

# Aumentar Eficiencia de producción en Línea 2 de Envasado

Ingeniería Civil Industrial

Ignacio Jeanneret Gutiérrez

5/12/2023

## Resumen Ejecutivo

CCU es una empresa multinacional que se dedica principalmente a la producción y distribución de una gran variedad de bebestibles, sin embargo, su fuerte es claramente el mercado de las cervezas. Tiene una participación de mercado cercana al 70%, por lo que los volúmenes producidos son de carácter abismal.

El proyecto es realizado en la planta cervecera Quilicura y busca mejorar la eficiencia de la línea 2 de envasado. Esto se mide con un indicador llamado OPI NONA, el cual muestra la efectividad de la línea para completar órdenes de producción. En palabras simples, se divide el tiempo teórico en el que debería terminar un lote con el tiempo real en que se demora. Este último es siempre mayor ya que contempla detenciones de las máquinas, aseos, inicios de producción, cambios de formato, entre otros.

El proceso de envasado comienza desde la llegada de latas o botellas vacías y luego pasa por varios procesos como el llenado, pasteurización y empaquetado. Todas las máquinas se encuentran alineadas, por lo que una detención en alguna de ellas presenta problemas en toda la línea. Como cada máquina tiene su propio funcionamiento y velocidad, existen algunas que presentan mayores fallas, por lo que es necesario prestar mayor atención a estas para conseguir una producción continua.

La línea 2 presenta gran parte del total de producción de la planta y este año ha tenido un rendimiento bajo. Comparado con los resultados del año anterior se encuentra en promedio con un 2,55% menos en OPI NONA y respecto a lo presupuestado un 0,34%, es por esto por lo que se busca mejorar su eficiencia. Como objetivo se plantea aumentar el valor de OPI NONA de 79,4% a 81% para alcanzar el presupuesto planteado el año anterior. Una de las posibles maneras de lograr esto es mejorar el comportamiento de las máquinas a través de corrección de errores y medidas preventivas para evitar detenciones.

Como solución se ha planteado colocar en la salida de la empacadora primaria unos polines de traspaso para evitar unos saltos que estaban generando movimientos en las latas de cerveza. Esta idea es encontrada a través de otra línea de envasado, la cual fue implementada a comienzo de año y ha logrado disminuir 2 horas mensuales las detenciones, por lo que se espera que en la línea a implementar tenga el mismo efecto.

## Abstract

CCU is a multinational company that is primarily engaged in the production and distribution of a wide variety of beverages; however, its strength is clearly in the beer market. It holds a market share close to 70%, making the volumes produced of enormous proportions.

The project is carried out at the Quilicura brewery and aims to improve the efficiency of packaging line 2. This is measured with an indicator called OPI NONA, which shows the effectiveness of the entire line in completing production orders. In simple terms, it divides the theoretical time it should take to finish a batch by the actual time it takes. This total time is always greater because it includes machine stops, cleaning, production starts, format changes, among others.

Packaging process starts with the arrival of empty cans or bottles and then goes through various stages such as filling, pasteurization, and packaging. All the machines are aligned, so a stoppage in any of them causes issues throughout the entire line. As each machine operates at its own functionality and speed, some may experience more failures, requiring extra attention to ensure continuous production.

Line 2 represents a significant portion of the total production of the plant and it has had a low performance this year. Compared to the results of the previous year, it is on average 2.55% lower in OPI NONA, and compared to the budget, 0.34% lower, so this is why there is an effort to improve its efficiency. The objective is to increase the OPI NONA value from 79.4% to 81% to meet the budget set the previous year. One possible way to achieve this is to improve the behavior of the machines through error correction and preventive measures to avoid stops.

As a solution, it has been proposed to place transfer rollers at the output of the primary packer to prevent jumps that were causing movements in the beer cans. This idea was inspired by another packaging line, which was implemented earlier in the year and has reduced the detentions in 2 hours monthly. Therefore, it is expected that the implementation on the line in question will have a similar effect.

## Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>Problema .....</b>	<b>10</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>15</b>
<b>Objetivo General .....</b>	<b>15</b>
<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>Análisis de causas .....</b>	<b>16</b>
<b>Estado del Arte .....</b>	<b>21</b>
<b>Solución .....</b>	<b>24</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>28</b>
<b>Evaluación económica .....</b>	<b>30</b>
<b>Medidas de desempeño .....</b>	<b>33</b>
<b>Desarrollo e Implementación .....</b>	<b>34</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>35</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>36</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>38</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>39</b>

## Introducción

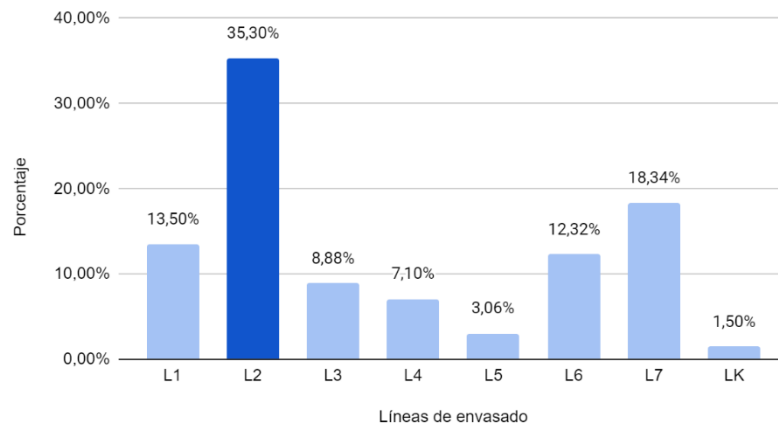
Compañía de Cervecerías Unidas (CCU) es una empresa chilena que se dedica principalmente a la producción de bebestibles alcohólicos y no alcohólicos, esta se expande a lo largo de varios países dentro de Latinoamérica. A nivel nacional es considerada la principal cervecera, la tercera productora de bebidas y la segunda productora de vinos, por lo que se considera como una empresa de gran tamaño que abarca bastante mercado chileno.

La firma cuenta con varias plantas cerveceras a lo largo de todo el país, las cuales le permiten tener entre un 65% a 70% de participación en el mercado de cervezas a nivel nacional. Por otra parte, la planta Quilicura es una de las más grandes e importantes en cuanto a la producción y distribución de cervezas ya que esta proporciona aproximadamente un 70% del total de cerveza producida por todo CCU, por ende, se puede decir que solamente esta planta tiene una participación de mercado entre un 45% y 49%. Todo esto es posible gracias a las más de 200 personas que trabajan aquí, además de los trabajadores que tienen contrato como externos.

Esta planta se divide en cuatro grandes áreas: suministros, elaboración, almacén y envasado. Esta última cuenta con 8 líneas de producción, de las cuales cuatro se enfocan en botellas de vidrio, tres en latas y una en barriles. Específicamente para el proyecto se abordará la línea 2, la cual se dedica a envasar latas de 470 ml de diferentes pintas como cristal, royal guard, heineken, entre otras.

Esta es una de las líneas más importantes ya que aporta aproximadamente un tercio del total de volumen de cerveza producido en la planta, lo cual es un porcentaje bastante alto debido a que hay 8 líneas productivas y, en teoría, si se repartiera la producción de manera equitativa cada línea debiera producir un 12,5%, por ende, que la línea esté alrededor del 30% demuestra que es sumamente valiosa para la planta.

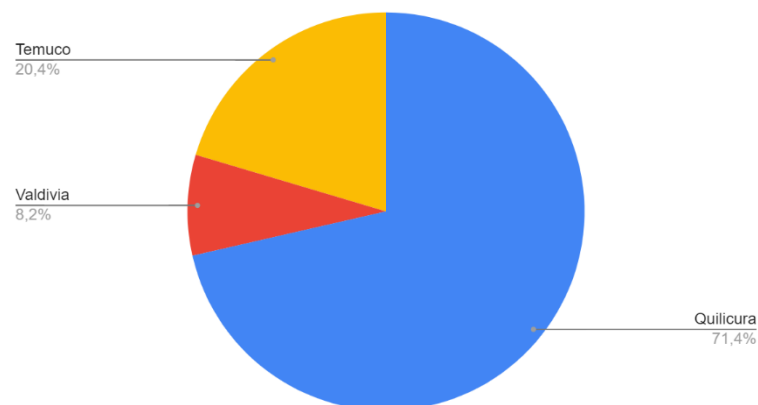
*Gráfico 1: Comparación de producción acumulada en 2023 por línea*



*Fuente: Elaboración Propia*

Considerando que la empresa ostenta aproximadamente el 67% de la participación en el mercado, que el 70% de la producción total de cerveza de CCU proviene de la planta Quilicura, y que la línea 2 contribuye con el 35% de la planta, se deduce que esta línea aporta aproximadamente el 16%<sup>1</sup> del total de cervezas disponibles en el mercado chileno. De ahí la relevancia de abordar mejoras dentro de esta línea productiva ya que no solo impacta directamente en su rendimiento, sino que también repercute de manera significativa tanto a nivel de la planta como a nivel nacional.

*Gráfico 2: Distribución de la producción de cervezas CCU*

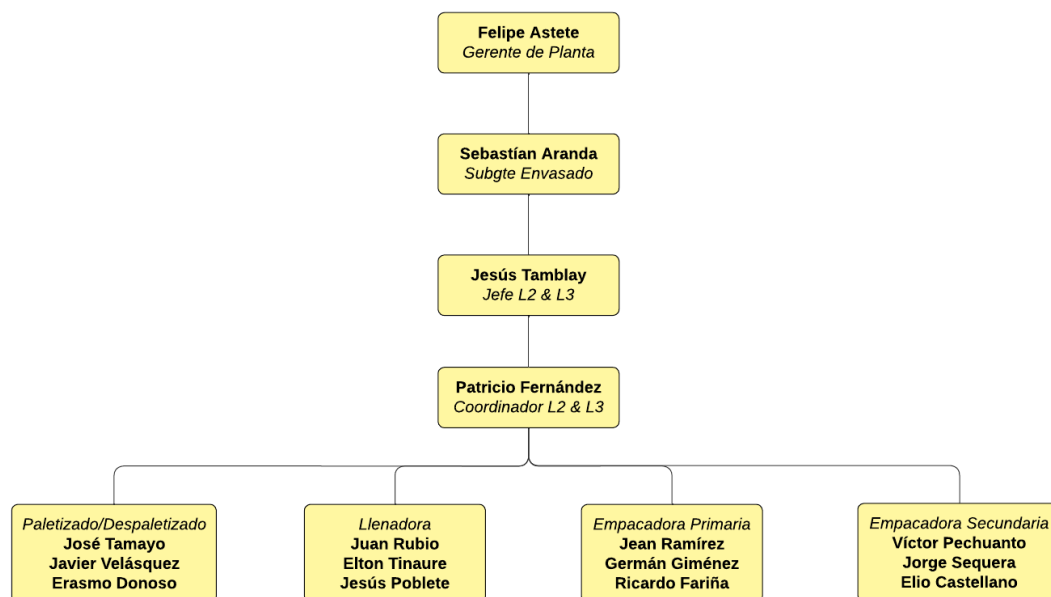


*Fuente: Elaboración Propia*

<sup>1</sup> Cálculo aproximado debido a confidencialidad de la información.  $0,16 = 0,67 \times 0,7 \times 0,35$

La línea 2 está compuesta por cuatro operadores que se encargan del correcto funcionamiento de las máquinas. Se cuenta con un coordinador, jefes de líneas, subgerente del área de envasado y, finalmente, gerente de planta. Entre todos se busca mantener la producción lo más eficiente posible a través de buena comunicación y toma de decisiones. En la imagen 1 se pueden ver las personas involucradas dentro del área de trabajo de este proyecto.

*Imagen 1: Organigrama Envasado Línea 2*



*Fuente: Elaboración Propia*

CCU trabaja con una medida de eficiencia llamada ICEO, la cual está compuesta por 20 indicadores que miden el rendimiento de las plantas cerveceras. Cada semestre se va eligiendo 5 KPI 's como prioritarios para enfocarse sobre ellos y lograr mejorarlos. Actualmente son consumo de agua, reclamos y retenidos, sostenibilidad CAMA, merma de cerveza y empaque, y consumo de energía eléctrica. Sostenibilidad CAMA (Control de Activos y Mantenimiento Autónomo) tiene directa relación con los equipos utilizados en la producción y el correcto funcionamiento de ellos, en donde se incluye la eficiencia de las máquinas en sí y la capacidad de los operadores para poder solucionar cualquier inconveniente que ocurra durante la actividad de las líneas.

Todos los años la empresa genera presupuestos para todos los indicadores que componen a ICEO, esto con el fin de que cada una de las áreas pueda cumplir con estos objetivos a lo largo del año. Envasado cuenta con un KPI principal que mide la eficiencia de las líneas de producción, este se llama OPI NONA y lo que evalúa es el tiempo efectivo (en porcentaje) en

el que la línea de producción está sacando los pallets de cerveza programados, lo cual se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$(1) \frac{\text{Tiempo teórico producción}}{\text{Tiempo teórico producción} + \text{detenciones}} \times 100$$

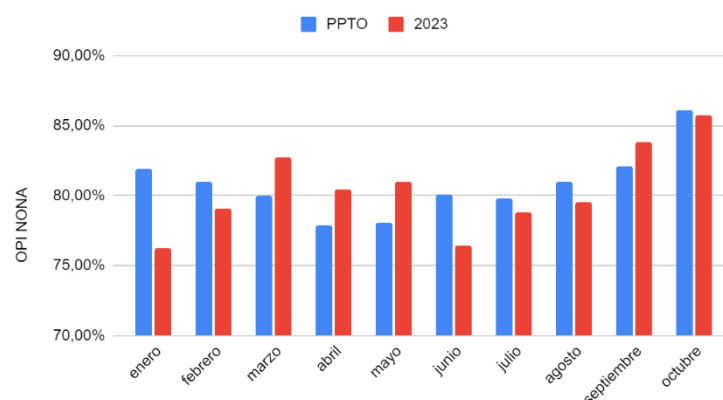
Por ejemplo, si una línea tiene programado producir para el mes durante 300 horas para sacar cierta cantidad de pallets y esta tiene 90 horas de detenciones, su OPI NONA mensual sería 76,9%.

$$\frac{300}{300+90} \times 100 = 76,9\%$$

Claramente lo que se busca es que el indicador esté lo más cercano al 100%, sin embargo, por diferentes motivos el proceso tiene detenciones o disminuciones de velocidad, los cuales terminan afectando negativamente al rendimiento de la línea. OPI NONA está relacionado con sostenibilidad CAMA debido a que la eficiencia de la línea depende del correcto funcionamiento de las máquinas, por lo que trabajar sobre este indicador se alinea estrechamente con las actuales prioridades de la planta Quilicura. Generar un impacto positivo en este aspecto es una tarea fundamental para el avance y el éxito de la empresa en este momento.

En los próximos gráficos se puede ver que desde enero a agosto de este año el OPI NONA mensual ha estado bajo lo presupuestado en la empresa en 5 de 8 meses completos. Las brechas con el presupuesto terminan siendo en promedio negativas, pero compararse con una estimación propia no es significativo, por lo que también se harán comparaciones con resultados obtenidos en el pasado.

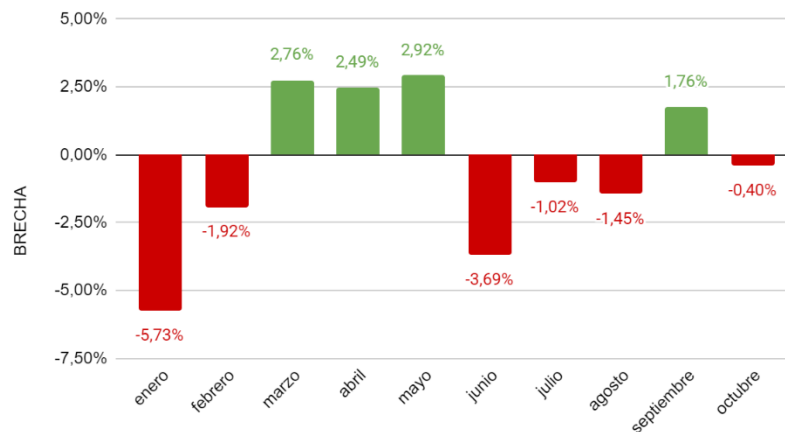
*Gráfico 3: Tendencia OPI NONA Presupuesto v/s 2023*



*Fuente: Elaboración Propia*



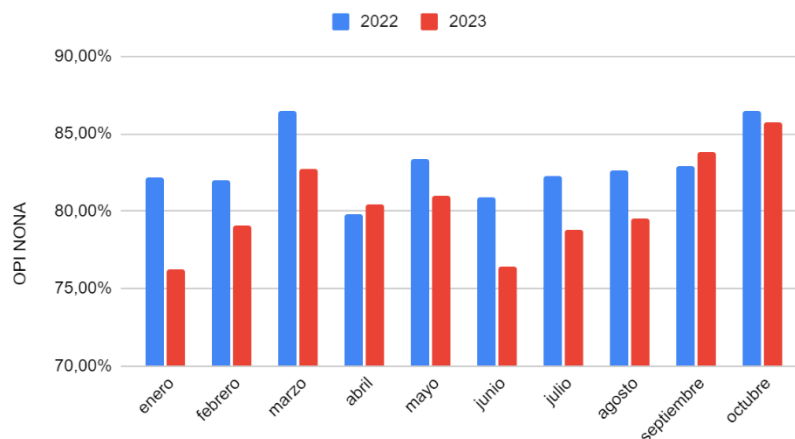
*Gráfico 4: Brecha OPI NONA 2023 con respecto a Presupuesto*



*Fuente: Elaboración Propia*

Comparando con resultados del año pasado también se logra ver una notoria baja en el rendimiento de la línea 2. El gráfico 5 muestra la comparativa de OPI NONA con respecto a 2022 en lo que va del año.

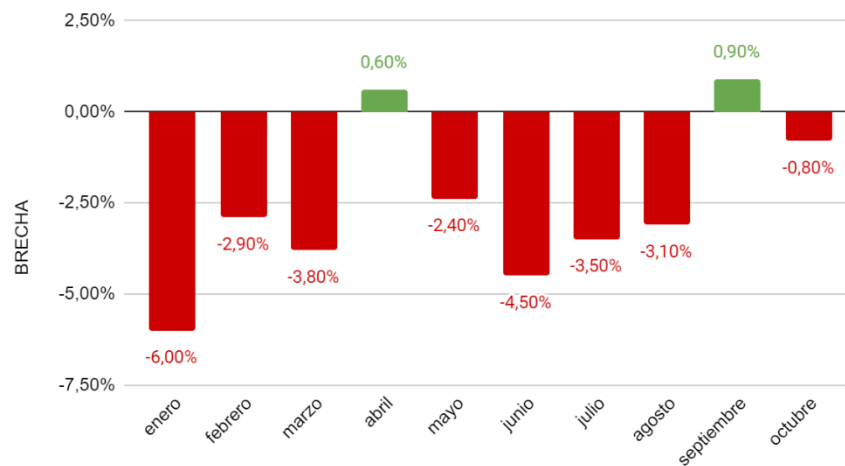
*Gráfico 5: Comparación de OPI NONA 2023 v/s 2022*



*Fuente: Elaboración Propia*

También, en el gráfico 6 se muestran las brechas mensuales existentes, llegando a estar en promedio un 2,55% bajo los resultados del año anterior. Este porcentaje no es menor ya que esta línea ostenta gran parte de la producción, por lo que se necesita que sea lo más eficiente posible. Mejorar cada punto posible del indicador es fundamental ya que esta línea al ser la que más volumen produce tiene una suma de gastos asociada no menor.

*Gráfico 6: Brecha de OPI NONA 2023 respecto a 2022*

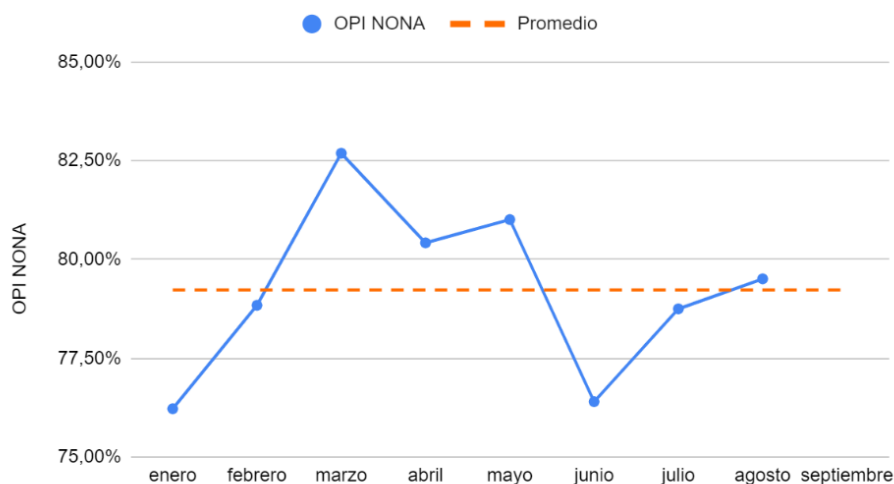


*Fuente: Elaboración Propia*

## Problema

En lo que va de 2023 (hasta agosto) la línea tiene un valor de OPI NONA medio de 79,4%, rendimiento sumamente bajo en comparación con lo presupuestado y los resultados del año pasado. En el gráfico 7 se puede ver cual ha sido la tendencia mensual y la media del indicador.

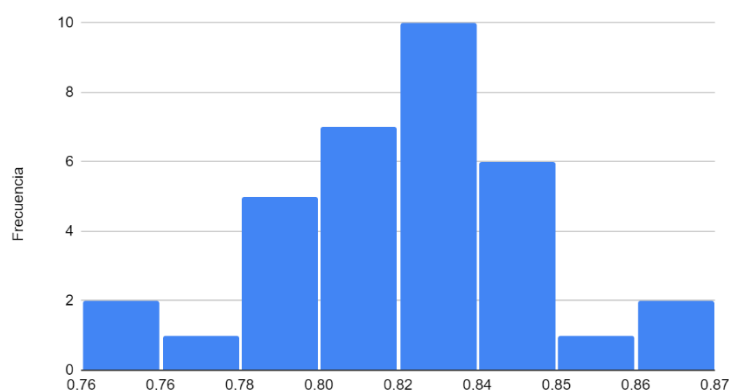
*Gráfico 7: Tendencia OPI NONA mensual*



*Fuente: Elaboración Propia*

Para validar la utilización de las medias se realizará un análisis de los datos disponibles. Se va a verificar la distribución de los datos a través de la visualización de un histograma y una prueba de Shapiro-Wilk.

*Gráfico 8: Distribución OPI NONA histórico*



*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 1: Resultados de prueba Shapiro-Wilk*

Shapiro-Wilk calculado	0,965
Shapiro-Wilk teórico	0,933
p-value	0,438

*Fuente: Elaboración Propia*

Con el gráfico y tabla anterior se puede concluir que los datos utilizados si distribuyen normal, por lo que si es válido utilizar la media como valor central. En el histograma se visualiza que hay una distribución normal bien marcada, pero para tener mayor robustez se realizó la prueba de Shapiro-Wilk. Esta entregó como resultado un valor p mayor a 0,05 y un indicador calculado mayor al teórico, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos siguen una distribución normal<sup>2</sup>.

Ahora bien, se realizará una comparación de las medias de OPI NONA de 2022 y 2023. Para los datos consolidados hasta octubre se desprende que en este año el rendimiento de la línea ha estado en promedio un 2,55% más bajo, provocando mayores pérdidas y gastos.

<sup>2</sup> Para mayor detalle revisar anexo 1

*Tabla 2: Comparación media de OPI NONA*

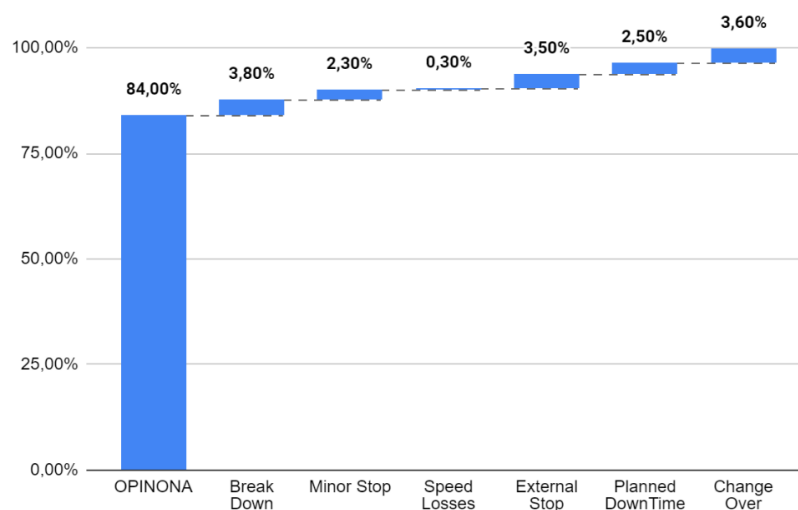
Año	Media OPI NONA hasta octubre	Diferencia
2023	80,36%	-2,55%
2022	82,91%	

*Fuente: Elaboración Propia*

Este año la línea ha tenido muchas fallas, lo cual ha generado que existan detenciones y pérdidas de eficiencia. Cada punto de OPI NONA en la línea 2 tiene gran relevancia, tanto en los impactos económicos como productivos. Más adelante se verán los componentes que definen la valorización del indicador.

El OPI NONA se obtiene dependiendo de la cantidad de detenciones o pérdidas de velocidad que ocurran durante el tiempo de producción programado. Todos estos elementos son considerados como ineficiencias sólo durante el tiempo efectivo de trabajo, es decir, cuando la línea está programada para producir. Para más detalle se puede revisar el anexo 2, sin embargo, a continuación, se muestra un ejemplo con los seis elementos que disminuyen el valor de OPI NONA.

*Imagen 2: Desglose Componentes OPI NONA*

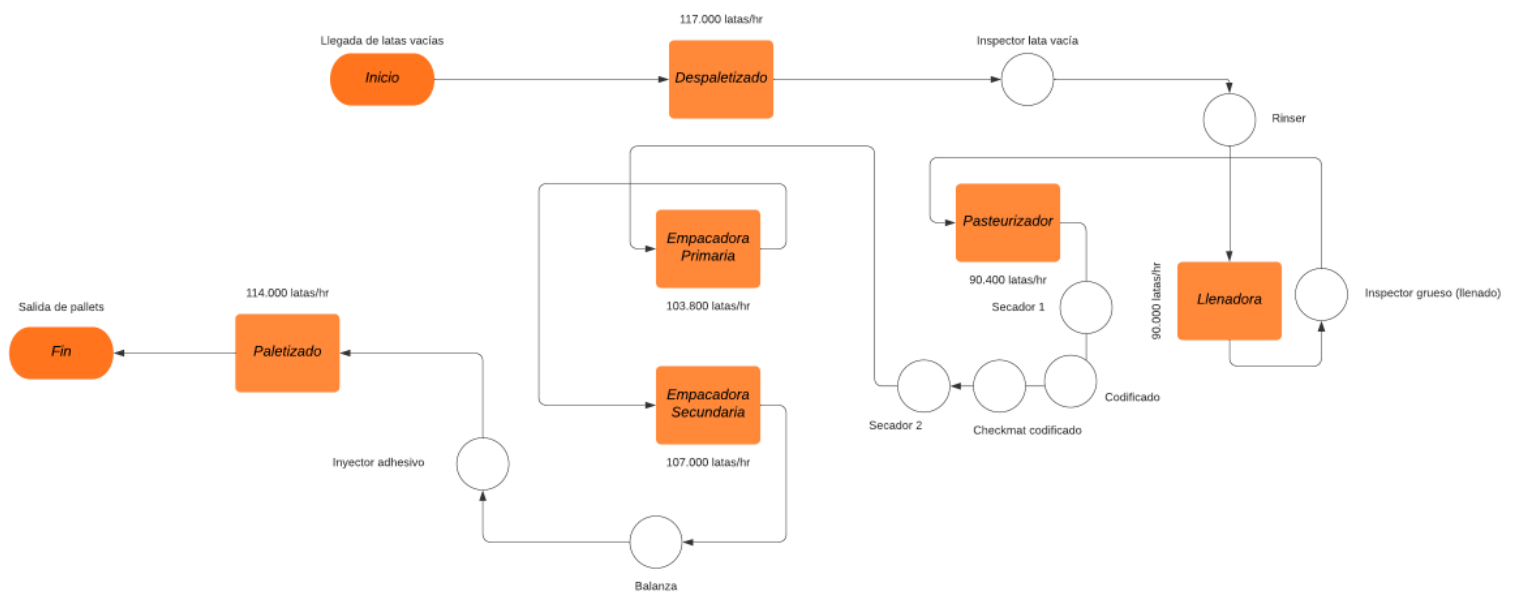


*Fuente: Elaboración Propia*

- Break Down: Detenciones de máquina mayores a 5 minutos.
- Minor Stop: Detenciones menores a 5 minutos.
- Speed Losses: Disminuciones de velocidad de producción.
- External Stop: Detenciones por factores externos a la línea como falta de materia prima y suministros.
- Planned DownTime: Tiempos no productivos con personal presente como aseos, reuniones e inicios de producción.
- Change Over: Tiempo de cambios de formato y sabor de cerveza.

En la imagen 3 se muestra una representación del proceso que se abordará. La gestión de la línea comienza desde que llegan las latas vacías hasta que se forman los pallets, dentro de este existen variadas máquinas que permiten desarrollar el producto, siendo las más importantes las que aparecen en el diagrama.

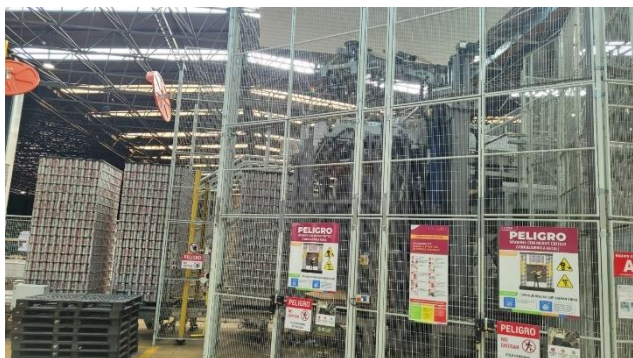
*Imagen 3: Proceso de línea 2 de envasado*



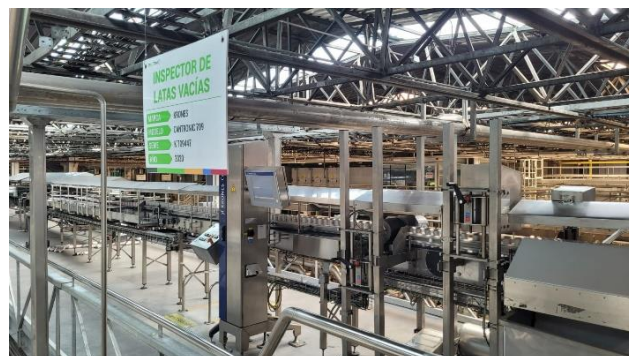
*Fuente: Elaboración Propia*



*Imagen 4: Despaletizado*



*Imagen 5: Inspector de latas vacías y transporte aéreo mecánico*



*Imagen 6: Llenadora*



*Imagen 7: Pasteurizador*



*Imagen 8: Empacadora Primaria*



*Imagen 9: Empacadora Secundaria*



*Imagen 10: Paletizado*

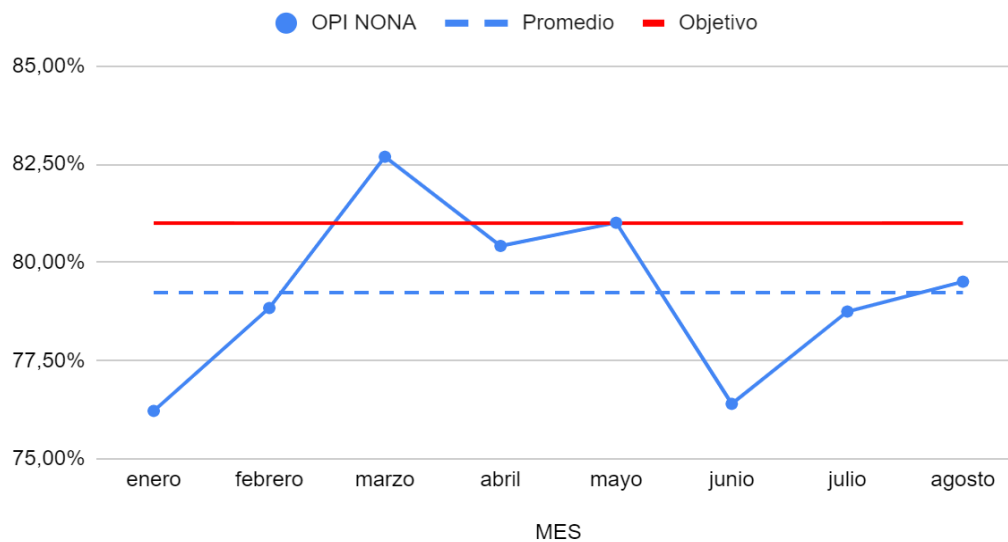


## Objetivos

### Objetivo General

- Aumentar la eficiencia de producción de la línea 2 de envasado para llegar a un acumulado año de OPI NONA de un 81% en los próximos 3 meses.

*Gráfico 9: Tendencia de OPI NONA*



*Fuente: Elaboración Propia*

### Objetivos Específicos

- Disminuir los tiempos de detención y las pérdidas de velocidad de las máquinas de producción en 8 horas mensuales.

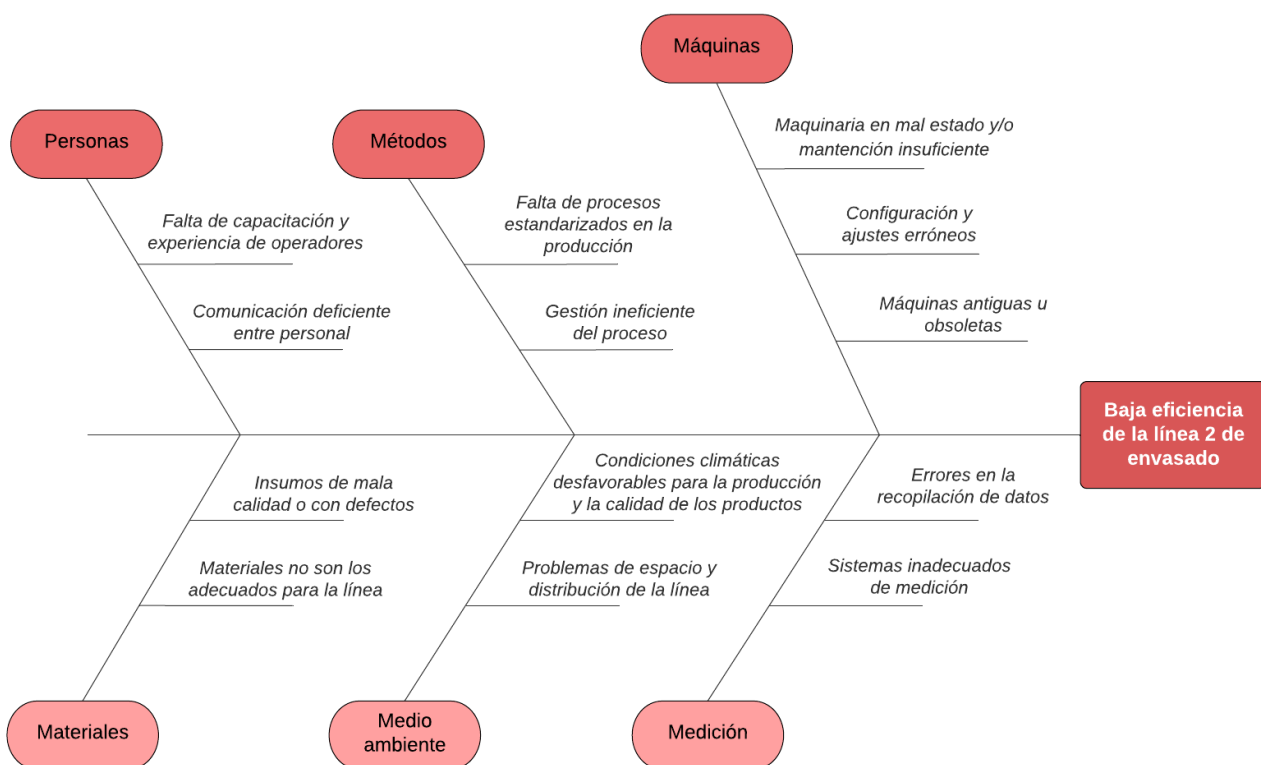
Se ha definido disminuir en 8 horas mensuales las detenciones de máquina ya que con esta cantidad el indicador aumenta un 1,66%<sup>3</sup>, lo cual permite alcanzar el objetivo principal.

<sup>3</sup> En el anexo 3 se puede evidenciar este aumento

## Análisis de causas

Luego de entender el funcionamiento del proceso, es posible ahondar más en detalle en los componentes de la línea y los posibles factores que pueden producir la baja eficiencia. Para ello se ha realizado un diagrama de Ishikawa (imagen 11) que muestra las posibles causas que estén generando el mal rendimiento de la línea. A través de este análisis es posible centrarse en las causas que tengan mayor impacto en la línea actualmente.

*Imagen 11: Diagrama de Ishikawa*



*Fuente: Elaboración Propia*

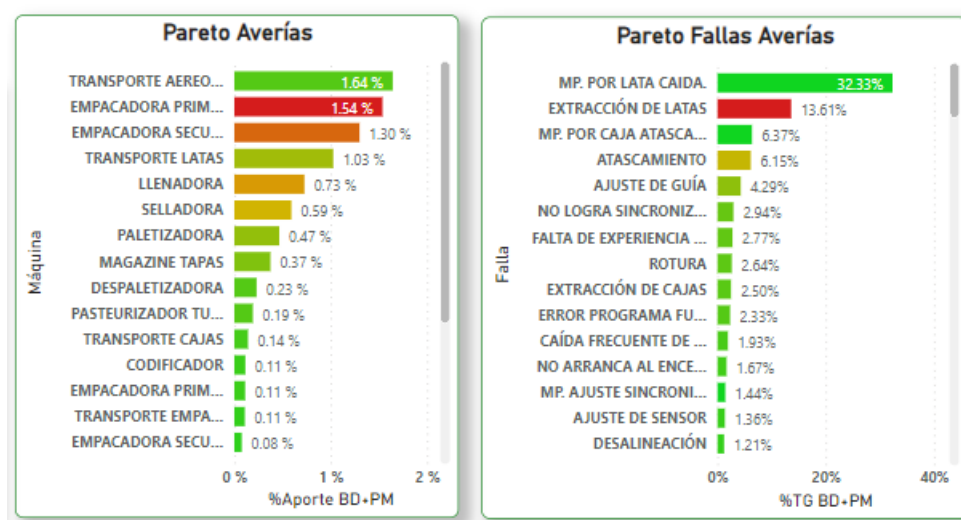
Luego de estudiar las causas seleccionadas se puede concluir que la línea presenta ineficiencias principalmente por la sección de materiales y máquinas del diagrama. Ocurre que los materiales dependen de los proveedores, por lo que no es posible mejorar la calidad de estos dentro de la empresa. Los insumos que si son responsabilidad de CCU son los de la producción de cerveza, pero estos no tienen efecto en la eficiencia de la línea. Entonces, en cuanto a materiales no se puede gestionar mucho de manera interna, mientras que en las



máquinas sí. Para estas se necesita que existan las mantenciones necesarias, los ajustes correctos y la adecuada gestión de la línea.

Con el fin de entender el comportamiento de la línea en general se ha realizado un desglose de las máquinas y las fallas más recurrentes a lo largo del año, el cual se puede observar a través del gráfico 10. En cuanto a las máquinas más repetidas se encuentran el transporte aéreo mecánico, empacadora primaria y secundaria, por lo que las ineficiencias de la línea provienen principalmente desde el inicio y el final del proceso. Por otra parte, en los tipos de fallas un tercio de las detenciones son producto de latas caídas, luego lo sigue la extracción de latas y los atascamientos.

*Gráfico 10: Pareto de detenciones de máquinas y tipos de fallas*



Fuente: CCU

Actualmente la línea 2 de envasado presenta detenciones mayores a 5 minutos (Break Down) principalmente en las empacadoras primaria y secundaria, las cuales se ubican casi al término de la línea de producción. Estas fallas producen que se genere acumulación a lo largo de las cintas transportadoras, provocando posteriormente que se detengan las máquinas antecesoras, como el pasteurizador y la llenadora. Esto es deficiente ya que se busca evitar la detención de la llenadora debido a que esta es la máquina crítica del proceso, es decir, es la que tiene menor capacidad productiva, por lo que se ve afectada la línea por completo cuando se generan detenciones en esta máquina.

Una lata de cerveza se demora aproximadamente 6 minutos desde la salida del pasteurizador hasta la empacadora primaria, este tiempo se denomina como “pulmón”, el cual es el tiempo en el que se puede seguir produciendo desde el principio de la línea a pesar de tener

máquinas detenidas más adelante, como las empacadoras o el paletizado. Sin embargo, lo que más se ha repetido durante el año han sido los Break Down en ambas empacadoras, por lo que las cintas transportadoras se llenan de latas y hacen que se detenga la línea completa.

Por ello es conveniente realizar un análisis para verificar la cantidad de detenciones que son producto de fallas propias o de máquinas externas. En la tabla 3 se muestra la distribución existente por cada máquina, en donde las empacadoras llegan a tener entre las dos un 64% de las detenciones por fallas propias respecto al total. Centrándose en estas, se puede ver que la empacadora primaria tiene 23.611 interrupciones por fallas posteriores, las cuales pueden tratarse por las grúas que retiran los pallets, el despaletizado o la empacadora secundaria. Esta última ha tenido que frenar la producción por fallas anteriores en 34.030 ocasiones, dentro de las cuales casi la mitad se deben por la empacadora primaria (16.706). Claramente se puede ver que las empacadoras tienen un gran impacto en el rendimiento de la línea, por lo que se evaluarán ambas con más detalle.

*Tabla 3: Cantidad de detenciones por máquina de enero a septiembre*

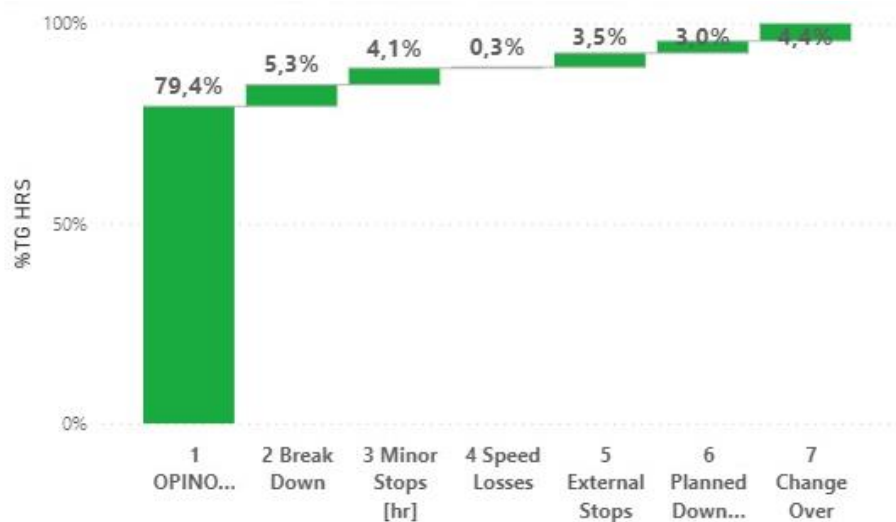
Máquina	Fallas propias	Fallas anteriores	Fallas posteriores
Despaletizado	3.309	646	35.160
Alineador lata vacía	6.201	0	85.311
Llenadora	5.922	9.253	4.647
Pasteurizador	1.654	581	12.015
Emp. primaria	16.706	15.825	23.611
Emp. secundaria	17.186	34.030	1.905
Paletizado	2.136	62.522	384
Total	53.114	122.857	163.033

*Fuente: Elaboración Propia*

En el gráfico 11 se observa cómo se ha comportado el OPI NONA de la línea 2 a lo largo del año. Las detenciones que se producen por las fallas de las mismas máquinas corresponden a Break Down y Minor Stop, las cuales hasta el momento provocan que el indicador disminuya en un 9,4%. Dentro de estos dos tipos de detenciones es donde interesa ir a trabajar para

mejorar el rendimiento de las máquinas, especialmente las empacadoras ya que estas están generando varios problemas en la línea.

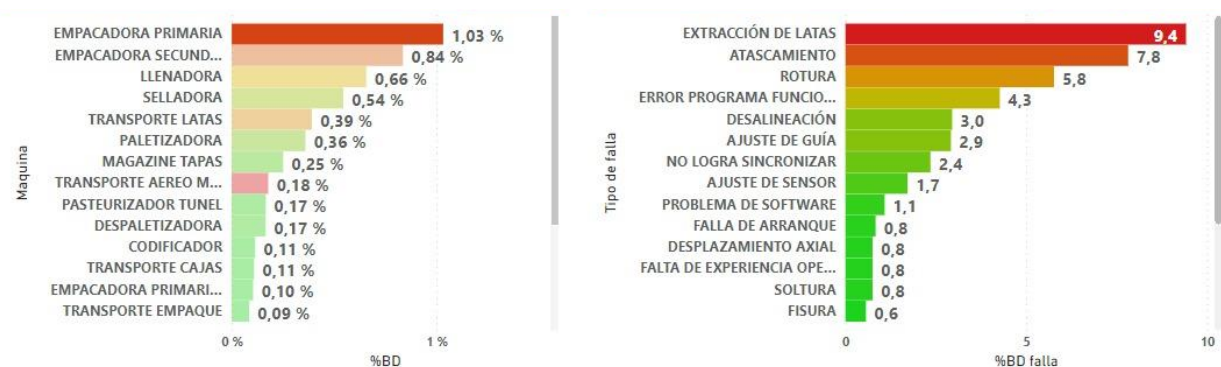
*Gráfico 11: Desglose OPI NONA acumulado hasta septiembre*



Fuente: CCU

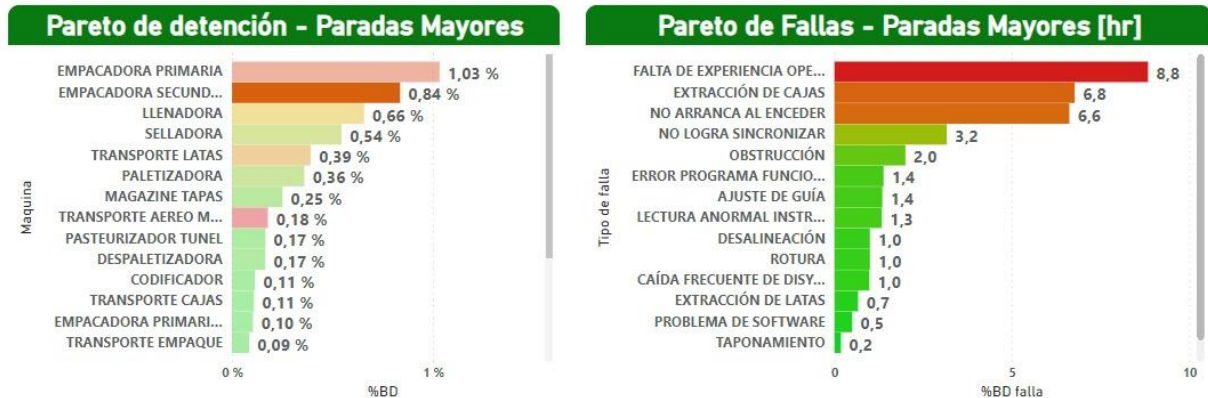
Ahora bien, para cada empacadora se puede ver cuáles son las fallas más repetidas tanto en Break Down como en Minor Stop. En los gráficos a continuación se muestra un pareto de detenciones y fallas para cada máquina y tipo de detención.

*Gráfico 12: Pareto Break Down empacadora primaria*



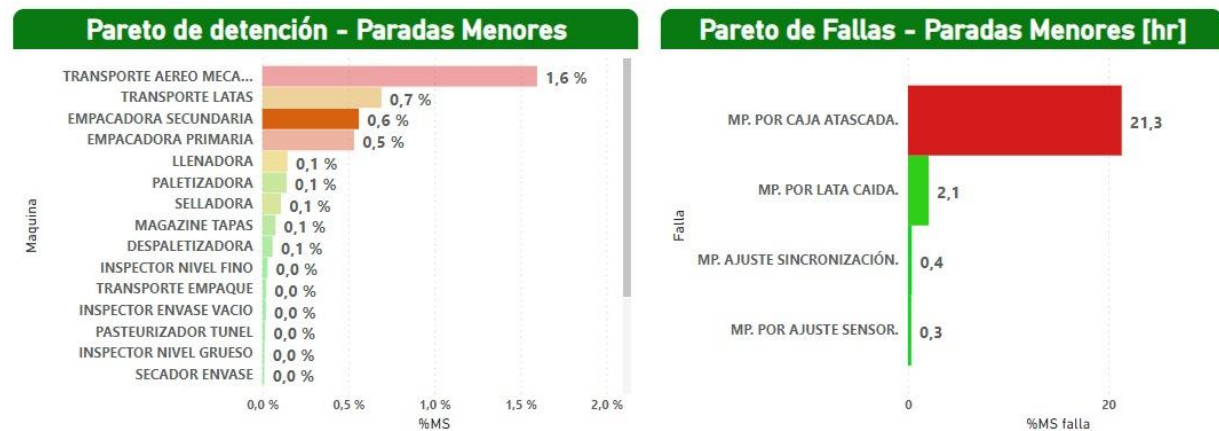
Fuente: CCU

Gráfico 13: Pareto Break Down empacadora secundaria



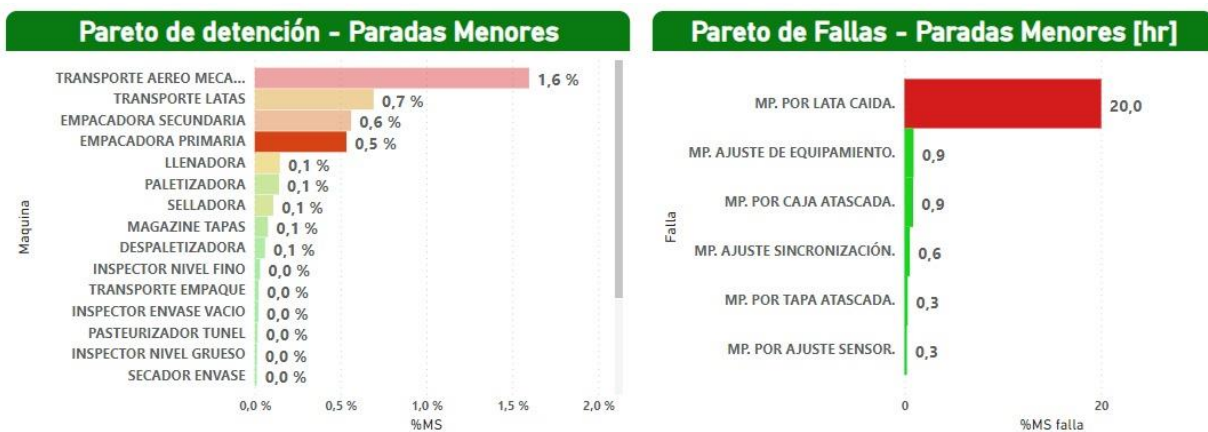
Fuente: CCU

Gráfico 14: Pareto Minor Stop empacadora primaria



Fuente: CCU

Gráfico 15: Pareto Minor Stop empacadora secundaria



Fuente: CCU

De estos gráficos se puede concluir que los Break Down de la empacadora primaria se deben a fallas de la propia máquina, tanto por atascamientos o extracción de latas, mientras que en la empacadora secundaria existen fallas como inexperiencia o sincronización, por lo que estas detenciones se deben más a problemas tecnológicos y operacionales. En cuanto a los Minor Stop en ambas empacadoras existen problemas con las cervezas, tanto por atascos como por caídas. Entonces, se evidencia que las máquinas más problemáticas dentro de la línea son la empacadora primaria y secundaria, dentro de las cuales las fallas más recurrentes son los atascos, caídas y extracción de producto.

## **Estado del Arte**

Las líneas de producción son muy comunes en las empresas, estas buscan ser cada vez más eficientes y automatizadas para facilitar el proceso y, por ende, lograr producir grandes volúmenes a menores costos. Existen muchos beneficios en la automatización de los procesos, algunos de estos pueden ser mejorar la velocidad de producción, tener mayor precisión gracias a las máquinas y tener una mayor capacidad productiva. Sin embargo, las máquinas se van desgastando, tienen fallas y problemas con el tiempo, por lo que es necesario realizarles mantenimiento y estar al tanto para solucionar cualquier inconveniente que se produzca.

Generalmente las máquinas productivas necesitan de mantenimientos constantes para su correcto funcionamiento, para ellos es necesario tener un plan de acción contundente para prevenir que las máquinas se deterioren y queden obsoletas con el tiempo. Es por esto que “tener un apropiado monitoreo de las máquinas con un cronograma establecido de mantenimiento preventivo el mismo que se debe de cumplir para tener estos bienes en óptimas condiciones para el proceso de llenado y tapado eficiente” (C. Perez, 2016). Las mantenciones son un factor importante ya que determinan el rendimiento de la línea de producción en general. Si falla una máquina, puede causar la detención de las demás, por lo que no es posible seguir produciendo, lo cual es lo que siempre se desea evitar.

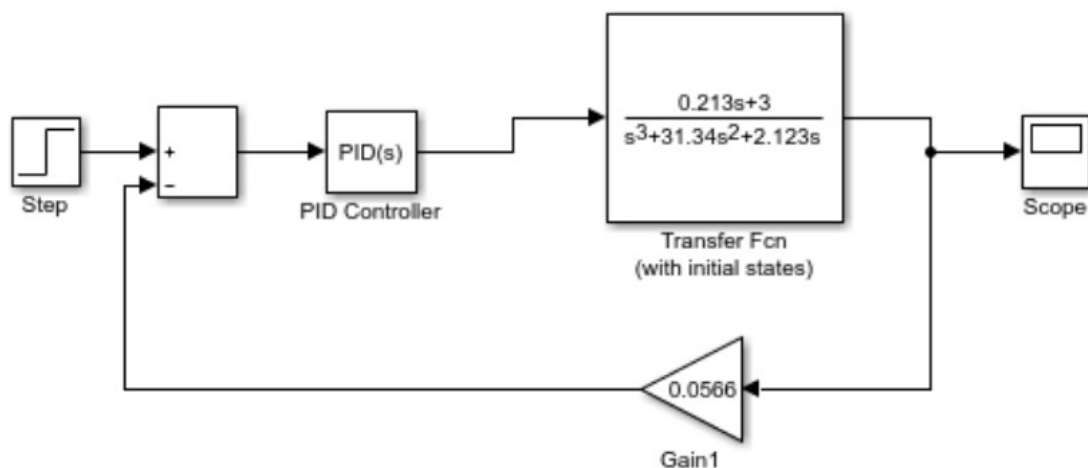
PDV Ecuador S.A es una empresa que se dedica a la producción y envasado de lubricantes, en esta se identificó que la eficiencia de la línea está deficiente. Para ello se realizó un estudio completo y se ha logrado concluir que la planificación de un mantenimiento preventivo de las máquinas ayuda a mejorar la eficiencia de manera significativa. Lo que buscan es mantener las mejores condiciones posibles para que tengan menor probabilidad de fallar y así exista un funcionamiento continuo. Una reducción de las fallas implica una disminución de las

detenciones, por lo que un correcto mantenimiento de las maquinarias ayuda a aumentar el rendimiento de la línea.

Las mantenciones deben ser realizadas cada cierto tiempo según el tipo de máquina y la cantidad de tiempo que es utilizada. Sin embargo, las fallas no solo son producto del cuidado que se le otorgue a la línea de producción, sino que también estas se van produciendo por diversos problemas que van ocurriendo en el día a día. Para contrarrestar estos inconvenientes se van generando ideas o proyectos con el fin de evitar fallas y así mejorar el rendimiento.

Una mejora que se implementó en las cintas transportadoras de Belgium Brewing Company es el control de velocidad usando PID (controlador proporcional, integral y derivativo). Este se basa principalmente en controlar parámetros de la cinta dependiendo de las características y las necesidades de la empresa. Se ha realizado un estudio y evaluación de la utilización de un controlador PID para aumentar la velocidad de partida de las cintas transportadoras cuando estas se encuentran en reposo (M. Shahid, 2019). Lo que se busca es que cada vez que la línea tenga detenciones por cualquier falla, esta sea capaz de alcanzar su velocidad máxima y continúe con la producción lo más rápido posible.

*Imagen 12: Funcionamiento controlador de velocidad PID en motor de cinta transportadora*



*Fuente: Paper de Muhammad Shahid<sup>4</sup>*

<sup>4</sup> Muhammad Shahid | Md Ghaysuddin "Design and Implementation of Conveyor Belt Speed Control using PID for Industrial Applications" Publicado en International Journal of Trend in Scientific Research and Development (ijtsrd), ISSN: 2456-6470, Volume-3 | Issue-5, Agosto 2019, pp.284-289, <https://doi.org/10.31142/ijtsrd25294>



El diagrama muestra una perspectiva general del funcionamiento de un sistema de controlador PID. En resumidas cuentas, se reciben los parámetros del sistema y este se va ajustando según las necesidades, es decir, compara las variables reales con las deseadas y realiza modificaciones para alcanzar los valores estimados. En el caso del estudio realizado, se mide la velocidad de las cintas transportadoras y se va ajustando para que estas tengan la aceleración deseada, lo que corresponde a tener una velocidad de salida alta para alcanzar la máxima lo antes posible.

Por otro lado, investigando dentro de CCU, se ha logrado identificar que se implementó en la salida de la empacadora primaria de la línea 7 de envasado, una instalación de polines de traspaso entre las cintas transportadoras. El fin de esta solución es suavizar los saltos de los packs de cerveza para así evitar que haya movilizaciones y atascamientos posteriores. Tal como se puede ver en la imagen 3 y 4, la única diferencia que hay es que la empacadora de la línea 7 produce packs de latas de 355 ml, mientras que la línea 2 va sacando 2 filas de packs de seis latas.

*Imagen 13: Salida empacadora  
primaria línea 7*



*Imagen 14: Salida empacadora  
primaria línea 2*



La implementación en la línea 7 generó buenos resultados, disminuyendo las fallas por atascamiento y extracción, lo cual permitió disminuir considerablemente los Break Down y Minor Stop. Con las modificaciones correspondientes es posible homologar los polines de traspaso para poder suavizar los saltos de los packs y así evitar posibles detenciones de la empacadora primaria.

## **Solución**

Se plantea como primera solución modificar las cintas transportadoras previas a la empacadora primaria por unas ajustables, con el fin de generar más “pulmón” y que no se detengan las demás máquinas producto de fallas al final de la línea. La idea es que si se está generando mucha acumulación exista una ampliación que permita contener mayor cantidad de latas y así no se detenga la llenadora. Uno de los objetivos de la línea es que la máquina crítica pueda estar en funcionamiento el mayor tiempo posible ya que esta al ser la más lenta determina la cantidad de latas que se pueden producir a lo largo del día. Por ejemplo, si falla la empacadora primaria, hay alrededor de 6 minutos para solucionar el problema y que la llenadora siga en funcionamiento. Las cintas transportadoras ajustables buscan que este tiempo sea mayor y así tener más holgura frente a complicaciones en las máquinas finales. Como las empacadoras tienen una velocidad de producción mayor que la llenadora, son capaces de disminuir toda la acumulación que se genere en las cintas y así recuperar el ritmo de la línea.

Llegando a niveles más específicos, se ha percatado que el traspaso de los packs de cerveza (6 latas) luego de pasar por la empacadora primaria, sufren un pequeño salto al pasar de una cinta transportadora a otra, lo que hace que estas modifiquen algunas veces su posición a nivel de pack o deslizamientos internos de las latas. Si sufren un grado de movimiento mayor puede ocurrir un atascamiento en las barandas de alineación en la salida de la empacadora primaria, lo cual hace que se detenga la línea y se pierdan productos. En la imagen 15 se puede ver el pequeño salto que hay en el cambio de transporte que genera el posible movimiento y atasco en las barandas de alineación (se muestran en la imagen 16).



*Imagen 15: Salto de pack en cambio de transporte*



*Imagen 16: Ingreso a baranda de alineación en salida de empacadora primaria*



Para evitar este problema, se ha planteado como solución colocar polines de traspaso para suavizar el cambio entre cintas transportadoras de las latas, así evitar ese pequeño salto y las posteriores detenciones producto de ese problema. En la imagen 17 se puede ver que el cambio de transporte en la salida de la empacadora primaria de la línea 7 ya presenta esta solución, por lo que se busca homologar esto para la línea en estudio con sus correspondientes ajustes.

*Imagen 17: Polín de traspaso en salida de empacadora primaria línea 7*



Si bien estos atascos pueden provocar tanto Minor Stops como Break Downs, estos últimos son los que más se han repetido a lo largo del año, por lo que están impactando tanto en las detenciones propias como en las de las demás máquinas de la línea. Entre las empacadoras no hay mucha distancia, entonces una falla en la empacadora primaria afecta directamente en la secundaria. También al tratarse de Break Down las fallas más repetidas, se genera acumulación en las cintas transportadoras provocando posteriormente detenciones tanto en el pasteurizador como en la llenadora. Por lo anterior, disminuir las fallas de la empacadora primaria impacta de manera significativa en gran parte de la línea.

Como tercera solución se plantea utilizar el controlador de velocidad PID visto en el estado del arte, con el fin de alcanzar la velocidad máxima de las cintas transportadoras de manera más rápida. Esto genera beneficios cada vez que la línea tiene detenciones ya que permite retomar la producción lo antes posible, para ello se plantea basarse en el estudio realizado en la Belgium Brewing Company para intentar incrementar la aceleración como se muestra en la imagen 18. Se puede observar en el primer gráfico (utilizando controlador PID) que la velocidad de partida es mucho más rápida, lo cual es bastante efectivo si la línea presenta varias detenciones a lo largo del periodo de producción.

*Imagen 18: Comparativa de velocidad de las cintas transportadoras con y sin controlador PID*

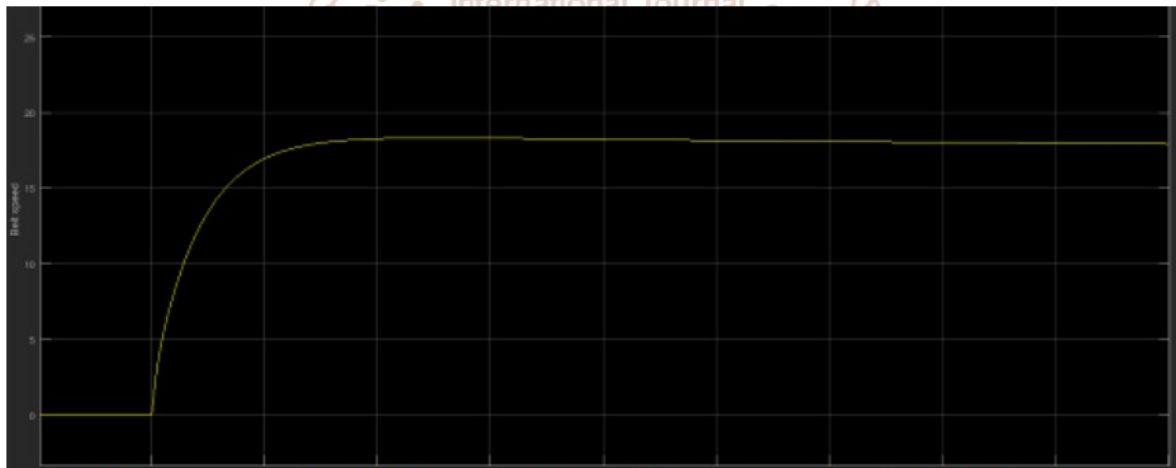


Fig-8 Speed response by the belt conveyor lines with PID speed synchroniser in the closed-loop

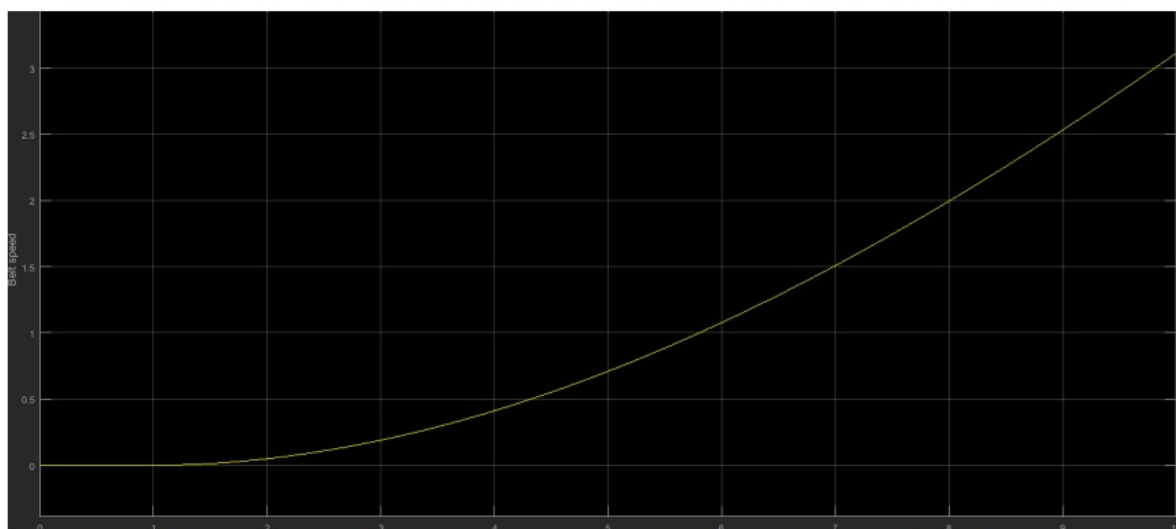


Fig-9 Speed response by the belt conveyor lines without PID speed synchroniser in the closed-loop

*Fuente: Paper de Muhammad Shahid<sup>5</sup>*

Para la elección de la solución se realizará una matriz comparativa que permitirá evaluar cada una de las propuestas a través de diferentes criterios relevantes para la resolución del problema. Para ello se asignará un puntaje de 1-5 dependiendo de la magnitud que abarque cada solución, se elegirá aquella que obtenga el mayor puntaje. Los criterios a utilizar son costo (valor negativo), beneficio, tiempo de implementación (valor negativo), factibilidad y qué tanto aborda la causa raíz. El cálculo se realiza como una suma simple de los valores propuestos luego del análisis de cada solución.

<sup>5</sup> Muhammad Shahid | Md Ghaysuddin "Design and Implementation of Conveyor Belt Speed Control using PID for Industrial Applications" Publicado en International Journal of Trend in Scientific Research and Development (ijtsrd), ISSN: 2456-6470, Volume-3 | Issue-5, Agosto 2019, pp.284-289, <https://doi.org/10.31142/ijtsrd25294>

*Tabla 4: Matriz de comparación de soluciones*

Solución	Costo	Beneficio	Tiempo de implementación	Factibilidad	Impacto en causa raíz	Total
Cintas transportadoras ajustables	5	5	5	4	3	2
Controlador de velocidad PID	1	2	1	2	1	3
Rediseño cintas salida empacadora primaria	2	3	3	4	5	7

*Fuente: Elaboración Propia*

Como se puede apreciar en la tabla 2, la solución más conveniente es el rediseño de las cintas transportadoras en la salida de la empacadora primaria. Esta puede generar beneficios importantes para la empresa y no tiene gran costo, por lo que es una gran oportunidad para proponer y evaluar. Además, tiene directa relación con la empacadora primaria (causa raíz), por ende, abordar esta propuesta de solución ayuda a atacar el problema.

## Metodología

CCU tiene una estructura definida para la realización de los proyectos o reparaciones. En primer lugar, se debe realizar el análisis correspondiente, se propone alguna mejora, se evalúa factibilidad y luego comienza el proceso de implementación. Este se basa en cotizar con al menos dos proveedores distintos<sup>6</sup>, luego estas se mandan al equipo de TPM para que habiliten los proyectos y estos puedan ser revisado por jefatura. Si es aprobado, se mandan a comprar los materiales y se generan órdenes de trabajo para su posterior instalación. Este proceso puede tener leves modificaciones dependiendo de la dimensión y el tipo de proyecto que se está proponiendo, pero generalmente se sigue esta estructura.

<sup>6</sup> En el caso de que se trate de activos marca Krones, solo se cotiza con ellos.

Para la solución planteado se ha seguido esta misma metodología. Luego del pertinente análisis se ha propuesto la instalación de los polines de traspaso para disminuir los saltos de los packs de cerveza y los atascos generados. Para ello se obtuvo los planos y la cotización de los materiales con Krones (ver imagen 19 y tabla 6) con el fin de obtener un precio estimado del proyecto y que TPM habilite el proyecto. Después de pasar por revisión de jefatura, es aprobado y se solicita al proveedor que traiga los materiales necesarios. Finalmente, se generan las órdenes de trabajo, que incluyen el precio de instalación, para instalar los polines en la salida de la empacadora primaria.

Para conocer las posibles amenazas se realizará un análisis de riesgo a través de una matriz que muestra la probabilidad y el daño que pueden causar. Con esto es posible analizar y proponer algún plan de acción para intentar mitigarlas.

*Tabla 5: Matriz de riesgos*

Muy Probable	Detención de empacadora primaria				
Probable					
Posible		Solución no genera cambios		Se genera mayor rotación en los packs	
Poco Probable	Pérdidas de velocidad en la zona		Se necesita mucho tiempo para instalar	Atasco de film del pack en el traspaso de cinta	
Improbable			Rotura de las cintas transportadoras		
	Insignificante	Menor	Significativo	Mayor	Severo

*Fuente: Elaboración Propia*

En el eje vertical se muestra la probabilidad de que existan amenazas y en el eje horizontal se encuentra el daño que estas pueden provocar. Las detenciones y pérdidas de velocidad en la salida de la empacadora primaria no generan mayores complicaciones ya que los operadores cuentan con gran experiencia para solucionar cualquier inconveniente. Puede ocurrir que los polines de traspaso no generen beneficios en la línea, pero estos al ser de bajo costo no sería tan dañino económicamente para la empresa. Además, luego de la

implementación hay que ir monitoreando ya que puede ocurrir que los packs se desvíen más de lo que se desviaba antes o que los films del pack se enganchen con los polines. Para solucionar esto se necesitaría ajustar la zona de traspaso para evitar los atascamientos y rotaciones. Por último, la instalación de los polines puede que tome más tiempo de lo estimado lo que generaría un retraso en la producción, como también pueden ir saliendo inconvenientes como la rotura de las cintas transportadoras o cualquier material que se encuentre cercano a la zona de instalación.

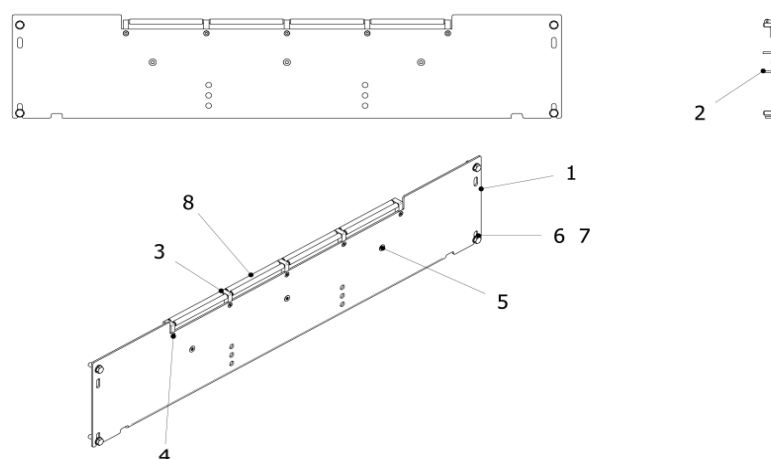
Si bien existen riesgos en la implementación de la solución, también hay planes de acción en caso de que ocurran problemas, por lo que instalar los polines puede ser beneficioso para el rendimiento de la línea. Para reducir los riesgos se analizarán los polines utilizados en la línea 7, con el fin de tener información detallada de la instalación y sus respectivos ajustes. Además, se propone implementar cuando la línea no esté programada para producir, así se puede realizar con detención y cuidado. En este mismo periodo de tiempo se harán las pruebas necesarias para comprobar el correcto funcionamiento. Como medida extrema, en caso de que se produzcan muchas desviaciones y no se logré solucionar, se deberá volver a las condiciones anteriores y postergar su instalación para cuando se tengan respuestas de los errores.

## Evaluación económica

En primer lugar, se ha realizado la cotización y los planos correspondientes de los materiales necesarios para la implementación. El plano se puede ver en la imagen 19 que está a continuación.

*Imagen 19: Plano polín de traspaso*

0903432355 RODILLOS DE TRANSFERENCIA 20



*Fuente: Krones*

Luego de un análisis más profundo con el equipo de mantención se ha descartado la necesidad de utilizar la placa, por lo que solo se necesitan rodillos de soporte y barandillas deslizantes cuyos valores se muestran en la siguiente tabla.

*Tabla 6: Cotización de materiales e instalación*

Material	Costo (euro)	Costo (CLP) <sup>7</sup>	Total (CLP)
Barandilla deslizante	201,4	191.111	523.650
Rodillo de soporte	155,44	147.499	
Instalación	-	185.040	

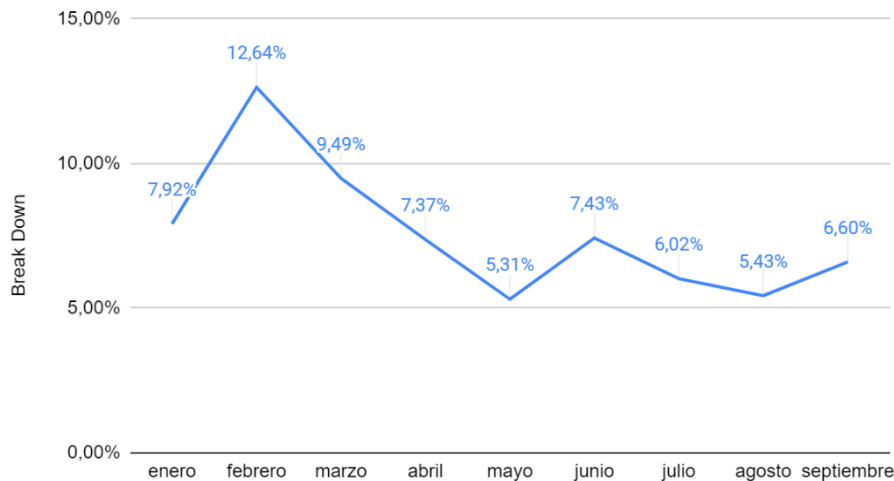
*Fuente: Elaboración Propia*

Como se puede apreciar el costo total de los materiales e instalación tiene un valor aproximado de \$523.650, el cual no es extremadamente costoso, por ende, si existen buenas mejoras en la eficiencia de la máquina es una buena oportunidad para implementar.

Ahora bien, para estimar los beneficios que puede entregar la solución se va a comparar con los resultados obtenidos en la implementación de los polines de traspaso en la salida de la empacadora primaria de la línea 7. En el gráfico 16 se ve la tendencia que han tenido los Break Down luego de la instalación (febrero), claramente las detenciones han disminuido y, por lo tanto, ha mejorado la eficiencia de la línea. Los polines han permitido bajar en 2 horas mensuales los Break Down de la empacadora, por lo que se tomará esta referencia para estimar los posibles beneficios en la línea 2.

<sup>7</sup> Transformación basada en precio del euro del 22 de noviembre de 2023. Conversión: 1 EUR = 948,91 CLP

*Gráfico 16: Tendencia Break Down línea 7*



*Fuente: Elaboración Propia*

Más adelante es posible ver cómo se calcula la variación del indicador y la valorización de los ahorros generados por la mejora a través de una calculadora disponible. Con la mejora se estima disminuir en 2 horas mensuales las detenciones de la empacadora primaria, lo cual permite mejorar en un 0,415% el OPI NONA de la línea, generando \$816.674 de ahorros por mes. Para no sobreestimar los beneficios solo se han considerado las detenciones por fallas propias de la empacadora primaria, sin embargo, la mejora en esta máquina también repercute de manera positiva en toda la línea.

Con esta información es posible obtener el periodo de recuperación de la inversión, el cual corresponde a 0,64 meses (aproximadamente 20 días), valor sumamente bajo, por lo que es bastante conveniente realizar esta inversión. Además, esta es una mejora que debiera sostener el rendimiento de la empacadora, llegando incluso a obtener \$9.800.088 de ahorros anuales.



## Medidas de desempeño

Para evaluar el progreso de la línea es necesario medir los valores de OPI NONA que se están obteniendo de forma semanal y mensual. Para poder cumplir con el objetivo se necesita que de aquí a final de año se tenga un promedio de OPI NONA de 84,5% y así subir el promedio acumulado del año 2023 a un 81%. Esto impacta de manera positiva en la eficiencia de producción y también en los ahorros de la empresa. Esta es una de las líneas más importantes a nivel planta, por lo que obtener resultados positivos es fundamental para la empresa. Para calcular la variación del indicador se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$(2) \Delta OPINONA = OPINONA_{actual} - \frac{\text{Tiempo teórico producción}}{\text{Tiempo teórico producción} + (\text{detenciones} - \text{horas ahorradas})} \times 100$$

Las horas ahorradas hacen referencia a la disminución de las detenciones de máquinas, por lo que mientras mayores ahorros se produzcan, menor será el denominador y, por ende, un valor de OPI NONA más alto.

Otra medida de desempeño a utilizar son los tiempos medios de detención y pérdidas de velocidad que tengan las máquinas, estos tienen relación directa con el indicador, es decir, mientras menos detenciones existan mejor será el rendimiento de la línea y, por ende, mayor valor de OPI NONA. Entonces, hay que medir los tiempos de detención de las máquinas de forma periódica y analizar su comportamiento, sobre todo en la empacadora primaria que es en la cual se busca implementar la solución. También es importante revisar el comportamiento de las demás máquinas para ver si efectivamente hubo un efecto positivo en el proceso completo y no solo a nivel individual. Para lo anterior es posible acceder a través de una base de datos que lleva el registro de las detenciones y fallas que se van generando en las máquinas durante el proceso de producción.

## Desarrollo e Implementación

Al inicio de este proyecto, se elaboró una carta Gantt que detalla las tareas planificadas para su ejecución. La representación visual de esta planificación se encuentra en la imagen 18, la cual proporciona información sobre los plazos establecidos, el progreso alcanzado y el estado actual de cada tarea.

*Imagen 20: Carta Gantt*

Nombre de la tarea	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Estado	10.08.2023	14.08.2023	21.08.2023	28.08.2023	04.09.2023	11.09.2023	18.09.2023	25.09.2023	02.10.2023	09.10.2023	16.10.2023	23.10.2023	30.10.2023	06.11.2023	13.11.2023	20.11.2023	27.11.2023	04.12.2023	11.12.2023	18.12.2023	25.12.2023	31.12.2023
<b>PROYECTO</b>	10.08.2023	31.12.2023	En proceso																						
Búsqueda problemas	14.08.2023	18.08.2023	Cerrado																						
Elección problema	21.08.2023	23.08.2023	Cerrado																						
Análisis inicial	23.08.2023	01.09.2023	Cerrado																						
Identificar causas	04.09.2023	08.09.2023	Cerrado																						
Análisis de causas	04.09.2023	15.09.2023	Cerrado																						
Búsqueda soluciones	20.09.2023	29.09.2023	Cerrado																						
Elección solución	02.10.2023	06.10.2023	Cerrado																						
Implementación	09.10.2023	27.10.2023	En proceso																						
Análisis y modificaciones	23.10.2023	03.11.2023	En proceso																						
Resultados	23.10.2023	29.12.2023	En proceso																						
Análisis de resultados	20.11.2023	29.12.2023	Atrasado																						

*Fuente: Elaboración Propia*

A pesar de no estar en la etapa estimada, aun así se ha logrado un buen grado de avance debido a que la empresa se encuentra actualmente en temporada alta, por lo que existen muchos trabajos e imprevistos que revisar. El cumplimiento del plan se ha logrado perfecto hasta la elección de la solución. Luego de la aprobación del proyecto es cuando comenzaron las complicaciones y demoras, en la parte de las cotizaciones, compra y recepción de materiales es donde se han generado los mayores retrasos.

Los materiales necesarios para la solución ya tienen la orden de compra aprobada y está en espera su llegada. El tiempo de entrega del proveedor es relativo ya que depende de la cantidad de piezas y materiales que se hayan encargado en la misma orden. Sin embargo, se estima que los repuestos lleguen a mediados de diciembre y a partir de ahí empiece la instalación correspondiente.

Se ha analizado el comportamiento de la empacadora primaria de la línea 2 constantemente para evaluar las detenciones producidas por la falla encontrada. De forma paralela se ha monitoreado el rendimiento que han tenido los polines de traspaso de la línea 7 para tener más información en caso de necesitar ajustes o modificaciones luego de la instalación.

## Resultados

Actualmente no se cuenta con la implementación de la solución, por lo que se realizará un análisis de los resultados esperados basándose principalmente en el comportamiento que tuvo la línea 7 cuando se colocaron los polines de traspaso. Como se pudo ver anteriormente, los polines de traspaso han logrado disminuir las detenciones de la empacadora primaria en la línea 7 en 2 horas mensuales. Se estima que estos resultados se mantengan en la línea 2 ya que ambas producen latas, solo que de distintos tamaños, por lo que no hay diferencias significativas.

Estas dos horas mensuales impactan en un 0,415% del OPI NONA acumulado, generando ahorros mensuales de \$816.674. Por otra parte, se puede considerar también el impacto generado en las demás máquinas producto del funcionamiento más fluido de la empacadora primaria, lo cual se analizará luego de la implementación.

Los resultados anteriores fueron obtenidos a través de las calculadoras que se han generado en la empresa. La secuencia de su funcionamiento se muestra con los siguientes cálculos:

$$(3) \text{ Gastos } L2 = \sum \text{ Gastos asociados a la producción}$$

$$(4) \text{ Gastos por hora de producción} = \frac{\sum \text{ Gastos asociados a la producción}}{\text{Tiempo teórico producción} + \text{detenciones}}$$

$$(5) \Delta T. \text{Teórico por } 1\% \text{ OPINONA} = T. \text{Teórico} - \left( \frac{OPINONA}{OPINONA + 1\%} \times T. \text{Teórico} \right)$$

$$(6) \text{ Ahorro anual por } 1\% \text{ de OPINONA} = (4) \times (5)$$

$$(7) \text{ Ahorro mensual por } 1\% \text{ de OPINONA} = \frac{(6)}{12}$$

$$(8) \text{ Ahorro mensual} = \text{Horas ahorrada} \times (4)$$

Con las fórmulas anteriores fue posible realizar el cálculo de los ahorros generados con las proyecciones de la solución. Reemplazando con los datos obtenidos y las 2 horas de ahorro se obtuvieron los resultados mencionados anteriormente.

## Conclusiones

En síntesis, se puede observar que las líneas de producción necesitan de constantes modificaciones y arreglos para lograr mejorar la eficiencia. En CCU, se mide el desempeño de las líneas de envasado a través del indicador OPI NONA, se busca que las máquinas pertenecientes al proceso tengan la menor cantidad de detenciones para así producir lo planificado de manera efectiva.

Dentro de la empresa existen 8 líneas de envasado, las cuales se separan en producción de latas, vidrio, barriles y retornables. Según las necesidades y las demandas proyectadas se generan órdenes de producción para las líneas. Del total de volumen, la línea 2 es la que más cerveza envasa, por lo que tiene un impacto importante en la planta. Este año ha tenido una eficiencia bastante baja comparado con el año pasado, por lo que se ha decidido intervenir en esta línea para alcanzar al menos los resultados pasados.

Luego de realizar un análisis contundente de la línea 2, se ha logrado identificar a la empacadora primaria y secundaria como las máquinas con mayores problemas a lo largo del año. Las fallas que más se repiten son los atascamientos, caídas y extracción de latas, provocando detenciones propias y posteriormente afectando a las demás máquinas de la línea.

Como solución se ha propuesto homologar los polines de traspaso implementados en la empacadora primaria de la línea 7 ya que estos han ayudado a disminuir las detenciones de esta máquina. En la actualidad, no se ha logrado implementar la solución, pero se tiene una fecha tentativa de instalación para mediados de diciembre. Para evaluar la conveniencia se han estimado los resultados con los datos de la línea 7 y las calculadoras de ahorro realizadas dentro de la empresa.

La metodología y el estilo de trabajo dentro de CCU está bien estructurado, se han seguido las recomendaciones del equipo de trabajo para tener un desarrollo efectivo tanto en el proyecto como en las tareas diarias. Tener una planificación ordenada es clave para tener una organización del trabajo necesario a realizar.

Las complicaciones que se han generado en este proyecto es que la línea al ser de las que más se utiliza, es complejo analizarla de manera cautelosa ya que está en constante movimiento. Es por esto que es fundamental apoyarse en las bases de datos y la información

disponible para obtener un análisis más robusto y completo. Otro problema es que la empresa está en temporada alta y en constante producción desde septiembre, por lo que los recursos y disponibilidad de tiempo de los colaboradores son limitados. Sin embargo, al ya existir una fecha tentativa de implementación se puede evidenciar el trabajo y la capacidad para convencer a la empresa de realizar la solución propuesta.

Se espera que sea de ayuda para la empresa la implementación de los polines y que le genere los mayores beneficios posibles. Luego de la instalación se va a monitorear para ver los resultados que ha generado en el corto plazo, los cuales se espera que se mantengan para el futuro.

## Referencias

- CCU | *Memoria Anual 2022*. (s. f.). <https://www.ccu.cl/publicaciones/memoria-anual-2022/>
- CCU - *Planta Quilicura*. (s. f.). <https://sites.google.com/ccu.cl/cervecera-quilicura-ensado/reportes/opinona-ensado?authuser=0><sup>8</sup>
- C. Pérez. *Análisis para la optimización de la capacidad de producción de la línea n°2 de envasado de lubricantes en PDV Ecuador*. (S/f). Edu.ec. Recuperado el 15 de octubre de 2023, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18403/1/PEREZ%20DELGADO%20CARLOS%20AUGUSTO.pdf>
- Muhammad Shahid | Md Ghaysuddin "Design and Implementation of Conveyor Belt Speed Control using PID for Industrial Applications" Publicado en International Journal of Trend in Scientific Research and Development (ijtsrd), ISSN: 2456-6470, Volume-3 | Issue-5, Agosto 2019, pp.284-289, <https://doi.org/10.31142/ijtsrd25294>

---

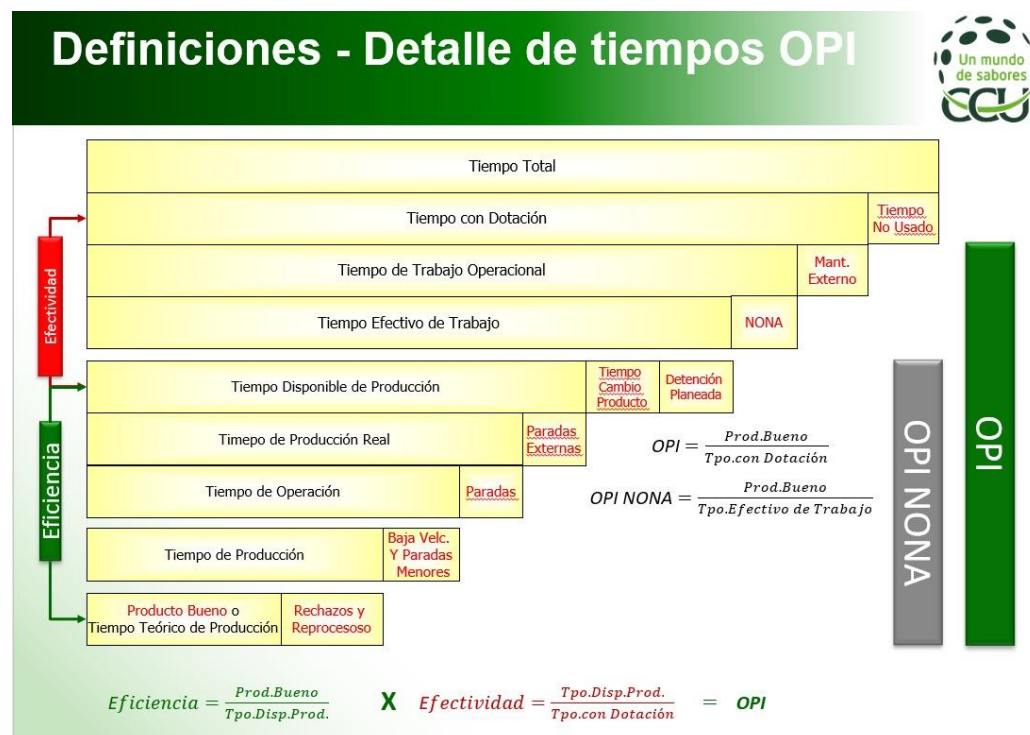
<sup>8</sup> Sitio con acceso restringido.

## Anexos

### Anexo 1: Cálculos prueba de Shapiro-Wilk

i	Xi	(Xi-med)2	ai	Xi Invertido	Dif (Xi - Xi Inv)		
1	75,50%	0,003980125433	0,4127	86,50%	-11,00%	promedio	81,81%
2	76,20%	0,003145890138	0,2854	86,50%	-10,30%	(xi-med)2	0,02484273529
3	76,40%	0,002925537197	0,2439	85,70%	-9,30%	ai*Dif	-0,1548241
4	78,80%	0,000905301903	0,2132	85,20%	-6,40%	SW calculado	0,965
5	78,80%	0,000905301903	0,1882	84,60%	-5,80%	SW teorico	0,933
6	79,10%	0,000733772491	0,1667	84,10%	-5,00%	p-value	0,438
7	79,50%	0,000533066609	0,1475	84,00%	-4,50%		
8	79,80%	0,000403537197	0,1301	83,90%	-4,10%		
9	80,20%	0,000258831314	0,114	83,80%	-3,60%		
10	80,40%	0,000198478373	0,0988	83,40%	-3,00%		
11	80,90%	0,000082596020	0,0844	83,20%	-2,30%		
12	81,00%	0,000065419550	0,0706	82,90%	-1,90%		
13	81,00%	0,000065419550	0,0572	82,90%	-1,90%		
14	81,20%	0,000037066609	0,0441	82,70%	-1,50%		
15	81,70%	0,000001184256	0,0314	82,60%	-0,90%		
16	82,00%	0,000003654844	0,0187	82,50%	-0,50%		
17	82,20%	0,000015301903	0,0062	82,30%	-0,10%		
18	82,30%	0,000024125432		82,20%			
19	82,50%	0,000047772491		82,00%			
20	82,60%	0,000062596020		81,70%			
21	82,70%	0,000079419550		81,20%			
22	82,90%	0,000119066609		81,00%			

### Anexo 2: Detalle del desglose de OPI NONA



### Anexo 3: Aumento de indicador de OPI NONA



### Anexo 4: Calculadoras de ahorro de OPI NONA

