis del proceso en distintos instantes de tiempo permitiendo comparaciones. En adición, la flexibilidad para mostrar distintos niveles de agregación, diferenciando según tipo de usuario, pudiendo así mostrar datos de manera individual por minuto, hasta agrupaciones mensuales.

Según lo anterior, Sequoia cumplió con las funciones de visualización de la información, y también con la integración de esta en su sistema, gracias a todas las alternativas de captura de datos que admite.

3.3.2 Fuentes de datos y sistemas asociados

Dentro de las fuentes de datos utilizadas para alimentar el sistema de Sequoia, se encuentran señales del sistema de control, mediciones ambientales, registros y cálculos automáticos.

Un sistema SCADA combina software y hardware para permitir monitorear y controlar procesos de la planta en tiempo real, permite supervisión, control y adquisición de datos. Se compone de varios elementos, entre ellos la interfaz hombre máquina (HMI), que son las pantallas vistas por el operador. Posee también servidores en los cuales almacena datos y también PLC (controladores lógicos programables), los cuales recogen los datos de la línea.

El SCADA de la planta constituye un elemento fundamental para la extracción de datos, gracias a su capacidad de transformar las variables físicas en información digital. Los datos recopilados por el SCADA son los que posteriormente alimentaron el sistema de Sequoia con los datos operativos del proceso, convirtiéndose en el principal recolector de datos para la herramienta de gestión visual implementada.

También se obtuvieron datos indirectamente desde Sequoia, realizando cálculos con tags obtenidos de SCADA para obtener indicadores relevantes para la línea, los cuales se realizaban de manera manual anteriormente.

Los datos que no se recopilaban de la manera anterior, se ingresaron mediante los data sheets configurados en Sequoia, los cuales son celdas de ingreso de valores, logrando así poder visualizar el rendimiento de cada turno, si bien aún requiere registro manual, se obtiene ahora de manera más veloz, registrándose al finalizar cada turno.

Conforme a lo anterior, se garantizaron diversas fuentes de información las cuales mejoran la manera en la que se calculaban estos indicadores para la gestión del área.

3.3.3 Herramientas de análisis

Además del uso de Sequoia, para la analítica, definiciones de cálculos y definiciones de alerta, se utilizaron herramientas complementarias para analizar información que una vez cargada a Sequoia, se extraía y analizaba individualmente para luego combinarla en las ecuaciones (1), (2), y (3) descritas anteriormente.

Para definir los límites de control de temperatura y poder implementar rangos de colores en las temperaturas de la EPY, se realizó un análisis estadístico sobre la variabilidad natural del proceso, para cada zona en cada espesor trabajado estableciendo todas las condiciones operativas, dado que no se contaban con rangos para estos valores.

Para ello, durante períodos de 6 horas de operación, se capturaron las mediciones de la temperatura real de la EPY para cada una de las 4 zonas, para luego poder contrastarlas con sus respectivos settings. Lo anterior realizado para las 3 condiciones operativas debido a que al ser distintos espesores las alertas varían entre sí.

Posteriormente, para cada zona se calculó la diferencia entre el setpoint y el valor real de la temperatura, obteniendo para cada minuto la desviación de la temperatura, para después evaluar si los datos obtenidos tenían un comportamiento de distribución normal, cumpliéndose dicha hipótesis para cada zona, como se evidencia en la figura 3.2.

De igual forma para cada zona en cada espesor se obtuvieron gráficos de similares características, mostrando que, para cada espesor y para cada zona, la temperatura tenía un comportamiento normal.

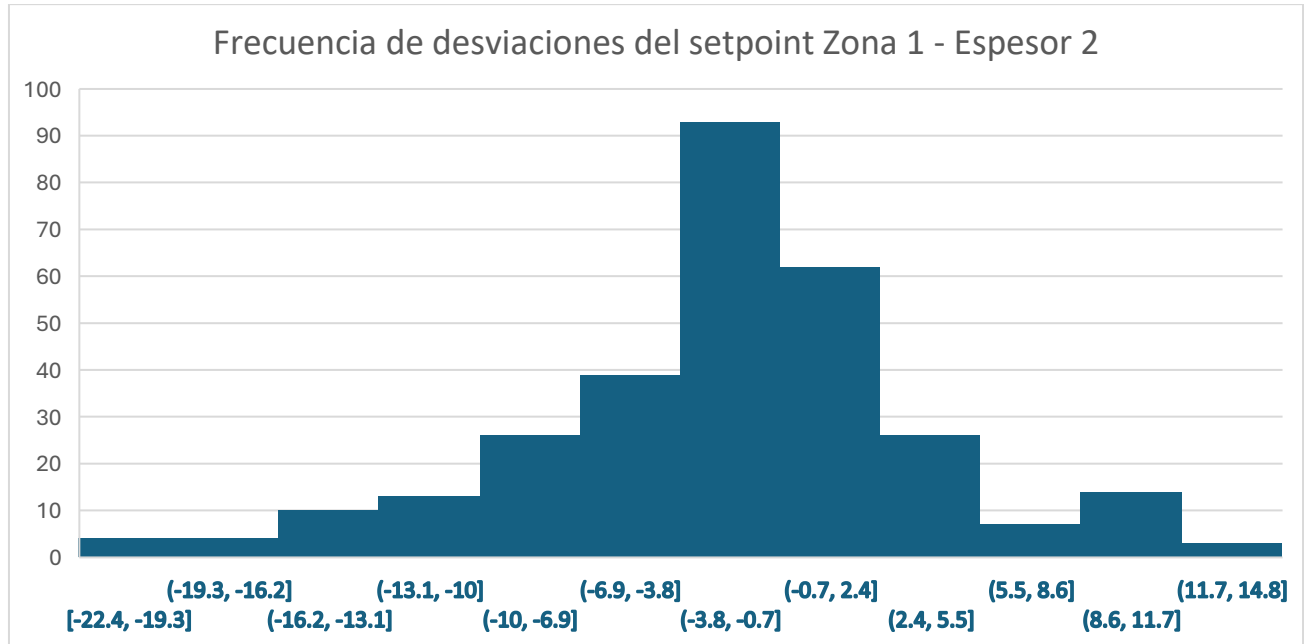


Figura 3.2: Histograma de desviaciones para el espesor 2

Fuente: Sequoia

Luego se calculó el promedio y la desviación estándar, de todas las diferencias entre setpoint y temperatura actual. Con todos los datos ya obtenidos para cada condición operativa, se aplicó la metodología estándar de control estadístico de procesos, para definir los umbrales de alerta siguiendo la regla 3-sigma.

Para la zona verde se definió que sería la media real del proceso ± 2 desviaciones estándar, representando variación normal y esperada del proceso. La amarillase definió entre 2 y 3 desviaciones, mostrando que el proceso se acerca a sus límites de funcionamiento normal. Y finalmente la alerta roja, se definió fuera de 3 desviaciones, mostrando que se presenta una condición que está fuera de normalidad.

En las tablas 3.1, 3.2 y 3.3, se muestran las alertas resultantes después de realizado este proceso, para cada condición operativa.

Tabla 3.1: Alarmas para condición operativa 1

Condición de operación 1	Setpoint T°	Media	Desviación	Lím. Rojo Inf	Lím. Amarillo Inf	Lím. Amarillo Sup	Lím. Rojo Sup
Zona 1	210 °C	0.72	5.00	195.7	200.7	220.7	225.7
Zona 2	215 °C	0.42	5.07	200.2	205.3	225.6	230.6
Zona 3	225 °C	-0.02	5.25	209.2	214.5	235.5	240.7
Zona 4	230 °C	0.72	4.48	215.4	219.9	237.8	242.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2: Alarmas para condición operativa 2

Condición de operación 2	Setpoint T°	Media	Desviación	Lím. Rojo Inf	Lím. Amarillo Inf	Lím. Amarillo Sup	Lím. Rojo Sup
Zona 1	215 °C	-2.28	6.20	194.12	200.32	225.13	231.33
Zona 2	225 °C	-3.93	6.61	201.25	207.86	234.28	240.89
Zona 3	235 °C	-4.46	7.79	207.18	214.96	246.12	253.91
Zona 4	240 °C	-5.57	6.94	213.62	220.56	248.30	255.24

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3: Alarmas para condición operativa 3

Condición de operación 3	Setpoint T°	Media	Desviación	Lím. Rojo Inf	Lím. Amarillo Inf	Lím. Amarillo Sup	Lím. Rojo Sup
Zona 1	220 °C	-5.03	9.20	187.4	196.6	233.4	242.6
Zona 2	230 °C	-9.21	9.02	193.7	202.7	238.8	247.9
Zona 3	235 °C	-10.64	10.35	193.3	203.7	245.1	255.4
Zona 4	240 °C	-10.58	9.60	200.6	210.2	248.6	258.2

Fuente: Elaboración propia

Sumado a lo anterior, otro motivo por el cual Excel fue fundamental consistió en corroborar la fiabilidad de los resultados que daban los calculated tags preliminarmente para los indicadores de disponibilidad y flowrate, ya que la función para indicadores agregados en un comienzo no estaba funcionando correctamente debido a su poca implementación a nivel de planta. Así, mediante Excel se confirmó que las fórmulas diseñadas estaban bien construidas desde un inicio, arrojando valores coherentes que se mantenían en el tiempo y cuando ya se arregló la función de agregar datos de la plataforma por intervalos de tiempo, no hubo mayores complicaciones.

La combinación de las herramientas fue crucial y permitió utilizar Sequoia como una plataforma integradora y generadora de indicadores de manera automática mediante fórmulas definidas y comprobadas previamente con las variables obtenidas de SCADA, y también de manera manual mediante el ingreso de datos para el caso del rendimiento de las mermas.

3.4 Criterios de validación y confiabilidad de datos

3.4.1 Consistencia entre fuentes de información

Primeramente, se validaron la coherencia de datos desde la fuente de datos que alimenta a Sequoia, contrastando las lecturas de Sequoia con los valores que se registraban en el sistema SCADA del área.

Para el caso de la EPY, la temperatura de salida y la de las zonas 1 a la 4 se compararon con las visualizaciones locales en SCADA, tanto los settings como las temperaturas reales reportadas, verificando una coincidencia con los valores. Lo mismo se realizó con los valores de humedad y temperatura de la sala, confirmando la correcta transmisión de estos.

Para Indicadores de disponibilidad y flowrate se chequeó que las variables medidas en la línea, y que alimentan las fórmulas de cálculo de los indicadores reportaran de manera correcta, debiendo corregir valores del sistema SCADA sobre tiempos de turno y tiempo de detención por turno, debido a que se estaban reiniciando una hora antes del final del turno, entregando valores erróneos para los indicadores.

Respecto a los valores de energía las potencias se registran de manera correcta, y la transformación a kilowatts consumidos funciona sin problemas, pudiendo obtener valores mensuales, semanales y diarios.

3.4.2 Frecuencia y actualización de lecturas.

Posteriormente, se chequeó que la frecuencia de actualización de las variables implementadas en ambos dashboards se actualizase con una frecuencia adecuada, de manera que no presentaran retrasos, o que no llegaran las lecturas. Se evaluó el reporte de datos durante turnos completos para poder verificar el funcionamiento, donde se confirmó que los datos reportados del SCADA se actualizaban minuto a minuto, siendo intervalo suficiente para entregar valores en tiempo real correctos, y también mostrar indicadores agregados que se van construyendo minuto a minuto.

Esta validación permitió confirmar que la frecuencia de actualización definida para las variables fuese la adecuada según su uso operativo o de jefatura, incidiendo en distintos niveles de gestión, entregando información sincronizada con el proceso.

3.4.3 Integridad de los registros manuales

Para garantizar que los valores ingresados manualmente del rendimiento de mermas no permitieran un valor erróneo se realizaron pruebas con ingreso con distintos perfiles de usuario y se constató que únicamente el perfil seleccionado para ingresar datos es el que puede hacerlo, evitando inconsistencias que posteriormente afectarían la visualización de los rendimientos y su cálculo.

3.4.4 Coherencia temporal de datos por turno

Para asegurar coherencia temporal de los datos, y que estos se alinearan con la estructura operativa de turnos (6:00; 14:00; 22:00), se verificó que todos los valores obtenidos se asociaran correctamente a un turno según la hora del registro. Esto evitó que valores registrados en las primeras o últimas horas se traspasaran a otro turno, y fue especialmente relevante para los indicadores del dashboard de la

jefatura debido a que los análisis dependen de la segmentación de la operación en los turnos correspondientes.

Se corrigieron los reinicios de los sensores pertenecientes al SCADA debido a que se reiniciaban 1 hora previo al término del turno, estas variables fueron los contadores de cristales ingresados a la línea, el tiempo de detención, y el tiempo transcurrido por turno, el cual no tenía reinicio alguno.

Posterior al ajuste, ya los reinicios de todas las variables eran efectivos, por ende, confiables en los valores que entregaban permitiendo realizar análisis de trazabilidad con la certeza de que entregaba valores correctos.

3.4.5 Síntesis de la validación de calidad de datos

El proceso en conjunto permitió confirmar la confiabilidad y consistencia de las variables que alimentan a los dashboard operativo y de jefatura. La actualización y estabilidad de las mediciones fue clave para poder dar características de “en tiempo real” a ambos dashboards, y la verificación de integridad dio garantías a los indicadores de rendimiento, que no se pudieron automatizar de momento. La coherencia temporal, además, permitió que los resultados que se presentan en el capítulo 4 se sustenten en un flujo de datos continuo y robusto.

4. Resultados

En esta sección se detallan los componentes gráficos que forman parte de los dashboards operativo y de jefatura una vez ya construidos y en correcto funcionamiento, reflejando el trabajo realizado en las secciones anteriores.

4.1 Dashboard operativo

Para el Dashboard operativo, se diseñaron 3 pestañas dentro del dashboard, las cuales permiten al supervisor variar, según el espesor del cristal que se esté trabajando, debido a que los setpoints de temperatura para cada grupo de espesores es diferente, y por ende las alertas según cada situación varían. De esta manera el supervisor, según lo que se esté trabajando en su turno a cargo, es capaz de seleccionar un dashboard con un click y desplegar las alertas correspondientes para cada una de las variables críticas del proceso.

Además, al final se presenta una cuarta pestaña, con gráficos lineales de todas las variables del proceso, permitiendo al supervisor, o a el Ingeniero, realizar análisis históricos de todas las variables que se registran, permitiendo trazabilidad a lo largo del turno.

Para las siguientes secciones del informe, se mostrarán los componentes pertenecientes a la pestaña de 2,3 mm, 3 mm y 4mm, debido a que los componentes para las pestañas de 5mm y para la de 6 mm y 8mm son idénticos, variando únicamente los valores para los cuales se generan las alertas de colores. De igual manera irán anexadas al final del Informe.

4.1.1 Temperatura láminas procesadas

Una variable crítica, como se mencionó anteriormente, es la temperatura de salida de los laminados de la EPY, razón por la cual la gráfica se ubica en la parte superior del dashboard, junto con el último valor registrado, indicando la temperatura de la última lámina procesada, para una visualización de mayor tamaño.

El impacto de esta variable es crítico, ya que incide en las mermas generadas una vez ya finaliza el proceso de la lámina, generando desperdicios de dinero y tiempo, en la figura 4.1 se ve en detalle el componente gráfico.

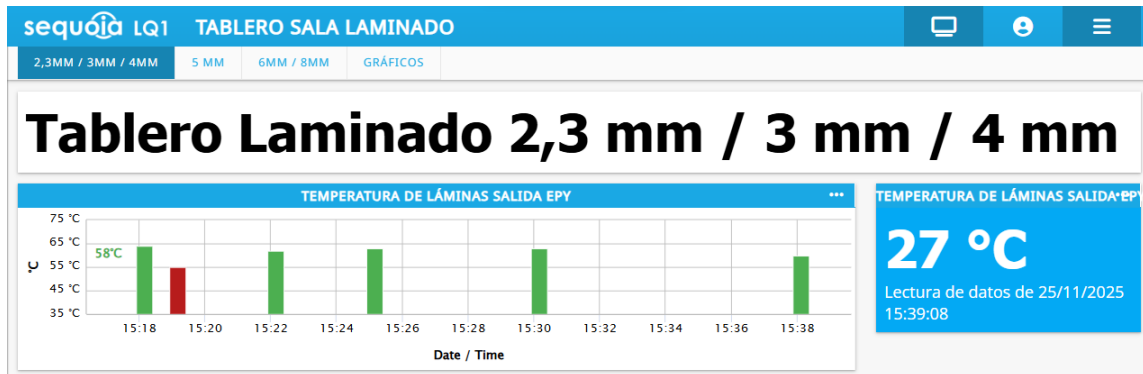


Figura 4.1: Gráfica de temperatura de laminados al salir de la EPY

Fuente: Sequoia

De esta manera, los operadores que se encuentran en la sala visualizan la temperatura a la cual los laminados salen de la EPY, teniendo una alerta cuando el laminado sale a una temperatura menor de 58°C, debido a que eso tiene implicaciones en el sellado del laminado, generando un sellado de menor calidad a la salida, en el cual posteriormente ingresa aire y se generan mermas causadas por sopladura. El operador al visualizar esto, debe decidir si disminuir la velocidad a la cual el transporta la lámina a través de la EPY, logrando así que una mayor transferencia de calor a la lámina, y que salga por encima del mínimo de temperatura aceptada.

4.1.2 Settings y temperaturas reales de cada zona

En la parte media, se encuentra en una fila, el espesor del cristal que se está trabajando, lo que indica si el dashboard que se está visualizando es el correcto, y hacia el lado los settings de temperatura respectivos para cada una de las cuatro zonas que se encuentran en la EPY.

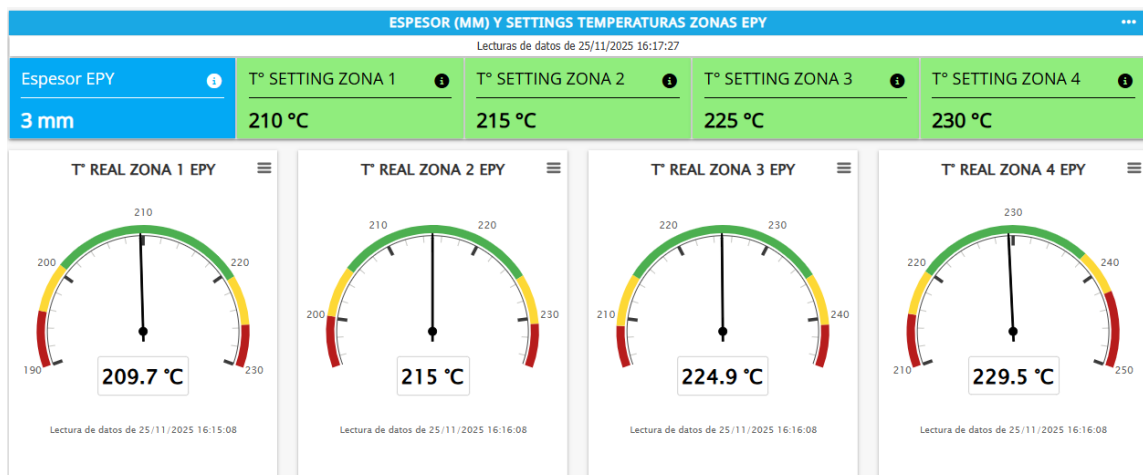


Figura 4.2: Settings de T° y temperaturas reales en cada zona en el dashboard

Fuente: Sequoia

En la figura 4.2, se definen alertas de color para el setting de cada zona, siendo verde únicamente para el valor definido, coloreándose a rojo de manera inmediata en caso de que se configure un valor erróneo por parte del operador en la EPY.

Las alertas de colores en los gauges inferiores fueron las definidas como se detalló anteriormente, utilizando verde entre dos desviaciones estándar, y amarillo entre 2 y 3 desviaciones.

Este componente, permite al operador observar si se encuentra en los settings de temperatura correctos según el espesor, y ante un cambio de espesor trabajado, se ve obligado a configurar en su valor correcto la temperatura en caso de tener algún setting incorrecto, fortaleciendo el control de la etapa del proceso que ocurre en la EPY. Además, los gauges le permiten saber en cada instante la temperatura real de esa zona, permitiéndole identificar malfunciones que pueden ocurrir aún introduciendo un correcto setting en la EPY. De igual manera al ser instantáneo, en la pestaña gráfica se encuentran los gráficos de todas estas variables, dándole al dashboard la característica de trazabilidad.

Esta etapa es fundamental para el proceso, ya que, con temperaturas muy bajas, el laminado no queda sellado bien y genera mermas, con temperaturas muy altas, se puede recocer el PVB interior, y se puede hacer un sellado prematuro, lo que implica que el laminado salga con aire en su interior transformándose en merma. Por la razón anterior, también los setpoints de temperatura tienen un aumento gradual a medida que avanza el laminado por cada una de las zonas, dándole en un inicio un precalentamiento, y con el aprete de las calandras eliminar el aire interior, para ya en la salida sellar completamente el laminado.

4.1.3 Condiciones climáticas de la sala y Flowrate

En la parte inferior del dashboard, se encuentran variables de Temperatura y Humedad relativa de la sala, presentes en la figura 4.3 la cuales son críticas para el armado del sándwich dentro de la sala, debido a que preservan de manera correcta el PVB.



Figura 4.3: Condiciones climáticas de la sala y flowrate

Fuente: Sequoia

El PVB, recordando, es una especie de polímero, por lo que ante desviaciones leves de temperatura o humedad se pone chicloso, causando que cuando se corta el excedente del prelamado, se recoja y pierda adherencia entre las láminas, además de que, una vez terminado el proceso de la lámina, el PVB si queda muy chicloso se tiende a recoger posteriormente, generando desviaciones físicas en la lámina que se detecta al momento de evaluarse la planimetría de esta, no pasando los estándares de calidad para los clientes.

Si bien la temperatura se regula con equipos climatizadores de manera automática, ante una eventual falla del equipo, ahora se puede detectar tempranamente para tomar medidas al respecto, de manera que se detiene la producción de manera inmediata, y no se produce una basta cantidad de láminas en condiciones no favorables para la operación. Cabe destacar que, en esta época del año es un problema muy común por lo que una alerta temprana a los operadores es clave.

Además, se incluye el flowrate del turno actual en la sala, de manera que los mismos operadores vean a qué velocidad están produciendo en los tiempos que la línea tiene disponibles y así puedan regular la velocidad a la cual se trabaja en la sala, ya que después de análisis de la jefatura, se determinó que el cuello de botella del proceso era en la etapa de la sala en la cual se armaba el sándwich del prelamado.

4.1.4 Pestaña de gráficos

Además, como se mencionaba anteriormente, se creó una pestaña con gráficos para dar la posibilidad al supervisor, de evaluar las distintas variables durante el transcurso del turno. Permitiéndole ver cualquier instante de cualquiera de las variables controladas anteriormente, además de incluir comparativas entre las temperaturas y los settings mostrando así, las desviaciones de las temperaturas en todos los minutos del turno. Además, permite mostrar otras variables tales como tiempos de detención y el número de cristales procesados por turno. En las figuras 4.4 y 4.5 se presentan algunos gráficos que forman parte de la pestaña, y en el anexo se adjunta la totalidad de las gráficas disponibles.

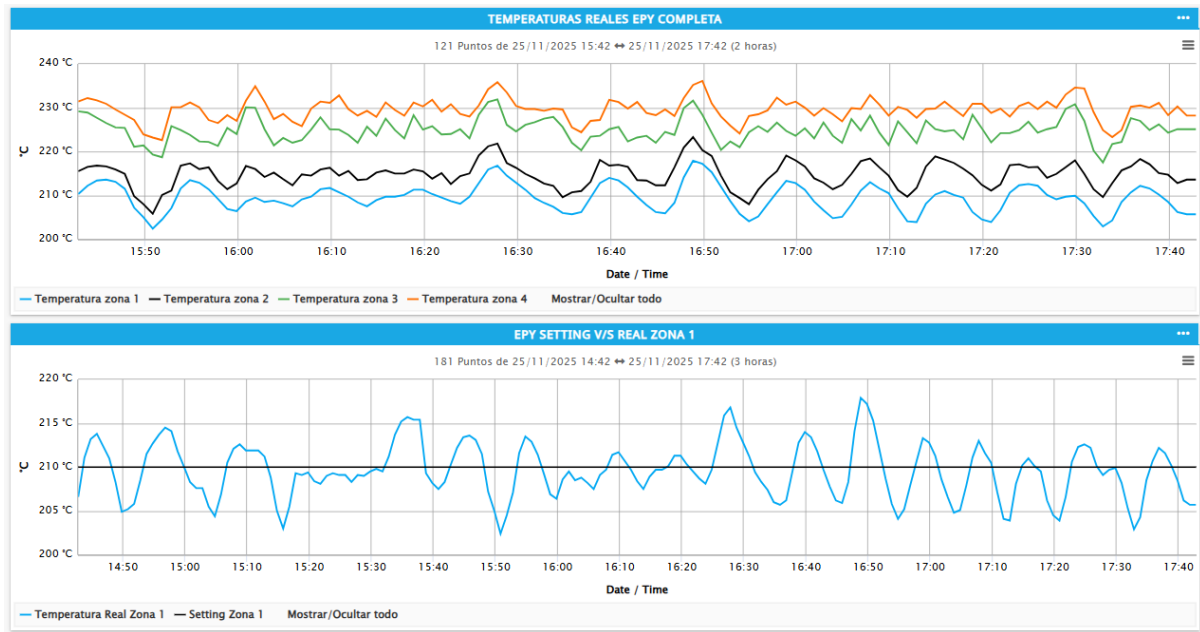


Figura 4.4: Gráficas temperaturas y setting zona 1

Fuente: Sequoia

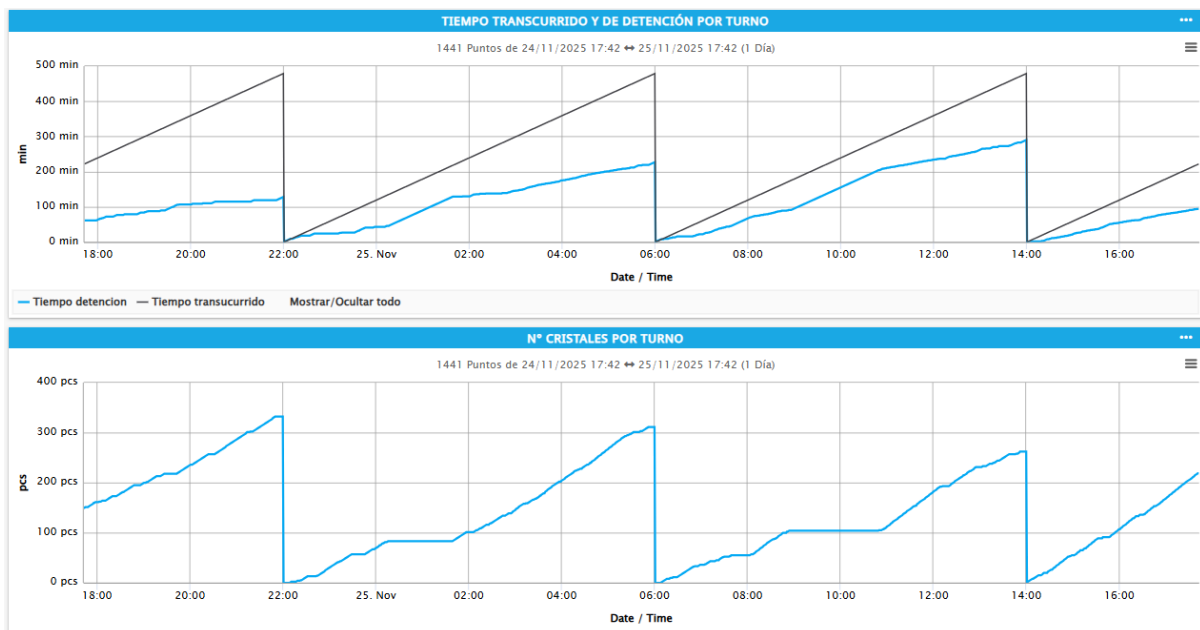


Figura 4.5: Gráficas de tiempo y N° de cristales

Fuente: Sequoia

Los componentes mostrados anteriormente, en su totalidad permiten filtrar por intervalos de fechas personalizados, permitiendo realizar análisis en caso de ser requerido, pero principalmente son una herramienta que se le brinda poder a los operadores y supervisores para que puedan controlar de manera más precisa las etapas del proceso en las cuales ellos tienen incidencia y por ende un impacto en el resultado, involucrándose más aún en la fabricación.

Además, esto cumple con la necesidad que se presentaba al inicio, de generar una herramienta que agregara variables críticas del proceso, y las concentrara en un dashboard que permitiera la fácil interpretación, de manera que se deje de lado el control manual que se realizaba, ya que variables importantes como la humedad, antes se “controlaba” en una pizarra y se chequeaba cada 1 hora si el operador lo recordaba.

4.2 Dashboard de la Jefatura

Para el dashboard de la jefatura, se diseñó una única pestaña, la cual muestra 4 gráficos de indicadores relevantes para el área, flowrate, disponibilidad, consumo energético y rendimiento de mermas. Los 4 gráficos permiten visualizar un histórico de los valores con una precisión notable en comparación a las maneras de registro anteriores.

4.2.1 Disponibilidad de la Línea

El control de la disponibilidad es fundamental para la línea, esta representa el porcentaje del tiempo del turno en el cual se puede operar, ya que descuenta el porcentaje de tiempo de detención, que ocurren por diversos motivos, ya sea por procedimientos en la operación, mantenciones o fallas de equipos. Esto tiene un mayor impacto, considerando que el año siguiente las horas semanales de trabajo descienden a 42.

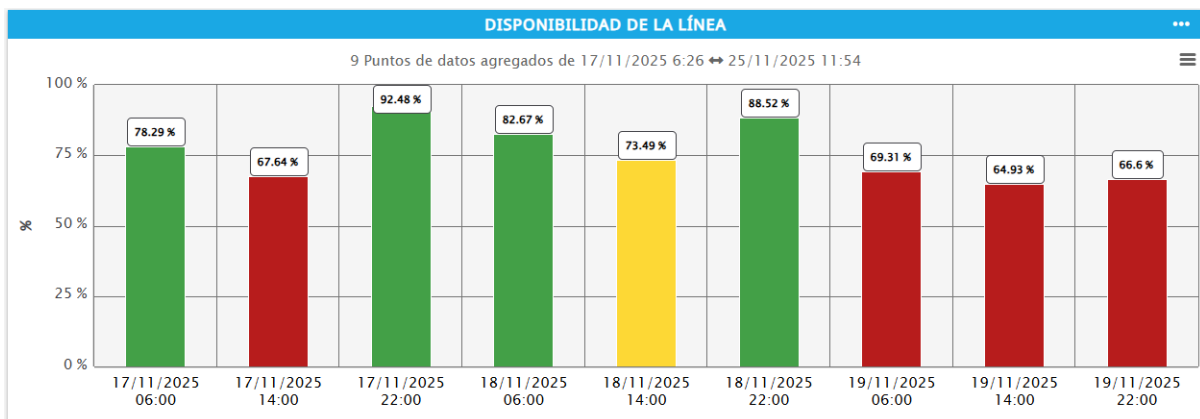


Figura 4.6: Gráfica Disponibilidad por turno

Fuente: Sequoia

En la figura 4.6 se puede visualizar cómo se registra la disponibilidad de cada turno, siendo el valor mostrado el último registrado durante el turno, es decir, la disponibilidad final con la que finalizó, sin embargo, al alimentarse con datos minuto a minuto siempre el registro del turno actual se va controlando en tiempo real, teniendo un control táctico y operativo a la vez.

De esta manera este gráfico viene a complementar el registro actual de los tiempos muertos, debido a que este se construye con un sensor en la línea, por lo que la disponibilidad total del turno es más fiel a la realidad en comparación a el registro actual, que es un Excel en el cual los operadores registran de manera manual el tiempo de detención junto con el motivo por el cual esta ocurre.

El sustento de esta complementación radica en que ahora se obtiene con mayor certeza el valor de la disponibilidad total, pero el registro manual al indicar el motivo de cada detención permite realizar mejores análisis

Constantemente se están realizando mejoras a la línea y pruebas, para aumentar la disponibilidad, por lo que el monitoreo preciso de esta es fundamental para evaluar el real impacto cuando las mejoras ya estén implementadas.

4.2.2 Flowrate de trabajo

El flowrate de la línea corresponde al ritmo de producción al cual los operadores de la línea están produciendo en los tiempos operativos disponibles, por ende, descuenta todos los tiempos de detención que ocurren en el transcurso del turno.

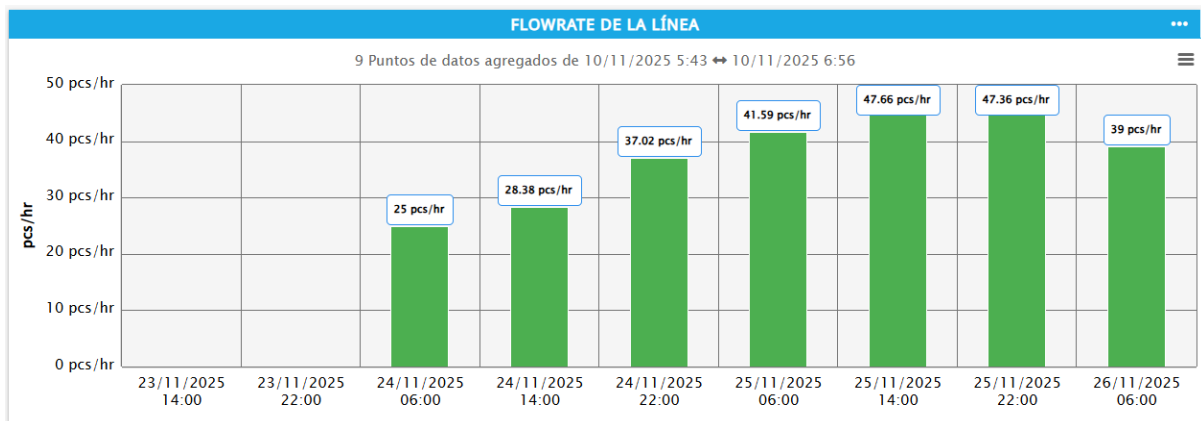


Figura 4.7: Gráfica de Flowrate por turno

Fuente: Sequoia

En la figura 4.7 se puede apreciar que el flowrate de la línea se obtiene por turno, y de manera automática, siendo la última barra el turno actual, por lo que el flowrate, además de visualizarse de manera histórica, se logra ver minuto a minuto, permitiendo tomar medidas en el instante o buscar causas de un problema mayor que afecte el ritmo de trabajo del turno, sumado a que el gráfico también se puede transformar a lineal para evaluar el minuto a minuto del turno en curso.

Esta manera de cálculo del flowrate permite generar un historial del ritmo de trabajo de cada turno, permitiendo comparaciones entre ellos para así, tener información para generar proyectos que apunten a mejorar el flowrate aumentando la velocidad de producción en los momentos que haya disponibilidad.

La importancia de este indicador es un poco en combinación con el de disponibilidad, debido a que los constantes proyectos para aumentar la disponibilidad de la línea deben ir acompañados con un aumento del flowrate o mantenimiento de este, de modo que se justifique que el tiempo disponible que se va generando se utilice para obtener mayores niveles de producción, por lo que el control es indispensable.

4.2.3 Consumo energético del sistema de Autoclave

El sistema de autoclave se compone de tres equipos, el compresor, la torre de refrigeración y el autoclave, los cuales en conjunto significan uno de los mayores consumos de energía de la línea, razón por la cual el monitoreo es clave.

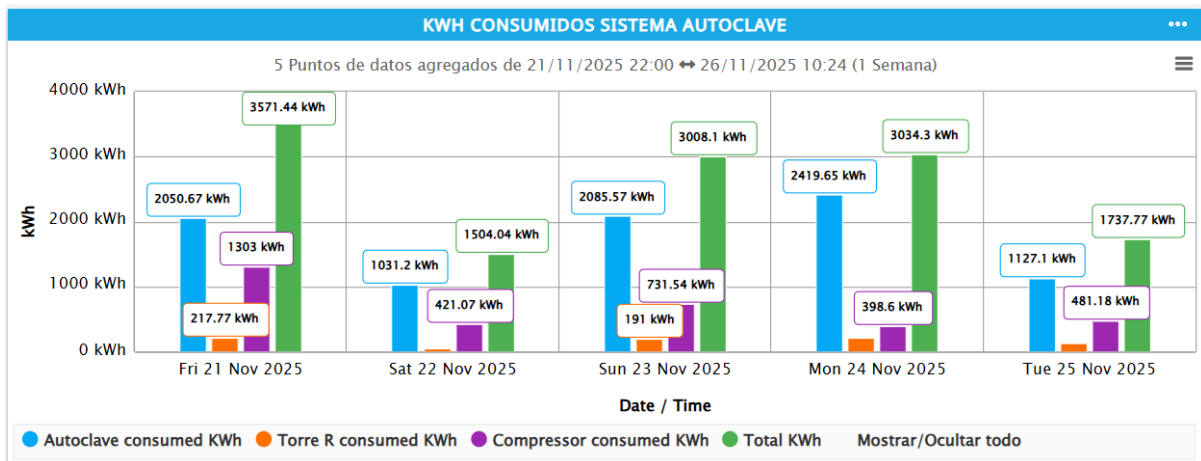


Figura 4.8: Gráfica de consumo energético

Fuente: Sequoia

En la figura 4.8 se presentan los consumos de los 3 equipos, y también una barra que indica la suma total diaria del consumo del sistema, para así posteriormente poder comparar el consumo total con la cantidad de ciclos de autoclave realizados por día, y así generar más indicadores relacionados a la energía consumida.

De igual manera que en los anteriores, el gráfico se puede transformar a valores minuto a minuto, permitiendo también detectar casos en que se alargue demasiado un ciclo, para luego poder determinar

las causas por las que se dieron estas circunstancias, potenciando el control que se tenía por el consumo al tenerlo de manera más rápida, frecuente y clara.

4.2.4 Rendimiento de Mermas

También, para visualizar de manera más expedita los rendimientos de los turnos de armado de paquetes, se incluyó la gráfica presentada en la figura 9.4, la cual se alimenta de un registro manual por los mismos armadores, en el cual se registran los m^2 etiquetados y los m^2 de merma.

Registro de Rendimientos														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Turno A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M2 Etiquetado 514,00 m²</td> </tr> <tr> <td>M2 Merma 5,00 m²</td> </tr> <tr> <td>Rendimiento 99.03 %</td> </tr> </tbody> </table>	Turno A	M2 Etiquetado 514,00 m ²	M2 Merma 5,00 m ²	Rendimiento 99.03 %	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Turno B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M2 Etiquetado 520,00 m²</td> </tr> <tr> <td>M2 Merma 10,00 m²</td> </tr> <tr> <td>Rendimiento 98.1 %</td> </tr> </tbody> </table>	Turno B	M2 Etiquetado 520,00 m ²	M2 Merma 10,00 m ²	Rendimiento 98.1 %	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Turno C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M2 Etiquetado 571,00 m²</td> </tr> <tr> <td>M2 Merma 16,00 m²</td> </tr> <tr> <td>Rendimiento 97.2 %</td> </tr> </tbody> </table>	Turno C	M2 Etiquetado 571,00 m ²	M2 Merma 16,00 m ²	Rendimiento 97.2 %
Turno A														
M2 Etiquetado 514,00 m ²														
M2 Merma 5,00 m ²														
Rendimiento 99.03 %														
Turno B														
M2 Etiquetado 520,00 m ²														
M2 Merma 10,00 m ²														
Rendimiento 98.1 %														
Turno C														
M2 Etiquetado 571,00 m ²														
M2 Merma 16,00 m ²														
Rendimiento 97.2 %														
• Registrar al final del turno los m^2 etiquetados en la casilla superior. • Registrar al final del turno los m^2 de merma en la casilla intermedia. • El turno que comienza a las 06:00, antes de registrar los valores de m^2 debe eliminar los registros de todas las casillas (Día anterior) y luego ingresar los valores.														

Figura 4.9: Registro de rendimientos en el Data Sheet

Fuente: Sequoia

Como se aprecia en la figura 4.9, es un registro simple, pero el cual sirve como alimentador de datos para el dashboard, y al ser ingresado por los propios armadores al final del turno permite una visualización más rápida para la jefatura, especialmente para los turnos de fin de semana, permitiendo que los lunes a primera hora, ya estén los rendimientos calculados y no tenga que el ingeniero bajar la información de SAP desde el viernes a domingo y procesarla en archivos Excel.

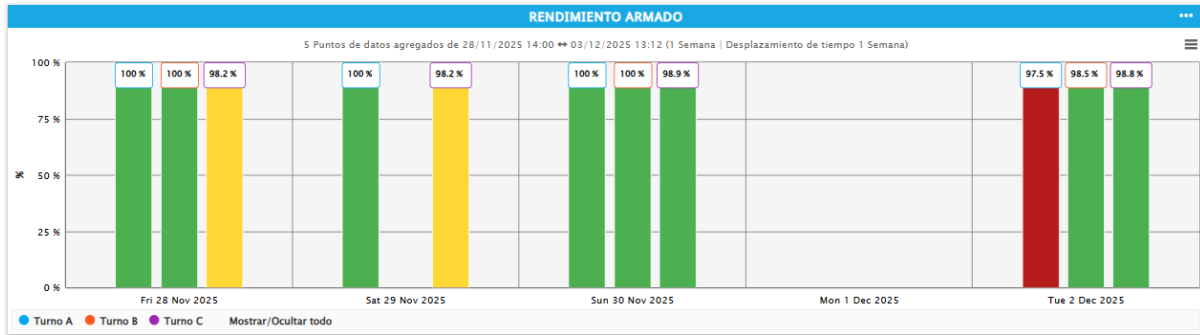


Figura 4.10: Gráfica de rendimientos de cada turno

Fuente: Sequoia

Como se aprecia en la figura 4.10 cada día de la semana, hay 3 barras con el rendimiento de los turnos A, B y C, respectivamente. De esta manera, cuando ocurre mucha merma en un turno, se detecta fácilmente cada vez que finaliza un turno, aumentando la velocidad con la que se puede detectar alguna causa que esté afectando el rendimiento de manera negativa y elegir cómo atacarla.

5. Conclusiones

5.1 Trabajo realizado

El desarrollo de las herramientas anteriormente descritas permitió agrupar variables críticas para el proceso y transformarlas en información automatizada y alineada con las necesidades de la operación y la jefatura. A partir de los resultados es posible discutir el aporte efectivo y la manera en la que los sistemas implementados responden a los objetivos.

En primer lugar, el dashboard operativo, en la práctica, demostró ser un elemento que mejoró la lectura de variables del proceso de fabricación del laminado en tiempo real. El rastrear las temperaturas de setpoints y laminados aumentó el control que se tiene por parte de los operarios sobre el proceso, debido a que en la sala esos valores no se encontraban, físicamente los valores se veían en los equipos fuera de la sala, pero al tener condiciones climáticas tan controladas, eliminar movimientos por parte de los operarios al exterior de la sala es un aspecto clave.

Además, otros aspectos como la temperatura y humedad de la sala en la cual se arma el sándwich de PVB es crucial, sobre todo para períodos como el que viene de altas temperaturas, ya que es frecuente que falle la climatización automática, y eso es un factor que impacta directamente en la calidad del producto que se fabrica. Agregar además vistas como la de gráficos históricos de las variables durante el turno permitió analizar comportamientos de todas las variables del dashboard a lo largo del tiempo, teniendo más información para levantar alertas de mantención a los equipos si fuese requerido.

Además de que actualmente el dashboard operativo ya se encuentra instalado y en funcionamiento en la sala de laminado, por lo que los operadores ya lo están utilizando, y ya ha servido como alerta ante casos principalmente de prelamados con una menor temperatura a la salida, debiendo ellos controlar la velocidad a la cual la lámina circula por la EPY para aumentar la transferencia de calor. También otro caso que fue frecuente ha ido disminuyendo es que colocaran settings de temperatura incorrecto para los espesores, para lo cual el dashboard también ha mostrado utilidad alertando de manera correcta y temprana estos errores de configuración.

Por último, también ha servido para monitorear todas las variables críticas ante pruebas con valores distintos para dichas variables, es decir, cuando se han probado distintas maneras de realizar algunos procesos el dashboard ha permitido analizar todas las variables críticas de un solo vistazo, permitiendo una evaluación más rápida al no tener que recolectar variables de distintos equipos físicamente distantes, mostrando además un registro histórico más claro gracias a los gráficos.

Por otra parte, el dashboard de la jefatura consolidó información clave para el control y aplicación de mejoras enfocado en el desempeño. Indicadores como la Disponibilidad y el flowrate permitieron identificar diferencias entre turnos, lo que permite buscar comportamientos realizados de manera diferente por un turno, estandarizarlos y protocolizarlos para posteriormente comunicarlo a los demás turnos y así ir traspasando las prácticas eficientes entre ellos, apuntando a mejorar el desempeño de cada basado en la información comparativa provista por el dashboard.

Gráficas como la del análisis energético permitieron llevar un control diario del consumo, y un estimativo de cuanto se consumía por ciclo de autoclave, equipo que es crítico respecto a indicadores del área ya que es con creces el de mayor consumo, por lo que monitorearlo constantemente es fundamental para ante cualquier sobreconsumo generar alertas y corregirlo debido a su impacto tanto ambiental como económico.

En conjunto, las gráficas consolidadas anteriormente fortalecen y facilitan la capacidad analítica de la jefatura respecto al funcionamiento de los turnos, aportando a la toma de decisiones tácticas, implicando una mejora respecto a la trazabilidad de las variables críticas.

Una evaluación global del trabajo realizado refleja que el proyecto logró de forma efectiva integrar variables de la operación y de la jefatura, automatizando indicadores críticos, complementando registros manuales para una mayor precisión de la información. Además, sentando los cimientos de las primeras herramientas de gestión visual en el área, ya que anteriormente los indicadores eran calculados netamente de manera manual, encontrándose la plataforma Sequoia muy subutilizada.

El trabajo realizado resolvió necesidades de monitoreo operativas y también generó un marco replicable que permite la implementación de mejoras, integraciones de otras variables y posibilidades de una mayor automatización,

En términos metodológicos la validación en terreno mostró que técnicamente operan de manera correcta, y que son comprensibles para distintos tipos de usuario, evidenciando la claridad visual, tasas de actualización correctas y la pertinencia de los indicadores presentados para dinámicas operativas diarias y tácticas.

5.2 Conclusiones generales

A modo general, que los dashboards permitieran transformar información que anteriormente se encontraba distribuida en múltiples fuentes, en un único sistema integrado y de lectura inmediata,

permitió concluir que aportó en términos de claridad operacional, impulsando medidas que van en pro de potenciar el uso de estos dashboards, modificando sensores actuales e integrando nuevos para poder continuar con su digitalización a dashboards de Sequoia en la línea.

Además, siendo una empresa que como formas de trabajo se centra en metodologías Lean, esta herramienta aporta a eliminar desperdicios establecidos por dicha metodología, como lo son las demoras y esperas de información al no tener flujo continuo sobre la información del proceso. También el exceso de movimiento, ya que el personal para establecer control antiguamente debía desplazarse de manera innecesaria por las sala y el exterior, resultando en tiempo improductivo y también riesgos innecesarios para el proceso y para los mismos empleados.

Con todo lo anterior se converge en el mayor problema que es el desperdicio de talento, ya que el lean manufacturing demuestra que las mejores decisiones son las tomadas por las personas que poseen las mejores informaciones, por lo que al dotar al personal operacional de un dashboard en tiempo real les permite ser capaces de a una velocidad con la que no contaban antes tomar decisiones que van en pro de minimizar las pérdidas de laminado.

El proyecto, sentó bases metodológicas para poder extenderse a otras líneas del área mostrando una gran capacidad de expansión aumentando posibilidades de esfuerzos futuros de digitalización en la empresa. Esto potencia la cultura del monitoreo, control y mejora continua que hay en la empresa, combinada también con las metodologías Lean que son centrales para el funcionamiento de esta empresa en particular.

5.3 Recomendaciones para el futuro

A partir de los dashboard implementados, se presentan algunas acciones que podrían potenciar el uso del dashboard para mejorar aún más la calidad de los datos, basado en la observación directa del funcionamiento del sistema.

En primer lugar, formalizar el uso operativo del dashboard dentro de los procedimientos internos del área. Lo anterior implicaría que al inicio de cada turno se haga un chequeo de las variables críticas para el dashboard operativo a modo de checklist, asegurando un uso consistente del dashboard por parte del supervisor y estableciendo que es seguro comenzar la operación.

Asimismo, sería beneficioso avanzar en la integración de SAP dentro del sistema de Sequoia. Esta integración permitiría automatizar la lectura de órdenes de producción, asociar datos de consumo o

rendimientos a lotes o conjuntos de pedidos, permitiendo comparar también esos rendimientos de materia prima, alejándose así de las planillas de registro manual para la obtención de los indicadores, recopilando los datos que se ingresan a SAP.

A modo de recomendación, veo relevante continuar subiendo variables del proceso a Sequoia, como velocidades o tiempos de ciclo, de manera de generar indicadores mucho más precisos a la hora de establecer control. Junto lo anterior la capacitación continua de los usuarios, especialmente usuarios nuevos como reemplazos, entre otros, de manera de tener un nivel base de comprensión.

Estas posibles líneas de trabajo futuro no solo expanden las capacidades del sistema, sino que también permiten avanzar hacia una gestión con facilitadores de información, más integrada y alineada con los principios Lean y mejora continua.

5.4 Reflexión final

El desarrollo de los dashboards digitales presentó una oportunidad significativa para poder integrar conocimientos técnicos, capacidades analíticas y aprender mucho acerca de un proceso industrial, donde las decisiones exigen información confiable sabiendo que lo que se realice impactará directamente en los resultados operativos. Se logró enfrentar el mayor desafío que fue sacar el máximo provecho a la plataforma, debiendo basar la mayoría del proyecto en prueba y error, debido a la escasa información provista acerca de cómo implementar herramientas de gestión visual en la plataforma.

Trabajar en el diseño e implementación de los dashboards 'permitió comprender en profundidad la relevancia de la gestión visual en la industria, potenciada por la automatización del flujo de la información en indicadores relevantes, facilitando el trabajo coordinado entre operadores, supervisores y la gerencia. En el proyecto, se hizo dar cuenta que la ingeniería no solo consiste diseñar herramientas técnicas y de aplicación, sino que también en que las soluciones diseñadas realmente cumplan y satisfagan las necesidades para las cuales se crean, facilitando comprensión y claridad para ser adoptadas por sus usuarios y así perduren en el tiempo.

Además, se reforzaron competencias tales como análisis críticos de variables y procesos, interpretar y validar datos, y la comunicación con equipos multidisciplinarios, para poder sacar el proyecto adelante, dadas las circunstancias del equipo de soporte de la plataforma fuese de Inglaterra el frecuente contacto con ellos fue clave para el desarrollo.

Este trabajo fortaleció mi convicción hacia la mejora continua basada en el uso inteligente de la información que el mismo proceso entrega, para generar así un diagnóstico y proponer mejoras que llegarán a cambiar paradigmas en las empresas. Haber contribuido con una herramienta que hace más fácil esa tarea, y que presenta un potencial de expansión grande, constituye un aporte que me aporta valor en lo personal, y en lo profesional para un futuro próximo.

6. Referencias

- Advantech. (s.f.). *FEMS helps the high energy consumption enterprise achieve the green dream*. Advantech. <https://www.advantech.com/en-sg/resources/case-study/fems-helps-the-high-energy-consumption-enterprise-achieve-the-green-dream>
- Allen, L., Atkinson, J., Jayasundara, D., Cordiner, J., & Moghadam, P. Z. (2021). Data visualization for Industry 4.0: A stepping-stone toward a digital future, bridging the gap between academia and industry. *Patterns*, 2(5), 100266. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100266>
- Bititci, U. S., Cocca, P., & Ates, A. (2015). Impact of visual performance management systems on the performance management practices of organisations. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1571–1593. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1005770>
- Coherent Market Insights. (2025, 17 de marzo). *Laminated glass manufacturing process: From raw material to final product*. Coherent Market Insights. <https://www.coherentmarketinsights.com/blog/laminated-glass-manufacturing-process-from-raw-material-to-final-product-1719>
- Deming, W. E. (2018). *Out of the crisis* (Reissue ed.). MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11457.001.0001>
- Few, S. (2013). *Information dashboard design: Displaying data for at-a-glance monitoring* (2nd ed.). Analytics Press.
- Hand, A. (2020, septiembre 15). Data analysis helps glassmaker see through its processes. *Automation World*. <https://www.automationworld.com/analytics/article/21173812/data-analysis-helps-glassmaker-see-through-its-processes>
- Hirano, H. (1995). *5 pillars of the visual workplace: The sourcebook for 5S implementation*. Productivity Press.
- International Organization for Standardization. (2019). *Ergonomics of human-system interaction—Part 210: Human-centred design for interactive systems* (ISO 9241-210:2019). <https://www.iso.org/standard/77520.html>
- Lavonius, L. (2025). *Operator involvement in digital dashboard implementation: Stora Enso case study* (Tesis de licenciatura, LUT University). LUTPub. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/169872>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.
- Nachmanovitch Lazar, M. (2023, octubre 26). *Why digital manufacturing dashboards matter for Industry 4.0*. *Matics*. <https://matics.live/blog/why-digital-manufacturing-dashboards-matter-for-industry-4-0>

Olavsrud, T. (2024, enero 30). Sistemas de apoyo a la toma de decisiones: la herramienta clave para el análisis de datos empresariales. *CIO en Español*. <https://www.cio.com/article/1314134/sistemas-de-apoyo-a-la-toma-de-decisiones-la-herramienta-clave-para-el-analisis-de-datos-empresariales.html>

Ozsevim, I. (2025, enero 28). How OEMs such as BMW, Toyota and Ford are harnessing data-driven decision making to drive sustainability in automotive manufacturing. *Automotive Manufacturing Solutions*. <https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/smart-factory/how-oems-such-as-bmw-toyota-and-ford-are-harnessing-data-driven-decision-making-drive-sustainability-in-automotive-manufacturing/304697>

Smartech International, LP. (2025, Agosto 1). *Common laminated glass defects and how to avoid them*. <https://smartechonline.com/resources/common-laminated-glass-defects/>

Undru, A. (2024, julio 9). KPI management: Best practices and mistakes to avoid. ThoughtSpot. <https://www.thoughtspot.com/data-trends/kpi/kpi-management>

Vilarinho, S., Lopes, I., & Sousa, S. (2017). Design procedure to develop dashboards aimed at improving the performance of productive equipment and processes. *Procedia Manufacturing*, 11, 1634–1641. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.314>

Vidrio Andino. (2022). *Lo que usted debe saber sobre: Vidrio laminado*. Saint-Gobain. <https://www.vidrioandino.com/sites/d8-vidrioandino.com/files/2022-11/06%20Lo%20que%20usted%20debe%20saber%20sobre%20-%20Vidrio%20laminado.pdf>

Vorecol. (2023, 12 de septiembre). *Case studies: Successful implementation of KPI software in various industries*. Vorecol Blog. Recuperado el 22 de septiembre de 2025, de <https://blogs.vorecol.com/blog-case-studies-successful-implementation-of-kpi-software-in-various-industries-172721>

7. Anexos

Anexo N°1: Dashboard operacional 5 mm

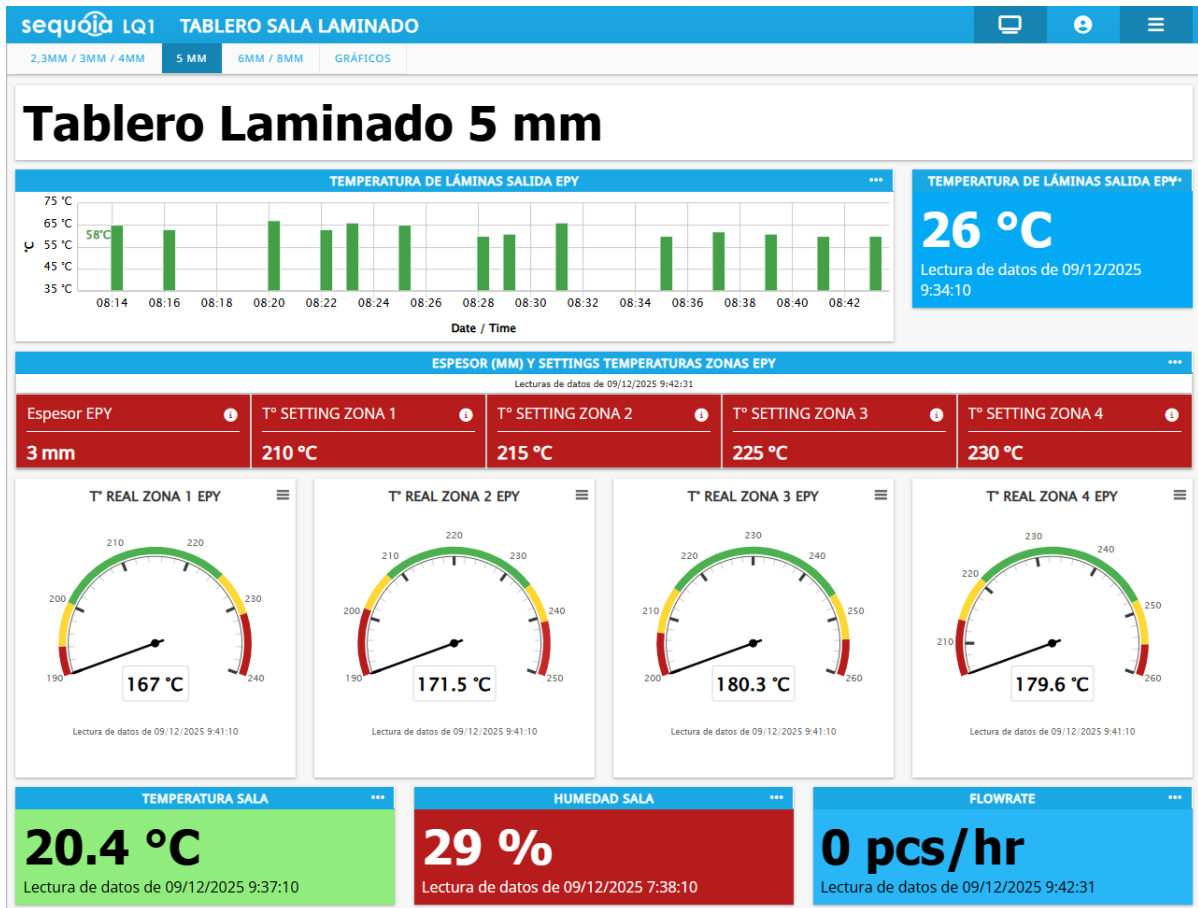


Figura 7.1: Dashboard operacional 5 mm

Fuente: Sequoia

Anexo N°2: Dashboard operacional 6 mm / 8 mm

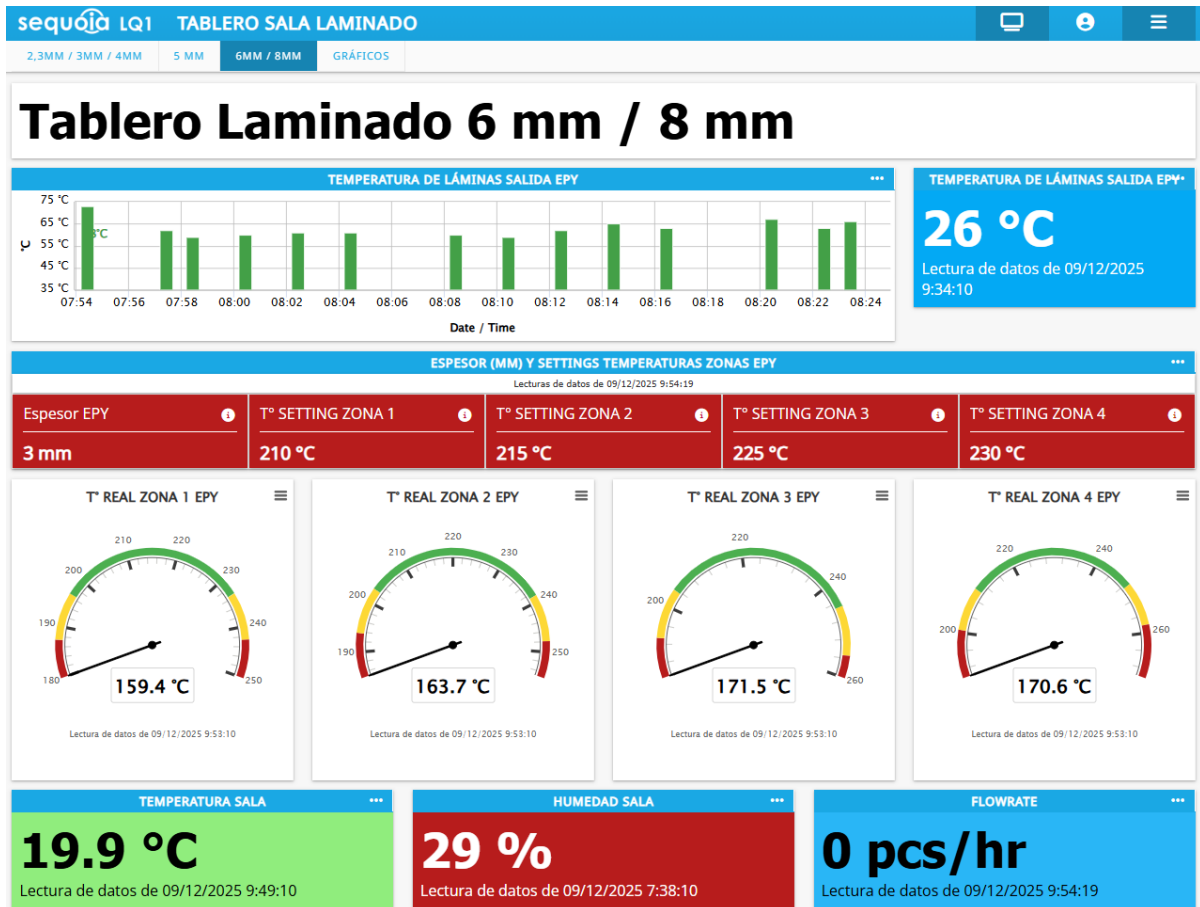


Figura 7.2: Dashboard operacional 6 mm / 8 mm

Fuente: Sequoia

Anexo 3: Pestaña de gráficos Dashboard operacional

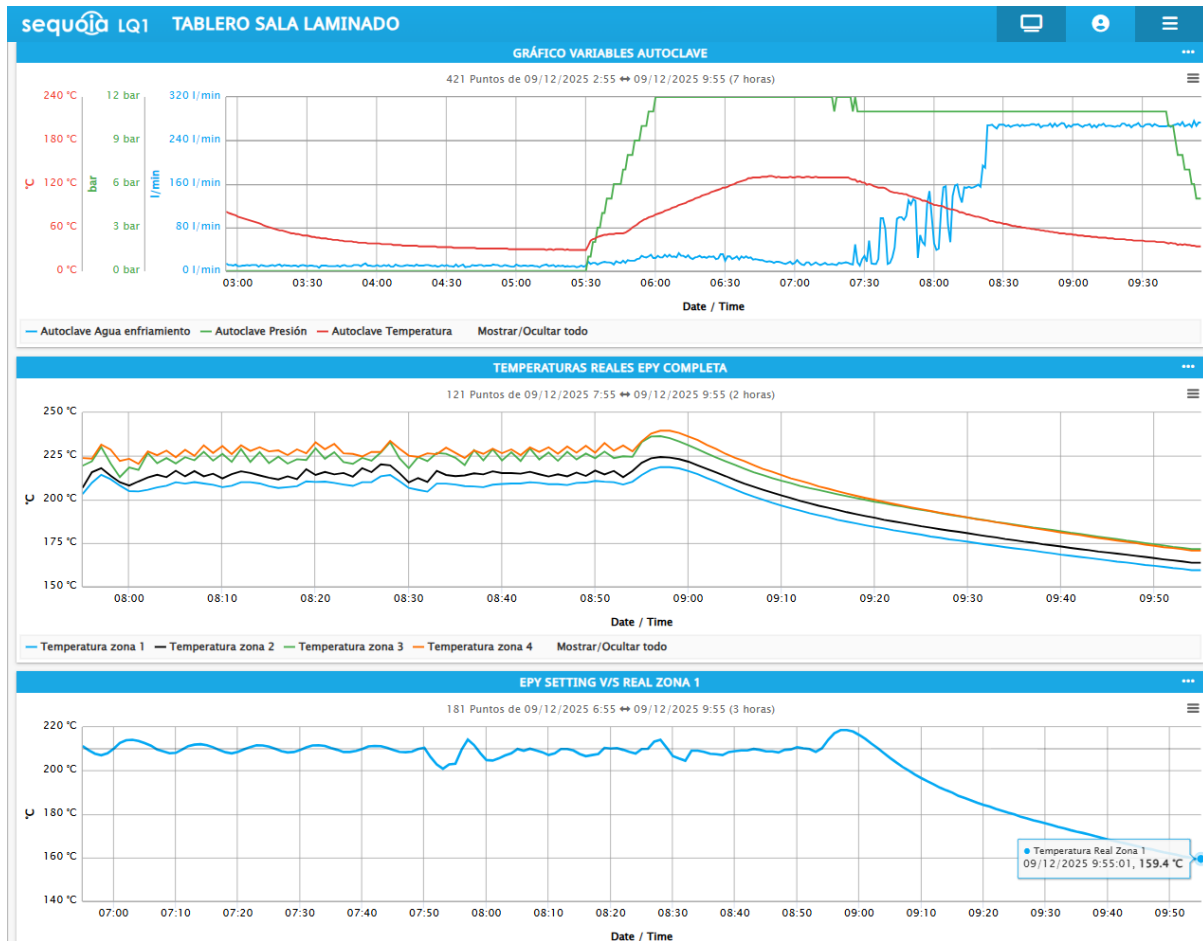


Figura 7.3: Gráficos dashboard operacional

Fuente: Sequoia

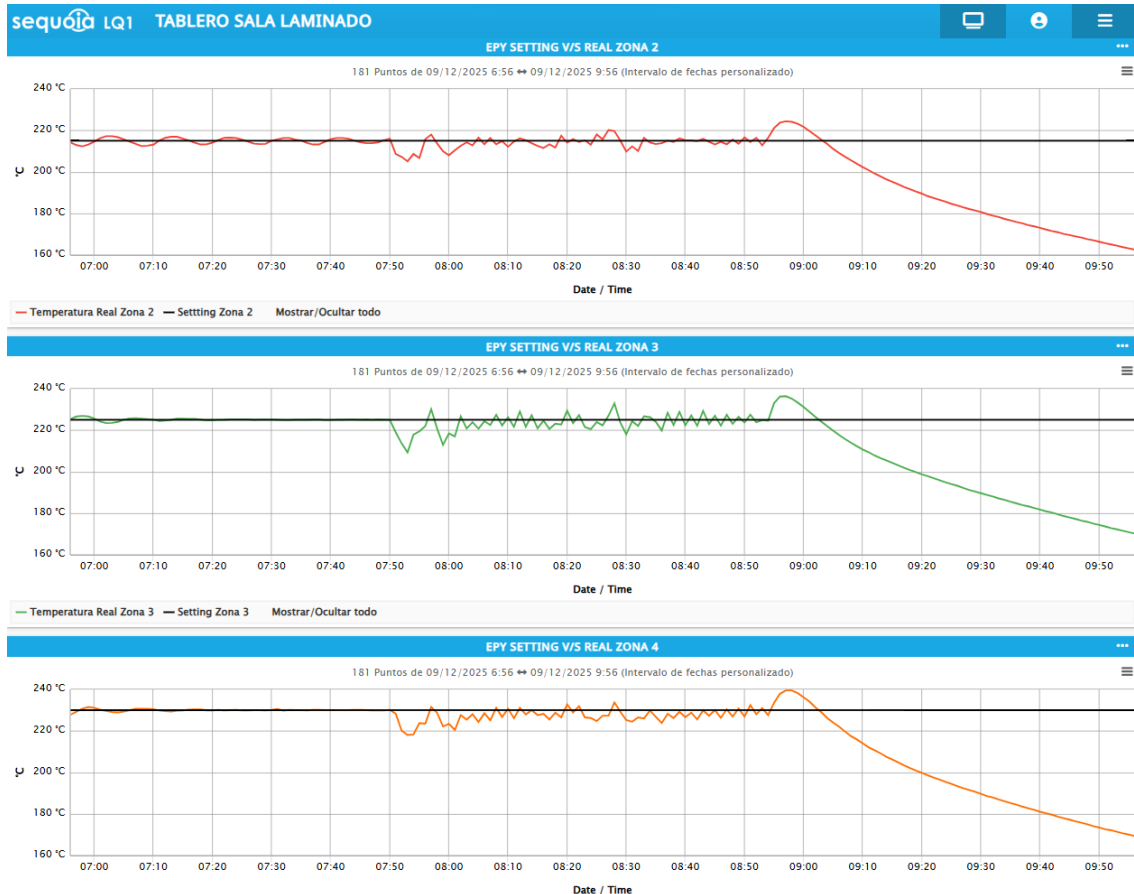


Figura 7.4: Gráficos Dashboard operacional

Fuente: Sequoia

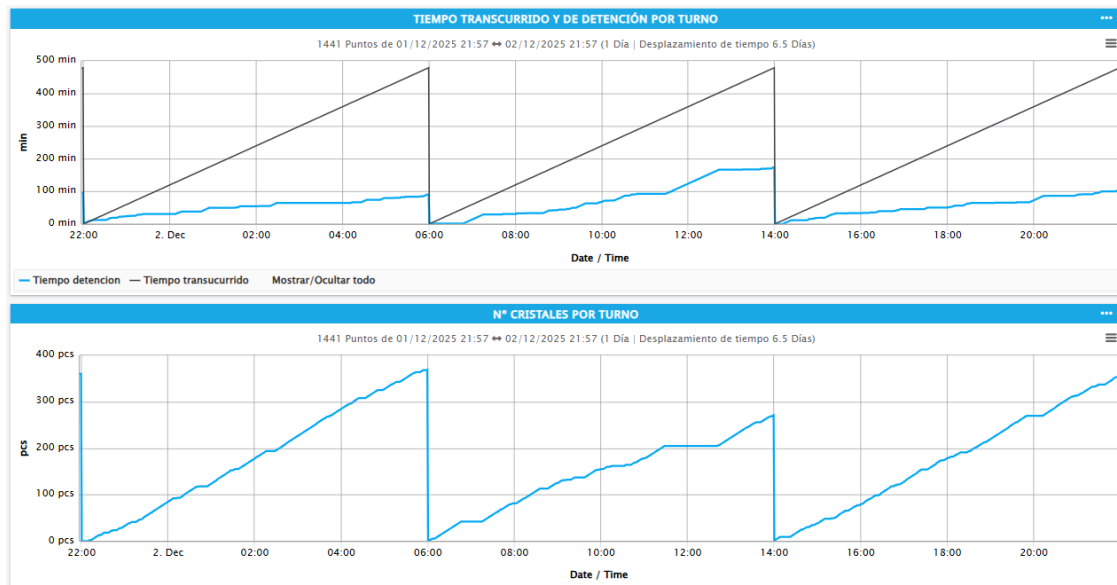


Figura 7.5: Gráficos dashboard operacional

Fuente: Sequoia

Anexo 4: Dashboard Jefatura

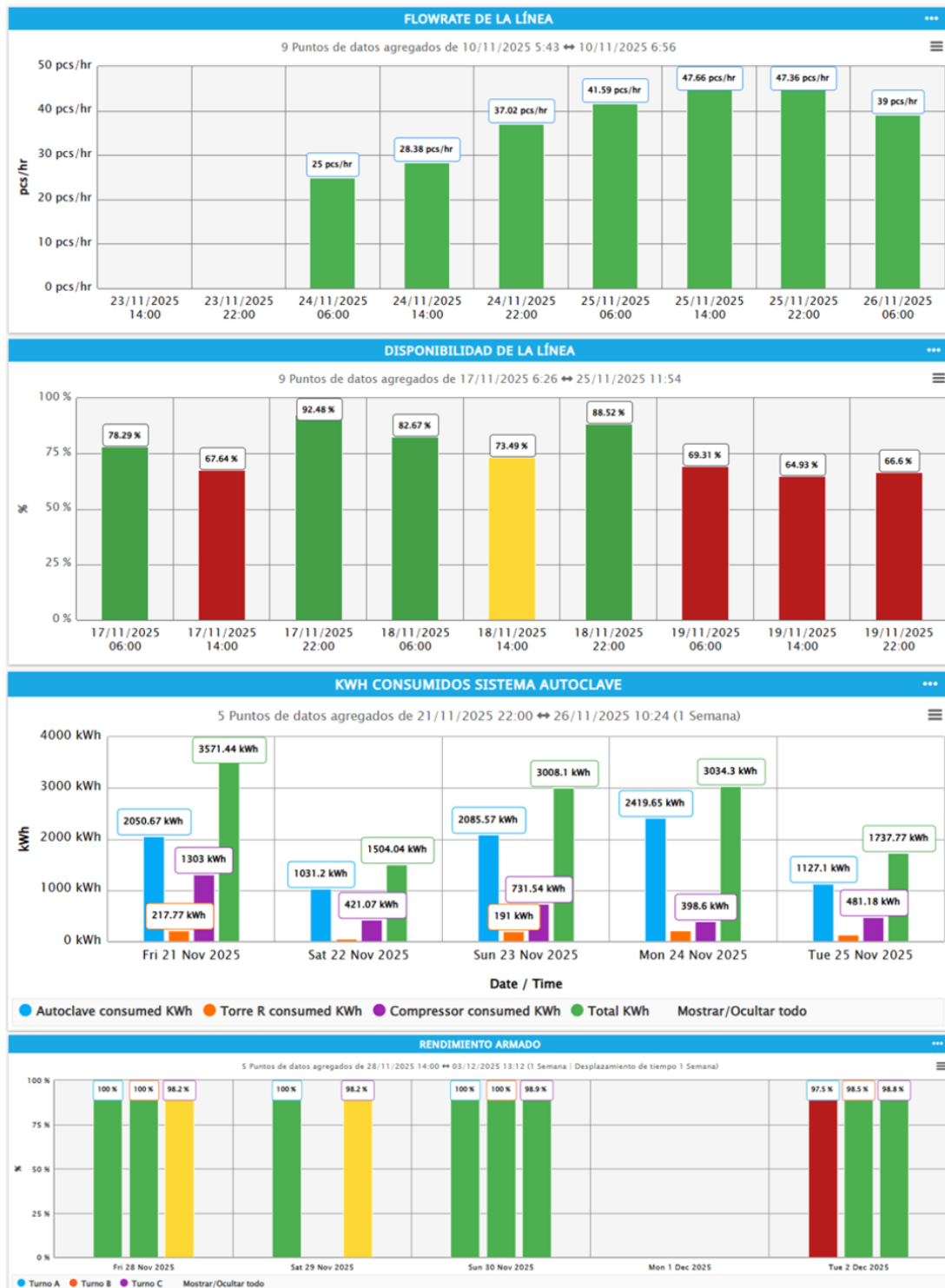


Figura 7.6: Dashboard de Jefatura

Fuente: Sequoia

Anexo 5: Glosario

Tabla 7.1: Glosario

Concepto	Definición breve
Sequoia	Plataforma corporativa utilizada para la integración, monitoreo y visualización de datos en tiempo real.
SCADA	Sistema de supervisión, control y adquisición de datos, que permite monitorear y controlar procesos industriales en tiempo real.
EPY	Equipo de prelamado que consta de rodillos con resistencias, utilizado para sellar preliminarmente las láminas de vidrio con PVB.
PVB	Polímero que se coloca entre dos láminas de vidrio para formar el laminado, aportando seguridad y resistencia.
5S	Metodología para estandarizar y ordenar el lugar de trabajo.
Kanban	Sistema visual para gestionar flujos de trabajo y producción.
Andon	Herramienta visual para alertar problemas en procesos productivos.
Lean Manufacturing	Metodología de mejora continua orientada a eliminar desperdicios y a optimizar los procesos.
PDCA	Ciclo de mejora continua aplicando implementación y optimización de dashboards.

Fuente: Elaboración propia