



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PRODUCCIÓN ONLINE  
PARA EMBOTELLADORA ANDINA S.A.

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

FELIPE SEBASTIÁN GOEPPINGER PAIVA

PROFESOR GUÍA:  
RAFAEL EPSTEIN NUMHAUSER

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
JAIME GACITÚA CARAFÍ  
SEBASTIÁN RÍOS PÉREZ

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por Conicyt: CONICYT-PCHA/Magíster  
Nacional Complementario/2013 - 221320572

SANTIAGO DE CHILE  
2015

## Resumen

### **RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL**

**TÍTULO DE:** Ingeniero Civil Industrial y Grado de Magíster en Gestión de Operaciones

**POR:** Felipe Sebastián Goepfinger Paiva

**FECHA:** 26/01/2015

**PROFESOR GUÍA:** Rafael Epstein Numhauser

**PROFESOR CO-GUÍA:** Jaime Gacitúa Carafí

### **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PRODUCCIÓN ONLINE PARA EMBOTELLADORA ANDINA S.A.**

Embotelladora Andina S.A. es una empresa dedicada a la elaboración, distribución y venta de bebidas, bajo la licencia de The Coca-Cola Company. Andina tiene operaciones en Chile, Argentina, Paraguay y Brasil, situándose en el año 2013 dentro de las diez embotelladoras más grandes de Coca-Cola en el mundo. El presente trabajo se enfoca a nivel operativo, dentro de la Gerencia de Operaciones de Planta Renca, Chile, y consistió en diseñar e implementar un sistema de control de producción online, que permitió aumentar el cumplimiento del plan de producción y el % de utilización de máquinas.

El sistema desarrollado corresponde a una aplicación web, con 3 funcionalidades principales: Comunicar de forma efectiva el plan de producción y su cumplimiento, calcular un plan de logística reversa de envase vacío, y levantar alertas tempranas por falta de insumos, con especial foco en falta de envase vacío.

Esta herramienta ha sido implementada mediante software de licencia gratuita, utilizando los lenguajes PHP y SQL para su programación. Esto hace que el sistema sea compatible con los navegadores más utilizados durante el 2014, permitiendo su acceso desde cualquier dispositivo inteligente con conexión a internet. Se ha desarrollado bajo la arquitectura de capas, permitiendo su escalabilidad en un futuro. El proceso de actualización del sistema ha sido automatizado en un 100%, garantizando una actualización cada 15 minutos durante todo el día.

Tras 8 meses de funcionamiento, el sistema se ha posicionado como referencia en la toma de decisiones para la cadena productiva, alcanzando un promedio de 8 usuarios diferentes por día y más de 50 visitantes distintos por mes, entre los cuales se destaca el planificador de producción, sala de control industrial, el área de acarreo y el planificador de insumos, contribuyendo a mejorar el cumplimiento del plan de producción en un 3,5% mensual y aumentar la eficiencia de la planta productiva en un 3,1% mensual con respecto al año anterior.

Tras la buena aceptación por parte de la empresa, se pretende replicar la aplicación web al resto de las plantas de envasado de Chile.

A mis padres.

## Tabla de contenido

Índice de tablas.....	v
Índice de ilustraciones.....	vi
1. Introducción .....	1
2. Descripción de la empresa .....	2
2.1. En Chile .....	2
3. Descripción del problema.....	3
3.1. Proceso productivo en planta Renca .....	3
3.2. Planificación de producción.....	5
3.3. Acarreo de envase retornable .....	6
4. Objetivos.....	7
5. Descripción del sistema desarrollado.....	7
5.1. Funcionalidades .....	8
5.1.1. Generar una interfaz dinámica del plan de producción.....	8
5.1.2. Proyectar detenciones de línea por falta de envase .....	9
5.1.3. Proyectar detenciones por falta de insumos principales.....	10
5.1.4. Plan de acarreo de envase.....	11
5.2. Construcción de la base de datos .....	11
5.2.1. Inputs del sistema.....	12
5.2.2. Entidades y atributos.....	13
5.3. Lógica del sistema desarrollado.....	15
5.3.1. Cálculo de los atributos claves .....	16
5.3.2. Cálculo de demanda de producción .....	18
5.3.3. Proceso de construcción de la interfaz dinámica del plan de producción.....	19
5.3.4. Proceso de proyección detenciones de línea por falta de envase vacío.....	25
5.3.5. Proceso de proyección detenciones de línea por falta insumo crítico .....	26
5.3.6. Proceso de generación del plan de acarreo .....	28
6. Modelo acarreo de envase.....	31
6.1. Inputs del modelo .....	33
6.1.1. Demanda de envase .....	33
6.1.2. Stock de envases inicial y retorno de envase.....	35

6.1.3.	Cantidad de camiones por centro .....	35
6.2.	Variables de decisión .....	36
6.3.	Parámetros.....	37
6.4.	Curva de costos por acarreo de SKU.....	38
6.5.	Restricciones .....	39
6.6.	Función objetivo .....	41
7.	Implementación.....	42
7.1.	Framework y lenguajes utilizados.....	42
7.2.	Servidor web y relación con la base de datos de la empresa.....	43
7.2.1.	Automatización de la obtención de inputs del sistema .....	43
7.3.	Optimizador lineal del modelo de acarreo .....	44
8.	Resultados .....	44
8.1.	Utilización de TBP Online.....	44
8.2.	Impactos en el cumplimiento del plan .....	47
8.2.1.	Criterio de cumplimiento “desviación del plan” .....	48
8.2.2.	Criterio de cumplimiento “bajo el 100%” .....	49
8.3.	Impactos en la eficiencia de la planta de producción .....	50
9.	Comentarios y conclusiones.....	51
10.	Bibliografía.....	54
11.	Anexo.....	55
11.1.	Ranking mundial embotelladoras Coca-Cola por volumen de producción .....	55
11.2.	Mapa de plantas de producción y centros de distribución de Coca-Cola Andina en Latinoamérica .....	55
11.3.	Esquema entidad relación de base de datos del sistema web .....	56
11.4.	Interfaz dinámica del plan de producción.....	57
11.5.	Detenciones por falta de envase vacío .....	58
11.6.	Detenciones por falta de insumos principales.....	59
11.7.	Plan de acarreo.....	59
11.8.	Navegadores más populares en septiembre 2014 .....	60

## Índice de tablas

Tabla 1: Plantas de producción en Chile .....	3
Tabla 2: Ejemplo input plan de producción.....	12
Tabla 3: Ejemplo input stock de envases.....	12
Tabla 4: Ejemplo input notificaciones de avance .....	13
Tabla 5: Ejemplo input stock de insumos.....	13
Tabla 6: Intervalos posibles para los periodos del modelo de acarreo.....	32

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Línea de tiempo para una línea de producción .....	8
Ilustración 2: Proceso de cálculo de atributos claves.....	18
Ilustración 3: Columnas en la línea de tiempo .....	19
Ilustración 4: Ejemplo de superposición de lotes.....	21
Ilustración 5: Ajuste por superposición de lotes .....	22
Ilustración 6: Ejemplo de desplazamiento de lotes en cola. ....	23
Ilustración 7: Proceso de construcción de la interfaz dinámica del plan de producción.....	24
Ilustración 8: Proceso de proyección de detenciones de líneas por envase vacío .....	26
Ilustración 9: Proceso de proyección de detenciones de líneas por insumos críticos.....	28
Ilustración 10: Proceso de generación del plan de acarreo de envase.....	31
Ilustración 11: Curva de costos por cantidad de SKU acarrada .....	39

## 1. Introducción

La aparición de internet ha gatillado que las empresas cambien la forma de realizar transacciones, comunicar y utilizar los recursos, así como también la manera en que se construye y mantienen las ventajas competitivas. Las tecnologías de información son herramientas que facilitan la gestión y flujo de la información y su integración en la cadena de suministro permite mejorar los procesos y aumentar la competitividad de la empresa.

Una aplicación web es un sistema que generalmente se compone de una base de datos y páginas web, a través de las cuales interactúan los usuarios. Se caracteriza por ser multiplataforma, sin la necesidad de realizar instalaciones ni actualizaciones y sus requerimientos de hardware son mínimos.

Hoy en día, las aplicaciones web se han vuelto muy populares y han evolucionado a un diseño visual más sofisticado. El dinamismo e interacción con el usuario es una característica esencial y sus funcionalidades son cada vez más complejas.

La coordinación es un factor clave dentro de la cadena de suministro de una empresa y cualquier cambio debe ser informado de forma oportuna, con el fin de alinear a cada integrante al nuevo escenario. En particular para una empresa productiva, el plan de producción busca utilizar de forma eficiente los recursos de la empresa y es vital detectar anticipadamente los riesgos que atenten su cumplimiento y así poder realizar modificaciones menos costosas para la empresa.

El presente trabajo busca contribuir con la coordinación de la cadena de suministro de Embotelladora Andina S.A., utilizando una aplicación web para mejorar el flujo de información entre los participantes del proceso productivo de la empresa. Para poder desarrollarla, se deberá comprender el proceso de producción y la interacción entre los diferentes participantes, compatibilizar los sistemas de información de la empresa y diseñar una interfaz atractiva y simple de utilizar, compatible con la forma de trabajo de la empresa.

El principal desafío es lograr que la aplicación sea utilizada por la empresa, para lo cual será necesario garantizar alta compatibilidad con los navegadores, que la información esté actualizada, que el sistema sea estable las 24 horas del día y que su diseño sea interesante y simple de comprender.

## 2. Descripción de la empresa

Embotelladora Andina S.A. (también llamada Coca-Cola Andina) es una empresa dedicada a la elaboración, venta y distribución de bebidas, jugos y aguas bajo la licencia de The Coca-Cola Company. Durante el 2013 fabricó cerca de 763 millones de cajas unitarias (4.332 millones de litros), equivalentes a US\$3.071 millones, posicionándose como la tercera embotelladora de Latinoamérica y la séptima del mundo con mayor volumen de producción de productos Coca-Cola<sup>1</sup>.

Posee presencia en Argentina, Brasil, Paraguay y Chile, con un total de 10 plantas de producción y 53 líneas productivas, 68 centros de distribución, más de 16.500 empleados y abarcando cerca de 55 millones de potenciales clientes en estos 4 países<sup>2</sup>.

Corresponde a una sociedad anónima abierta, fundada en 1946, se encuentra listada en la Bolsa de Comercio de Santiago y la Bolsa de Valores de Nueva York (NYSE), entre sus accionistas principales destacan el grupo controlador, compuesto por 5 familias chilenas (50,5%) y The Coca-Cola Company (14,7%).

### 2.1. En Chile

Coca-Cola Andina presenta franquicia para territorios en la zona norte, centro y sur de Chile, equivalentes a una población de 9,1 millones de consumidores. Sus ventas durante el 2013 fueron del orden de 234 millones de CU (1.328 millones de litros).

Dentro de sus 3 líneas de negocio principales (bebidas, jugos y aguas) es posible encontrar más de 120 productos diferentes, con una participación de mercado del 67,6% para las gaseosas, 34,9% para jugos, isotónicos y otros, y un 44,6% para aguas.

Cerca del 58% de sus ventas son realizadas en el canal tradicional (locales minoristas) y un 25% a cadenas de supermercados. El restante 10% y 7% fue para locales mayoristas y por el canal on-premise (hoteles y restaurantes entre otros) respectivamente. Además los sabores de gaseosas más vendidos corresponden a Coca-Cola con un 56,2%, Coca-Cola Light y Zero con un 16,4% (suma de ambos). Un 25% de las ventas fue para los otros sabores azucarados (Fanta, Sprite, Quatro, Inca Kola y Nordic) y tan solo un 2% para otros light (sabores light diferentes a Coca-Cola).

---

<sup>1</sup> Ranking mundial de embotelladoras Coca-Cola por volumen en anexos.

<sup>2</sup> Se ha incluido un mapa de la distribución de plantas productivas, centros de distribución y área cubierta por Coca-Cola Andina en Latinoamérica.

Presenta 4 plantas de producción:

<b>Planta de producción</b>	<b>Región que satisface</b>	<b>Líneas productivas</b>	<b>Capacidad utilizada 2013</b>
<b>Antofagasta</b>	II y III	5	48%
<b>Coquimbo</b>	IV	3	33%
<b>Punta Arenas</b>	XI y XII	2	31%
<b>Renca</b>	Metropolitana, V (San Antonio) y VI (Provincia de Cachapoal)	10	73%

*Tabla 1: Plantas de producción en Chile*

Los productos son distribuidos a lo largo de todo Chile a través de 17 centros de distribución y una flota de 30 camiones propios y 493 de terceros.

### 3. Descripción del problema

#### 3.1. Proceso productivo en planta Renca

La producción de bebidas de The Coca-Cola Company es realizada por embotelladoras licenciadas alrededor del mundo, las cuales tienen el derecho para producir y comercializar los productos Coca-Cola en un territorio exclusivo y determinado.

Los principales insumos para la producción de bebidas corresponden a agua, gas carbónico, envases, preformas, etiquetas, tapas, endulzantes y jarabes. Este último corresponde a la materia prima más importante de una bebida debido a que entrega el sabor característico de cada producto, el cual es producido y vendido por The Coca-Cola Company a cada una de las embotelladoras.

La planta de producción Renca utiliza más de 30 formatos de botellas, que van desde los 237cc hasta los 6 litros fabricados con plástico o vidrio, y cerca de 20 sabores diferentes, con los cuales elaboran una variedad de 120 productos. Esta amplia gama de productos es clasificada en 3 categorías:

1. Retornables: Su embotellado requiere de envases reutilizables. La disponibilidad de estos envases está sujeta a la devolución de los clientes.
2. One Way: Corresponde a productos desechables. Sus envases se fabrican a partir de preformas de plástico que son moldeadas momentos antes de su producción.
3. Post Mix: Son concentrados de bebida que se les debe añadir soda para alcanzar la composición de bebida. Se envasan en bolsas especiales y son vendidos usualmente a restaurantes.

El proceso de producción de bebidas consta de 3 etapas principales:

1. Elaboración de concentrado: Los jarabes provenientes de EE.UU. son vertidos en estanques llamados Quasy, en donde se le añade agua y endulzante, obteniéndose un concentrado de bebida.
2. Elaboración de bebida: El concentrado de bebida es transportado por cañerías a estanques llamados Multimix, son mezclado con más agua, alcanzando la consistencia de bebida desvanecida.
3. Gasificación y embotellado: El líquido obtenido en la etapa anterior se transporta a las diferentes líneas de producción, lugar en que se gasifica la bebida, se embotella, etiqueta y embala en lotes.

Posteriormente los lotes son almacenados en un depósito de producto terminado, para luego ser trasladado a cada una de las bodegas de los centros de distribución, y desde éstos realizar despachos a los diferentes clientes.

Además, la planta de la embotelladora presenta las siguientes características:

- 11 líneas de producción: Cada una produce un conjunto acotado de formatos a distintas velocidades y presenta dispares tiempos de seteo. 6 de ellas están destinadas a productos retornables, 4 a productos One Way y 1 a productos Post Mix.
- 8 estanques de elaboración Quasy. Cada uno posee capacidad de 300 litros.
- 6 estanques de bebida Multimix con capacidad suficiente para poder abastecer a todas las líneas de producción de forma simultánea. 2 de estos estanques son exclusivos para el sabor Coca-Cola regular, por lo tanto sólo 4 sabores adicionales a este pueden estar llenándose de forma simultánea.
- Sistema automatizado de almacenaje de producto terminado en el depósito de la planta. Mediante robots se ordena la producción según la regla FEFO<sup>3</sup>.

Los cambios de sabor implican realizar diferentes niveles de lavados tanto en estanques, cañerías y líneas productivas:

- Desde un sabor no azucarado a uno azucarado es necesario realizar un enjuague menor.
- Desde un sabor azucarado a uno no azucarado es necesario realizar una limpieza profunda, para evitar trazas de azúcar en los sabores light o zero.
- Desde un sabor pungente (como Quatro Guaraná o Inca Kola) a cualquier otro, se deben realizar limpiezas muy profundas que permitan eliminar tanto las trazas como el aroma del sabor.

Mediante pruebas de laboratorio se determina si la línea se encuentra en condiciones para producir un nuevo sabor o requieren un nuevo sanitizado.

---

<sup>3</sup> First expires, first out. Evita generar merma de producto por obsolescencia.

En general un cambio de formato requiere de más tiempo que un cambio de sabor y consisten en ajustes de diferentes partes de las líneas productivas (como cambios en los moldes de soplado, ajustes en las llenadoras, palletizadoras e inspectores electrónicos).

### 3.2. Planificación de producción

La planificación de producción comienza con un plan objetivo mensual, el cual establece a nivel de familia de productos, un stock objetivo para cada mes. Una familia de productos es definida por un conjunto de SKUs que presentan formatos similares. La embotelladora ha definido las siguientes familias de productos:

- RGB Single Serve: Productos en botellas retornables de vidrio menor o igual a 350cc.
- RGB Multi Serve: SKUs embotellados en retornables de vidrio mayor o igual a 1 litro.
- Ref Pet: Productos embotellados en retornables de plástico.
- OW Single Serve: SKUs en botellas desechables menores a 1 litro.
- OW Multi Serve: Productos desechables mayores o iguales a 1 litro.

Este plan objetivo es calculado por un modelo de programación lineal que considera las capacidades de la planta de producción y la demanda proyectada para cada producto (estimada por el área de marketing), entre otros factores.

El plan de producción semanal es construido buscando cumplir el stock objetivo mensual, considerando capacidades de producción (turnos de trabajo disponibles por cada línea productiva) y los días piso (días que el stock es capaz de cubrir la demanda) de cada SKU según la demanda proyectada.

Día a día el cumplimiento del plan de producción puede verse perjudicado por causas como:

- Aumentos importantes de demanda: Provocando una disminución importante del stock de un SKU, aumentando su riesgo de quiebre, por lo cual es necesario adelantar su producción para evitarlo.
- Stock insuficiente de envase retornable en planta Renca: Debido a que no se logró transportar el envase a tiempo desde los centros de distribución o no existe envase suficiente en los centros para acarrear a la planta productiva, se finaliza de forma anticipada el lote de producción por falta de envase.
- Falta de algún insumo de producción: Algún proveedor no envía a tiempo o la cantidad solicitada de un insumo en particular, generando recortes en el tamaño de los lotes o postergaciones en su llenado. En particular la empresa identifica 4

insumos críticos (que son más probables a generar modificaciones de plan):  
Preformas, etiquetas, tapas y concentrado.

- Falla operacional en alguna línea productiva: Genera retrasos de producción.

Los cambios del plan de producción son coordinados con cada integrante de la red productiva, con el fin de revisar su factibilidad y ajustar las planificaciones respectivas (como pedidos mensuales a proveedores, reposición diaria de insumos en bodega, acarreo de productos y envase retornable vacío).

### 3.3. Acarreo de envase retornable

El envase retornable vacío es de vital importancia para la producción de las bebidas retornables. Cada SKU retornable presenta su propio formato de envase, por lo tanto, no existe un sustituto y en caso de tener insuficiente stock para la elaboración de un lote, el agotamiento de envase implica una parada anticipada de la línea de producción, forzando a continuar con un producto diferente.

Existen 2 formas de obtención de este insumo:

1. Compra de envase vacío retornable nuevo: Se asigna una cantidad de envase nuevo a un lote de producción específico.
2. Retorno de envase por ventas: Cada vez que se realiza una entrega, el cliente debe devolver a la embotelladora la misma cantidad de producto comprado en envase vacío. Sin embargo, no es necesario que sea el mismo SKU. Este envase es trasladado a un centro de distribución para que sea ordenado, posteriormente es enviado a la planta Renca.

La segunda alternativa genera incertidumbre con el stock de envase disponible, pues no necesariamente retorna la misma cantidad de producto vendido en envase vacío. Por lo tanto se requiere estimar este retorno de alguna forma.

Para planificar la producción, la empresa estima el retorno de envase para un SKU  $i$  en el día  $t$  como el 70% de su venta en el centro  $c$  ( $Retorno_{i,t} = 0,7 * Venta_{c,i,t-1}$ ).

La embotelladora presenta 5 centros de distribución, con diferentes capacidades de almacenamiento, 3 de ellos se encuentran en la región metropolitana (Carlos Valdovinos, Maipú y Puente Alto), otro en Rancagua y el restante en San Antonio.

El acarreo es realizado por una flota de camiones y el número disponible para cada centro es designado de forma mensual. Existen 3 turnos de trabajo de 8 horas durante el día para los operarios (turno día de 07:00 a 15:00, turno tarde desde las 15:00 hasta las 23:00 y turno noche de 23:00 a 03:00).

## 4. Objetivos

Objetivo general: Desarrollar un sistema de control de producción que permita aumentar el cumplimiento del plan y la productividad de la planta de producción.

Objetivos específicos:

- Comunicar de forma amigable y actualizada el plan de producción ajustado a los avances notificados.
- Generar alertas por retrasos entre el avance notificado y el plan de producción, posibles detenciones por envase vacío y mostrar el tiempo desde la última notificación para cada línea de producción.
- Construir un modelo que genere un plan de acarreo de envase vacío de corto plazo que permita evitar las detenciones de las líneas por envase insuficiente.
- Automatizar los procesos del sistema de control de producción facilitando la interacción con el usuario.

## 5. Descripción del sistema desarrollado

TBP Online es un sistema de control de producción que tiene como objetivo principal mostrar de forma amigable y en todo momento, el cumplimiento del plan de producción. Se caracteriza por ser una aplicación web, la cual contrasta el plan de producción, los avances notificados de cada lote y los stocks de envase vacío e insumos para determinar las siguientes funcionalidades:

1. Generar una interfaz dinámica estilo carta Gantt que muestre la situación actual de cada línea de producción, detallando la información de cada lote y alertando por retrasos en las líneas, lotes con envase insuficiente y tardanzas en las notificaciones de avance.
2. Proyectar detenciones de las líneas por falta de:
  - a. Envase vacío para un horizonte de una semana, calculando el tiempo para que ocurra y la cantidad insuficiente.
  - b. Algún insumo principal (preforma, etiqueta, tapa o concentrado) para un horizonte de una semana, calculando tiempo para que ocurra y cantidad faltante.
3. Generar un plan de acarreo de corto plazo que permita evitar las detenciones de las líneas por falta de envase vacío.

Su acceso es a través de internet utilizando una clave secreta y ha sido programado para ser compatible con los navegadores más utilizados. Por lo tanto, su ingreso puede ser a

través de cualquier dispositivo inteligente con acceso a internet, como tablets, celulares y computadores entre otros.

Los objetivos secundarios que busca cumplir son:

- Mejorar la visibilidad del plan de producción: Facilitar el acceso y poner a disposición el plan a toda la red de producción.
- Ayudar a la coordinación entre las áreas de Logística y Operaciones: Los indicadores generados por esta herramienta, buscan facilitar la toma de decisiones entre ambas áreas. Posibles cambios de plan o problemas como falta de envase y retrasos serán visualizados, permitiendo tomar acciones de forma más rápida.

## 5.1. Funcionalidades

### 5.1.1. Generar una interfaz dinámica del plan de producción

Esta funcionalidad tiene como objetivo transformar el plan de producción en una interfaz gráfica estilo carta Gantt, que permita visualizar el status de producción de cada línea de la planta. Para lograr esto, cada línea de producción es representada por su propia línea de tiempo, que muestra una semana hacia el futuro y 2 días hacia atrás según la hora actual del día, cada uno de sus lotes ordenados cronológicamente.

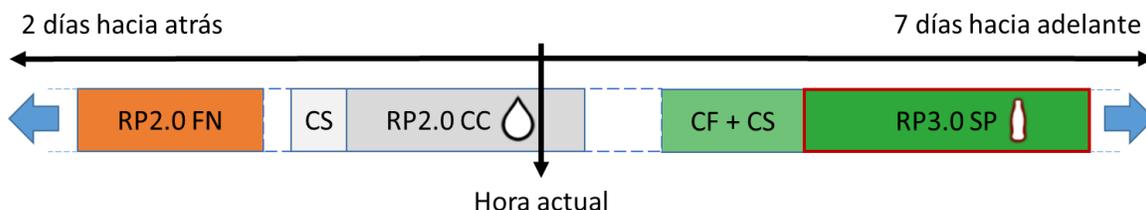


Ilustración 1: Línea de tiempo para una línea de producción

Los lotes finalizados y en producción se dibujan a partir de estimaciones basadas en los progresos reportados y los lotes en cola según lo planificado. Los tiempos de seteo por cambio de sabor (CS) y cambio de formato (CF) también son incluidos.

Cada lote de producción es pintado con el color característico del sabor y etiquetado con el nombre del producto (formato y sabor). En caso de que uno de ellos corresponda a un SKU retornable y en bodega no se tenga envase suficiente para su producción, se añade una botella a la etiqueta y se destaca con un borde rojo. A los lotes en producción se les añade una gota al lado del nombre.

Si se desea obtener información detallada de un lote en particular, basta con clickearlo para que se despliegue lo siguiente:

- Número de orden: ID único para el lote de producción.
- SKU: Formato, sabor y código único.
- Status del lote: Si el lote se encuentra finalizado, en producción o en cola.
- Fecha y hora de inicio de producción: Planificada y estimada. La primera corresponde a la fecha y hora definida por el plan de producción y la segunda, es el inicio estimado de acuerdo a los avances de producción notificados. La velocidad de producción de la línea para el SKU específico y la hora y cantidad notificada permiten estimar el inicio de producción.
- Fecha y hora de fin de producción: Planificada, según plan de producción, y estimada de acuerdo a los avances notificados y envase disponible<sup>4</sup>. En caso de falta de envase para producción de un lote, es posible estimar el punto de quiebre de envase y por lo tanto, el fin anticipado para el lote.
- Tamaño del lote, avance notificado, envase faltante<sup>4</sup> y envase disponible en los centros de distribución para el SKU en particular<sup>4</sup>.
- Fecha y hora de la última notificación: Dato relevante para el área de operaciones y la sala de control industrial de la planta.

Además, a la derecha de esta interfaz, se ha incluido una tabla que muestra para cada línea de producción la siguiente información:

- Retraso/adelanto de la línea con respecto al plan de producción y los avances notificados
- Tiempo transcurrido desde la última notificación
- Próxima detención de la línea por falta de envase vacío en cada línea retornable, especificando el SKU, cantidad faltante, fecha y hora de la detención. Las detenciones que ocurrirán dentro de las próximas 5 horas son destacadas con un efecto de color intermitente.

A petición de la empresa, también se ha desarrollado una versión alternativa de la Gantt, que dibuja cada lote según las fechas y horas establecidas por el plan de producción, con el fin de poder contrastar gráficamente el plan original, con los avances notificados.

### 5.1.2. [Proyectar detenciones de línea por falta de envase](#)

Otra funcionalidad de TBP Online corresponde a la proyección de detenciones por falta de envase vacío en las distintas líneas de producción, para un horizonte de una semana. Los avances notificados y el plan de producción permiten determinar el momento en que cada

---

<sup>4</sup> Sólo para SKU retornable.

lote comenzará a producirse. Si además se incluye el stock de cada SKU en la planta, con el tamaño del lote y las velocidades de producción es posible estimar la cantidad faltante y el momento en que se agotará el envase.

Las detenciones proyectadas son presentadas mediante una tabla que muestra la siguiente información:

- Línea de producción que detendrá.
- Fecha y hora de la detención
- Tiempo estimado para que ocurra.
- Código de envase y producto.
- Nombre del producto.
- Envase faltante.
- Stock actual del SKU en cada uno de los centros de distribución.

Estas son ordenadas de menor a mayor según el tiempo estimado para que ocurra y se destacan con un efecto de color intermitente las detenciones que ocurrirán dentro de las próximas 5 horas.

### 5.1.3. Proyectar detenciones por falta de insumos principales

De forma similar a la funcionalidad del punto anterior, el sistema estima para un horizonte de 1 semana, las detenciones de línea por falta de stock de los 4 insumos principales (más probables a generar cambios de plan): Preformas, etiquetas, tapas y concentrado.

Las detenciones proyectadas son presentadas en una tabla que contiene lo siguiente:

- Línea de producción que detendrá.
- Tipo de insumo involucrado (preforma, etiqueta, tapa o concentrado).
- Fecha y hora de la detención.
- Tiempo estimado para que ocurra.
- Código del insumo y producto.
- Cantidad de insumo faltante.

Las detenciones son ordenadas de menor a mayor según el tiempo estimado para que ocurra y se destacan con efecto de color intermitente las que sucederán dentro de las próximas 5 horas.

#### 5.1.4. Plan de acarreo de envase

El sistema también es capaz de diseñar un plan que permita organizar el acarreo de envase desde los centros de distribución hacia la planta productiva. Para esto, se ha desarrollado un modelo de programación lineal que permite resolver en un tiempo máximo de 10 minutos, el problema de acarreo de envase para un horizonte de 2 días. El resultado de la ejecución es mostrado en una tabla detallando lo siguiente:

- Período del día: Cada día es dividido en intervalos de 4 horas.
- Envase por cubrir: Lista con SKUs y cantidad que debe ser cubierta para evitar detención.
- Envase acarreado por cada centro de distribución: Lista con los SKUs y sus cantidades respectivas transportadas.

Además se estima la cantidad de envase que, a pesar del plan de acarreo, no es posible cubrir. Este número se incluye junto a cada SKU de la lista en la columna “Envase por cubrir”.

La flota de camiones destinados al acarreo de envase y su distribución entre los centros cambia mes a mes, además es posible que los centros no realicen acarreos durante la noche. Por lo que se ha incluido un formulario a la derecha de la página web que permite configurar la cantidad de camiones disponibles y decidir si se permite acarreo durante la noche para cada centro de distribución, previo a la ejecución del modelo.

El planificador puede iniciar la ejecución del modelo, cliqueando el botón “Ejecutar” ubicado debajo del formulario de configuración. Mientras procesamiento es realizado por el servidor de TBP Online, el usuario puede ver una barra de progreso. El resultado es mostrado inmediatamente después de finalizada la ejecución.

## 5.2. Construcción de la base de datos

La herramienta online se construye a partir de las bases de datos existentes en la empresa, con el fin de evitar crear un sistema paralelo independiente. Sin embargo, acceder a esta información requiere de varios minutos. Como se busca desarrollar un sistema online y actualizado, es necesario diseñar una base de datos propia para el sistema, que asegure un acceso a la información rápido, con una actualización constante durante el día.

Esta base de datos, se ha desarrollado bajo el esquema copo de nieve, por las siguientes razones:

- Permite seguir la misma lógica de la empresa de definir cada entidad por ID único: Los productos, lotes de producción y centros de distribución entre otros, presentan un código identificador.
- Facilidad para actualizar o agregar nueva información: La base de TBP Online requiere ser actualizada varias veces cada hora del día. Este esquema permite modificar sólo lo necesario y de forma rápida.
- Los tiempos de respuesta no se ven afectados: Si bien la principal crítica a este esquema es que sus tiempos de respuesta son elevados, como el tamaño de la base no es grande, las consultas son resueltas en milésimas de segundo.
- Se evita la redundancia de información: Los datos son organizados por entidades y atributos.

### 5.2.1. Inputs del sistema

El sistema requiere de 4 inputs principales, que brindan la información esencial y suficiente para llevar a cabo sus funcionalidades:

1. Plan de producción: Lista que detalla cada lote de producción. Fecha y hora de inicio de producción, código SKU, cantidad a producir, versión de fabricación (información que permite determinar la línea en que se producirá) y status sistema (permite identificar si un lote ha sido descartado o cerrado).

Versión	Orden	Material	Texto breve material	Inicio	Hora inic.	Cantidad	Status sistema
2	100132592	111	Coca Cola RP 2,0 L x 8	01.08.2014	15:00:00	26.000,00	LIB. NOTP PREC DMNV ENTP LINA MOVN NLIQ
1	100132602	2906	Benedictino Pet 1.5 Lt.x 6 S/G ( Fabric)	05.08.2014	8:17:00	12.000,00	LIB. PREC DMNV LINA NLIQ
1	100132701	439	Coca Cola Light Pet 591 cc. x 6	08.08.2014	9:29:00	38.000,00	CTEC PREC DMNV LINA NLIQ
1	100132548	2220	Quatro Guarana Pet 1,5 lts x 6	01.08.2014	12:27:00	3.600,00	LIB. NOTP PREC DMNV ENTP LINA MOVN NLIQ

Tabla 2: Ejemplo input plan de producción

2. Stock de envases en planta Renca y los centros de distribución: Corresponde a una lista que detalla la cantidad de SKU que cada centro de distribución presenta en el momento. Esta información es necesaria para identificar la falta de envase vacío y poder diseñar el plan de acarreo.

Centro	Almacén	Material	Texto breve de material	Cantidad
0938	0007	20108	Envase para Coca-Cola 1 1/2 lts RP	0
0939	0007	20108	Envase para Coca-Cola 1 1/2 lts RP	743
0940	0007	20108	Envase para Coca-Cola 1 1/2 lts RP	6.958,00
0938	0007	20408	ENVASE COCA C.LIGHT 1.5 RP x12	0
0942	0007	20408	ENVASE COCA C.LIGHT 1.5 RP x12	1.572,00

Tabla 3: Ejemplo input stock de envases

- Notificaciones de avances: Lista que contiene los avances de producción de cada lote del plan. Se detalla el número de orden del lote notificado, la fecha y hora del registro, junto con la cantidad parcial producida y un contador que indica las veces que ha sido notificado un lote. Para la primera notificación se registra la cantidad llenada desde el comienzo de producción hasta ese instante y para las siguientes, la producción adicional desde el último registro.

Orden	Notificación	Contador	Cantidad	Fecha	Hora	Registrado
100132486	7518160	1	324	02.08.2014	7:42:08	RVALENZUELA
100132486	7518160	2	421	02.08.2014	13:35:17	PSANTANDER
100132594	7517065	1	1.000,00	02.08.2014	7:15:46	IGALLARDO
100132594	7517065	2	1.280,00	02.08.2014	7:44:45	IGALLARDO
100132594	7517065	3	2.000,00	02.08.2014	11:59:35	CEROJAS

Tabla 4: Ejemplo input notificaciones de avance

- Stock de insumos: Corresponde a una lista que contiene el stock de cada insumo en los almacenes de la planta (0002 corresponde a bodega de materias primas que almacena grandes cantidades de insumos y 0003 a la bodega de producción que posee los insumos que actualmente se están usando para la producción).

Material	Descripción Material	Tipo	Centro	Almacén	Disponible
22011744	PREFORMA 24,7 GR CRISTAL SHF	ZROH	0938	0002	959.112,00
22011745	PREFORMA 24,7 GR CRISTAL PB SHF	ZROH	0938	0002	1.021.392,00
65010232	ETIQ WRAP AR.COCA-COLA 2 LT	ZVER	0938	0002	1.545.021,00
65010625	ETIQ WRAP AR.C.COLA LIGHT 591 ML PB	ZVER	0938	0003	101.640,00
65011691	TAPA CORONA SPRITE AZUL(AZUCAR) IMP	ZVER	0938	0002	3.050,00
65011711	T/PLAST. FANTA NJA ZERO OW PET GRIS SHF	ZVER	0938	0002	230,4

Tabla 5: Ejemplo input stock de insumos

### 5.2.2. Entidades y atributos

Se han establecido 22 entidades o tablas para la base de datos de TBP Online, cada una entre 2 y 16 atributos, contruidos a partir de la lógica de la empresa y pensados para ser actualizados de forma simple y rápida. El esquema entidad relación se encuentra en anexos.

A continuación se describen de forma concisa:

- Producto: Caracterizado principalmente por su sabor y formato. Cada producto presenta un código único establecido por la empresa, el cual define su ID, y en caso de ser retornable, código de material, que define el tipo de envase. Además especifica los códigos de los insumos requeridos para su producción.

2. Sabor: Define a los productos, presenta un color particular utilizado por la interfaz del sistema TBP Online.
3. Formato: Identifica si un producto es retornable y permite definir a “Setup línea”.
4. Consumo insumos: Determina para cada par producto-insumo la cantidad de insumo que se requiere para su producción.
5. Setup línea: Tiempos de seteo por cambio de formato en cada línea de producción.
6. Material: Código utilizado por la empresa para identificar los envases retornables en los centros de distribución.
7. Línea: Representan las líneas de producción de la planta. Se relaciona con los productos a través de la “Versión de fabricación”.
8. Eficiencias: Define la eficiencia de cada línea de producción para cada formato que produce.
9. Versión de fabricación: Código establecido por la empresa para referirse a los productos permitidos en cada línea de producción y la velocidad nominal que puede ser producido.
10. Centro de distribución: Cada centro de distribución presenta un código identificador, el cual define su ID.

Las siguientes entidades son actualizadas de forma permanente y están directamente relacionadas con los inputs del sistema:

11. Orden de producción: Corresponde a los lotes de producción definidos en el plan de producción. Además se incluyen las fechas y horas estimadas según los avances notificados. Más adelante se explicará con detalle las estimaciones.
12. Notificación: Avances en cada lote de producción, detallados por fecha, hora y cantidad notificada.
13. Demanda producción: Corresponde al plan de producción transformado a una matriz que indica la producción por hora de cada SKU<sup>5</sup>.
14. Stock envase: Cantidad de envases por SKU retornable en cada centro de distribución y planta Renca. Cada envase es identificado por el ID de “Material” y su ubicación por el ID de “Centro de distribución”.
15. Stock insumos: Cantidad de insumos por SKU que presenta la planta de producción. Cada insumo presenta su propio código.

Se ha desarrollado un modelo de programación lineal para generar el plan de acarreo, el cual se explicará con detalle más adelante. Las siguientes entidades son necesarias para su ejecución:

16. Ramplas: Información acerca de las ramplas (o camiones) disponibles para acarrear envase por centro de distribución. Input del modelo

---

<sup>5</sup> Ver sección “Cálculo de demanda de producción” para mayor detalle.

17. Disponibilidad turnos: Centros que pueden acarrear envase durante el turno noche. Input del modelo.
18. Demanda acarreo: Envase requerido de cada SKU por el plan de producción. Input del modelo.
19. Acarreo: Resultado del modelo de acarreo. Envase acarreado desde cada centro.
20. Quiebre acarreo: Quiebres proyectados considerando el plan de acarreo propuesto.

Finalmente, las siguientes 2 entidades son independientes y no se relacionan con las mencionadas anteriormente:

21. Actualización: Fecha y hora de la última actualización de inputs y de la última vez que se ejecutó el modelo de acarreo.
22. Cuenta: Usuario y clave de acceso al sistema.

### 5.3. Lógica del sistema desarrollado

Cada funcionalidad de TBP Online corresponde a un conjunto de tareas realizadas por el servidor web que interactúan con la base de datos. Estas comienzan a ejecutarse desde el instante que el cliente ingresa a la página web y una vez finalizadas, el resultado es enviado a través de internet para que sea interpretado por el navegador del cliente.

Para poder llevar a cabo este conjunto de tareas, es esencial comenzar estimando para cada lote de producción que presente avance notificado, los siguientes atributos claves:

- Instante de inicio y fin de su producción según sus notificaciones.
- Cantidad total notificada.
- Fecha y hora de su última notificación.

Estos atributos son fundamentales para determinar lo que está ocurriendo en cada línea de producción (avances de los lotes y retraso/adelanto de producción versus lo planificado) y por lo tanto, poder dibujar de forma correcta la interfaz dinámica del plan de producción y lograr generar un plan de acarreo consistente al cumplimiento del plan.

Para poder proyectar de forma correcta las detenciones por envase o por insumos, es necesario transformar el plan de producción a un matriz resumen (denominada demanda de producción”) que determina para cada SKU, la cantidad que se producirá por hora, independiente de la línea en que se llenará. Esto se debe a que un insumo en particular puede ser utilizado por más de un producto y un producto puede ser llenado en más de una línea, generando un consumo del stock disponible en paralelo en las líneas de producción.

Los atributos claves y la matriz “demanda de producción” son determinados por el cruce de información del plan de producción con la lista de avances notificados y debido a que los inputs son actualizados cada 15 minutos, durante ese periodo las estimaciones de ellos

no debiesen variar. Por lo tanto es conveniente separar estos cálculos del conjunto de tareas que se ejecutan cada vez que ingresa un usuario a la página web, y realizarlos sólo una vez apenas se tenga la nueva información, agilizando la respuesta del servidor web a las peticiones de los usuarios.

Para lograr esto, se ha definido un proceso independiente a las funcionalidades del sistema, el cual es ejecutado en conjunto con la actualización de los inputs y se encarga de estimar los atributos claves y la matriz “demanda de producción”.

### 5.3.1. Cálculo de los atributos claves

La cantidad total notificada por lote se calcula como la suma de las cantidades de sus notificaciones respectivas, y la fecha y hora de su última notificación se obtiene de forma directa al identificar la notificación con menor antigüedad. Sin embargo, existe un inconveniente para poder estimar el instante de inicio y fin de producción de cada lote.

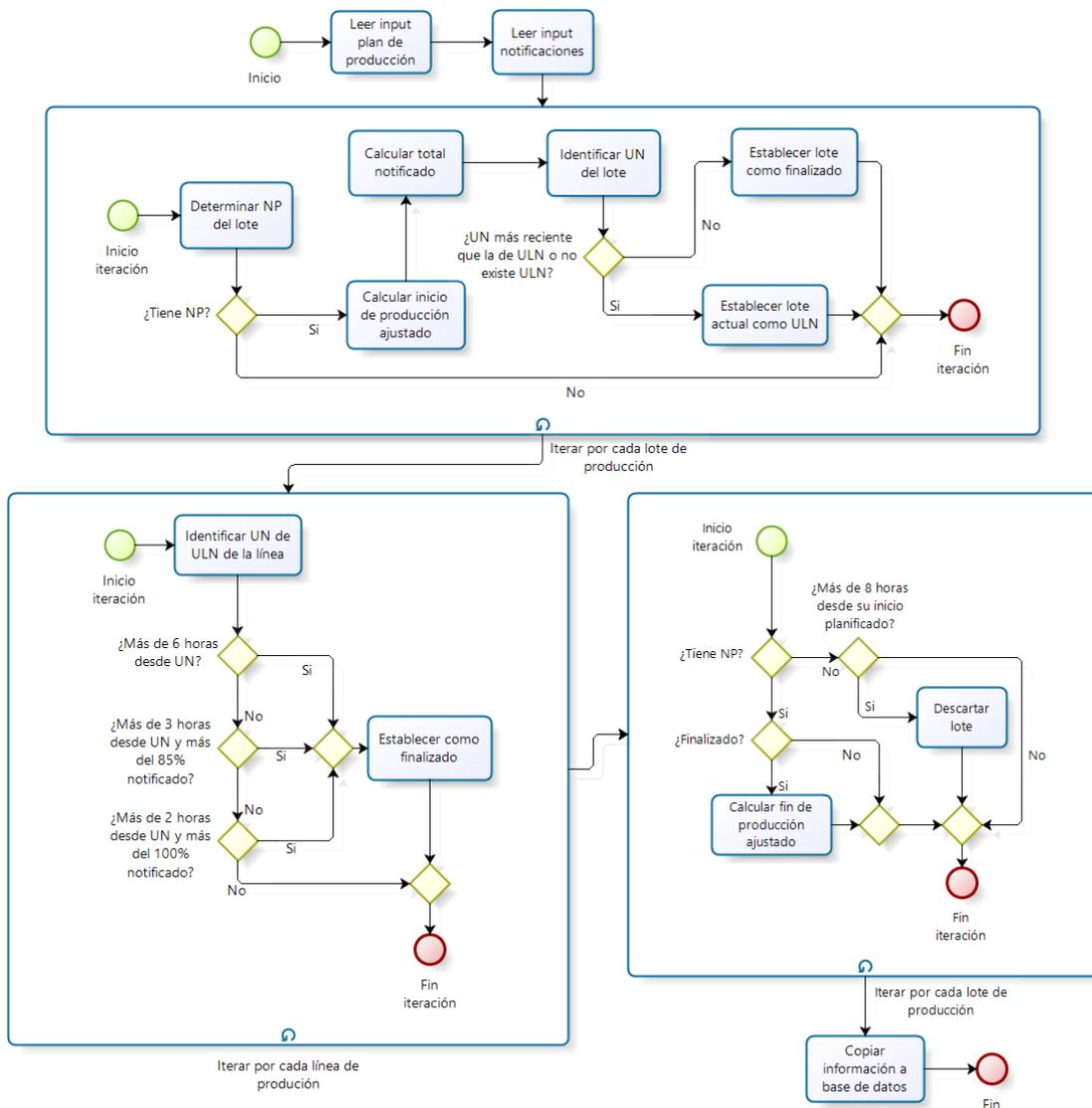
Las notificaciones son realizadas por operarios de la planta y a veces se equivocan, notificando avance para un lote que no corresponde. Como el sistema de notificaciones no permite borrar el registro, este inconveniente es solucionado generando una nueva notificación por una cantidad negativa, de forma tal que la suma sea 0.

Entonces, para poder estimar correctamente el inicio y fin de producción de cada lote, tras leer los inputs plan de producción y notificaciones de avance, se realiza lo siguiente:

1. Identificar la primera notificación válida ( $np$ ). Esta se define como el primer avance reportado tal que la sumatoria acumulada hasta ese momento, sea mayor que cero.
2. Estimar el inicio de producción para cada lote a partir de  $np$ . Se obtiene restando a la fecha y hora de  $np$ , el tiempo que tarda en producirse la cantidad notificada. Además calcular el total notificado (suma de sus notificaciones) e identificar la última notificación ( $un = \text{notificación del lote con menor antigüedad}$ ).
3. Identificar para cada línea de producción, el último lote que ha sido notificado de forma válida ( $uln$ ). Por lógica, todos los lotes de una línea diferentes a  $uln$  y que presentan notificaciones, han sido finalizados. Establecerlos como finalizados.
4. Determinar si  $uln$  ha dejado de producirse. Se han definido las siguientes reglas para catalogarse como finalizado:
  - a. Si han pasado más de 6 horas desde su última notificación: Los operarios suelen notificar avance en un tiempo inferior.
  - b. Si han pasado más de 3 horas desde su última notificación y se ha notificado más del 85% del lote: Varias veces ocurre que un lote son finalizados sin producirse completamente.

- c. Si han pasado más de 2 horas desde su última notificación y se ha notificado el 100% o más del lote: A veces sucede que la producción de un lote se extiende por más de lo planificado.
- Estimar el fin de producción para cada lote que se ha identificado como finalizado y descartar lotes sin notificaciones para los cuales hayan pasado más de 8 horas desde su inicio planificado. El instante de fin de producción se establece como la fecha y hora de su última notificación registrada.
  - Finalmente, los atributos claves son copiados a la base de datos en conjunto con los inputs del sistema, quedando disponibles para cada una de las funcionalidades de TBP Online.

A continuación se muestra un diagrama que representa el proceso del cálculo de atributos claves:



### 5.3.2. Cálculo de demanda de producción

La demanda de producción se construye a partir de los lotes de producción y sus atributos claves. Consiste principalmente en transformar el plan de producción y su avance a una matriz que determine para cada SKU la cantidad que se producirá por hora, independiente de la línea de producción en que se realizará.

Esta matriz es esencial para determinar las detenciones de línea por falta de envase vacío o por falta de stock de alguno de los insumos críticos. Su cálculo es realizado en conjunto con la actualización de los inputs del sistema de la siguiente forma:

Se definen periodos de 1 hora, considerando como periodo 0 el instante correspondiente a la última actualización de los inputs del sistema y como período final el equivalente a 2 semanas después desde el periodo 0. Por lo tanto el horizonte se compone por 337 periodos. Además se define  $dda_{p,i} = 0$  para todos los periodos del horizonte ( $dda_{p,i}$  corresponde a la cantidad que se producirá en el periodo  $p$  del SKU  $i$ ).

Posteriormente, para cada lote de producción que no se ha finalizado su producción se determina:

$$pi = \max(0, [hil - ha]), pf = [hfl - ha]$$

Donde:

$ha$  = hora de actualización de los inputs del sistema

$pi, pf$  = periodo inicial y final del lote

$hil, hfl$  = hora inicio y fin lote

Si  $pi \leq periodos$ , se encuentra dentro del horizonte de planificación y por lo tanto se discretiza por hora:

Si  $pf > 0$ :

1.  $faltante = tamaño\ lote - avance\ notificado$
2.  $delta = envase\ requerido\ en\ periodo\ inicial = vp * (4 * (pi + 1) - (hil - ha))$

Se calcula como el intervalo de tiempo del periodo que el lote está en producción por la velocidad de producción de la línea ( $vp$ ).

Caso particular cuando  $pi = 0$  y  $hil < ha$ ,  $delta = vp * (4 + ha - hil)$  debido a que es necesario añadir la producción previa al periodo 0. El stock de envase vacío e insumos en planta son ajustados en el sistema según las notificaciones

de avance, por lo tanto si un lote ha comenzado previo al periodo 0 y no ha sido notificado, es necesario sumar el adicional que se llenará previo al periodo 0.

3.  $dda_{p_i,i} = dda_{p_i,i} + delta$
4.  $faltante = faltante - delta$
5.  $p = p_i + 1$ .  
 Repetir si  $p < \min(periodos, pf)$   
 $dda_{p,i} = dda_{p,i} + 4 * vp$   
 $faltante = faltante - 4 * vp$   
 $p = p + 1$
6. Si  $pf \leq periodos$ , entonces lote termina en horizonte de planificación y sólo se debe sumar a la demanda el envase residual  $dda_{p_f,i} = dda_{p_f,i} + faltante$ .  
 Si no, lote termina posterior al horizonte  $dda_{p_f,i} = dda_{p_f,i} + 4 * vp$ .

Si no, Si  $pf = 0$ ,  $dda_{p_f,i} = dda_{p_f,i} + faltante$

Si no, continuar con siguiente lote.

Finalmente los cálculos son guardados en la base de datos del sistema, específicamente en la entidad “Demanda producción”.

### 5.3.3. Proceso de construcción de la interfaz dinámica del plan de producción

La interfaz dinámica se diagrama en una gran tabla, en donde las filas corresponden a las líneas de tiempo de cada línea de producción, conformadas por sus lotes respectivos en orden cronológico, y las columnas se utilizan para representar el tiempo empleado por cada uno de ellos.

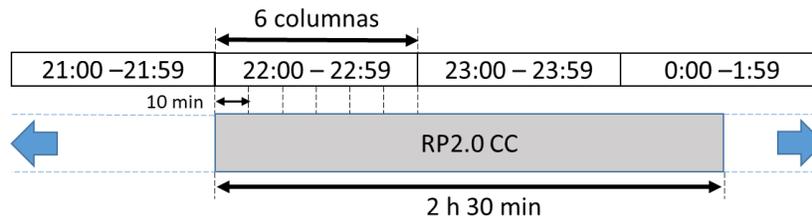


Ilustración 3: Columnas en la línea de tiempo

Cada columna equivale a un tiempo de 10 minutos y son agrupadas para formar los lotes de producción. El horizonte de cada línea de tiempo ha sido establecido como 9 días (7 hacia adelante y 2 hacia atrás), según la hora actual.

Para poder determinar el lugar y largo de los lotes en estas líneas, es necesario calcular las columnas equivalentes al inicio y fin de producción. Por lo que se ha definido la siguiente función:

$$columna(hora, fecha) = \begin{cases} 0, & fecha < fi \\ 6 * (diff(fi, ff) * 24 + hf - hi + 1), & fecha > ff \\ 6 * (diff(fi, ff) * 24 + hora - hi + 1), & \sim \end{cases}$$

Donde  $fi$  y  $hi$  corresponden a la fecha y hora equivalente a 2 días atrás desde la hora actual,  $ff$  y  $hf$  a la fecha y hora equivalente a 7 días hacia adelante desde la hora actual. Se define como columna 1 la correspondiente a  $fi$  y  $hi$ , y como columna final la establecida por  $ff$  y  $hf$ .

El proceso de construcción de la interfaz dinámica se inicia cuando un usuario ingresa a la página web, ejecutándose los siguientes pasos:

1. Consultar a la base de datos de TBP Online la información de los lotes de producción.

Esta información es obtenida bajo el siguiente orden, para poder dibujar la interfaz en orden cronológico de producción:

- i. Primero se consulta por todos los lotes con avances notificados que han sido finalizados, ordenados cronológicamente según el inicio y fin ajustado.
- ii. Luego se obtiene la información para todos los lotes con avances notificados que no han sido finalizados, ordenados cronológicamente según el inicio ajustado.
- iii. Finalmente se consulta por todos los lotes sin avances de producción, ordenados cronológicamente según las fechas y horas planificadas.

Los siguientes pasos (2 al 8) consideran este orden particular para iterar por cada lote de producción del plan. La razón de utilizar este orden, se debe a que permite diseñar un proceso que evita una gran cantidad de iteraciones, ejecutándose de forma rápida y en décimas de segundo.

2. Calcular los tiempos de producción de cada lote y columnas de inicio y fin equivalentes.

De acuerdo a la información que posee cada lote, se determinan los tiempos de producción y las columnas equivalentes de la siguiente forma:

- a. Si el lote presenta inicio y fin ajustado (corresponden a lotes notificados distintos a *uln* y por lo tanto han sido finalizados)<sup>6</sup>, se utilizan estas fechas para definir tiempos y calcular las columnas de inicio y fin de producción.
- b. Si sólo presenta inicio ajustado (equivalente a *uln* que no ha finalizado y por lo tanto se encuentra en producción)<sup>6</sup>, se utiliza esta la fecha y hora para obtener el inicio de producción y la columna inicio. El fin de producción y la columna fin se determinan por la fecha y hora resultante de sumar a inicio ajustado el tiempo necesario para producir la cantidad total ( $inicio\ ajustado + \frac{tamaño\ lote}{velocidad\ de\ producción}$ ).
- c. Si no presenta inicio y fin ajustado, se utilizan las fechas y horas planificadas para estimar los tiempos de producción y las columnas de inicio y fin equivalentes.

### 3. Determinar el status de producción de cada lote.

Se han definido 3 status de producción para los lotes:

- i. Finalizado: Se identifica cuando un lote presenta los atributos fecha y hora fin ajustada distinto de nulo.
- ii. En producción: Corresponde al primer lote de cada línea de producción que no tiene fin ajustado y su inicio ajustado es menor o igual a la hora actual del día. Puede ocurrir que una línea no presente lote en producción.
- iii. En cola: Todos los lotes restantes.

### 4. Revisar si existe superposición con lote anterior.

El plan de producción puede presentar lotes que se superponen entre sí, debido a cambios en la planificación (se agregan lotes que intersectan a los antiguos y estos últimos no son borrados o ajustados) o por errores de tipeo durante la carga de la información en las bases de datos de la empresa.

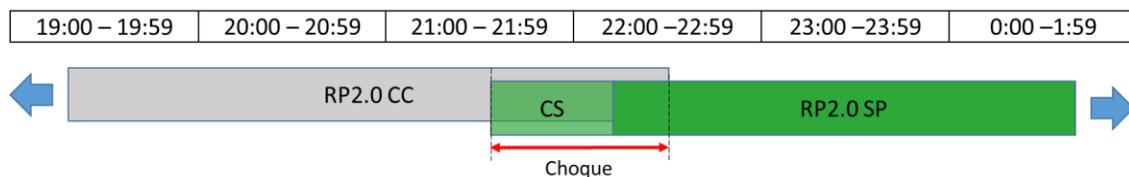


Ilustración 4: Ejemplo de superposición de lotes

La regla de decisión es acortar los lotes intersectados, manteniendo el inicio y dejando como nuevo fin, el comienzo del lote siguiente.

<sup>6</sup> Ver cálculo de atributos claves.

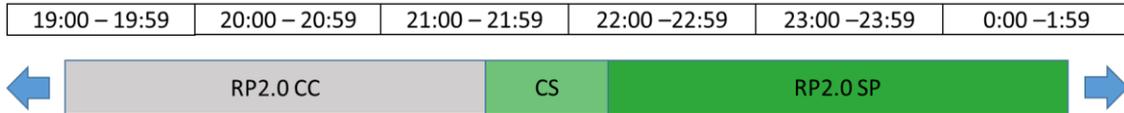


Ilustración 5: Ajuste por superposición de lotes

- Calcular si existe retraso en la línea correspondiente y revisar si cada lote en producción requiere ser alargado o acortado.

Para poder determinar si una línea presenta retraso según la planificación, se define la variable *retraso* según la situación del lote en producción:

- Si no presenta avance notificado: La variable *retraso* corresponde al tiempo transcurrido desde el inicio planificado hasta la hora actual.

$$retraso = hora\ actual - inicio\ planificado$$

- Si presenta avance notificado: Se define *retraso* como el tiempo necesario de producción para igualar la cantidad esperada (según plan) a la hora de la última notificación.

$$retraso$$

$$= inicio\ planificado - inicio\ ajustado + \frac{\min(tamaño\ lote, vp * (hun - inicio\ ajustado))}{vp}$$

En caso de que el lote se encuentre adelantado, *retraso* presenta valor negativo.

Los lotes en producción son ajustados proporcionalmente a su retraso, es decir, se alargan si  $retraso > 0$  y se acortan si  $retraso < 0$ . En caso de que el lote corresponda a un SKU retornable, se acorta también según el envase faltante.

La variable *retraso* es calculada nuevamente si el primer lote en cola de la línea debiese haber comenzado.

$$retraso = hora\ actual - inicio\ planificado$$

- Revisar para cada lote en cola si debe ser desplazado.

Si una línea de producción presenta retraso, es necesario determinar si los lotes en cola requieren ser desplazados. Para esto se realiza lo siguiente:

- Definir  $delta_1 = \max(0, fin_p - inicio_1)$ , donde  $fin_p$  corresponde al fin estimado del lote en producción e  $inicio_1$  al inicio planificado del primer lote en cola.
- Para cada uno de los siguientes lotes en cola, definir de forma iterativa  $delta_i = \min(delta_{i-1}, \max(0, fin_{i-1} - inicio_i))$ , donde  $fin_{i-1}$  corresponde al fin planificado del lote en el lugar  $i - 1$  de la cola de

producción e  $inicio_i$  al inicio planificado del lote en el lugar  $i$ , y desplazarlo en  $delta$ .

- c. Desplazar en  $delta_i$  cada lote en el lugar  $i$  de la cola de producción.

Por lo tanto, se iguala el inicio planificado del primer lote en cola con el fin estimado del lote en producción cuando existe intersección entre ellos. Los siguientes lotes en cola son desplazados sólo si los intervalos sin producción entre los lotes no alcanzan a absorber el desplazamiento.

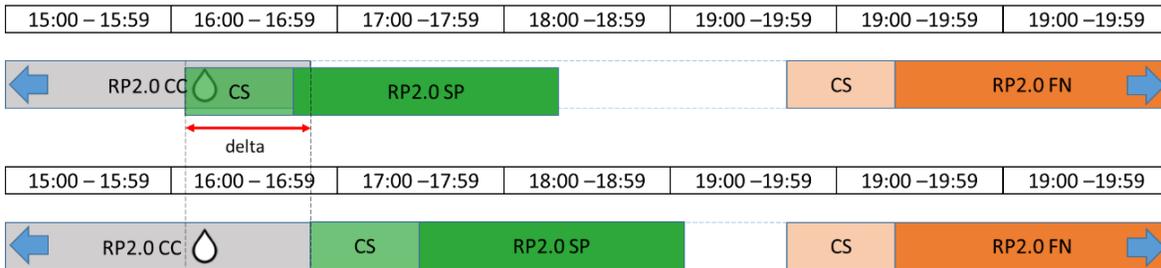


Ilustración 6: Ejemplo de desplazamiento de lotes en cola.

7. Estimar envase vacío faltante para cada lote retornable que no haya sido finalizado.

El stock de envase es descontado de forma iterativa, restando al stock de cada SKU la cantidad faltante por producir según el orden cronológico de producción:

$$\begin{aligned}
 stock_i[SKU_i] &= \max(stock_{i-1}[SKU_i], stock_{i-1}[SKU_i] \\
 &\quad - (tamaño_i - notificado_i))
 \end{aligned}$$

Donde  $tamaño_i$ ,  $notificado_i$  y  $SKU_i$  corresponden al tamaño, cantidad notificada y SKU del lote en lugar  $i$  de producción y  $stock_i[j]$  al stock de envase vacío para el producto  $j$  en la iteración  $i$  ( $stock_0$  es el vector de envase vacío inicial en planta). Si las notificaciones superan el tamaño planificado del lote, el stock no varía.

Luego se determina el envase vacío faltante de cada lote. Si  $stock_i[SKU_i] \geq 0$ , se proyecta suficiente envase para su producción. Caso contrario el envase faltante se calcula como:

$$faltante_i = \min(tamaño_i - notificado_i, -1 * stock_i[SKU_i])$$

Si durante la iteración el lote es identificado como el primero de la línea con envase insuficiente, se estima la fecha y hora que ocurre el quiebre de stock y se

genera la alerta respectiva. Si este lote se encuentra en producción, es acortado hasta el máximo entre el instante de quiebre y la hora actual.

8. Transformar la información a lenguaje HTML.

La información resultante es utilizada para confeccionar la página en lenguaje HTML. Se diagraman las tablas de la interfaz dinámica y de alertas, y se elabora una matriz con el detalle de cada lote para que sea utilizada por las funciones Javascript que interactúan con el usuario.

9. Enviar resultado a cliente.

Se envía la página web resultante en código HTML para que sea interpretada por el navegador del cliente.

A continuación se presenta un diagrama que representa el proceso de construcción:

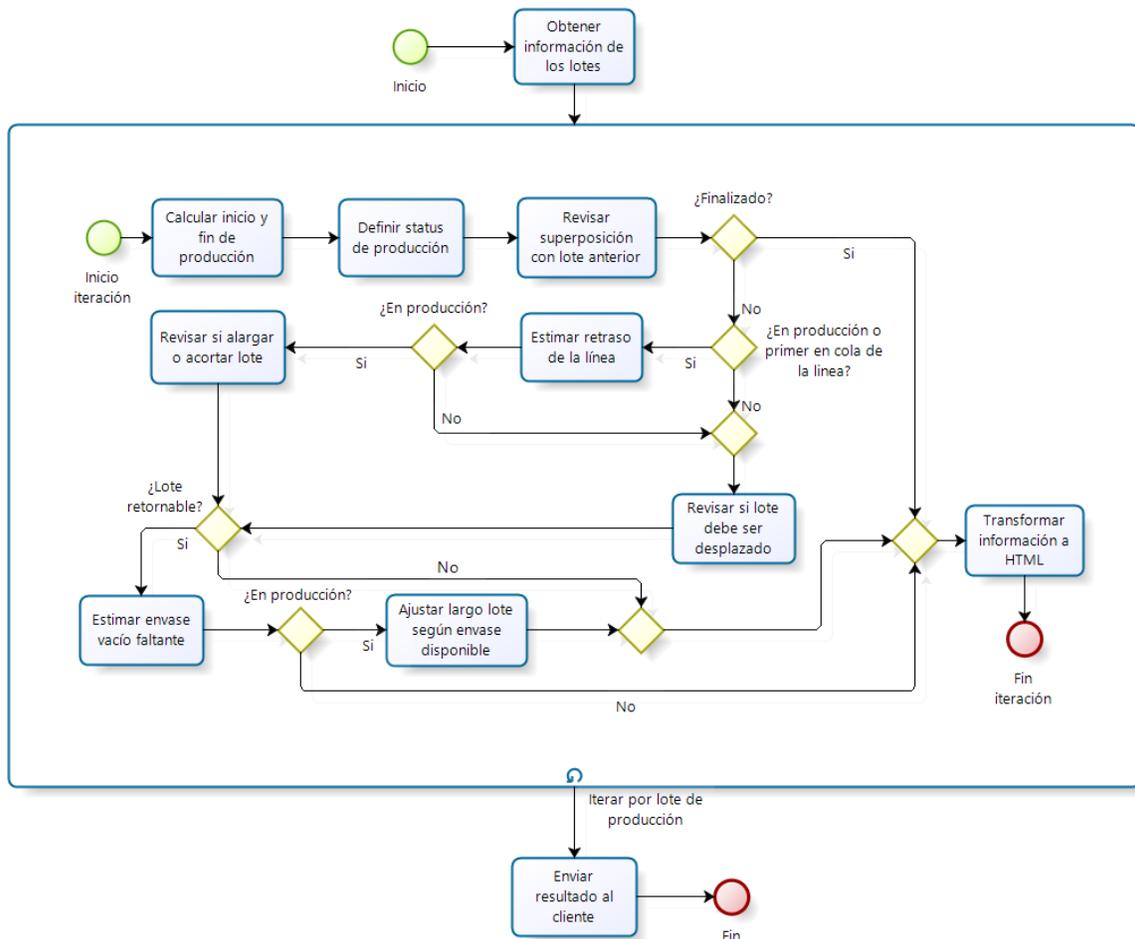


Ilustración 7: Proceso de construcción de la interfaz dinámica del plan de producción

#### 5.3.4. Proceso de proyección detenciones de línea por falta de envase vacío

La lógica detrás que permite estimar las detenciones de línea por falta de envase vacío, es similar a la utilizada en la construcción de la interfaz dinámica. En efecto, el proceso comienza con el ingreso del usuario a este módulo específico de la web, gatillando los siguientes pasos:

1. Consultar a la base de datos de TBP Online la información de los lotes de producción<sup>7</sup>.

Los siguientes pasos (2 al 6) se itera por lote de producción según el orden de la consulta de la base de datos.

2. Calcular los tiempos de inicio y fin de producción<sup>7</sup>.
3. Determinar el status de producción de cada lote (finalizado, en producción o en cola)<sup>7</sup>.
4. Calcular si existe retraso en la línea correspondiente<sup>7</sup>.
5. Estimar envase vacío faltante para cada lote retornable que no haya sido finalizado<sup>7</sup>.

Descartar si lote se encuentra finalizado o no sea retornable, debido a que no genera una futura detención ni requiere envase vacío.

6. Revisar si se genera detención en la línea respectiva y estimar instante en que sucederá (*quiebre*) y tiempo faltante para que ocurra (*tf*).

Se estima el tiempo de producción del envase vacío disponible (menor a tamaño del lote). Posteriormente se suma este tiempo de producción al instante de la última notificación del lote para obtener el instante en que ocurrirá el quiebre de stock y por lo tanto, la detención en la línea.

$$quiebre_i = instante\ última\ notificación + \frac{tamaño_i - faltante_i}{velocidad\ de\ producción}$$
$$tf_i = hora\ actual - instante\ quiebre_i$$

7. Ordenar las detenciones de líneas proyectadas según menor *tf*.

Se obtiene el lugar de cada detención según menor *tf*, dato utilizado para confeccionar la lista mostrada en la página web.

8. Transformar la información a lenguaje HTML.

Se confecciona la página web que contiene la lista de detenciones ordenada por tiempo de ocurrencia.

---

<sup>7</sup> Utilizando el mismo criterio definido en el proceso de construcción de la interfaz dinámica.

## 9. Enviar resultado al cliente.

Se envía la página web resultante en código HTML para que sea interpretada por el navegador del cliente.

A continuación se presenta un diagrama que refleja el proceso descrito:

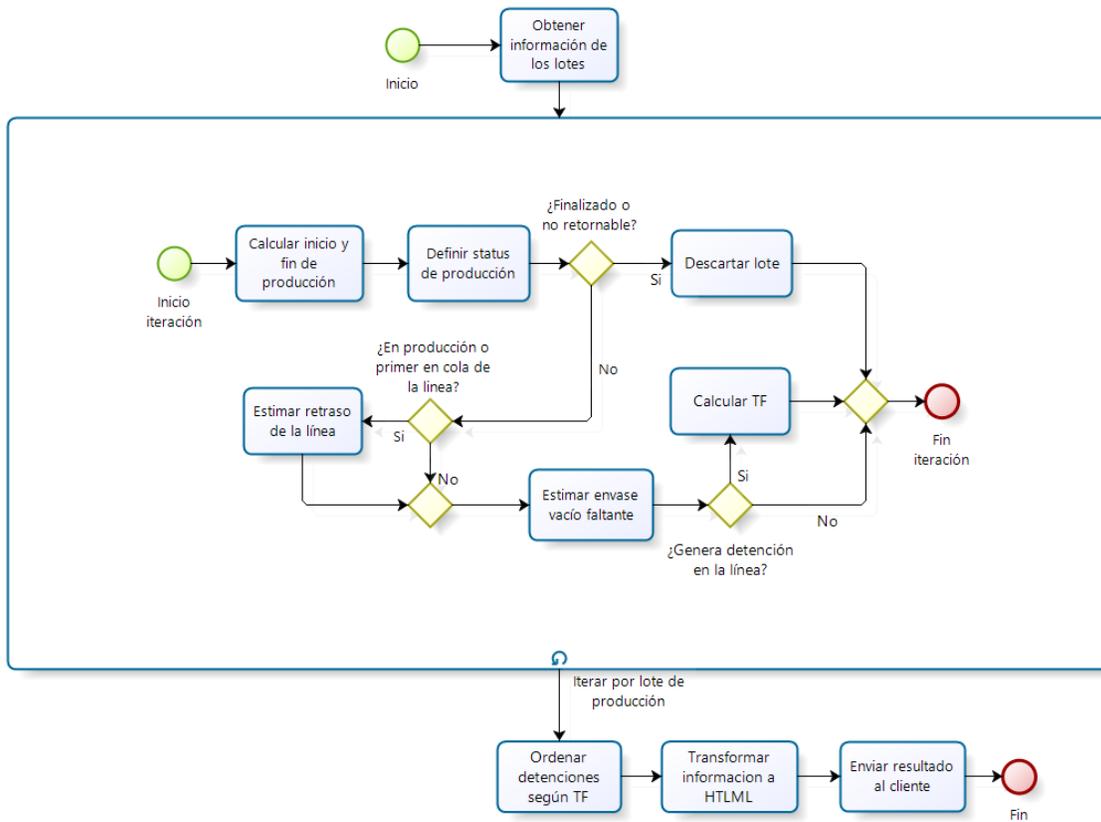


Ilustración 8: Proceso de proyección de detenciones de líneas por envase vacío

### 5.3.5. Proceso de proyección detenciones de línea por falta insumo crítico

La lógica para determinar las detenciones de línea por falta de insumo crítico es muy similar a la de las detenciones por falta de envase vacío. El proceso comienza con el ingreso del usuario a este módulo del sistema web, gatillando los siguientes pasos:

1. Consultar a la base de datos de TBP Online la información de los lotes de producción<sup>7</sup>.

Los siguientes pasos (2 al 6) se itera por lote de producción según el orden de la consulta de la base de datos.

2. Calcular los tiempos de inicio y fin de producción<sup>7</sup>.

3. Determinar el status de producción de cada lote (finalizado, en producción o en cola)<sup>7</sup>.
4. Calcular si existe retraso en la línea correspondiente<sup>7</sup>.
5. Estimar stock faltante para cada uno de los 4 insumos críticos para cada lote que no haya sido finalizado<sup>7</sup>.

Descartar si lote se encuentra finalizado, debido a que no genera una futura detención ni requiere insumo.

6. Revisar si se genera detención por falta de insumo en la línea respectiva y estimar instante en que sucederá (*quiebre*) y tiempo faltante para que ocurra (*tf*).

Se estima el tiempo de producción del insumo disponible (menor a tamaño del lote). Posteriormente se suma este tiempo de producción al instante de la última notificación del lote para obtener el instante en que ocurrirá el quiebre de stock y por lo tanto, la detención en la línea.

$$quiebre_i = instante \text{ última notificación} + \frac{tamaño_i - faltante_i}{velocidad \text{ de producción}}$$

$$tf_i = hora \text{ actual} - instante \text{ quiebre}_i$$

7. Ordenar las detenciones de líneas proyectadas según menor *tf*.

Se obtiene el lugar de cada detención según menor *tf*, dato utilizado para confeccionar la lista mostrada en la página web.

8. Transformar la información a lenguaje HTML.

Se confecciona la página web que contiene la lista de detenciones ordenada por tiempo de ocurrencia.

9. Enviar resultado al cliente.

Se envía la página web resultante en código HTML para que sea interpretada por el navegador del cliente.

A continuación se presenta un diagrama que refleja el proceso descrito:

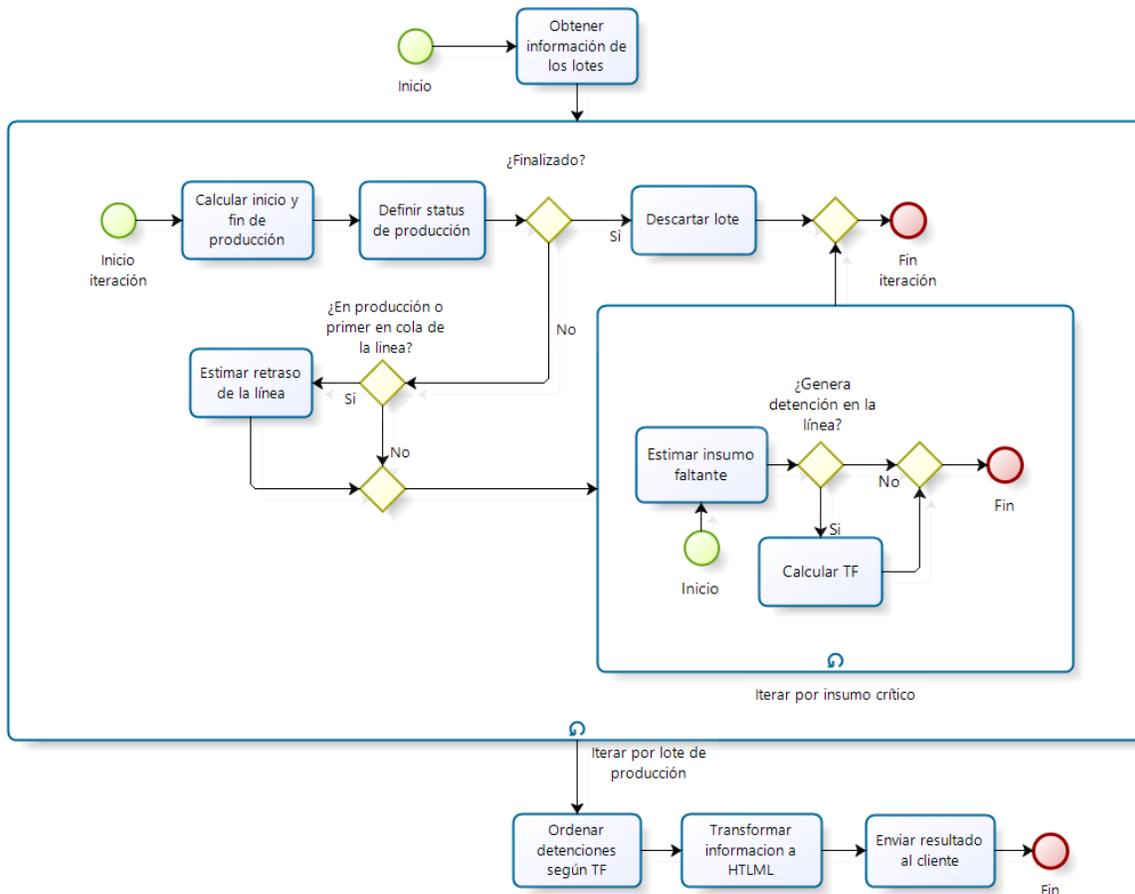


Ilustración 9: Proceso de proyección de detenciones de líneas por insumos críticos

### 5.3.6. Proceso de generación del plan de acarreo

A diferencia de las otras 2 funcionalidades de TBP Online, el proceso de generación del plan de acarreo no es gatillado de forma automática tras el ingreso del usuario a la página web, sino que requiere de la confirmación del usuario, debido a que:

- El usuario debe definir previamente la capacidad de acarreo, es decir, la cantidad de camiones disponibles por centro de distribución.
- No agrega mucho valor generar planes de acarreo varias veces en una hora si la variación del plan de producción y stock de envase vacío en general se actualiza pocas veces en el día.

Previo a la ejecución del proceso, la página web muestra el último plan generado y a la derecha, un formulario que permite establecer la capacidad de acarreo por centro de distribución, junto con un botón “Ejecutar” que da inicio al proceso de generación del plan de acarreo.

El plan de acarreo es generado por un modelo de programación lineal (modelo de acarreo)<sup>8</sup>, que requiere de los siguientes inputs:

1. Demanda de envase: Requerimiento de envase según el plan de producción.
2. Stock de envase vacío inicial y retorno de envase: Cantidad de envase vacío para cada SKU en cada centro de distribución y un parámetro que indica el instante del día que ocurre el retorno de envase retornable.
3. Cantidad de camiones por centro: Camiones disponibles por día para cada centro de distribución.

Estos inputs son calculados previamente a la ejecución del modelo de acarreo, utilizando la información disponible en la base de datos de TBP Online y la definida por el usuario en el formulario de la página web.

Por lo tanto, el proceso de generación del plan de acarreo se inicia cuando el usuario pulsa el botón “Ejecutar”, gatillando los siguientes pasos:

1. Definir periodos para el horizonte de planificación y matrices auxiliares.

El horizonte de planificación para el problema de acarreo de envase se ha establecido en 2 días, los cuales son discretizados en periodos de 4 horas. Los inputs del modelo de acarreo son calculados a partir de esta definición.

Se inicializan matrices auxiliares para demanda de envase vacío y envase por cubrir, con valor 0 para todos sus elementos.

2. Consultar a la base de datos de TBP Online la información de los lotes de producción<sup>9</sup>.

Los siguientes pasos (3 al 7) se itera por lote de producción según el orden de la consulta de la base de datos.

3. Calcular los tiempos de inicio y fin de producción<sup>9</sup>.
4. Determinar el status de producción de cada lote (finalizado, en producción o en cola)<sup>9</sup>.

Descartar si lote se encuentra finalizado o no sea retornable, debido a que no genera demanda de envase.

5. Calcular si existe retraso en la línea correspondiente<sup>9</sup>.
6. Estimar envase vacío faltante para cada lote retornable que no haya sido finalizado<sup>7</sup>.

---

<sup>8</sup> Ver modelo de acarreo.

<sup>9</sup> Utilizando el mismo criterio definido en el proceso de construcción de la interfaz dinámica.

En caso de presentar envase vacío faltante, este se discretiza por periodo y se guarda en la matriz envase por cubrir.

7. Actualizar demanda de envase para periodos correspondientes.

Dado el inicio y fin de producción del lote, la cantidad de envase por llenar del lote es discretizada para cada período y sumada a la matriz demanda de envase.

8. Generar input stock de envase por centro y retorno.

El stock de envase por centro de cada SKU es obtenido de forma directa desde la base de datos de TBP Online. Se determinan los periodos del horizonte de planificación en los cuales ocurre retorno de envase. La información se guarda en un archivo CSV para que sea leída por el modelo de acarreo.

9. Generar input demanda de envase vacío.

Se obtiene de forma directa de la matriz auxiliar demanda de envase. Esta información es almacenada en un archivo CSV para que sea leída por el modelo de acarreo.

10. Generar input camiones por centro.

Se obtiene a partir de los datos ingresados por el usuario en el formulario de la página web. La información es guardada en un archivo CSV para que sea leída por el modelo e acarreo.

11. Ejecutar modelo.

Se leen los inputs y se ejecuta el modelo de programación lineal. Una vez finalizado los resultados son guardados en un archivo CSV para que sea leído por el servidor web.

12. Guardar resultados en la base de datos.

Se leen los resultados del modelo de acarreo y se copian a la base de datos de TBP Online.

13. Transformar plan de acarreo a lenguaje HTML.

14. Enviar resultado al cliente.

A continuación se presenta un diagrama que representa el proceso de generación del plan de acarreo:

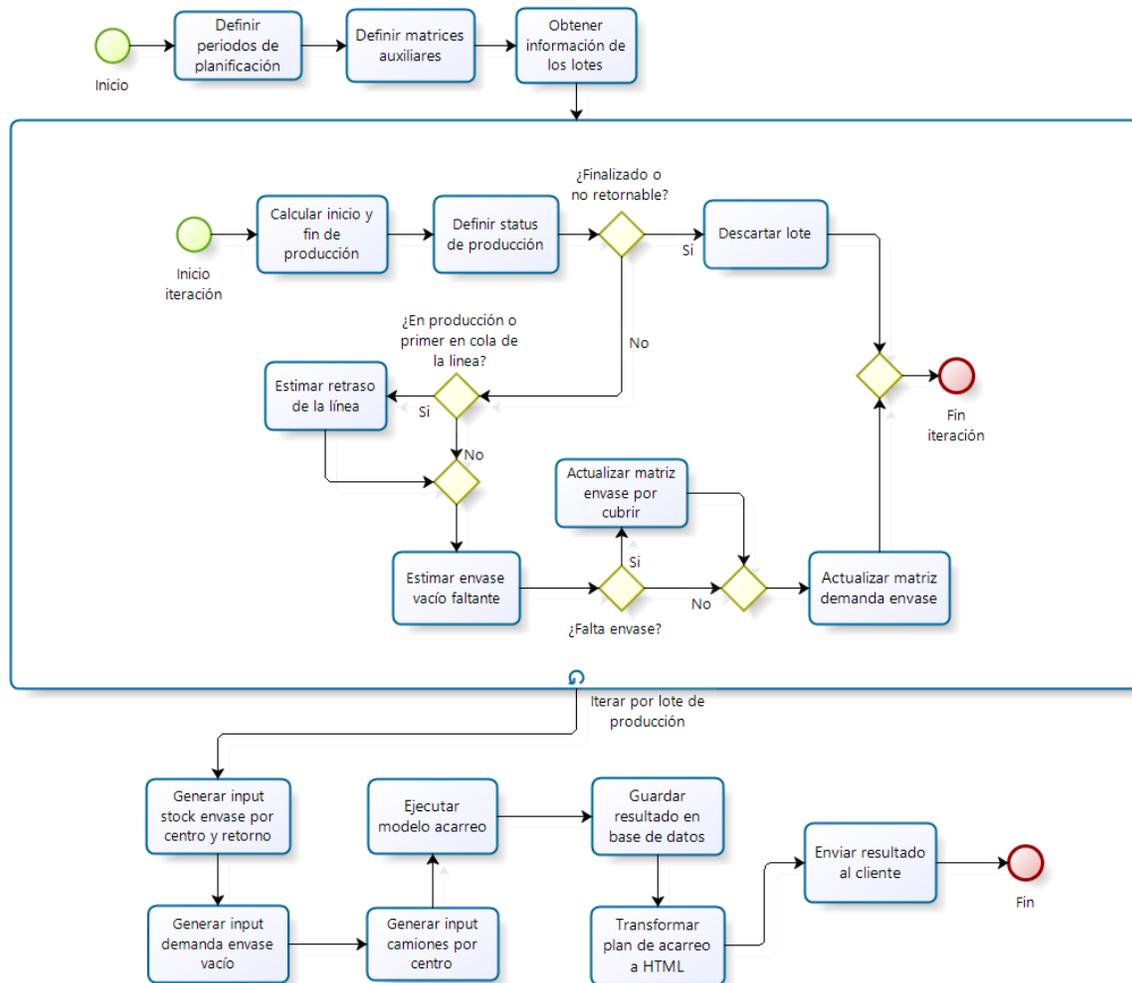


Ilustración 10: Proceso de generación del plan de acarreo de envase

## 6. Modelo acarreo de envase

Se ha desarrollado un modelo basado en programación lineal, que genera un plan de acarreo de envase vacío, es decir, determina cuánto envase traer de cada SKU desde cada centro y en qué momento, con el objetivo principal de:

- Minimizar los quiebres de envase vacío: Intentar cumplir el plan de producción y evitar las paradas por envase en las líneas.

Y con objetivos secundarios:

- Mantener un nivel de stock objetivo en la planta Renca de 78% de su capacidad: Definido como punto óptimo para el manejo de envase según el jefe de acarreo de planta Renca.

- Balancear los niveles de stock en cada centro: Intentar pedir al centro con más envase y evitar un sobre stock de envase en algún centro.
- Disminuir la capacidad ociosa de los camiones: Si se utiliza un camión para acarrear envase, intentar utilizar el 100% de su capacidad.
- Traer la menor variedad de envase: La idea es generar un plan conciso, acarrear cada SKU en la menor cantidad de periodos posibles.

Se ha definido un horizonte de planificación de 2 días, apuntando a que el problema sea fácil de resolver, con tiempos de resolución bajos permitiendo su ejecución varias veces al día, para poder ajustar el plan de acarreo con las variaciones del plan de producción.

Este horizonte se ha discretizado en periodos de 4 horas, y deben ser definidos de acuerdo a los siguientes intervalos posibles, con el fin de coincidir con los turnos de trabajo de los operarios, permitiendo realizar a lo más 2 pedidos de envase por turno de trabajo:

Inicio	Fin
03:00	06:59
07:00	10:59
11:00	14:59
15:00	18:59
19:00	22:59
23:00	02:59

Tabla 6: Intervalos posibles para los periodos del modelo de acarreo

Los periodos del problema son construidos a partir de la hora y fecha en que se inicia su resolución ( $h^*$  y  $fecha^*$  respectivamente), definiéndose el periodo 0 de acuerdo al intervalo de la tabla anterior que contiene a  $h^*$ . Por ejemplo, si se inicia la ejecución el 1 de junio a las 1:20, entonces el periodo 0 se define desde el 31 de mayo a las 23:00 hasta el 1 de junio a las 2:59, el periodo 1 desde el 1 de junio a las 03:00 hasta el 1 de junio a las 6:59 y así sucesivamente.

De forma general, se definen los periodos del problema como se detalla a continuación:

$h^*$  = hora del día en que se inicia la ejecución

$fecha^*$  = día, mes y año en que se inicia la ejecución

Si  $h^* < 2$ :

$$h_0 = 3 + 4 * \left\lceil \frac{h^* - 3}{4} \right\rceil$$

$$fecha_0 = fecha^*$$

Si no:

$$h_0 = 23$$
$$fecha_0 = fecha^* - 1 \text{ día}$$

De esta forma se define:

$$h_i = h_0 + 4 * i - 24 * \left\lfloor \frac{4 * i}{24} \right\rfloor$$
$$fecha_i = fecha_0 + \left\lfloor \frac{h_0 + 4 * i}{24} \right\rfloor \text{ días}$$

Y los intervalos se establecen como:

$$P_i = [h_i \text{ fecha}_i, h_{i+1} \text{ fecha}_{i+1})$$

Donde:

$$h_i = \text{hora del día en que inicia el periodo } i$$
$$fecha_i = \text{dia, mes y año en que inicia el periodo } i$$

Debido a que los centros de distribución tienen distinta proximidad con la planta Renca y los tiempos de viaje varían durante el día, se ha establecido como 1 periodo el tiempo necesario que debe transcurrir desde que se despacha envase desde un centro hasta que se encuentra disponible para su llenado en planta Renca (leadtime).

Como el acarreo de envase se realiza de forma continua durante el día, no es posible realizar cambios inmediatamente en su planificación. Por lo tanto, se construirá un nuevo plan de acarreo a partir del periodo 1.

## 6.1. Inputs del modelo

### 6.1.1. Demanda de envase

La demanda de envase es construida a partir del plan de producción y su avance. El plan de producción es contrastado con las notificaciones de producto terminado de cada lote, determinando los tiempos de retraso o adelanto de cada línea y el status de cada lote (finalizado, en producción o en cola).

De esta forma es posible estimar cuánto envase por SKU es necesario en cada momento, el cual se discretiza por periodo de la siguiente manera:

Definir  $dda_{p,i} = 0 = \text{demanda envase vacío en periodo } p \text{ para SKU } i$ , para todos los periodos del horizonte y todos los SKU retornables.

Para cada lote de producción se determina:

$$pi = \max\left(0, \left\lfloor \frac{hil - ha}{4} \right\rfloor\right), pf = \left\lfloor \frac{hfl - ha}{4} \right\rfloor$$

Donde:

*ha* = hora que comienza periodo 0

*pi, pf* = periodo inicial y final

*hil, hfl* = hora inicio y fin lote

Si  $pi \leq periodos + 1$ , se encuentra dentro del horizonte de planificación y es necesario discretizar el envase requerido:<sup>10</sup>

Si  $pf > 0$ :

1. *envase* = tamaño del lote.
2. *delta* = envase requerido en periodo inicial =  $vp * (4 * (pi + 1) - (hil - ha))$  donde *vp* = velocidad de producción.

Se calcula como el intervalo de tiempo del periodo que el lote está en producción por la velocidad de producción de la línea.

Caso particular cuando  $pi = 0$  y  $hil < ha$ ,  $delta = vp * (4 * (pi + 1) + ha - hil)$  debido a que es necesario añadir requerimiento de envase previo al periodo 0. El stock de envase vacío en planta es ajustado a las notificaciones del lote, por lo tanto si un lote ha comenzado previo al periodo 0 y no ha sido notificado, es necesario descontar al stock lo que se llenará durante el periodo 0 y lo anterior a este.

3.  $dda_{pi,i} = dda_{pi,i} + delta$ .
4.  $envase = envase - delta$ .
5.  $p = pi + 1$ .  
Repetir si  $p < \min(periodos + 1, pf)$   
 $dda_{p,i} = dda_{p,i} + 4 * vp$   
 $envase = envase - 4 * vp$   
 $p = p + 1$
6. Si  $pf \leq periodos + 1$ , entonces lote termina en horizonte de planificación y sólo se debe sumar a la demanda el envase residual  $dda_{pf,i} = dda_{pf,i} + envase$ .  
Si no, lote termina posterior al horizonte  $dda_{pf,i} = dda_{pf,i} + 4 * vp$ .

Si no, Si  $pf = 0$ ,  $dda_{pf,i} = dda_{pf,i} + envase$

Si no, continuar con siguiente lote.

---

<sup>10</sup> Total de periodos igual a 12, debido a que el horizonte de planificación es de 2 días, dividido en periodos de 4 horas. Se añade uno debido a que el pedido del periodo 12 llega a planta Renca en periodo 13 por tiempo de traslado.

Finalmente la matriz demanda es impresa en un archivo delimitado por comas (CSV), para ser leído por el modelo.

### 6.1.2. Stock de envases inicial y retorno de envase

El stock de envase vacío para cada centro de distribución y la planta Renca es rescatado directamente de la base de datos de la empresa. Al stock de la planta de producción se le descuenta la demanda calculada para el periodo 0 y en caso de que la resta sea negativa se iguala a 0, con el fin de incorporar el caso particular explicado en el punto anterior (lote que comienza antes del periodo 0 y no ha sido notificado). Luego es guardado en un archivo CSV.

El retorno de envase se ha definido a las 11:00 de cada día. Siguiendo la lógica de los periodos, se define el parámetro  $r_i = 1$  cuando ocurre retorno de envase en el periodo  $i$  equivalente a las 11:00 de ese día y 0 en caso contrario. Este parámetro se calcula de la siguiente forma:

Repetir si  $i \leq periodos$

1.  $delta = ha + 4 * i$
2. Si  $delta - 24 * \left\lfloor \frac{delta}{24} \right\rfloor = 11$ ,  $r_i = 1$   
Si no,  $r_i = 0$
3.  $i = i + 1$

Finalmente el parámetro retorno por cada período es guardado en un archivo CSV.

### 6.1.3. Cantidad de camiones por centro

El número de camiones disponibles por centro es ingresado por el usuario a través de la página web. Además se establecen los centros que trabajan en turno noche. Los camiones deben ser distribuidos de la forma más equitativa entre los turnos disponibles, para así evitar una sobre carga excesiva en un periodo en particular. Por lo tanto se establece el máximo de camiones por periodo  $i$  y centro  $c$  ( $mc_i$ ) de la siguiente forma:

Para cada centro  $c$ :

1.  $ctn = 0$
2.  $i = 1$
3. Repetir si  $p \leq periodos$   
 $delta = ha + 4 * i$   
Si centro no tiene turno noche

$$\text{Si } \text{delta} - 24 * \left\lfloor \frac{\text{delta}}{24} \right\rfloor = 23 \vee \text{delta} - 24 * \left\lfloor \frac{\text{delta}}{24} \right\rfloor = 3, mc_{c,p} = 0$$

$$\text{Si no, } mcc_{c,p} = \left\lfloor \frac{\text{camiones}_c}{6-ctn} \right\rfloor$$

$$\text{Si no, } mc_{c,p} = \left\lfloor \frac{\text{camiones}_c}{6} \right\rfloor$$

$$p = p + 1$$

Luego el máximo de camiones por centro y periodo es guardado en un archivo CSV.

## 6.2. Variables de decisión

1.  $acarreo_{c,i,p} =$   
*Envase vacío del SKU i acarreado desde centro c en el comienzo del periodo p*
2.  $cp_{c,p} =$  *Camiones usados por el centro c en el periodo p*
3.  $cpmax_{c,p} =$   
 $\begin{cases} 1, & \text{si periodo p utiliza el máximo de camiones disponibles para ese periodo} \\ 0, & \sim \end{cases}$
4.  $stock_{c,i,p} =$   
*Stock de envase vacío en el centro c del SKU i al final del periodo p*
5.  $umax_p =$   
*% de utilización máximo de los centros de distribución en el periodo p*
6.  $ca_{c,i,p} =$   
*Variable asociada al costo por cantidad acarreada desde centro c del SKU i en el periodo p*
7.  $pedido_{c,i,p} = \begin{cases} 1, & \text{si se acarrea desde centro c envase de SKU i en periodo p} \\ 0, & \sim \end{cases}$
8.  $vhe_i =$  *Variable de holgura para envase vacío faltante del SKU i*
9.  $vhu_p =$   
*Variable de holgura por incumplimiento de % utilización en planta Renca en periodo p*

Se ha incorporado una variable de holgura para envase vacío faltante ya que puede ocurrir que no sea posible realizar el acarreo a tiempo por falta de camiones. Si el plan requiere de más envase que el proyectado en los centros, se ha definido el parámetro  $vhe_i$  para cubrir esta situación. En el siguiente punto se explica con mayor detalle.

También se incluyó una variable de holgura por incumplimiento de % de utilización en Renca, debido a que podría suceder que no es posible mantener el nivel de stock objetivo ya sea por falta de camiones para acarrear envase o falta de envase en los centros.

El % de utilización para un centro  $i$  corresponde a  $\frac{\sum_{j \in PR} Stock\ envase_{i,j}}{Capacidad_i}$ , con  $PR$  el conjunto de SKU retornables.

### 6.3. Parámetros

1.  $stock_{c,i,0}$  = Stock inicial en centro  $c$  de envase vacío de SKU  $i$   
Se lee desde los inputs del modelo.
2.  $dda_{i,p}$  = Demanda de envase vacío de SKU  $i$  durante el periodo  $p$   
Se lee desde los inputs del modelo.
3.  $rp_p = \begin{cases} 1, & \text{si ocurre retorno de envase en el periodo } p \\ 0, & \sim \end{cases}$   
Se lee desde los inputs del modelo.
4.  $retorno_{c,i}$  = Cantidad de envase vacío que retorna en centro  $c$  del SKU  $i$   
Se estima de la misma forma que la empresa realiza.
5.  $camiones_c$  = Total de camiones disponibles para centro  $c$   
Se lee desde los inputs del modelo.
6.  $mc_{c,p}$  = Máximo de camiones disponibles para centro  $c$  en periodo  $p$   
Se lee desde los inputs del modelo.
7.  $npmax_c =$   
*Máximo número de periodos que utilizan el máximo de camiones disponible*  
  
Este parámetro tiene el objetivo resolver cómo distribuir de forma equitativa la capacidad de acarreo (camiones máximos por periodo) cuando el total de camiones no es divisible por los 6 periodos de un día.  
  
Por ejemplo, cómo distribuir 9 camiones durante el día. Para esta situación  $mc_{c,p} = 2$  y lo ideal sería tener 3 periodos con 1 camión y 3 con 2 camiones máximos para repartir equitativamente la capacidad, por lo tanto  $npmax_c = 2$ . De forma general, es posible saber cuántos periodos pueden ser iguales a  $mc_{c,p}$  cuando se tienen  $camiones_c$  por repartir:  
$$npmax_c = 6 - \left( 6 * \left\lceil \frac{camiones_c}{6} \right\rceil - camiones_c \right)$$
8.  $stockobj$  = % de utilización objetivo para planta Renca
9.  $fv_i$  = Factor asociado a las ventas del SKU  $i$

Este parámetro es utilizado para ponderar la curva de costos por acarreo que se explica en el siguiente punto, con el fin de hacer más atractivo los productos más vendidos y a su vez, menos convenientes los con ventas menores. Su valor se calcula de la siguiente forma:

$$iv_i = \begin{cases} \frac{\sum_i \text{venta}_i}{\text{venta}_i}, & \text{venta}_i > 0 \\ -1, & \sim \end{cases}$$

$$fv_i = \begin{cases} 0,5 + 2 * \frac{iv_i - \min(iv_i)}{\max(iv_i) - \min(iv_i)}, & iv_i \neq -1 \\ 2,5, & \sim \end{cases}$$

10.  $\text{capacidad}_c = \text{Capacidad total de centro } c$
11.  $fp = \text{Factor de conversión de pallets a camiones}$
12.  $fm = \text{Número muy grande para utilizarlo en restricción 5}$
13.  $vhee_{i,p} = \text{Envase vacío faltante esperado para SKU } i \text{ en periodo } p$

Es posible estimar previo a la resolución del problema, el envase vacío faltante por insuficiente stock en los centros para cubrir el plan de producción. El motivo de realizar este cálculo antes de correr el modelo y no incluirlo a la variable de holgura  $vhe_i$ , se debe a que cuando faltaba gran cantidad de envase vacío, la función objetivo alcanzaba grandes valores y las soluciones encontradas no cumplían de buena forma los objetivos secundarios del modelo.

Entonces, al incorporar este parámetro se evita que la función objetivo aumente considerablemente su valor por falta de envase vacío en la red de distribución.

Su cálculo es realizado de la siguiente forma:

$$vhee_{i,p} = \max \left( 0, \sum_{q=1}^p dda_{i,q} - stock_{Renca,i,0} + \sum_{q=1}^p rp_q * \text{retorno}_{Renca,i} \right. \\ \left. + \sum_{\substack{c \neq Renca \\ p \geq 1}} stock_{c,i,0} + \sum_{q=1}^{p-1} rp_q * \text{retorno}_{c,i} - \sum_{q=1}^{p-1} vhee_{i,q} \right)$$

#### 6.4. Curva de costos por acarreo de SKU

Uno de los objetivos secundarios es traer la menor variedad de envase, por lo tanto se ha incorporado la siguiente función de costos asociada a la cantidad acarreada de un SKU  $i$ :

$$\text{costo}(\text{acarreo}_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } \text{acarreo}_i \leq 0 \\ fv_i * (50 + 2 * \max(0, 260 - \text{acarreo}_i)) & \text{si } \text{acarreo}_i > 0 \end{cases}$$

Al ponderar por el factor ventas  $fv_i$ , se disminuyen los costos para los SKU más vendidos y, aumentan para los menos vendidos. Entonces, si los camiones quedan con capacidad

ociosa tras incluir los productos que requieren de acarreo de envase, se incentiva a completarlos con los SKU más convenientes<sup>11</sup>.

Al graficar la función anterior, se obtiene la siguiente curva (con  $fv = 1$ ):

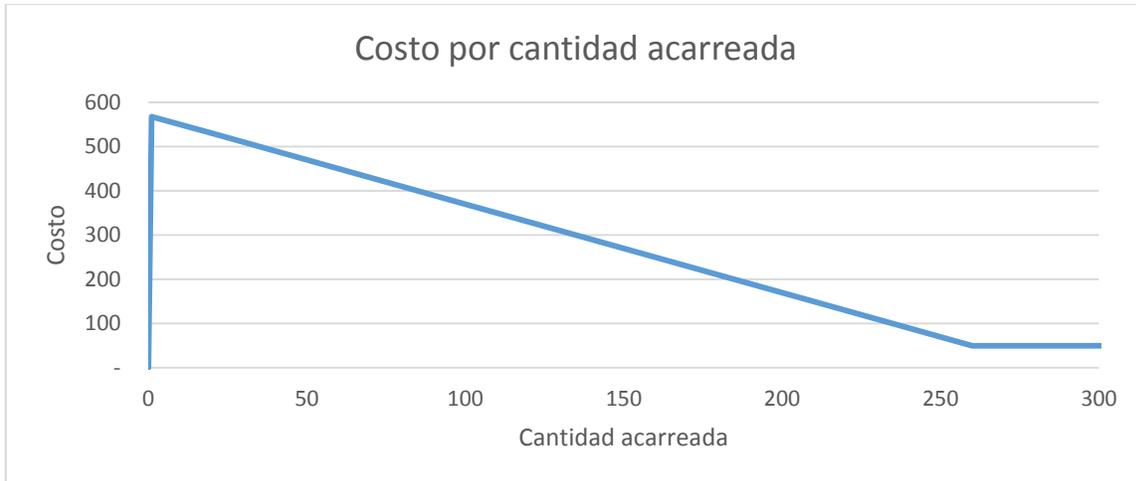


Ilustración 11: Curva de costos por cantidad de SKU acarreada

Los costos han sido determinados para que siempre sea más conveniente acarrear el SKU que permitir su quiebre y en caso de que el producto no necesite ser transportado, no genere un costo prescindir de él.

De esta forma se incentiva a que si el modelo determina que un SKU debe ser transportado, se incentive a transportar la mayor cantidad posible, evitando generar un plan con gran variedad de envase.

Esta curva es incorporada en el modelo con siguiente expresión incluida en la función objetivo:

$$260 * fv_i * (1 - pedido_{c,i,p}) + ca_{c,i,p}$$

## 6.5. Restricciones

1. Naturaleza de las variables de decisión.

$$acarreo_{c,i,p}, stock_{c,i,p}, umax_p, ca_{c,i,p}, vhe_i, vhs_p \geq 0$$

$$r_{c,p} \in \mathbb{Z}$$

$$cpmax_{c,p}, pedido_{c,i,p} \in \{0,1\}$$

<sup>11</sup> Los SKU más vendidos debiesen ser más producidos y por lo tanto, en un futuro será necesario acarrear su envase.

2. Stock de envase vacío en cada periodo.

$$\begin{aligned}
 stock_{c,i,p+1} &= stock_{c,i,p} + retorno_{c,i} * rp_c - acarreo_{c,p} \quad \forall c \neq Renca, i, p \\
 stock_{Renca,i,p+1} &= stock_{Renca,i,p} + retorno_{Renca,i} * rp_{p+1} + \sum_{c \neq Renca} acarreo_{c,i,p} \\
 &\quad - dda_{i,p+1} + vhee_{i,p+1} \quad \forall i, p \geq 1 \\
 stock_{Renca,i,1} &= stock_{Renca,i,0} + retorno_{Renca,i} * rp_1 - dda_{i,1} + vhe_i \quad \forall i
 \end{aligned}$$

Debido al leadtime de acarreo, el cálculo de stock para Renca presenta un desfase con el acarreo desde los centros. Por lo tanto, periodo 1 no presenta acarreo. La variable de holgura  $vhe_i$  es incluida en el periodo 1 con el fin de que absorba posibles quiebres de envase de todo el horizonte de planificación.

3. Cota % utilización máximo centros de distribución.

$$\sum_i \frac{stock_{c,i,p}}{capacidad_c} \leq umax_p \quad \forall c \neq Renca, p$$

La variable  $umax_p$  presenta un costo asociado en la función objetivo, por lo cual el modelo intentará disminuir el stock del centro de distribución distinto a planta Renca que presente el mayor % de utilización. En otras palabras, se intentará acarrear envase del centro más lleno.

4. Restricción para cálculo de costo por cantidad acarreada.

$$(260 - acarreo_{c,i,p}) * fv_i \leq ca_{c,i,p} \quad \forall c \neq Renca, i, p$$

Esta restricción permite calcular el costo variable por acarreo de SKU ( $ca_{c,i,p}$ ), explicado en el punto anterior.

5. Identificar periodos que desde centro c se acarrea envase.

$$\frac{acarreo_{c,i,p}}{fm} \leq pedido_{c,i,p} \quad \forall c \neq Renca, i, p$$

La variable  $pedido_{c,i,p}$  permite calcular el costo fijo por acarreo de SKU.

6. % de utilización objetivo en Renca.

$$78\% \leq \sum_i \frac{stock_{Renca,i,p}}{capacidad_{Renca}} + vhu_p \quad \forall p$$

La variable  $vhu_p$  presenta un costo asociado, por lo que se penalizará sólo en caso de que el nivel de stock en Renca sea inferior al 78% de su capacidad.

7. Camiones utilizados para acarreo por centro en cada periodo.

$$\sum_i \frac{acarreo_{c,i,p}}{fp} \leq cp_{c,p} \quad \forall c, p$$

La resta entre el lado derecho e izquierdo de la inecuación permite calcular la capacidad ociosa de los camiones por centro, la cual tiene un costo en la función objetivo.

8. Camiones disponibles por centro en cada periodo.

$$cp_{c,p} \leq mc_{c,p} \quad \forall c, p$$

9. Identificar si un periodo usa el máximo de camiones disponibles.

$$cp_{c,p} - \frac{camiones_c}{6} \leq cpmax_{c,p} \quad \forall c, p$$

10. Máximo de periodos que utilizan el máximo de camiones disponibles.

$$\sum_p cpmax_{c,p} \leq npmax_c \quad \forall c$$

11. No permitir acarreo de SKUs de muy baja rotación si no presentan demanda.

$$\sum_{c \neq Renca} \sum_{i \in BR} acarreo_{c,i,p} \leq \sum_{i \in BR} dda_{i,p} \quad \forall p$$

*BR = conjunto de SKUs de baja rotación*

Este formato en particular, es identificado como el menos conveniente por la empresa para ser acarreado, por lo que sólo se transporta si presenta demanda.

## 6.6. Función objetivo

$$\min c1 + c2 + c3 + c4 + c5$$

Donde:

1. Costo por quiebre de envase vacío:  $c1 = 4000 * \sum_i vhe_i$
2. Costo por cantidad acarreada:  $c2 = \sum_c \sum_i \sum_p 260 * fv_i * (1 - pedido_{c,i,p}) + ca_{c,i,p}$
3. Costo por % de utilización en Renca:  $c3 = 50000 * \sum_p vhu_p$
4. Costo por capacidad ociosa de los camiones:  $c4 = 50000 \sum_c \sum_p cp_{c,p} - \sum_i \frac{acarreo_{c,i,p}}{fp}$
5. Costo por % de utilización máximo en los centros:  $c5 = 1000 * \sum_p umax_p$

Los costos no presentan una unidad particular, sólo reflejan orden de importancia por la magnitud de sus valores, de acuerdo a los objetivos del modelo. Además fueron ajustados y probados, obteniendo resultados coherentes.

## 7. Implementación

### 7.1. Framework y lenguajes utilizados

Un framework permite organizar el trabajo a desarrollar, mediante la inclusión de un conjunto de buenas prácticas. En particular para la programación del sistema web se ha utilizado el framework Codeigniter, por las siguientes razones:

- Licencia gratuita.
- Permite programación por capas: Parte visual, lógica y datos se desarrolla en forma modulada, facilitando su escalabilidad en el futuro y realizar modificaciones más fácilmente.
- Gran documentación y soporte en internet: Es ampliamente usado para el desarrollo de aplicaciones web, presenta una API oficial y numerosas comunidades de soporte.
- Utiliza el lenguaje de programación PHP: Lenguaje orientado a objetos y uno de los más usados para el desarrollo de aplicaciones web (como Facebook y Google entre otros), debido a su alta velocidad de ejecución, estabilidad.

La capa de datos ha sido desarrollada bajo el lenguaje SQL, utilizando el gestor de bases de datos MySQL debido a:

- Licencia gratuita.
- Compatibilidad con el framework escogido.
- Ampliamente utilizado en el desarrollo de aplicaciones web (como Facebook, Wikipedia y Twitter) debido a su rapidez y estabilidad.

La parte visual ha sido programada en HTML y CSS, lenguaje estándar para el diseño de páginas web, y Javascript, lenguaje utilizado para dar dinamismo y funcionalidad a un sitio web compatible con todos los navegadores modernos.

TBP Online es compatible con los navegadores más populares a nivel mundial<sup>12</sup> (versiones desde el 2012 en adelante): Chrome, Internet Explorer, Firefox, Safari y Opera.

---

<sup>12</sup> Fuente: W3schools.com, web especializada en el desarrollo de sitios web. Mayor detalle en anexos.

## 7.2. Servidor web y relación con la base de datos de la empresa

Para montar el servidor web se ha utilizado un computador externo a la red de la empresa con acceso directo a internet, con el fin de que cualquier dispositivo con acceso a internet pueda acceder a la herramienta online.

La actualización de la información depende de un computador al interior de la empresa, el cual se conecta cada 15 minutos a las bases de datos de Coca-Cola Andina y comparte a través de Dropbox<sup>13</sup>.

A continuación se detalla el proceso de consulta a las bases de datos de la empresa.

### 7.2.1. Automatización de la obtención de inputs del sistema

Debido a los estándares de seguridad de la empresa, para poder obtener los inputs del sistema, es necesario estar conectado a la red interna y acceder a través del software SAP<sup>14</sup>. Como el sistema requiere de una actualización constante de estos datos, se ha programado una macro que automatiza los pasos para exportar la información y se ha configurado un computador al interior de la empresa para que la ejecute cada 15 minutos.

Se ha utilizado Dropbox como canal de comunicación entre el computador al interior de la empresa (computador 1) y el computador que almacena el servidor del sistema TBP Online (computador 2), por su simplicidad para compartir archivos y licencia gratuita.

El proceso de actualización de inputs se resume en los siguientes pasos:

1. Extracción de inputs: Inicialización de la macro en computador 1. Ingreso a SAP, obtención de la información y guardado en carpeta compartida por Dropbox.
2. Actualización de archivos: Computador 1 en pausa mientras en paralelo se descarga automática por Dropbox de los archivos en el computador 2.
3. Actualización de base TBP Online: Computador 2 ingresa a página web oculta que gatilla la actualización de la base de datos de TBP Online. Se leen los archivos compartidos por Dropbox y se copia la nueva información a la base.
4. Finalización: Cierre las aplicaciones utilizadas.

---

<sup>13</sup> Servicio de alojamiento de archivos en internet.

<sup>14</sup> Software de gestión desarrollado por la empresa alemana SAP AG, utilizado por diversas empresas en el mundo.

### 7.3. Optimizador lineal del modelo de acarreo

El modelo se implementó en Excel, utilizando el complemento Open Solver<sup>15</sup> para su resolución. Se estableció como condiciones de corte los siguientes criterios:

- Tiempo máximo de resolución 500 segundos: De acuerdo a las pruebas realizadas, tras 9 minutos de ejecución, los resultados obtenidos y el tiempo transcurrido son aceptables.
- $gap \leq 1\%$ : No es necesario encontrar la solución óptima del problema (los costos han sido determinados de forma arbitraria), basta con que sea coherente y cumpla razonablemente con los objetivos propuestos. Esta cota fue definida de forma arbitraria y permite acelerar un poco los tiempos de resolución cuando el escenario no es tan complejo.

Además se ha programado una macro que automatiza la lectura de los datos, ejecución del optimizador y el guardado de los resultados.

## 8. Resultados

### 8.1. Utilización de TBP Online

Para poder medir el uso de TBP Online por parte de la empresa se ha utilizado la herramienta Google Analytics<sup>16</sup>, la cual permite registrar el número de visitas en cada instante del día.

La herramienta web se dio a conocer durante febrero y marzo de 2014, aún en fase de desarrollo e inestabilidad en su funcionamiento. El 7 de marzo de 2014 comenzaron las mediciones de visitas al sitio web y tras 8 meses, se ha registrado lo siguiente:

---

<sup>15</sup> Open Solver es un optimizador lineal gratuito de código abierto, complemento de Microsoft Excel. Fue desarrollado por un profesor junto con sus estudiantes del departamento de Ciencias de Ingeniería de la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda. Sitio web oficial, <http://opensolver.org/>.

<sup>16</sup> Google Analytics es un servicio gratuito de estadística de sitios web desarrollado por Google Inc.

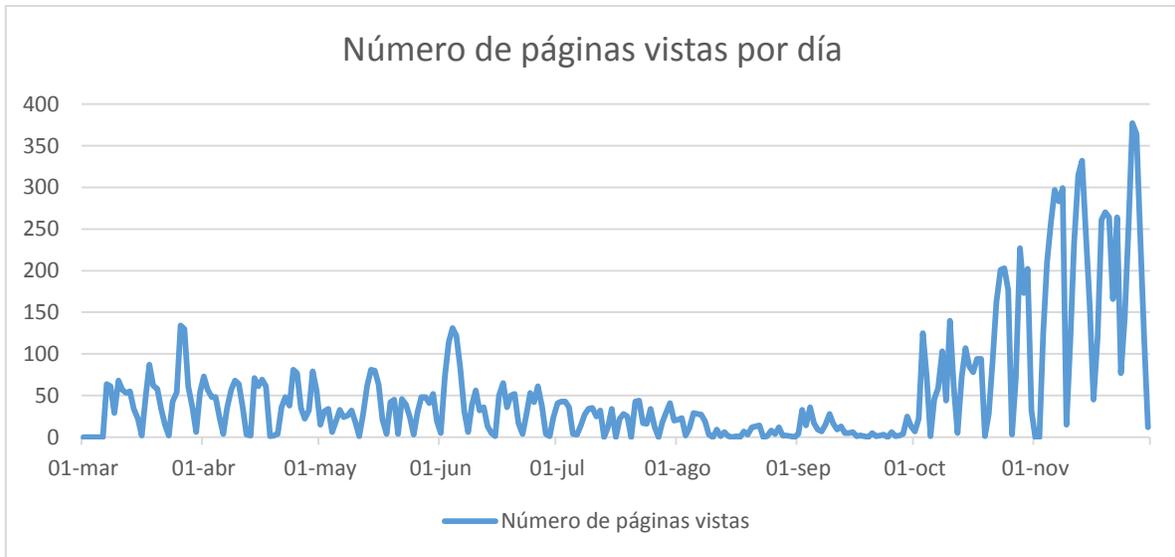


Gráfico 1: Páginas vistas por día entre marzo y noviembre 2014

Las páginas vistas por día muestran estabilidad entre marzo y junio con un promedio de 40, para luego presentar un descenso en julio. Durante los meses de agosto y septiembre la herramienta no funcionó correctamente, debido a la implementación de importantes actualizaciones en los sistemas de información de la empresa, afectando negativamente las visitas. La página web se tuvo que adaptar y la segunda semana de octubre retomó su funcionamiento, superando el número de páginas vistas de los meses iniciales y alcanzando en noviembre un promedio de 190 páginas vistas por día.

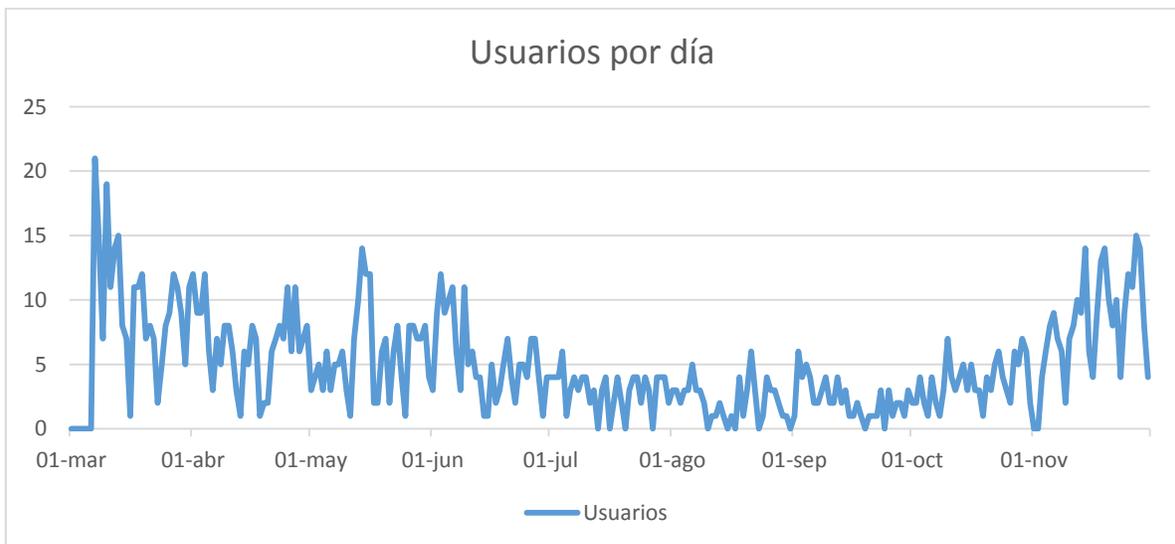


Gráfico 2: Usuarios por día entre marzo y noviembre 2014

Por su parte, los usuarios por día, presentan un explosivo aumento durante el mes de marzo, con un promedio diario mayor a 20 usuarios. Esto se explica principalmente por la novedad que generó en la empresa la implementación de un nuevo sistema de control, incentivando visitas de tan sólo un vistazo. En los meses posteriores se aprecia un descenso, estabilizándose en un promedio diario de 3 usuarios en julio. Tras la actualización de los sistemas de información de la empresa, los usuarios por día presentaron un alza, alcanzando un promedio de 4 en octubre y de 8 en noviembre.

A continuación se muestra la evolución de los usuarios por semana y mes de TBP Online entre marzo y noviembre 2014:



Gráfico 3: Usuarios por semana desde marzo hasta noviembre 2014



Gráfico 4: Usuarios por mes desde marzo hasta noviembre 2014

Desde julio hasta septiembre se obtuvo un promedio de 9 visitantes diferentes por semana y cerca de 16 durante cada mes. En octubre y noviembre es posible apreciar un gran aumento, alcanzando 59 usuarios diferentes por mes, con un promedio de 22 por semana.

En particular, se ha podido determinar los siguientes usuarios del sistema web:

- Sala de control: Unidad de control de producción conformada por 3 técnicos que realizan seguimiento 24 horas del cumplimiento del plan en cada una de las líneas de producción de la planta Renca. La herramienta online les permite detectar fácilmente posibles errores o retrasos en las notificaciones de avance, pudiendo tomar medidas correctivas en un tiempo oportuno, como realizar ajustes en las cantidades notificadas o solicitar actualizaciones de las notificaciones a los operarios de las líneas (su deber es notificar cada 1 hora de producción). Además, como la herramienta también muestra los requerimientos de envase, les facilita la coordinación con el área de acarreo, poniendo énfasis a los lotes más próximos a generar detenciones de líneas.
- Planificador de producción: Es el responsable de planificar la producción, evitando el quiebre de stock de cada SKU con un plan eficiente para cada línea productiva. La página le permite saber el cumplimiento del plan en cada momento, informando en segundos el status de cada línea de la planta, destacando los riesgos de detención de línea por envase e insumos principales.
- Área de acarreo: Encargados de transportar el producto terminado a los centros de distribución y de abastecer a la planta productiva de envase vacío. TBP Online les permite ver el requerimiento de envase actualizado, en conjunto con el stock de envase en cada centro de distribución, además de un plan tentativo de acarreo.
- Planificador de insumos: Su deber es asegurar la disponibilidad de insumos para la producción. Sin embargo, debido a incumplimientos de proveedores, aumento en ventas de SKUs particulares o retrasos en aprobaciones de nuevos diseños (como por ejemplo rediseño de etiquetas), puede ocurrir que no se dispongan de todos los insumos para producción. Para el planificador de insumos, la herramienta online le permite detectar anticipadamente cada día la falta de los insumos más críticos (tapas, proformas, concentrado y etiquetas), según las fechas y horas de llenado del plan de producción.

## 8.2. Impactos en el cumplimiento del plan

El plan de producción es diseñado para evitar los quiebres de stock de cada SKU de la embotelladora, utilizando los recursos de producción de forma eficiente. Su incumplimiento implica aumentar el número de cambios de formato y sabor dentro de

una línea de producción, impactando negativamente las eficiencias de producción, debido a que se destina más tiempo para ajustes y menos para el embotellado de productos.

Para poder determinar si la herramienta de seguimiento ha generado impactos en el cumplimiento del plan de producción durante su funcionamiento, se ha considerado lo siguiente:

- Se ha definido como horizonte de análisis, el intervalo entre marzo y noviembre, etapa de funcionamiento de la herramienta durante el 2014 (exceptuando desde la tercera semana de agosto hasta la primera semana de octubre, periodo que no funcionó el sistema por cambios en las bases de datos de la empresa), y será comparado con los resultados del mismo periodo del año 2013.
- Se han utilizado 2 criterios para analizar el cumplimiento del plan, los cuales se detallan a continuación.

#### 8.2.1. Criterio de cumplimiento “desviación del plan”

Cuando un lote de producción presenta más botellas llenadas que según su planificación, esto genera retrasos y menor stock disponible de insumos (preformas, concentrado, tapas o etiquetas) en los lotes posteriores. Caso contrario, cuando un lote presenta menos botellas llenadas que lo planificado (debido a falta de algún insumo o envase), genera adelantos de producción, obligando a pasar al siguiente lote, obligando realizar cambios de formato y sabor de forma anticipada, disminuyendo los tiempos de holgura para el acarreo de envase vacío (caso SKU retornable), preparación de la bebida o llegada de algún insumo con bajo stock.

Por lo tanto, se calculará la desviación del plan con la siguiente fórmula, permitiendo reflejar tanto el exceso de producción, como el déficit de llenado:

$$desviación = \left| 1 - \frac{llenado}{planificado} \right|$$

A continuación se muestra una comparación de la desviación del plan de producción entre los meses marzo y noviembre de los años 2013 y 2014:

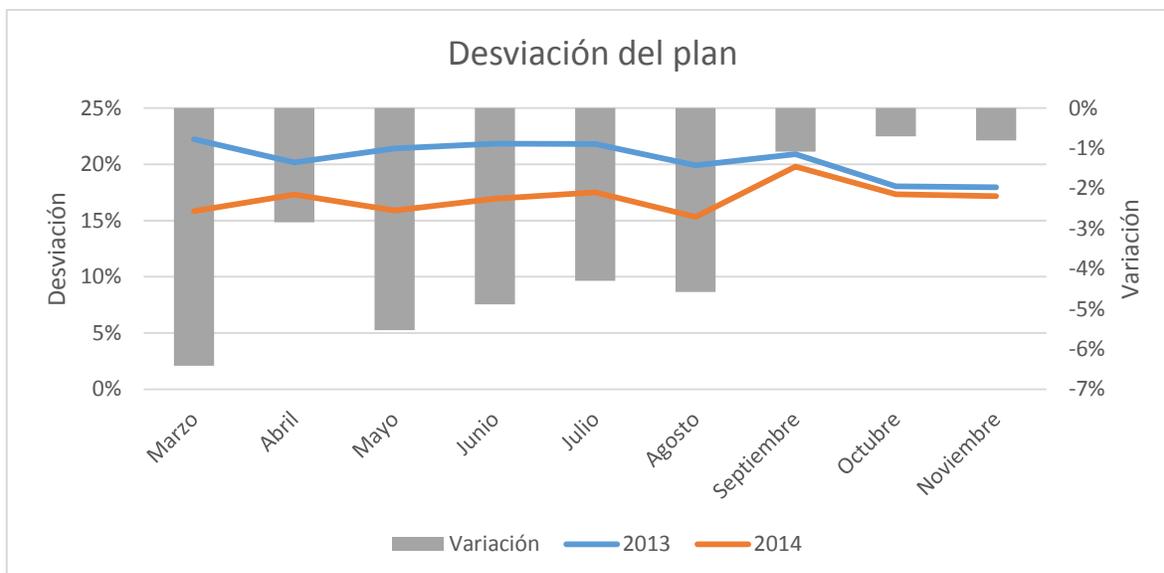


Gráfico 5: Desviación del plan de producción entre marzo y noviembre 2013 y 2014

Se puede observar que en los primeros 6 meses la desviación del plan disminuyó notoriamente y la empresa ha obtenido en promedio un 4,8% menos de desviaciones de plan con respecto al 2013. A partir de septiembre, se obtiene una desviación muy similar al año anterior. Este resultado está fuertemente influenciado con las grandes dificultades que tuvo la empresa tras la implementación de actualizaciones en sus sistemas de información (problemas para registrar avances de producción, movimientos de productos y envase vacío entre los centros de distribución, y desajustes importantes de los inventarios sistémicos, en particular el de envase vacío) afectando fuertemente el cumplimiento de lotes de SKUs retornables y deshabilitando hasta finales de noviembre las funcionalidades asociadas al envase vacío de la herramienta online.

#### 8.2.2. Criterio de cumplimiento “bajo el 100%”

Cuando un lote de producción presenta más botellas llenadas que según su planificación, se considerará lote cumplido. Esta situación es positiva cuando la línea de producción presenta una eficiencia mayor que la esperada o retornó más envase vacío desde los centros de producción (para el caso de SKU retornable). El envase disponible es una restricción muy fuerte en la planificación de productos retornables y usualmente el tamaño de estos lotes es determinado por el envase disponible.

Por lo tanto, se calculará el cumplimiento del lote castigando sólo cuando se llena menos de lo planificado con la siguiente fórmula:

$$cumplimiento = \min\left(100\%, \frac{\text{llenado}}{\text{planificado}}\right)$$

A continuación se muestra una comparación del cumplimiento del plan de producción según el criterio “bajo el 100%” entre los meses marzo y noviembre de los años 2013 y 2014:

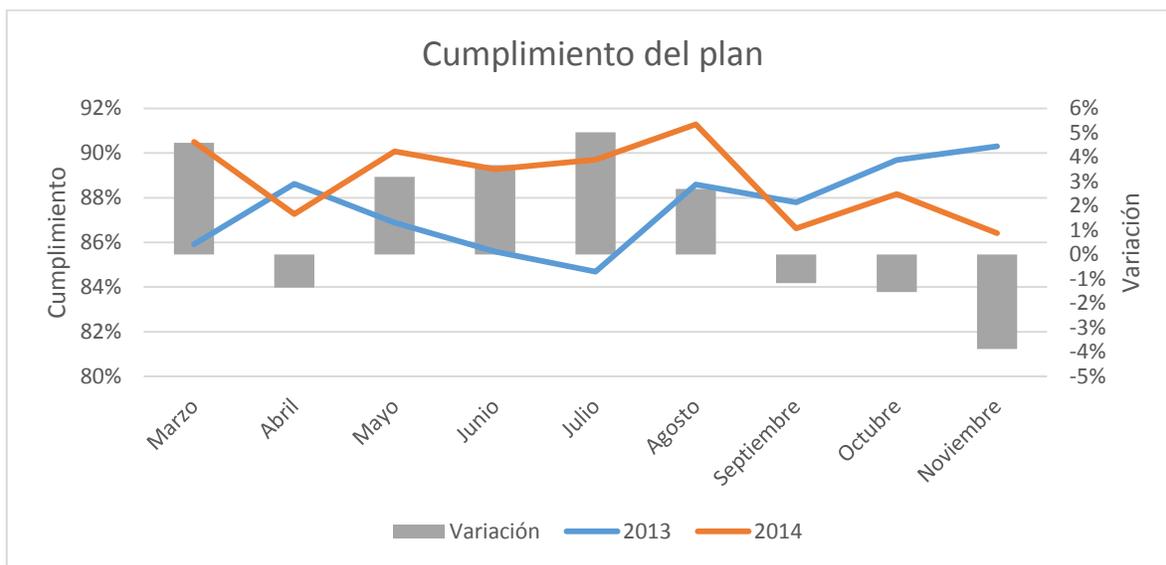


Gráfico 6: Cumplimiento del plan criterio “bajo el 100%” entre marzo y noviembre 2013 y 2014

Como se puede apreciar en el gráfico anterior, en los primeros 6 meses de funcionamiento, la empresa ha mejorado en promedio un 3% el cumplimiento mensual del plan de producción durante el 2014 versus el año anterior. Sin embargo, desde septiembre en adelante el cumplimiento bajo este criterio ha sido peor que el obtenido el año pasado. Como se ha explicado en el punto anterior, la empresa presentó importantes dificultades a partir de la segunda semana de agosto, debido a las actualizaciones en sus sistemas de información.

### 8.3. Impactos en la eficiencia de la planta de producción

La eficiencia de producción es calculada como  $\frac{\text{volumen producido}}{\text{volumen nominal}}$  y corresponde al principal indicador del área de producción de la empresa. Si bien existen diversos factores que afectan las eficiencias productivas, una mejora en la coordinación de la cadena de producción debiese implicar un mayor cumplimiento en la planificación y a su vez, un aumento en las eficiencias.

A continuación se muestran las eficiencias mensuales de la planta productiva entre marzo y noviembre del 2013 y 2014:

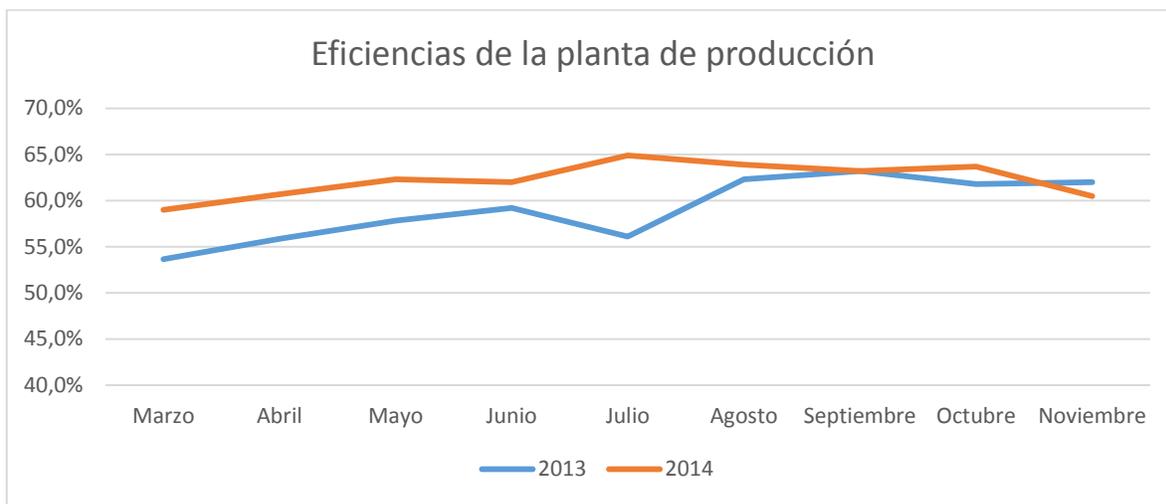


Gráfico 7: Eficiencias de la planta de producción entre marzo y noviembre 2013 y 2014

Se puede observar una mejora de eficiencia de la planta productiva en los primeros 6 meses de funcionamiento de la herramienta desarrollada, situación que coincide con el aumento de cumplimiento del plan de producción. Desde septiembre las eficiencias obtenidas son muy similares a las del año anterior, resultados que han sido fuertemente afectados por las grandes dificultades que la empresa ha tenido que enfrentar, como fue mencionado en los puntos anteriores.

En los 8 meses observados, se puede concluir que la empresa ha mejorado en promedio un 3,1% la eficiencia mensual de la planta productiva con respecto al año anterior.

## 9. Comentarios y conclusiones

El plan de producción es una referencia muy importante para cada parte de la cadena de suministro, tanto como proveedores y el área de distribución se alinean a la planificación y su incumplimiento genera un costo en la coordinación de los integrantes. Diversos riesgos atentan con su cumplimiento y mientras antes sean detectados, más tiempo se dispone para reaccionar y volver a encontrar una buena solución al problema de planificación.

El trabajo desarrollado en la presente tesis permite identificar de forma anticipada los riesgos más comunes que día a día atentan contra el cumplimiento del plan, otorgando mayor tiempo para rediseñar la planificación y coordinar las modificaciones con la cadena de suministro. En efecto, desde su funcionamiento, el área de acarreo lo ha utilizado para

identificar los requerimientos de envase vacío más urgente (hasta agosto de 2014), el planificador de insumos para identificar los insumos más críticos y el planificador de producción para detectar a tiempo los riesgos de incumplimiento, diseñar un nuevo plan y volver a coordinar con cada parte del proceso productivo las modificaciones realizadas.

Además, es fundamental que una herramienta de control sea estable y entregue información actualizada. Estas dos características son esenciales para que la herramienta sea una referencia válida en la toma de decisiones.

El sistema desarrollado, con el paso del tiempo ha alcanzado una estabilidad bastante alta, con una disponibilidad 24 horas los 7 días de la semana, la cual ha permitido formar un grupo constante de visitantes. La ausencia de la herramienta en los meses de agosto y septiembre fue notada por su grupo de usuarios y en octubre, tras retomar su funcionamiento, su utilización fue recuperada de forma inmediata.

El efecto positivo de la herramienta hacia el trabajo de sus usuarios, es reconocido a través de las visitas diarias. La página web se ha posicionado como un sistema fiable y de referencia para la toma de decisiones. En efecto, cada semana la herramienta permite detectar insumos faltantes de forma anticipada, permitiendo apurar despachos de proveedores y otorgando más tiempo para realizar cambios en el plan de producción. Desde finales de noviembre el plan de acarreo de envases que genera la herramienta se ha posicionado como el plan que deben cumplir los centros de distribución y el área de acarreo para traer envase a la planta productiva.

Por lo tanto, se puede concluir que el trabajo de tesis ha alcanzado su objetivo principal, mejorando la coordinación de cada una de las partes de la cadena productiva, contribuyendo positivamente en el cumplimiento del plan de producción y la eficiencia de la planta de producción.

Con respecto a sus objetivos específicos, también se puede concluir que fueron cumplidos satisfactoriamente. El plan de producción se encuentra disponible las 24 horas del día, con actualización permanente. Las alertas son referencia para la cadena productiva y su información es utilizada para apoyar la toma de decisiones.

Adicionalmente, la empresa ha propuesto las siguientes mejoras para el sistema web:

- Replicar la herramienta a regiones: Adaptar el sistema para cada una de las plantas productivas ubicadas fuera de Santiago, permitiendo realizar seguimiento de producción a nivel nacional.
- Incorporar consumo de azúcar por hora: Si bien constantemente los proveedores transportan camiones con azúcar a la planta productiva, en temporada alta cualquier retraso o inconveniente con este insumo podría generar grandes complicaciones en la producción. Con este indicador se podría estimar la

autonomía de azúcar de forma continua y alertar anticipadamente el eventual agotamiento de este insumo.

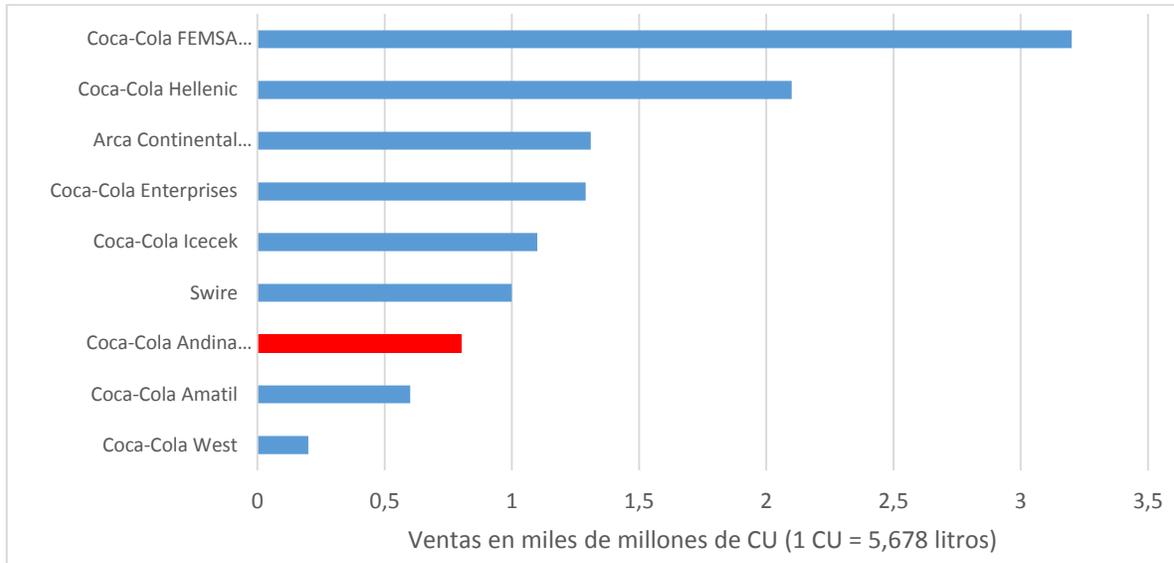
- Generar un reporte de avances de producción por turnos de trabajo: Facilitaría la revisión de los avances registrados en papel con los avances sistémicos en cada cambio de turno, disminuyendo el riesgo de informar cantidades erróneas. Las notificaciones de avance generan consumos de materias primas y actualizan el stock de producto terminado. Notificar de forma errónea implica diferencias de inventario y errores en los cálculos de costos por parte de la empresa.

## 10. Bibliografía

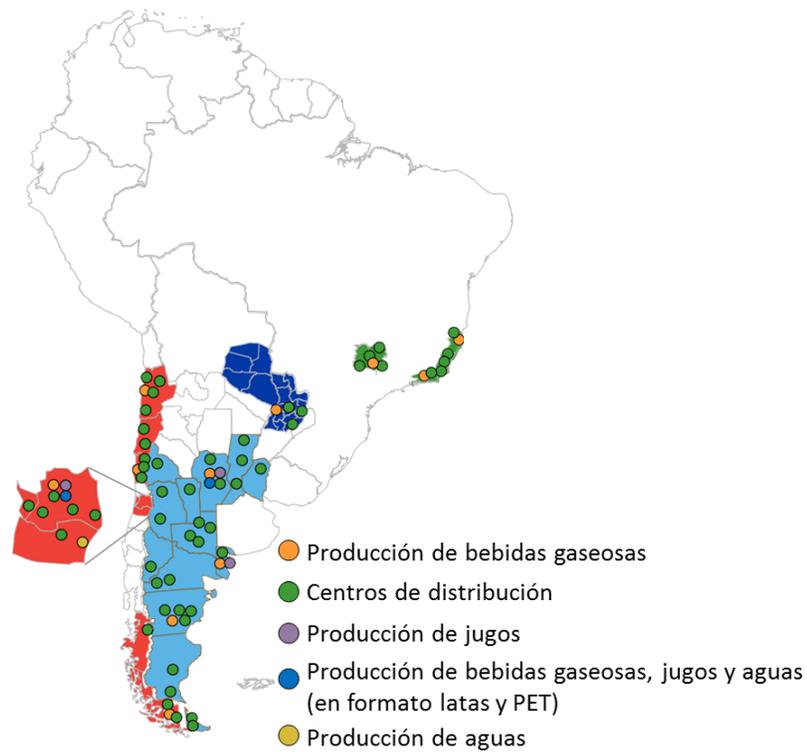
1. **Embotelladora Andina S.A.** *Memoria Anual 2013*. 2014.
2. **C. Ranganathana, Thompson S.H. Teob, Jasbir Dhaliwalc.** *Web-enabled supply chain management: Key antecedents and performance*. 2011.
3. **C.D. Tarantilis, C.T. Kiranoudis b, N.D. Theodorakopoulos.** *A Web-based ERP system for business services and supply*. 2006.
4. **Yuan-Fang Li, Paramjit K. Das, David L. Dowe.** *Two decades of Web application testing. A survey of recent advances*. 2013.
5. **Deisemara Ferreira, Reinaldo Morabito, Socorro Rangel.** *Solution approaches for the soft drink integrated production lot sizing and scheduling problem*. 2008.
6. **Claudio F.M. Toledo, Marcio S. Arantes, Paulo M. França, Reinaldo Morabito.** *A Memetic Framework for Solving the Lot Sizing and Scheduling Problem in Soft Drink Plants. Variants of Evolutionary Algorithms for Real-World Applications*. 2012.
7. **Department of Mathematics and Statistics, The University of Melbourne.** *Applied Operations Research: Piecewise Linear Models*. 2008.
8. **W3Schools.** Browser Statistics and Trends. [En línea] 2014. [Citado el: 14 de 10 de 2014.] [http://www.w3schools.com/browsers/browsers\\_stats.asp](http://www.w3schools.com/browsers/browsers_stats.asp).

## 11. Anexo

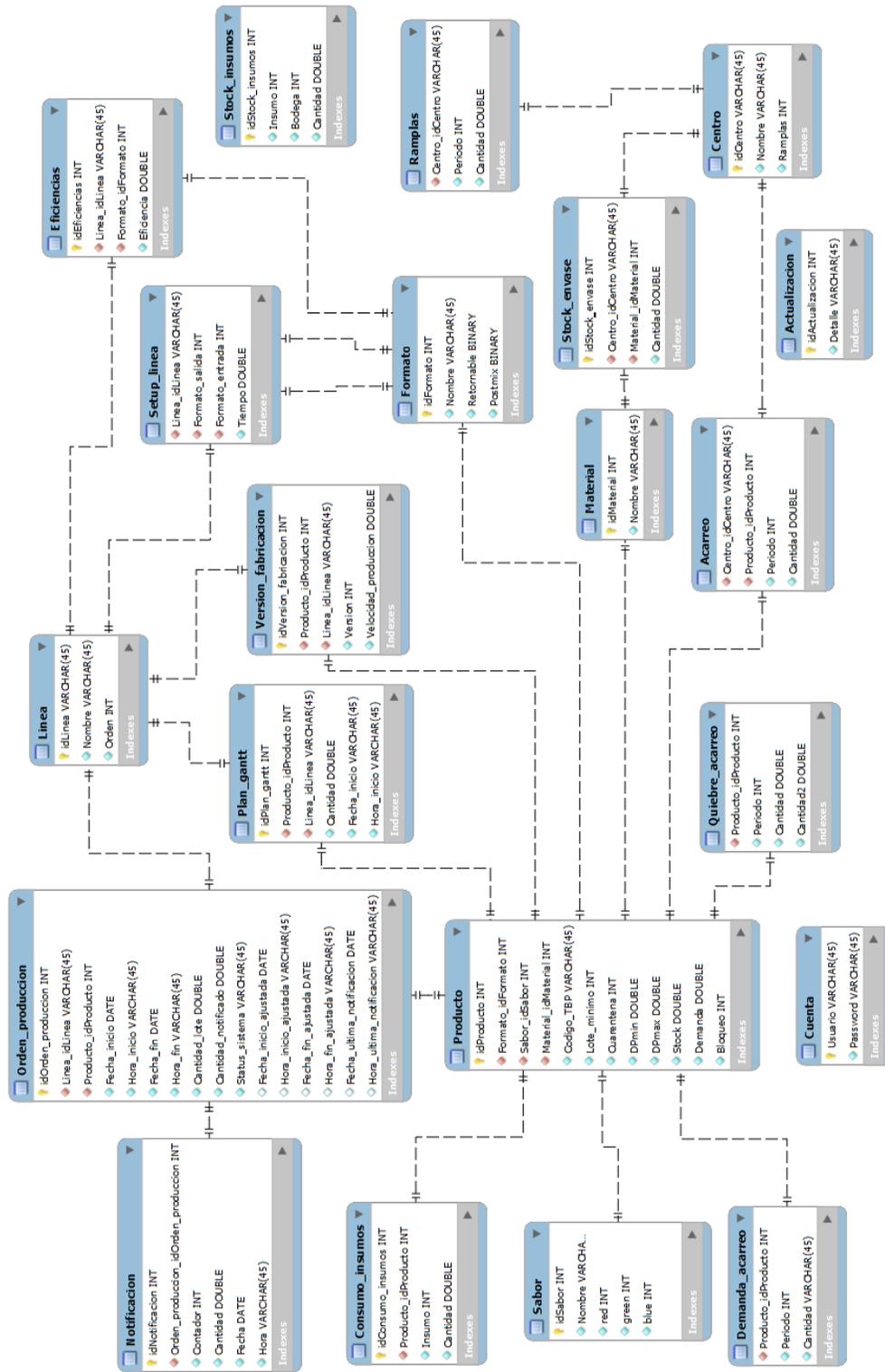
### 11.1. Ranking mundial embotelladoras Coca-Cola por volumen de producción



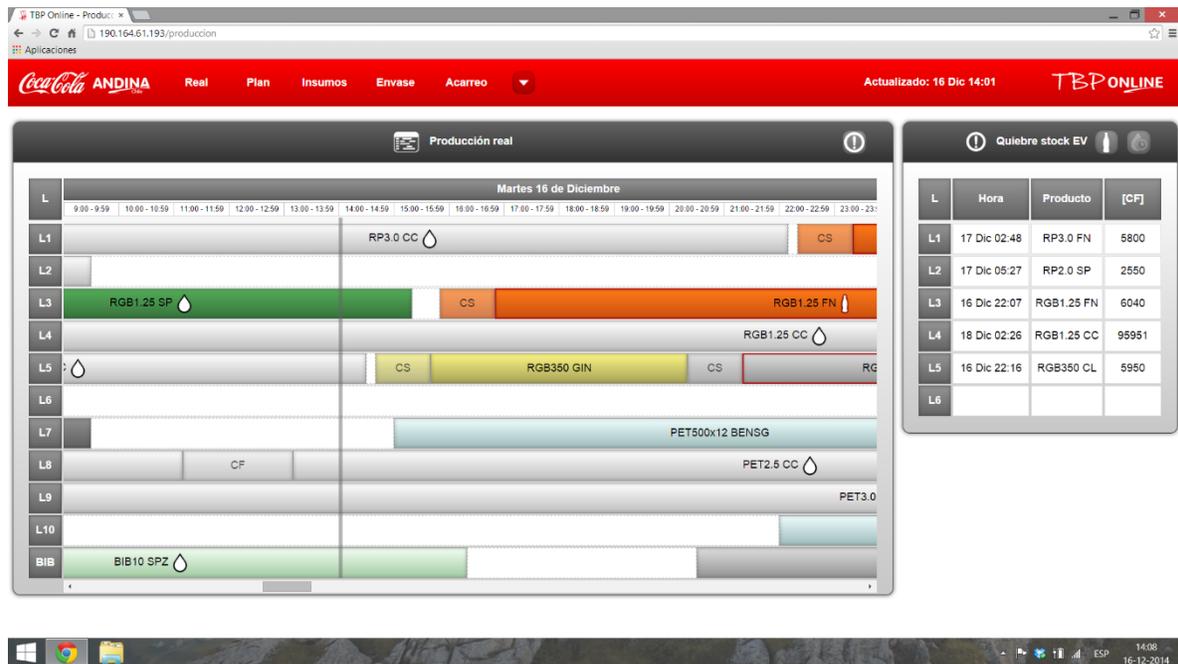
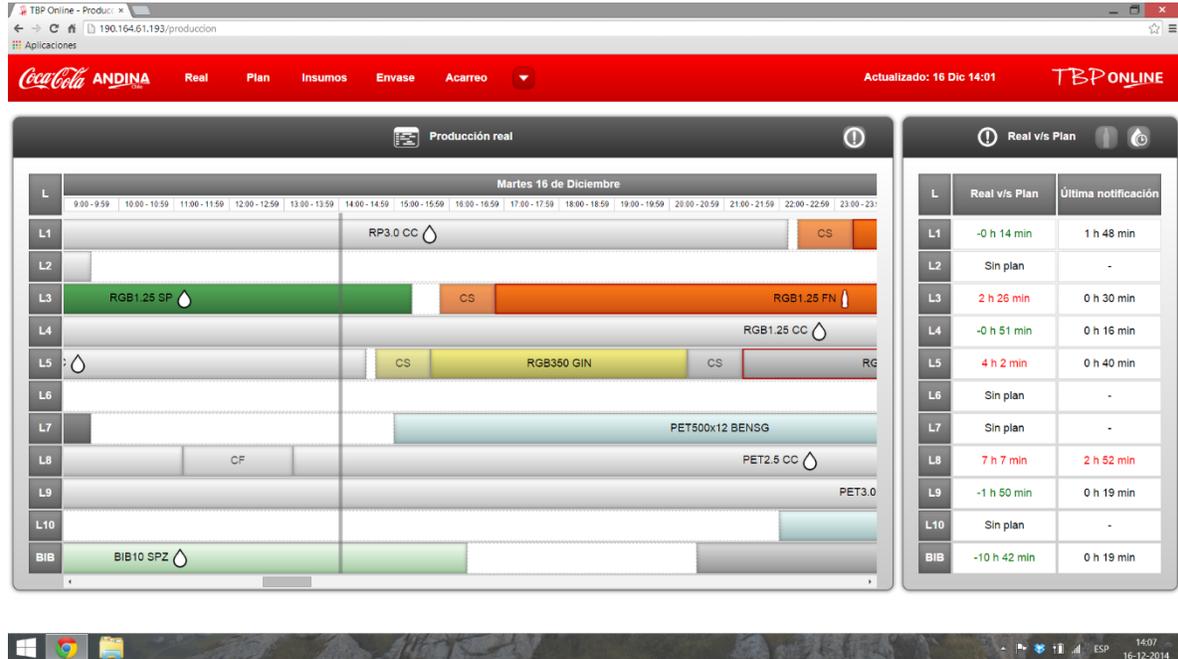
### 11.2. Mapa de plantas de producción y centros de distribución de Coca-Cola Andina en Latinoamérica



### 11.3. Esquema entidad relación de base de datos del sistema web



## 11.4. Interfaz dinámica del plan de producción



TBP Online - Producción

190.164.61.193/produccion

Aplicaciones

Coca-Cola ANDINA Real Plan Insumos Envase Acarreo Actualizado: 16 Dic 14:01 TBP ONLINE

Producción real

Martes 16 de Diciembre

Linea 3 RGB1.25 SP En producción

N° Orden	1041996	Código producto	121372
Inicio programado	16 Dic 03:30	Inicio estimado	16 Dic 04:54
Fin programado	16 Dic 12:50	Fin estimado	16 Dic 15:14
Tamaño lote [CF]	8000	Última notificación	16 Dic 13:36
Notificado [CF]	6401	Env. vacío en planta [CF]	2520
Env. vacío faltante [CF]	0	Env. vacío centros [CF]	5520

L	Real v/s Plan	Última notificación
L1	-0 h 14 min	1 h 48 min
L2	Sin plan	-
L3	2 h 25 min	0 h 30 min
L4	-0 h 51 min	0 h 16 min
L5	4 h 2 min	0 h 40 min
L6	Sin plan	-
L7	Sin plan	-
L8	7 h 7 min	2 h 52 min
L9	-1 h 50 min	0 h 19 min
L10	Sin plan	-
BIB	-10 h 42 min	0 h 19 min

### 11.5. Detenciones por falta de envase vacío

TBP Online - Status

190.164.61.193/envase

Aplicaciones

Coca-Cola ANDINA Real Plan Insumos Envase Acarreo Actualizado: 16 Dic 14:20 TBP ONLINE

Status envase vacío

L	Hora detención línea	Tiempo para detención	Cód. envase	Cód. producto	Producto	Faltante [CF]	Valdivinos [CF]	Rancagua [CF]	San Antonio [CF]	Maipu [CF]	Puerto Alto [CF]
L3	16 Dic 22:07	7 h 38 min	20672	120672	RGB1.25 FN	6.040	1.320	240	40	1.000	5.000
L5	16 Dic 22:16	7 h 47 min	20441	120441	RGB350 CL	5.950	2.050	50	100	500	450
L1	17 Dic 02:48	12 h 19 min	20640	120640	RP3.0 FN	5.800	50	50	100	1.050	1.100
L2	17 Dic 05:27	14 h 58 min	21311	121311	RP2.0 SP	2.550	2.300	250	350	1.550	0
L5	17 Dic 07:35	17 h 6 min	20449	120449	RGB237 CL	2.950	1.750	100	50	900	700
L3	17 Dic 08:50	18 h 21 min	20462	120462	RGB1.25 CL	4.540	1.680	80	40	3.240	2.840
L2	17 Dic 09:45	19 h 16 min	20461	120461	RP2.0 CZ	4.000	850	0	100	150	2.900
L5	17 Dic 11:49	21 h 20 min	21349	121349	RGB237 SP	4.700	500	700	150	1.750	850
L3	17 Dic 15:11	24 h 42 min	20452	120452	RGB1.25 CZ	5.380	800	40	40	4.880	1.280
L2	17 Dic 16:18	25 h 49 min	20411	120411	RP2.0 CL	2.050	2.750	150	50	1.350	850
L1	17 Dic 20:42	30 h 13 min	20111	120111	RP2.0 CC	25.965	7.550	650	750	350	100
L2	17 Dic 20:44	30 h 15 min	20111	120111	RP2.0 CC	17.276	7.550	650	750	350	100

## 11.6. Detenciones por falta de insumos principales

TBP Online - Status Insumos

190.164.61.193/insumos

Actualizado: 16 Dic 14:01

TBP ONLINE

Status Insumos

L	Insumo	Hora detención línea	Tiempo para detención	Cód. Insumo	Cód. producto	Producto	Faltante [un]	Stock producción [un]
L7	Etiqueta	16 Dic 15:00	0 h 52 min	65010769	122953	PET500x12 BENSG	180.000	776.000
L5	Tapa	16 Dic 19:20	5 h 12 min	65011280	121041	RGB350 GIN	43.032	30.000
L7	Preforma	16 Dic 21:52	7 h 44 min	22011742	122953	PET500x12 BENSG	76.320	292.202
L9	Etiqueta	17 Dic 04:28	14 h 20 min	65011894	120177	PET3.0 CC	81.606	27.481
L7	Preforma	17 Dic 04:51	14 h 43 min	22011742	121033	PET500x12 GINZ	82.800	292.202
L7	Preforma	17 Dic 09:47	19 h 39 min	22011742	121032	PET500x12 GIN	82.800	292.202
L7	Preforma	17 Dic 17:44	27 h 36 min	22011742	120682	PET591 FN	150.000	292.202
L1	Concentrado	18 Dic 16:49	50 h 41 min	22010025	120611	RP2.0 FN	10	200
L9	Etiqueta	18 Dic 19:49	53 h 41 min	65011827	120120	PET1.5 CC	258.000	70.494
L2	Tapa	18 Dic 20:27	54 h 19 min	65010552	120611	RP2.0 FN	48.000	78.008
L8	Etiqueta	18 Dic 22:17	56 h 9 min	65010805	122936	PET2.0 BENSG	60.000	288.179
L7	Etiqueta	19 Dic 06:34	64 h 26 min	65011837	120438	PET591 CZ	330.000	0

## 11.7. Plan de acarreo

TBP Online - Reque...

190.164.61.193/acarreo

Actualizado: 16 Dic 14:01

TBP ONLINE

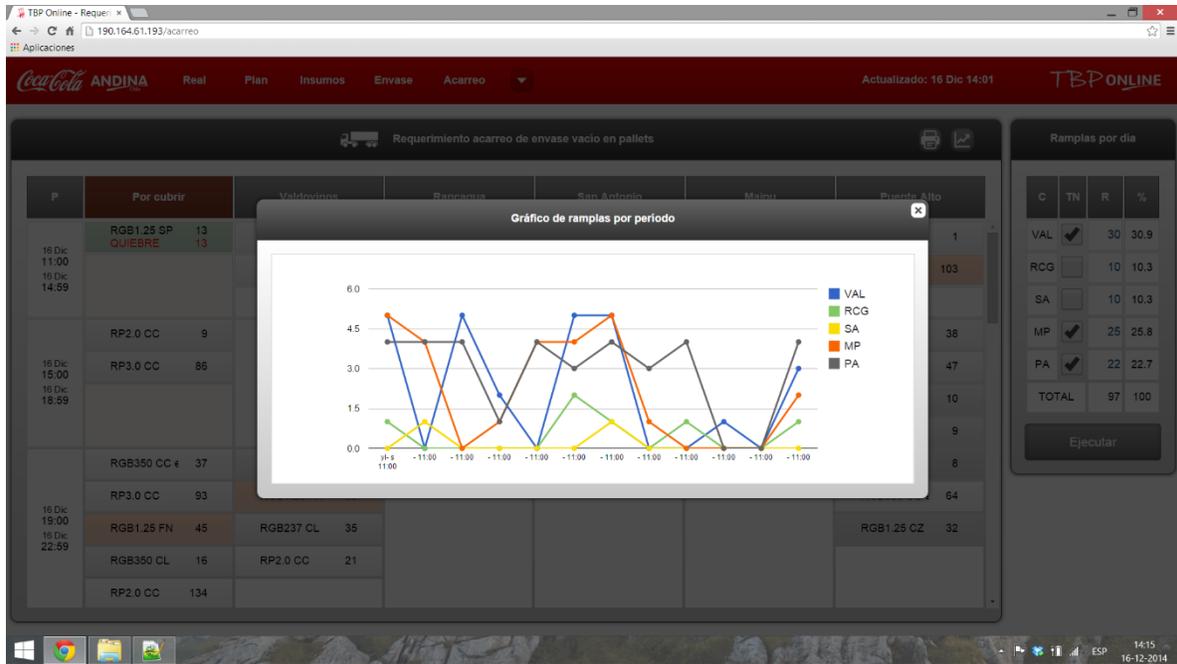
Requerimiento acarreo de envase vacío en pallets

P	Por cubrir	Valdivinos	Rancagua	San Antonio	Maipu	Puente Alto
16 Dic 11:00 16 Dic 14:59	RGB1.25 SP 13 QUIEBRE 13	RP3.0 CC 4	RP3.0 CC 19		RP3.0 CC 110	RP3.0 CC 1
		RP2.0 CC 126	RGB350 CL 1		RGB1.25 SP 2	RGB1.25 FN 103
			RGB1.25 FN 6		RGB237 CL 18	
16 Dic 15:00 16 Dic 18:59	RP2.0 CC 9			RGB350 CL 2	RGB1.25 CL 53	RGB350 CC 38
	RP3.0 CC 86			RGB237 CC 9	RP2.0 CC 7	RP3.0 CC 47
				RP2.0 CC 15	RGB350 CL 10	RGB237 CL 10
16 Dic 19:00 16 Dic 22:59	RGB350 CC 37	RGB350 CL 41				RGB350 CL 9
	RP3.0 CC 93	RGB1.25 FN 33				RP2.0 CZ 8
	RGB1.25 FN 45	RGB237 CL 35				RGB350 CC 64
	RGB350 CL 16	RP2.0 CC 21				RGB1.25 CZ 32
	RP2.0 CC 134					

Rampas por día

C	TN	R	%
VAL	<input checked="" type="checkbox"/>	30	30.9
RCG	<input type="checkbox"/>	10	10.3
SA	<input type="checkbox"/>	10	10.3
MP	<input checked="" type="checkbox"/>	25	25.8
PA	<input checked="" type="checkbox"/>	22	22.7
TOTAL		97	100

Ejecutar



### 11.8. Navegadores más populares en septiembre 2014

