



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROYECTO DE REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE DETENCIÓN POR CAMBIO DE  
PRODUCTO EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN**

POR

**Gonzalo Luarte Pacheco**

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

Profesor Guía

Eduardo Javier Salazar Hornig

Profesional Supervisor

Diego Suazo

Agosto 2022

Concepción (Chile)

© 2022 Gonzalo Luarte Pacheco

© 2022 Gonzalo Luarte Pacheco

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al equipo de trabajo de Cargill-Ewos, que me hizo parte en todo momento y siempre tuvo la mejor disposición a colaborar en lo que fuese necesario para llevar este proyecto adelante. En particular a Diego, Cristian y Daniel por darse el tiempo de explicar y responder a cada duda que surgía durante el desarrollo del proyecto, por involucrarme en reuniones y hacerme conocer la planta y su proceso productivo.

A mi polola, mi familia y amigos que han estado siempre apoyándome en cada proyecto que emprendo y decisión que tomo, y con quienes puedo contar de forma incondicional.

Además, a mi profesor guía, por la entrega y orientación en este proceso, que fueron fundamentales.

## **SUMARIO**

Cargill-Ewos corresponde a una empresa del rubro alimenticio y de origen norteamericano, con actual sede en Chile y presencia en más de cincuenta países. Las actividades que se desarrollan en Chile se limitan solo a alimento para salmonicultura (producción, comercialización e I+D), en el área correspondiente a Aquaculture Nutrition, segmento que abarca las unidades de alimento para piscicultura. En su estructura organizacional de la planta que se emplaza en Coronel se encuentran las áreas de Plant Operations la que se encarga de la producción desde la perspectiva de coordinación de operadores, análisis de rendimiento de maquinarias e indicadores productivos, entre otros; y el área de Supply Chain, encargada entre otras cosas, de la planificación de las secuencias de producción.

En las áreas mencionadas anteriormente es que se propone una problemática a abordar en la presente memoria de título. Dicha problemática nace de la planificación de secuencias de producción que actualmente se desarrolla de forma manual. Como resultado, se genera una secuencia que, si bien cumple los plazos de entrega, provoca consecuencias en el área de producción, causando numerosas detenciones por cambios de lo que se está produciendo en la línea respectiva.

Es por este motivo que este proyecto de MT plantea un sistema automático de planificación de producción, utilizando recursos de la planificación y control de la producción, investigación de operaciones y machine learning. Logrando resultados positivos a través de métodos heurísticos para la planificación, que se ven reflejados en los valores de tiempos totales (makespan) de producción asociados a las nuevas secuencias propuestas.

## **SUMMARY**

Cargill-Ewos belongs to the food industry, it was founded in the US, and currently has activities in over 70 countries, one of them is Chile, where it focuses entirely in the Aquaculture Nutrition area, making, selling and developing food for salmonids. Inside the organizational structure of the plant located in Coronel are the areas of Plant Operations, which is responsible for production from the perspective of coordinating operators, performance analysis of the machinery, and different indicators related to production, on the other hand, there is the Supply Chain area, which is responsible for the production planning and scheduling, among other tasks.

This thesis approaches a problem proposed in the areas mentioned before. This problem stems from the production sequence planning, which is currently developed manually. Resulting a sequence that although meets delivery deadlines, provoke numerous detentions due to abrupt changes on the type of product that each line is making.

It is for this reason that this thesis project proposes an automatic production planning system, using resources from production planning and control, operations research, and machine learning. Achieving positive results through heuristic methods for planning, which are reflected in makespan improvements related to the new proposed sequences.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LA EMPRESA Y SU SISTEMA DE PRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
2.1	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....	2
2.2	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	2
<b>3</b>	<b>PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN EN CARGILL-EWOS</b> .....	<b>7</b>
3.1	PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA ACTUALIDAD .....	7
3.2	PROBLEMA DETECTADO.....	7
3.3	PERSPECTIVA METODOLÓGICA DEL PROBLEMA .....	10
<b>4</b>	<b>ASIGNACIÓN DE ORDENES DE FABRICACIÓN</b> .....	<b>11</b>
4.1	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN .....	11
4.2	CÁLCULOS DE RENDIMIENTO .....	12
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADO DEL CÁLCULO DE RENDIMIENTOS .....	16
4.4	ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE PRODUCCIÓN A TRAVÉS DE MACHINE LEARNING .....	18
4.5	DESARROLLO DE SISTEMA DE PLANIFICACIÓN AUTOMÁTICO .....	21
4.6	OPTIMIZACIÓN DE RESULTADOS MEDIANTE ITERATED LOCAL SEARCH (ILS) .....	30
4.7	OPTIMIZACIÓN DE RESULTADOS MEDIANTE UN ALGORITMO EVOLUTIVO .....	32
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>
5.1	RESULTADOS OBTENIDOS .....	37
5.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	38
5.2.1	<i>Cálculos de rendimiento y modelo de estimación</i> .....	38
5.2.2	<i>Métodos de optimización</i> .....	38
5.2.3	<i>Observación in situ</i> .....	39
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>40</b>
	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>41</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>43</b>

## Lista de Tablas

Tabla 2.1	Resumen restricciones de producción por calibre.....	4
Tabla 4.1	Extracto Pauta de Procesos .....	12
Tabla 4.2	Extracto Dataset Tiempos de Extrusor.....	14
Tabla 4.3	Extracto Reporte Producción por MO .....	15
Tabla 4.4	Extracto Tab de 25 Q2-2022.....	15
Tabla 4.5	Extracto tabla rendimientos por MO.....	16
Tabla 4.6	Tabla de Rendimientos por Línea y Dieta (kg/h).....	18
Tabla 4.7	Comparativa modelos de estimación de tiempo de proceso .....	19
Tabla 4.8	Ejemplo Modelo de estimación Random Forest .....	20
Tabla 4.9	Órdenes de compra .....	24
Tabla 4.10	Matriz tiempos de limpieza por cambio de calibre, <b>calibreij</b> .....	24
Tabla 4.11	Matriz tiempos de detención por cambio en aditivo, <b>aditivoij</b> .....	24
Tabla 4.12	Matriz tiempo de detención por habilitación de válvula ECS en L2, <b>ECSijL2</b> .....	25
Tabla 4.13	Matriz tiempos de detención por cambio de pigmento, <b>colorij</b> .....	25
Tabla 4.14	Compatibilidad producto en cada línea de producción .....	25
Tabla 4.15	Extracto matriz de tiempos de setup <b>sijk</b> .....	26
Tabla 4.16	Extracto matriz tiempos de procesamiento <b>Pik</b> .....	26
Tabla 4.17	Secuencia planificada en máquinas paralelas .....	27
Tabla 4.18	Secuencia paralela de setupECT .....	29
Tabla 4.19	Secuencia paralela de ILS aplicado a la solución de setupECT.....	31
Tabla 4.20	Ejemplo de individuo de algoritmo evolutivo.....	33
Tabla 4.21	Partially Mapped Crossover (PMX) aplicado a dos secuencias padre .....	34
Tabla 4.22	Secuencia paralela de algoritmo evolutivo .....	35
Tabla 5.1	Comparativa de desempeño según método de secuencia.....	37

## Lista de Figuras

Figura 2.1	Pellet para salmón en distintos tamaños (calibres) .....	3
Figura 2.2	(1) Extrusor Línea L2, (2) Válvula ECS salida del extrusor, (3) Diagrama funcionamiento válvula ECS.....	5
Figura 2.3	Flujo de producción línea, según maquinaria utilizada.....	6
Figura 3.1	Cuchillas, matrices y porta matriz de extrusor.....	8
Figura 3.2	Distribución porcentual de tiempos de detención extrusor .....	9
Figura 4.1	Distribución Dataset de Rendimientos por MO .....	17
Figura 4.2	Boxplot Rendimiento vs. Calibre por cada línea de producción .....	17
Figura 4.3	Construcción de un modelo Random Forest Archivo de: O'Reilly Media.....	20
Figura 4.4	Cálculo de tiempos de completación por línea de producción.....	22
Figura 4.5	Modelo matemático MIP del problema de máquinas paralelas no relacionadas con tiempos de setup dependientes de secuencia (UPMSPST) .....	23
Figura 4.6	Carta Gantt de secuencia de producción planificada .....	27
Figura 4.7	Algoritmo Heurística setupECT (Salazar Hornig & Ávila Thieme, 2017) .....	28
Figura 4.8	Carta Gantt de secuencia setupECT.....	29
Figura 4.9	Pseudocódigo ILS.....	30
Figura 4.10	Carta Gantt de secuencia ILS.....	31
Figura 4.11	Pseudocódigo algoritmo evolutivo propuesto por Pinedo, 2012.....	32
Figura 4.12	Generación de población inicial con secuencias aleatorias.....	33
Figura 4.13	Pseudocódigo Procedimiento PMX Crossover .....	33
Figura 4.14	Carta Gantt de secuencia algoritmo evolutivo .....	35

# 1 INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como principal objetivo la identificación de alternativas de mejora a los procesos de planificación y de producción de la empresa Cargill-Ewos ubicada en Coronel. Este proyecto se focaliza en la mejora de las secuencias de producción y el proceso de preparación por cambio de productos, utilizando observación de procesos y análisis de datos.

El impacto de este proyecto se centra en colaborar en la planificación de la producción de forma que se pueda lograr una disminución en los tiempos de detención totales en las líneas productivas que resultan como consecuencia de la preparación o setup de máquinas al cambiar de un producto a otro, utilizando mecanismos relacionados a la investigación de operaciones, machine learning y lean manufacturing.

Por medio del trabajo realizado en el desarrollo de esta memoria de título se obtiene un algoritmo que logra el propósito de automatizar la construcción de las secuencias de producción, a través del uso de mecanismos evolutivos, que convergen en una solución factible y mejorada respecto al sistema utilizado en la actualidad.

El informe se estructura en primer lugar realizando una descripción de la industria y el rubro en el que se desempeña, para continuar con la descripción del proceso productivo que realiza y como se gestionan los recursos de tiempo, espacio y tecnologías. Luego se describe de manera más detallada el problema que se aborda, continuando con los aspectos metodológicos de cómo se aborda esta problemática, definiendo los puntos críticos para la formulación de alternativas de mejora en el proceso productivo, por medio de conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Industrial y complementado con discusiones generadas con el personal de la empresa.

Luego de la información referente a metodologías utilizadas, se procederá a exponer los resultados del proyecto a nivel de mejoras por criterio de *makespan* o tiempo total de fabricación, para después complementar con una discusión de los resultados obtenidos en cada una de las etapas.

A modo de cierre se exponen las conclusiones obtenidas por medio del proyecto realizado y recomendaciones de trabajo futuro por parte de la empresa, tanto mejoras que requieren elementos o recursos utilizados en el proyecto, como avances futuros o actualizaciones que se le pueden aplicar al mismo.

## **2 LA EMPRESA Y SU SISTEMA DE PRODUCCIÓN**

### **2.1 Descripción de la empresa**

EWOS corresponde a una empresa de origen sueco, creada en 1931 y ligada a la investigación y el desarrollo de alimento para la industria acuícola, con plantas emplazadas en Noruega, Canadá, Escocia, Vietnam y Chile, además de centros de I+D tanto en Noruega como Chile. Hoy en día, tras una adquisición completa realizada el año 2015, esta empresa forma parte del conglomerado Cargill, empresa norteamericana ligada enteramente al rubro alimenticio, que cuenta con presencia en 70 países y más de 155.000 empleados a lo largo del mundo. En términos de ingresos corresponde a la mayor corporación en manos de privados en el mundo.

En Chile, la producción se limita solamente a la continuación de la línea EWOS, formando parte de la unidad de negocio Cargill Aquaculture Nutrition (CQN), fabricando solo productos nutricionales destinados a la salmonicultura y cuya producción se destina en más de un 90% a la industria salmonera chilena. En el país, Cargill tiene presencia a través de una Planta de fabricación ubicada en la ciudad de Coronel, un Centro de Distribución y oficinas comerciales que se ubican en Puerto Montt y además un Centro de Innovación en Salud de peces ubicado en Colaco, Región de Los Lagos. Es únicamente en la planta ubicada en coronel que el proyecto de memoria de título se lleva a cabo.

El planteamiento del proyecto resulta de forma conjunta entre las áreas de Plant Operations y Supply Chain, que como sugieren los nombres, la primera tiene las funciones de coordinar las operaciones de planta, ligadas a la producción, ya sea la coordinación de los operadores y jefes de turno, como la coordinación de mantenciones de maquinarias y otros aspectos operativos de la planta; por otra parte, la segunda desarrolla las actividades ligadas a la cadena de suministro de la producción, determinando y solicitando la cantidad de insumos que se requieren y entre otras actividades, esta área se encarga de la planificación de la producción, generando las secuencias que indican que producto se fabrica y en qué línea productiva.

### **2.2 Descripción del proceso productivo**

Actualmente la planta Cargill-Ewos Coronel, tiene en su infraestructura siete líneas de producción destinadas exclusivamente a la fabricación de pellet para la alimentación de salmones en las distintas etapas de su crecimiento. Estas siete líneas se separan en dos naves, que se encuentran una al lado de la otra, donde el primer edificio cuenta con las líneas Micro (LM), L2, L3 y L4, mientras que el

segundo edificio tiene las líneas L5, L6 y L7. Ambas naves cuentan con silos e infraestructura de acopio de materias prima y ambas cuentan con equipo para packaging, del cual cada nave posee una máquina de embolsado robótico automatizada (para formatos de 20 y 25 kg), cada línea tiene ensacado manual de maxi sacos (625 y 1250kg), además la L2 cuenta con embolsado manual para formatos de 25kg.

Si bien el tipo de producto es el mismo, ya que todas las líneas fabrican pellet para salmón (ver Figura 2.1), existe una amplia variedad de productos dependiendo de las necesidades de cada cliente. En primer lugar, existe la condición de si el producto necesita ser medicado o no, considerando que es requisito para algunos clientes, integrar medicamentos en el alimento para tratar o evitar enfermedades o infecciones en el cultivo. Teniendo esto en consideración, existen solo dos líneas disponibles para la medicación del producto, las cuales son la L2 y L3, mientras que la línea 2 se separa en tres torres, Torre 2 A, destinado al uso de Emamectina y Oxitetracilina, Torre 2 B, se utiliza para la adición de Florfenicol y la Torre 2 C utilizada para la producción sin medicamento.



**Figura 2.1 Pellet para salmón en distintos tamaños (calibres)**  
Archivo de: Salmon Expert

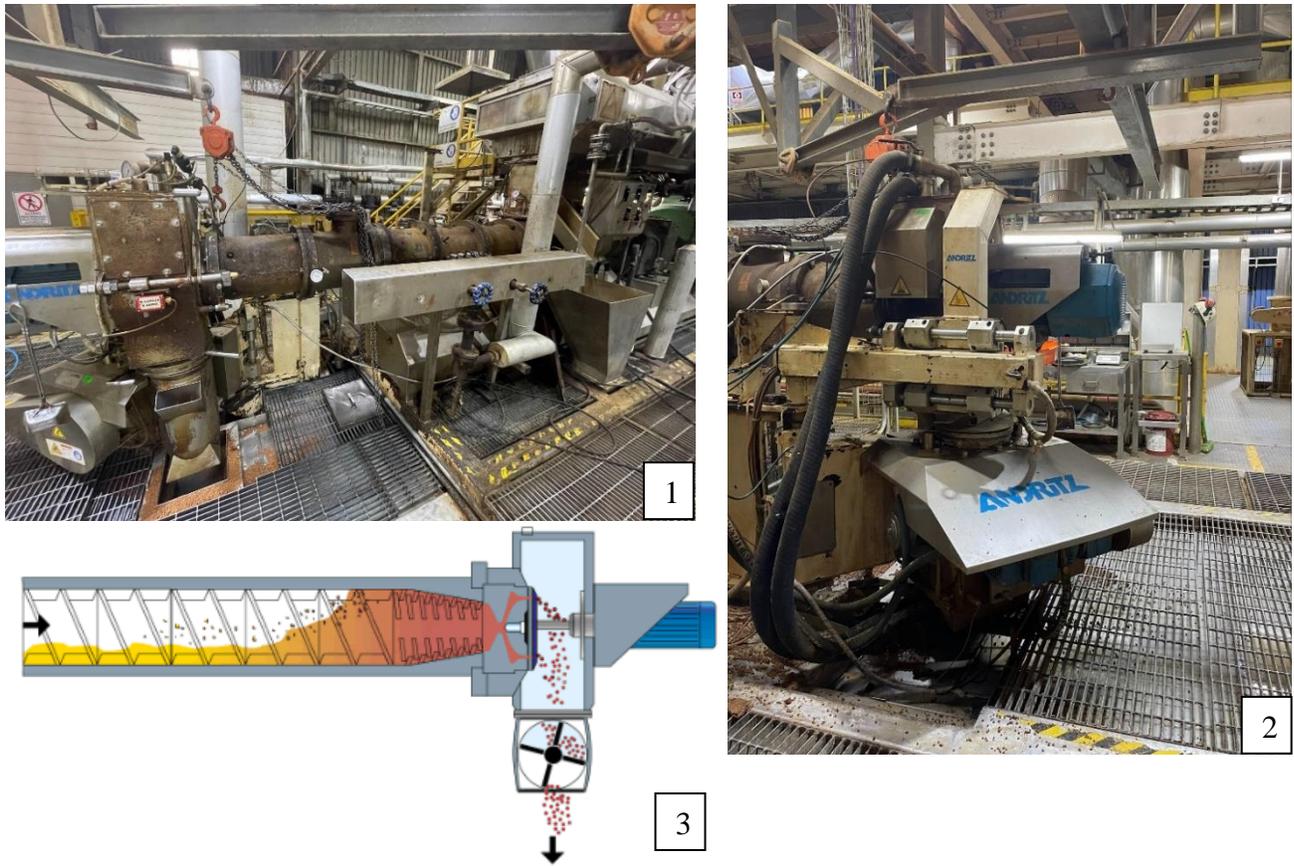
Por otra parte, la asignación de qué se produce en cada línea depende del calibre (tamaño) del pellet que se quiere lograr, a continuación, se adjunta una tabla que resume de buena manera que línea fabrica cada pellet, según el calibre de este (ver Tabla 2.1).

Calibre\Línea	L2	L3	L4	L5	L6	L7	LM
0.15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
0.18	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
0.75	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
2	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
15	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
50 (3mm)	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO
100 (4mm)	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO
250	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
800	SI, Max 33% grasa	SI, Max 39 % grasa	SI	SI	SI	SI	NO
1000	SI, Max 33% grasa	SI, Max 39 % grasa	SI	SI	SI	SI	NO
1500	SI, Max 33% grasa	SI, Max 39 % grasa	SI	SI	SI	SI	NO
2000	SI, Max 33% grasa	SI, Max 39 % grasa	SI	SI	SI	SI	NO
3500 (9.5mm)	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
3500 (12mm)	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
Medicado	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO

**Tabla 2.1 Resumen restricciones de producción por calibre**  
Fuente: CARGILL-EWOS CORONEL

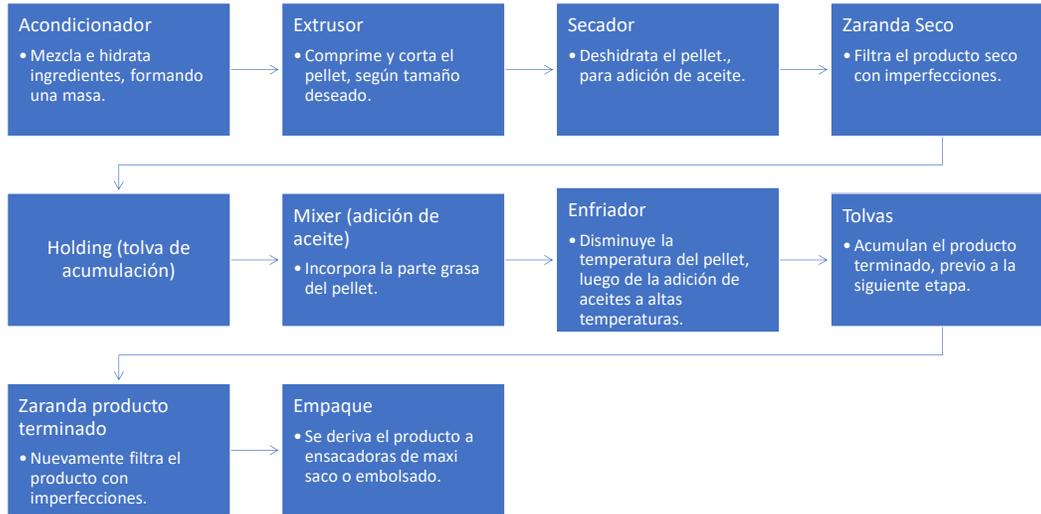
En la tabla que se exhibe anteriormente se detalla con mayor profundidad como se restringen las líneas a fabricar cierto tamaño de producto, además se presentan casillas donde se detalla el porcentaje máximo de grasa que se pueden añadir al producto para que sea viable fabricar en la respectiva línea de producción.

Entre otras restricciones existe la característica de RT (Retention Test) que viene a ser relacionada al nivel de retención del pellet, el cual, sin entrar en mayores detalles, va orientado a la especie de salmón Coho, posee un mayor grado de hidro estabilidad y evita el fat gulping (vomito en peces). Si bien este tipo de alimentos se pueden fabricar en casi todas las líneas, por condiciones de configuración de extrusores, la fabricación se limita a las líneas L4 y L7. Luego se tiene que dentro de la gama de productos que fabrica la línea L2 existen algunos que exigen la utilización de una válvula especial llamada ECS (*Expansion Control System*), la cual controla la expansión del pellet a la salida del extrusor como consecuencia del delta negativo de presión (ver Figura 2.2), cuya habilitación requiere de al menos una hora y son solo algunas dietas las que lo exigen.



**Figura 2.2 (1) Extrusor Línea L2, (2) Válvula ECS salida del extrusor, (3) Diagrama funcionamiento válvula ECS**  
Fuente: Flextex

Otra restricción relevante viene a ser la especificación de packaging de cada dieta a fabricar, considerando que en la nave que tiene las líneas L2 a L4 existe solo una máquina de embolsado automático, disponible para el empaquetado de las líneas L3 y L4 de manera compartida, mientras que la L2 posee una máquina de embolsado manual. En la otra nave, la que tiene las líneas desde L5 a L7 también existe la restricción de solo una máquina de embolsado automático y ninguna de embolsado manual, por lo tanto, esta debe ser compartida entre las tres líneas. Además de este formato, que viene a ser bolsas de 25Kg, existe en cada línea la posibilidad de empaquetar en formato maxi saco, con un peso de 1250Kg.



**Figura 2.3 Flujo de producción línea, según maquinaria utilizada**

### **3 PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN EN CARGILL-EWOS**

#### **3.1 Planificación de la producción en la actualidad**

En la actualidad, la planificación de la producción se realiza de manera manual, sin utilizar algún método o software de ordenamiento automático. En primer lugar, se extraen las órdenes de compra desde una base de datos y como criterio de ordenamiento se consideran las fechas más próximas de despacho, el calibre (tamaño) del producto y finalmente el tamaño del lote de fabricación. A medida que se va realizando el ordenamiento de las ordenes de producción, también llamadas MO (Manufacturing Order), se realiza una constante revisión de la compatibilidad del producto en cada línea productiva. Entonces, la secuencia generada por el equipo de planificación, no se ajusta a posibles detenciones o atochamientos que genere la misma.

Luego de construir la secuencia de producción esta es enviada al área de materia prima, quienes preparan la dosificación de ingredientes para la fabricación de nuevos productos. Esta información debe llegar a lo más un día antes de que se inicie la producción de la secuencia. Luego la secuencia se hace llegar a las salas de operación, donde los operadores por cada una de las líneas productivas preparan las máquinas para la fabricación de cada producto, según lo que requiere la secuencia.

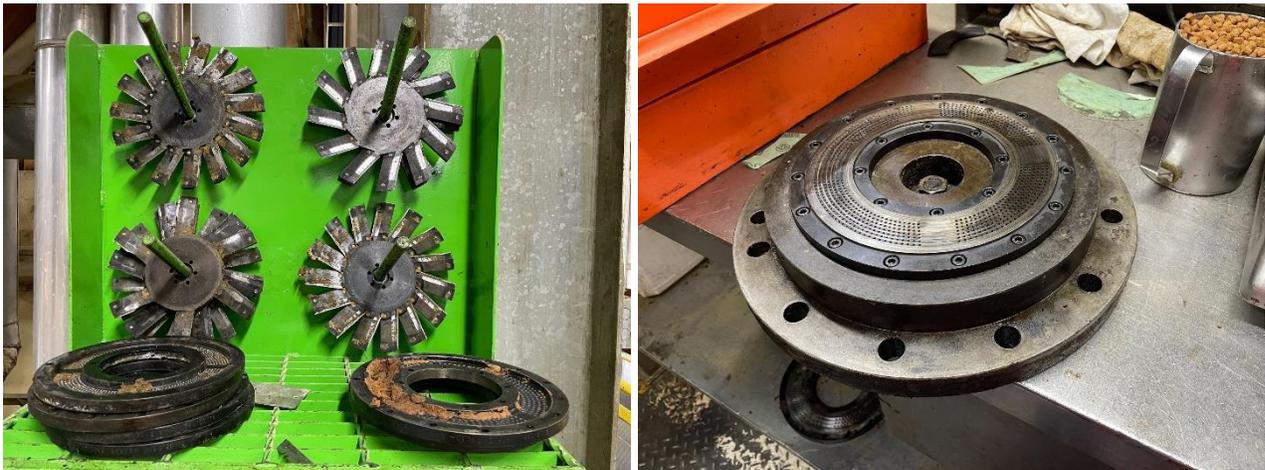
#### **3.2 Problema detectado**

Entre lo conversado y expuesto por el subgerente de producción y lo que se ha evidenciado al analizar los datos de planificación de demanda y de producción, es que existen constantes atochamientos en las líneas productivas de la planta. Estos atochamientos son producidos en su mayoría por una deficiente planificación de la producción, lo que en consecuencia genera detenciones de los procesos de producción en las líneas respectivas, lo más común es la detención por cambio de producto. Se tiene que la planta fabrica un elevado número de dietas, cada una con su “receta” específica y además con un numero identificadorio único, puesto que se busca cumplir los requisitos de cada cliente en especificaciones de distintos factores que cambian el producto final, ya sea la adición de algún colorante, una medicación, una especificación en el tamaño (calibre) del producto requerido e incluso distintos tipos de packaging.

Producto de todas las variables, al momento de cambiar la producción de un producto a otro ocurre una detención de la línea, en la cual se procede a limpiar, cambiar y preparar el equipamiento para comenzar a fabricar un nuevo producto, es entonces esta detención la que no se tiene total control

dentro del proceso de producción, suele tomar más tiempo del debido y afecta los tiempos de producción determinados por el equipo de planificación. Esta problemática afecta el flujo de trabajo, ya que provoca interrupciones que se traducen en tiempo sin producir lo cual puede afectar otras áreas relacionadas, como lo son el área de producción y peor aún, puede repercutir en tardanza en los plazos de entrega del producto al cliente.

En conversación con los operadores de las líneas de producción, indicaron que la etapa que más detenciones provocaba, más allá de las fallas que se produjeran por el uso de las máquinas, ocurría en la etapa de extrusión, donde las máquinas extrusoras del pellet siempre que ocurre un cambio de dieta, se ven en la obligación de detener las máquinas, ya sea para realizar limpieza o cambio de equipo en el cabezal del extrusor, para reemplazo de cuchillas y matrices.

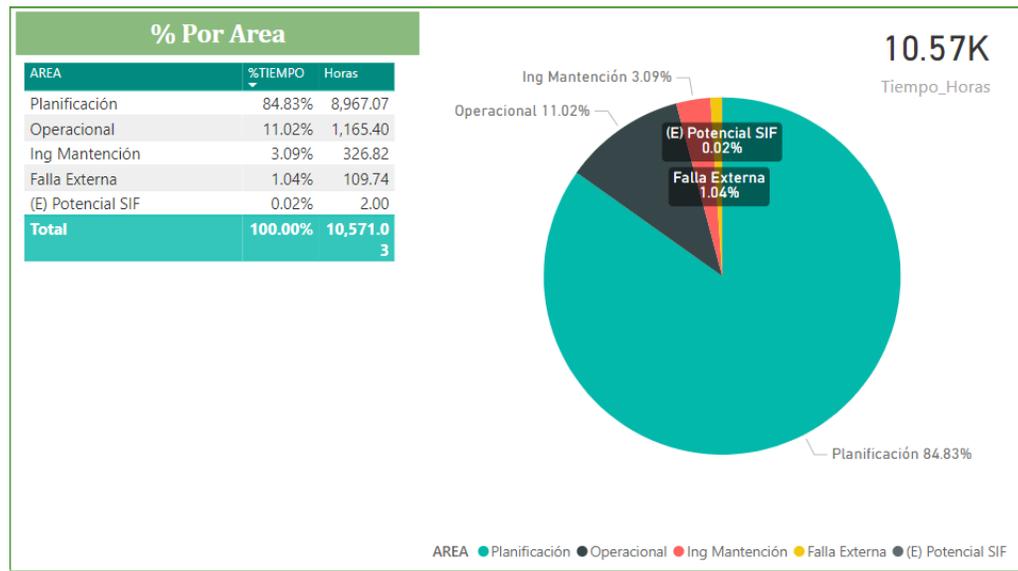


**Figura 3.1 Cuchillas, matrices y porta matriz de extrusor**

La Figura 3.2 grafica de manera más clara que más de un 80% de los tiempos de detención del equipo de extrusión, son producidos por concepto de la planificación de la producción, lo cual involucra motivos tales como: limpieza por cambio de calibre, cambio de matriz/cuchillas o cambio de dieta/pigmento, entre otros. Además, muestra los porcentajes de detenciones producidas por otros conceptos, como lo son las detenciones operacionales o por mantenciones planificadas, lo que en contraste con las detenciones por planificación representan menos del 20% del tiempo de detención de la maquinaria de extrusión.

Ya en la etapa del envasado del producto terminado, existe la importante restricción del formato de packaging, donde existe la problemática latente de que si hay simultaneidad de fabricación de

productos que requieran embolsado en una sola nave, este puede provocar atochamientos e incluso la detención de una línea, si es que no se gestiona de tal forma que se evite el choque de las líneas de producción. En detalle esto significa que las líneas L3 y L4, y por otra parte las líneas, L5, L6 y L7 no pueden producir producto embolsado de forma simultánea.



**Figura 3.2 Distribución porcentual de tiempos de detención extrusor**  
Fuente: CARGILL EWOS CORONEL

Al analizar los datos relativos al proyecto, se evidenciaron problemas en los sistemas de registro de estos, principalmente en los que son manipulados o imputados por los operadores, como lo son los tiempos de funcionamiento de extrusor, donde se encontraron múltiples inconsistencias. Resultó claro que mientras más manual sea el input de los datos, más riesgo de error existe.

Referente a los datos también se encontró falta de estandarización entre las distintas unidades de trabajo con los reportes que cada una genera, lo que se traduce en dificultades al momento de cruzar tablas o hacer análisis más exhaustivos cuando se requiere información proveniente de distintas unidades de la empresa.

Por otra parte, mediante procesos de observación in situ, se pudo observar que si bien existen los conceptos de metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) en los procesos de setup de las máquinas, estos no son aplicados en la cotidianeidad, lo que al final de la jornada suele traducirse en mayores tiempos de detención en los equipos. Además, se observó en la labor de los operadores, atención al detalle en lo que respecta a la calidad del producto y estado de los distintos equipos de las

líneas de producción, sin embargo, esta cualidad no aplica para la recolección de datos que dependen de ellos.

### **3.3 Perspectiva metodológica del problema**

Para abordar la problemática identificada, se propone el planteamiento por medio de herramientas de la planificación de la producción, de manera que se estandaricen los criterios de ordenamiento y se optimicen las secuencias de producción que se proponen desde el área de planificación de modo que se reduzca la duración y el número de detenciones por conceptos de planificación de la producción. Esta propuesta requiere de un amplio análisis de los datos que la empresa genera, pues se propone determinar el comportamiento futuro de la producción, utilizando la información histórica.

## 4 ASIGNACIÓN DE ORDENES DE FABRICACIÓN

### 4.1 Levantamiento de Información

Para el proceso de obtención de información relevante para identificar la problemática, se tramitó el acceso a la plataforma de reportes Power BI e IBM Cognos, donde se obtuvieron indicadores que resultan críticos hoy para la toma de decisiones referentes al área de producción. Además, se obtuvieron bases de datos que describen el comportamiento de los extrusores de cada línea a lo largo de las jornadas de trabajo, tal como el detalle de las detenciones y muestra los tiempos que toma cada actividad, ya sea producción de alguna dieta en específico, la mantención requerida por algún equipo o fallas en el funcionamiento, entre otras observaciones.

Además, se obtuvo acceso a los reportes de calidad de producción, donde se detallan los porcentajes de producción que se aprueban o rechazan por criterio de calidad, donde en mayor detalle se miden los ítems de niveles de aceitado, flotabilidad, dureza y otros factores cualitativos del producto. Los cuales deben cumplir estándares mínimos para lograr ser aceptados, empacados y distribuidos.

Dentro de la plataforma IBM Cognos, se obtuvo el detalle de las órdenes de fabricación y compras, tanto futuras como históricas, donde se detallan las fechas de compra, fabricación para las órdenes de producción pasadas, fechas límite para bodega de producto terminado (BPT) y fechas para centro al que debe ser despachado; además, información de los clientes y tamaño de los lotes de fabricación.

Junto a la tarea de obtención de datos relevantes para el trabajo de investigación, se visitaron las distintas unidades de la planta de producción, y en particular se visitó la sala de operaciones de la línea L2 para lograr mayor entendimiento del proceso productivo y los problemas que lo perjudican. Además de observar in situ los procedimientos de detención por cambio de dieta, y observar de qué manera se podría mejorar aplicando métodos de *lean manufacturing*. Otro punto relevante de esta visita fue la oportunidad de conversar con los operadores de la línea en cuestión, quienes dieron su perspectiva de los problemas en la producción.

## 4.2 Cálculos de rendimiento

Para alcanzar el objetivo de mejorar el sistema de planificación de las líneas de producción se solicitó algún documento que contara con los rendimientos de extrusor para cada tipo de producto. Este documento, que en algún momento se tuvo pero que actualmente se encuentra obsoleto por falta de mantención, inclusión de nuevas dietas y falta de confiabilidad en la data.

Actualmente el cálculo de rendimientos se hace a través de una tabla de rendimientos nominales (Tabla 5.1), la cual no involucra datos reales o históricos de la producción.

Línea	Calibre	Tipo de Dieta	Nivel de grasa	Grasa	Capacidad extrusión
				[%]	[ton/h]
2	2 [1,1MM]	ESTÁNDAR	BAJO	15,0 - 16,0	6.0
	2 [1,1MM]	VEL. HUNDIMIENTO	BAJO	15,0 - 16,0	5.0
	5 [1,6MM]	ESTÁNDAR	BAJO	13,0 - 20,0	4.0
	5 [1,6MM]	VEL. HUNDIMIENTO	BAJO	13,0 - 20,0	4.0
	15 [2,2MM]	ESTANDAR	BAJO	13,0 -22,0	7.5
	15 [2,2MM]	VEL. HUNDIMIENTO	BAJO	13,0 -22,0	7.5
3	100 [4,0MM]	ESTANDAR	BAJO	15,0 - 27,5	9.5
	100 [4,0MM]	MEDICADO	BAJO	15,0 - 27,5	9.5
	250 [6,0MM]	ESTANDAR	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	10.0
	250 [6,0MM]	MEDICADO	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	10.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	BAJO	20,5 - 26,0	9.5
	800/1500 [9,5MM]	MEDICADO	BAJO	20,5 - 26,0	9.0
4 5 6	100 [4,0MM]	ESTANDAR / RT	BAJO	15 - 27,5	9.5
	250 [6,0MM]	ESTANDAR / RT	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	10.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	BAJO	20,5 - 27,5	9.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	MEDIO	29,0 - 33,5	9.0
	800/1500 [9,5MM]	RT	MEDIO	29,0 - 33,5	8.5
	800/1500 [9,5MM]	RT	ALTO	34,0 - 38,5	9.0
7	250 [6,0MM]	ESTANDAR / RT	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	13.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR / RT	BAJO	20,0 - 28,9	13.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	MEDIO	29,0 - 33,5	13.0
	800/1500 [9,5MM]	RT	MEDIO	29,6 - 33,5	13.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	ALTO	34,0 - 38,5	13.0
	800/1500 [9,5MM]	RT	ALTO	34,0 - 38,5	13.0

**Tabla 4.1 Extracto Pauta de Procesos**  
Fuente: CARGILL-EWOS CORONEL

Estos datos resultan fundamentales a la hora de calcular el desempeño de los equipos, determinar factores que perjudican el rendimiento de las líneas, y principalmente en relación con los objetivos del proyecto, estos datos serían útiles para determinar los tiempos de producción de cada orden de fabricación, y así determinar dónde y cuándo producir cada una.

Considerando que esta data no estaba actualizada, se decidió construirla desde cero, cruzando datos que ya se tenían. Teniendo la lógica de que el rendimiento en  $\frac{ton}{h}$  (o  $\frac{kg}{h}$ ), se puede obtener mediante la división de la cantidad producida por cada lote con los tiempos de producción respectivos se elaboró un código en Python para el cálculo de los datos. Para este cálculo en una primera instancia se cruzaron los datos de tiempo de extrusor (Tabla 4.2) con las de reporte de producción (Tabla 4.3), con el conocimiento de que la primera contiene la duración de cada actividad en las máquinas de extrusión, sin embargo, esta no contiene el tamaño de los lotes que se procesan, por lo tanto, no se conoce cuanto producto se fabricó en un tiempo determinado. Es por esto que, se comparó con el contenido de la segunda tabla, la que contiene la información relativa a las órdenes de fabricación, en este caso el tamaño de los lotes fabricados. La variable en común que contienen ambas tablas corresponde a MO siendo esta el número de identificación de las ordenes de fabricación.

Además, se incluyó la variable de contenido graso en las dietas, información que se extrajo la tabla que enlista los macro insumos a utilizar en cada una de las dietas (Tabla 4.4), esto con el motivo de que solo se está trabajando con los tiempos de extrusor, cuya producción no corresponde a la de producto terminado. Y luego de la etapa de extrusión le sigue la de aceitado, por lo tanto, resulta razonable, quitar el contenido graso de cantidad producida (ecuación 4.1), en esta operación se considera el porcentaje de grasa objetivo (“Grasa Target, %”) tomando como supuesto el hecho de que este parámetro no varía considerablemente y de encontrarse fuera de los rangos aceptados, el lote producido será rechazado por criterios de calidad.

Puesto que dentro de los tiempos de funcionamiento del extrusor está contenida toda actividad, este documento también detalla las detenciones que ocurren durante la producción misma, ya sea por alguna corrección de parámetros, mantenciones planificadas que obligan a paralizar la producción y también fallas que requieren una interrupción del funcionamiento. Considerando este factor, se seleccionó solo los ítems que se fabricaron en tiempo normal, sin interrupciones, lo que además resultó conveniente en la remoción de valores atípicos. Luego el valor de tiempo se utilizó para dividir el valor obtenido en la ecuación 4.2 obteniendo el rendimiento por orden de producción (MO).

En resumen, la operación utilizada para el cálculo del rendimiento por cada producto corresponde a la siguiente:

$$\text{Producto Seco} = \text{Producto terminado} * (1 - \%Grasa) \quad (4.1)$$

$$\text{Rendimiento} \left( \frac{kg}{h} \right) = \frac{\text{Producto Seco} (kg)}{\text{Tiempo Extrusor} (h)} \quad (4.2)$$

En resumen, la operación utilizada para el cálculo del rendimiento por cada producto corresponde a lo resumido desde la Tabla 4.2 a la Tabla 4.4.

Línea	Descripción	Tipo detención	Duración (h)	Dieta	MO
L3		(P) Limpieza Línea Medicado	0.5		1856086
L3		(P) Cambio de Matriz / Cuchill	0.5		1856086
L4	GINZAKE ICT 250 100A : 25/1250	1-Produccion	1.17	GINZAKE	1856084
L5	ULTRA HG MEX 3500 (9,5mm) 60A FTP1 : BB/1250	1-Produccion	4	ULTRA	1856120
L4	GINZAKE ICT 250 100A : BB/1250	1-Produccion	3.83	GINZAKE	1855941
L4	GINZAKE ICT 250 100A ZN1 : BB/1250	1-Produccion	2.67	GINZAKE	1855883
L6		(P) Demanda	8		
L7		(P) Mantenión Programada	8		
L4	GINZAKE ICT 250 100A : BB/1250	1-Produccion	0.33	GINZAKE	1855852
L5	ULTRA HG MEX 3500(9,5mm) 60A : BB/1250	1-Produccion	4	ULTRA	1856121
L3	SYNERGY + FLOR 250 80A 1,83K/T JMGCK2K/T : BB/1250 (142110)	1-Produccion	7	SYNERGY	1856152
L2		(P) Mantenión Programada	8		1856136
L5	ULTRA HG MEX 3500(9,5mm) 60A : BB/1250	1-Produccion	4	ULTRA	1856121
L5		(P) Cambio Dieta/Pigmento	0.33		1856121
L4	GINZAKE ICT 250 100A : BB/1250	1-Produccion	4.83	GINZAKE	1855852
L3	SYNERGY + FLOR 250 80A 1,83K/T JMGCK2K/T : BB/1250 (142110)	1-Produccion	6	SYNERGY	1856152

Tabla 4.2 Extracto Dataset Tiempos de Extrusor  
Fuente: CARGILL-EWOS CORONEL

Fecha	Línea	MO	Ítem	Descripción	Producido (kg)
24-05-2019	L3	1828118	411811002	EWOS MICRO 018 : 20/1300 COL	1,300
02-05-2019	L4	1831474	415227001	MICRO BOOST 50 (DIETA SECA) :	1,760
01-05-2019	L2	1831561	411768704	REPRODUCTOR SW 500 70A ZN1 PLV	24,000
02-05-2019	L4	1831567	411754701	REPRODUCTOR FW 1000 70A : 20/1	11,080
01-05-2019	L2	1831586	511373802	BACTER H 500 80A : BB/1250	7,500
06-05-2019	L3	1831684	511222806	HARMONY HE 100 80P : BB/1250	18,750
01-05-2019	L2	1831710	511194601	RECOVERY 500 60A : 25/1250	55,375
01-05-2019	L2	1831710	511194601	RECOVERY 500 60A : 25/1250	55,375
01-05-2019	L2	1831710	511194601	RECOVERY 500 60A : 25/1250	55,375
01-05-2019	L2	1831710	511194601	RECOVERY 500 60A : 25/1250	55,375
04-05-2019	L7	1831723	511002602	ULTRA HG 1000 60A : BB/1250	62,500
04-05-2019	L7	1831723	511002602	ULTRA HG 1000 60A : BB/1250	62,500
04-05-2019	L2	1831728	511023001	VIRA 5 : 20/1300	8,640
02-05-2019	L2	1831732	511024001	VIRA 15 : 20/1300	25,100
02-05-2019	L2	1831735	511025008	VIRA 50 : 20/1200	6,820
02-05-2019	L2	1831737	412411001	MICRO BOOST 50 : 20/1300	11,160
09-05-2019	L2	1831762	411350002	EWOS MARINE 1000 : 25/1250	10,450
02-05-2019	L7	1831764	511377604	ULTRA HE H 2000 (10mm) 60A : B	170,000

Tabla 4.3 Extracto Reporte Producción por MO

Fuente: CARGILL-EWOS CORONEL

Código	Dieta	Calibre	Grasa Target, %	Humedad Target, %	Cenizas Target, %	Fibra Target, %
481355	MARINE	2000	14	7	7.5	1
481811	Micro EXP	0.18	13.5	8	12	0.1
481812	Micro EXP	0.75	15	8	12	0.1
481813	Micro EXP	2	15	7.5	12	0.1
481814	TRANSFER EXP	5	20	6	7	0.5
481831	MARINE	5	13	6.5	10	0.5
481832	MARINE	15	13	6.5	10	0.5
481865	TRANSFER EXP	15	22	6	7	1.5
481866	TRANSFER EXP	50	22	7	7	1
481890	TRANSFER EXP	100	24	8	7	1
482400	MICRO START	0.15	14.5	8	10.5	0.1
482401	MICRO START	0.18	14.5	8	10.5	0.1
482402	MICRO START	0.75	14.5	8	10.5	0.1
482403	MICRO START (L2)	2	15	7.5	12	0.1
482414	MICRO R BOOST	5	19	6	10	0.5

Tabla 4.4 Extracto Tab de 25 Q2-2022

Fuente: CARGILL-EWOS CORONEL

### 4.3 Análisis de resultado del cálculo de rendimientos

El resultado que se obtiene luego del cálculo de rendimientos es una nueva tabla (ver Tabla 4.5), cuya columna de Rendimiento se presenta en  $\frac{kg}{h}$ .

A modo de análisis de los resultados obtenidos, luego de hacer limpieza de *outliers* en el dataset, los que en su mayoría corresponden a errores de registro de los tiempos de producción, se elaboró un gráfico para visualizar la distribución de los datos de rendimiento (ver Figura 4.1). Además, con el objetivo de estudiar la correlación que tienen con respecto a las líneas y calibres del producto. Se elaboraron gráficos de cajas y bigotes correspondientes a cada una de las líneas y de esta forma evaluar la distribución de rendimientos, sus valores promedio y su desviación (ver Figura 4.2). En estos gráficos se observó que la mayoría de los valores promedio se mantienen en rangos similares para todas las líneas, y las diferencias más notorias, ocurren al comparar las líneas L2 y L7, lo que resulta razonable, considerando que el equipo de la L2 se configura para la extrusión de dietas más pequeñas y con menor contenido graso, contrario a lo que ocurre en la L7, la cual no produce calibres de menor tamaño y cuenta con un equipo de extrusión más moderno y de mayor capacidad.

Fecha	MO	Descripción	Dieta	Línea	Horas	Producto Seco	Rendimiento (kg/h)
5/8/2019 0:00	1833813	ULTRA HE 2000 (9,5MM) 60A SGV	ULTRA	L7	3.25	41041.35	12628.10
9/8/2019 0:00	1833857	BACTER 2000 60A : BB/1250	BACTER	L6	7	62400	8914.28
7/8/2019 0:00	1833939	EWOS TRUCHINA 44-15 : 20/1300	TRUCHINA	L3	2	8342	4171
7/8/2019 0:00	1833940	EWOS TRUCHINA 42-50 : 20/1300	TRUCHINA	L3	3.33	20378.4	6119.63
7/8/2019 0:00	1833945	EWOS TRANSFER (CALIBRE 15) :20	TRANSFER	L3	2.33	12168	5222.317
7/8/2019 0:00	1833946	EWOS TRANSFER (CALIBRE 50) :20	TRANSFER	L3	2	7784.4	3892.2
8/14/2019 0:00	1833973	ULTRA HE 2000 (9,5MM) 60A : BB	ULTRA	L7	11.5	119700	10408.69
8/13/2019 0:00	1833974	ULTRA HE 2000 (9,5MM) 60A : BB	ULTRA	L7	9	92925	10325
8/14/2019 0:00	1833975	ULTRA HE 2000 (9,5MM) 60A : BB	ULTRA	L7	9	107100	11900

Tabla 4.5 Extracto tabla rendimientos por MO

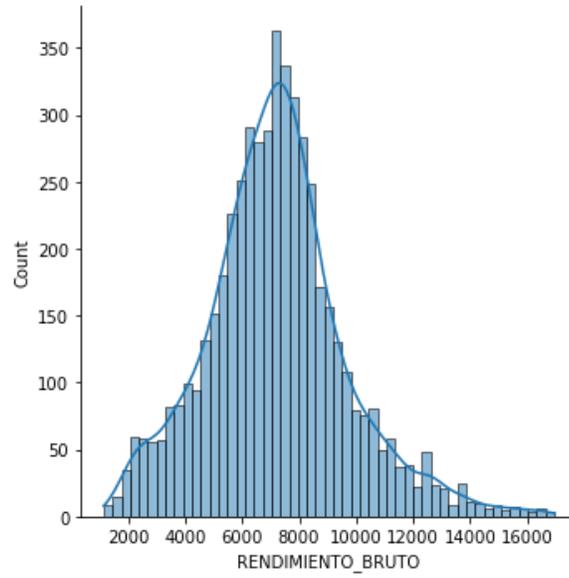


Figura 4.1 Distribución Dataset de Rendimientos por MO

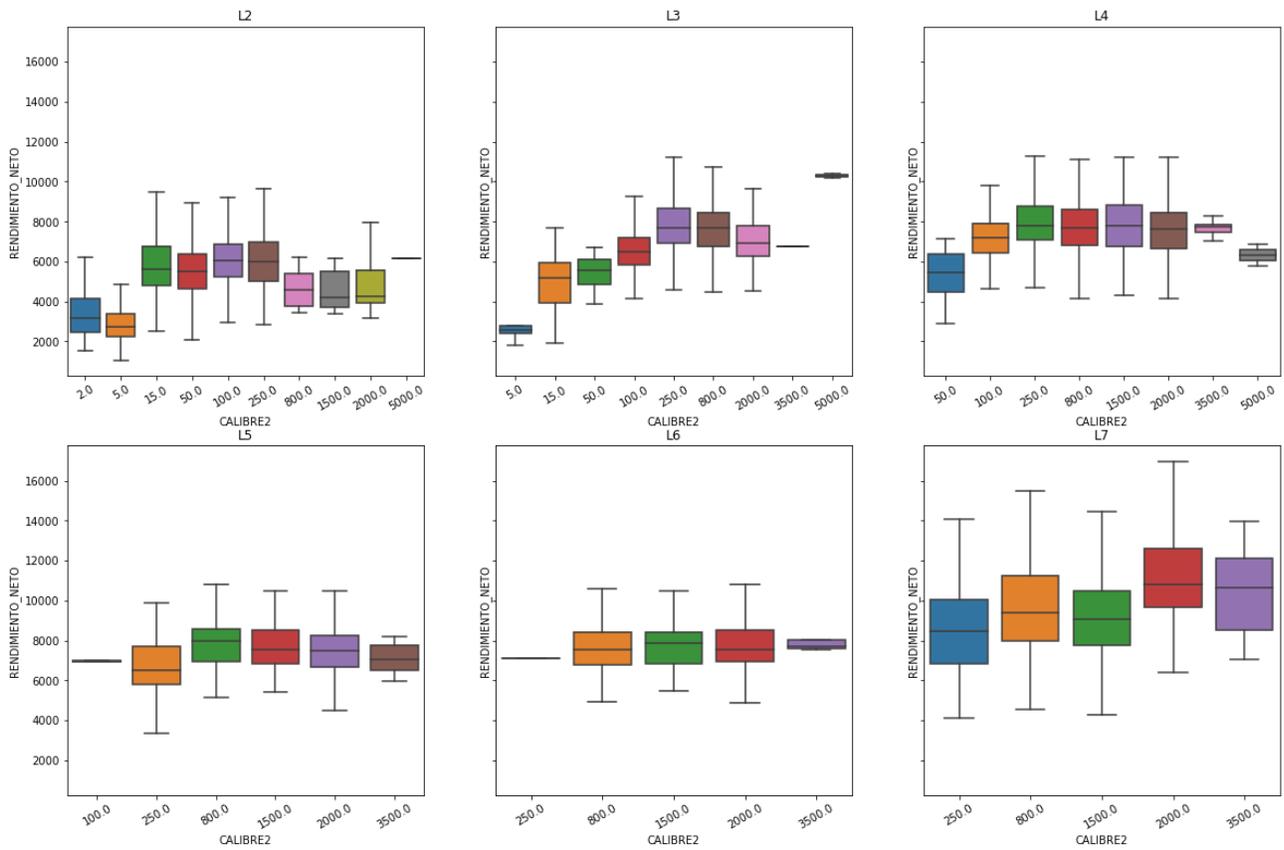


Figura 4.2 Boxplot Rendimiento vs. Calibre por cada línea de producción

Luego, con la idea de utilizar los resultados en la siguiente etapa del proyecto, los datos calculados se disponen como se muestra en la tabla inferior (Tabla 4.6), donde se define un rendimiento para cada tipo de producto en las líneas que este se puede fabricar. Este valor, se construye a través del promedio de los valores obtenidos en los pasos previos y se muestra como *kg/h*.

Padre	Dieta + Calibre	Calibre	Grasa	RT	L2	L3	L4	L5	L6	L7
411811	MICRO EXP 0.18	0.18	13.5	NO						
411812	MICRO EXP 0.75	0.75	15	NO						
411813	MICRO EXP 2.0	2	15	NO	2799					
711012	BACTER 2000.0	2000	36	NO				7875	9057	
711013	BACTER (9,5MM) 2000.0	2000	36	NO			7147	8991		10782
711023	VIRA 2000.0	2000	34	NO	5373	7164	8135		7603	
711024	VIRA (9,5 MM) 2000.0	2000	33	NO		7669	7042			9550
711062	RECOVERY (9,5 MM) 2000.0	2000	34	NO		5449		6502	8148	13074
711143	ULTRA HE 2000.0	2000	37	NO			8143	8597	8778	10968
711403	GINZAKE HE ETQ 800.0	800	34.5	SI			9418	7370		9343

Tabla 4.6 Tabla de Rendimientos por Línea y Dieta (kg/h)

#### 4.4 Estimación de tiempos de producción a través de machine learning

Si bien los datos de rendimiento obtenidos son información útil para determinar el comportamiento histórico de las líneas con cada producto, existen dietas en las que el conteo de casos es bajo (menor a 5 casos), además de existir alta variabilidad en el rendimiento de los productos al agruparlos ya sea por dieta o por calibre. Por otra parte, se han incorporado nuevas variantes de dietas, las cuales no se encuentran en la data histórica. Es por estos factores que el cálculo de rendimientos históricos no resulta un criterio tan preciso para estimar el tiempo de proceso de nuevas órdenes de fabricación.

Como alternativa a esto, se decidió elaborar un modelo de regresión con herramientas de machine learning para Python, con el propósito de establecer un modelo que funcionara para predecir el tiempo de procesamiento de ordenes de fabricación futuras.

Se configuraron y compararon cinco modelos de regresión, de los cuales cuatro corresponden a métodos no lineales, a través del paquete *scikit-learn* (Pedregosa, y otros, 2011) en Python, cuyos resultados se exponen en la Tabla 4.7, donde se seleccionó el modelo *Random Forest* de acuerdo con su desempeño. Se realizaron múltiples modelos, filtrando las variables relevantes según los valores de precisión que arrojaba cada iteración. Finalmente, las variables que se incluyeron en el modelo fueron las siguientes:

- Volumen Producido: variable numérica, continua
- Nivel de Grasa: variable numérica, continua
- Línea L2: variable categórica, binaria
- Línea L3: variable categórica, binaria
- Línea L4: variable categórica, binaria
- Línea L7: variable categórica, binaria

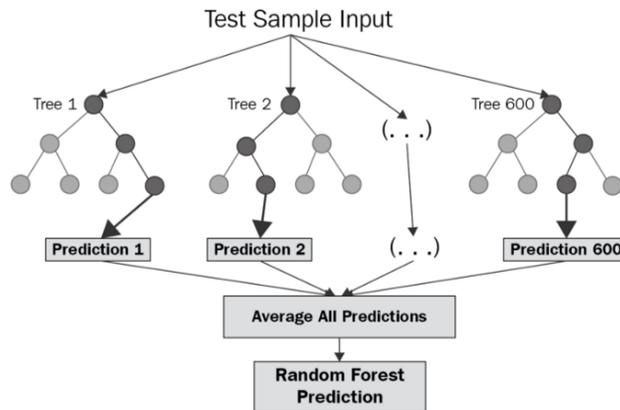
El conjunto de datos fue separado entre un set de entrenamiento y uno de test correspondientes al 70% y 30% respectivamente, dicho set de test fue utilizado para la validación cruzada de los modelos. Las métricas de desempeño seleccionadas corresponden a  $R^2$  que indica la cantidad de la varianza que es explicada a través de las variables incluidas en el modelo y *MSE* (*mean squared error*) que indica el error promedio de los valores estimados por el modelo versus las observaciones del dataset.

Model	$R^2$ Score	MSE
<b>Linear Regression</b>	0.654216	0.184961
<b>KNN</b>	0.870245	0.069406
<b>Decision Tree</b>	0.883825	0.062142
<b>Random Forest</b>	0.884804	0.061618
<b>MLP</b>	0.878438	0.065024

Tabla 4.7 Comparativa modelos de estimación de tiempo de proceso

El método de regresión Random Forest corresponde a un modelo no lineal de aprendizaje supervisado que consiste en construir un conjunto de árboles de decisión, en el cual cada árbol se crea a partir de

una muestra del dataset y cuyo output es producto del promedio de lo estimado por cada uno de los árboles (ver Figura 4.3).



**Figura 4.3 Construcción de un modelo Random Forest**  
 Archivo de: O'Reilly Media

La Tabla 4.8 muestra un ejemplo práctico del funcionamiento del modelo de estimación propuesto, considerando el input de datos y el output generado, así también, se puede visualizar la vectorización de los datos, por medio de técnicas de escalado de variables, utilizando el preprocesamiento de datos *min-max scaler*, que normaliza los valores de la variable, redefiniendo sus valores mínimos y máximos como 0 y 1 respectivamente, tal como se muestra en la ecuación 4.3.

$$X_{scaled} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \tag{4.3}$$

Dieta	Calibre	Grasa	Línea	Por producir	→	Vector Resultante	→	Tiempo Estimado de producción (h)
<b>Rapid S</b>	2000	39	L4	25000	→	(0.045, 0.926, 0, 0, 1, 0)	→	2.12
<b>Clear</b>	50	22.5	L2	30000	→	(0.055, 0.315, 1, 0, 0, 0)	→	4.10
<b>Breed</b>	2000	31	L7	15500	→	(0.027, 0.630, 0, 0, 0, 1)	→	1.50

**Tabla 4.8 Ejemplo Modelo de estimación Random Forest**

La ventaja que presenta la implementación de un modelo de regresión para estimar el tiempo de proceso de cada trabajo por sobre la utilización del rendimiento obtenido desde datos históricos, es la flexibilidad al momento de proponer nuevos productos, o productos que simplemente no poseen el respaldo suficiente en la data para estimar el tiempo que requiere en las líneas de producción. Por lo tanto, este modelo obtenido el que se utilizó para la estimación de datos en las etapas siguientes.

## 4.5 Desarrollo de sistema de planificación automático

A través de Python se implementó un sistema de secuenciación de producción automático, el cual cuenta con un modelo de estimación de tiempos de producción y además se adicionaron los datos de órdenes de compra, tiempos de detención planificadas y los tiempos de detención por cambio de dieta.

Bajo las características que la planta tiene en la actualidad, donde existe cierta holgura en las fechas de planificación, puesto que se ha observado en el escenario real una holgura de aproximadamente una semana respecto a las fechas de entrega en bodega por cada orden de producción. Y considerando solo la etapa de extrusión en el modelado, que viene siendo la etapa que más conflicto causa. La configuración que tiene la planta hoy en día se puede modelar como lo que en la literatura se plantea como *Máquinas paralelas no relacionadas con tiempos de setup dependientes de secuencia* (*Unrelated Parallel Machines with sequence dependant setup times*) y que se denota de la forma  $R_m|S_{ijk}|C_{max}$  (Pinedo, 2012), identificarlo como este problema significa considerarlo como *NP-hard*, el modelo matemático asociado se muestra en la Figura 4.5 y se planteó en base al modelo de máquinas paralelas idénticas dependientes de secuencia propuesto por Guinet, 1993.

Desglosando la denominación del problema se tiene primero *Máquinas paralelas no relacionadas*, donde el tiempo de procesamiento de cada trabajo es distinto dependiendo la línea en el que se realice, y dado que las líneas no son idénticas, se explica que los productos no puedan ser fabricados en cualquiera de estas. Luego los *tiempos de setup dependientes de secuencia*, quiere decir que el tiempo de preparación en cada máquina es dependiente del trabajo  $j$  a realizar y el trabajo  $i$  realizado previamente, y en este caso también la línea  $k$  en la que se fabrica. Si bien en el funcionamiento cotidiano de la planta, la producción está sujeta a detenciones ya sea por fallas, o detenciones planificadas que pueden interrumpir la producción, en el caso de las primeras, se supone un desempeño normal de las líneas de producción, mientras que para las detenciones planificadas, se evita dentro de lo posible hacer calzar las detenciones planificadas con la producción, por lo tanto, se toma como supuesto que no existen interrupciones hasta que el trabajo termine (non-preemptive).

Las características y supuestos generales del problema que se identifica anteriormente son descritos por Salazar Hornig & Ávila Thieme, 2017 de la forma que se muestra a continuación:

- Cada trabajo  $i$  ha de ser procesado en una única maquina  $k$  con  $i \in \{1,2, \dots, n\}$  y  $k \in \{1,2, \dots, m\}$
- El tiempo de proceso del trabajo  $j$  es dependiente de la maquina/línea  $j$  donde se realice  $p_{ik}$  ( $i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m$ )

- Los tiempos de setup de la máquina/línea para un trabajo  $i$  luego del trabajo  $j$  en la maquina  $k$  está dado por  $s_{ijk}$  ( $i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m$ ) donde  $s_{0jk}$  corresponde al tiempo inicial de setup para procesar el trabajo  $j$  en una maquina  $k$ , como no existe un registro preciso de este tiempo, se asumirá  $s_{0jk} = 0, \forall j, k$
- Cada maquina procesa un trabajo a la vez
- El proceso no puede ser interrumpido (*without preemptions*)
- Los trabajos son independientes entre sí y están disponibles desde el instante inicial
- Las máquinas tienen producción normal y no tendrán fallas en el horizonte de fabricación
- El objetivo que se plantea es minimizar  $C_{max}$

Además, como supuesto específico para el problema que se plantea, las máquinas que constituyen el conjunto  $m$  y que son objetivo de mejora en la planificación serán solo  $m = \{L2, L3, L4, L5, L6, L7\}$ , entendiendo que la línea  $LM$  tiene una configuración totalmente distinta al conjunto  $m$  y los productos que fabrica **no** son permutables con otras líneas productivas.

Otro supuesto es referente a las variables de packaging y adición de medicados, pues ambas etapas son posteriores a la etapa de extrusión, y son limitantes que afectan el funcionamiento paralelo de la secuencia, o sea, para el caso del packaging se provoca una reducción de rendimiento en las líneas paralelas en caso de que se esté empacando con un determinado formato en una sola línea. En cuanto al proceso de medicado, según el tipo de aditivo que se añada, este se incorporará en las líneas L3 o L2.

El makespan se define como el tiempo máximo de completación entre todas las líneas de fabricación ( $C_k$ ), cuyos tiempos se calculan a través de la sumatoria de los tiempos de procesamiento ( $p_{ik}$ ) para cada uno de los trabajos en una misma línea, además de los tiempos de setup entre el trabajo  $i$  que se asigna y el trabajo  $j$  que lo precede ( $s_{ijk}$ ), como se ilustra en la Figura 4.4.

$$C_k = \sum_{i \in N} \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} (s_{ijk} + p_{ik}) * x_{ijk}, \quad \forall k \in M$$

Figura 4.4 Cálculo de tiempos de completación por línea de producción

El modelo matemático del problema UPMSPT corresponde al siguiente:

$M$ : conjunto de máquinas no relacionadas

$N$ : conjunto de trabajos independientes

$p_{ik}$ : Tiempo de proceso del trabajo  $i$  en la máquina  $k$

$S_{ijk}$ : Tiempo de setup de la máquina  $k$  cuando el trabajo  $j$  se procesa luego del trabajo  $i$  en la misma máquina

Las variables de decisión:

$X_{ijk}$ :  $\begin{cases} 1, & \text{si el trabajo } i \text{ precede al trabajo } j \text{ en la máquina } k \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$

$C_{ik}$ : Tiempo de completación del trabajo  $i$  en la máquina  $k$

$C_{max}$ : Makespan, tiempo de completación máximo

La función objetivo:

$$\min C_{max} \quad (1)$$

s. a:

$$\sum_{k \in M} \sum_{i \in \{0\} \cup \{N\}} X_{ijk} = 1, \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{k \in M} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} X_{ijk} \leq 1, \quad \forall j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} X_{0jk} \leq 1, \quad \forall k \in M \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{h \in \{0\} \cup \{N\} \\ h \neq j, h \neq i}} X_{hjk} \geq X_{ijk}, \quad \forall i, j \in N, i \neq j, \forall k \in M \quad (5)$$

$$C_{ik} + V(1 - X_{ijk}) \geq C_{ik} + S_{ijk} + p_{ij}, \quad \forall i \in \{0\} \cup \{N\}, \forall j \in N, i \neq j, \forall k \in M \quad (6)$$

$$C_{0k} = 0, \quad \forall k \in M \quad (7)$$

$$C_{ik} \geq 0, \quad \forall i \in N, \forall k \in M \quad (8)$$

$$C_{max} \geq C_{ik}, \quad \forall i \in N, \forall k \in M \quad (9)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i \in \{0\} \cup \{N\}, \forall j \in N, i \neq j, \forall k \in M \quad (10)$$

Figura 4.5 Modelo matemático MIP del problema de máquinas paralelas no relacionadas con tiempos de setup dependientes de secuencia (UPMSPT)

Fuente: Vallada & Ruiz, 2011

Fecha Centro	Fecha BPT	Tipo de producto	Dieta	Calibre	Por Producir	Envase	Pigmento
08-07-2022	06-07-2022	711845001	START	018	1,600	10	
08-07-2022	06-07-2022	711846001	START	075	3,840	10	
01-07-2022	27-06-2022	711487005	CLEAR	15	1,250	25	
01-07-2022	27-06-2022	412402005	MSTART	075	580	10	
01-07-2022	29-06-2022	711787805	VIRA	50	4,375	625	80%
01-07-2022	29-06-2022	711787807	VIRA	50	2,600	20	80%
02-07-2022	30-06-2022	711804002	MICRO	5	2,500	625	
30-06-2022	29-06-2022	711447644	MEDIC	800	176,250	1,250	60%
30-06-2022	28-06-2022	711694003	MARINE	800	6,000	25	
01-07-2022	25-06-2022	711835104	MICRO	250	10,000	1,250	100%
04-07-2022	30-06-2022	511023001	VIRA	5	1,600	20	
04-07-2022	30-06-2022	511023001	VIRA	5	1,300	20	
04-07-2022	30-06-2022	511023001	VIRA	5	1,300	20	

Tabla 4.9 Órdenes de compra  
Fuente: CARGILL-EWOS CORONEL

Actual\ Anterior	0.75	5	15	50	100	250	800	2000
0.75	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5	0.5	0	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5
15	0.5	1.5	0	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5
50	0.5	1.5	1.5	0	1.5	0.5	0.5	0.5
100	0.5	0.5	1.5	1.5	0	1.5	0.5	0.5
250	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	0	1.5	0.5
800	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	0	1.5
2000	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	0

Tabla 4.10 Matriz tiempos de limpieza por cambio de calibre,  $calibre_{ij}$

Actual\ Anterior	FLOR	TERRA	VAC	ETQ	EMA	NO
FLOR	0	2	2	2	2	8
TERRA	8	0	8	8	4	8
VAC	2	2	0	2	2	2
ETQ	4	4	4	0	4	4
EMA	8	8	8	8	0	8
NO	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.11 Matriz tiempos de detención por cambio en aditivo,  $aditivo_{ij}$

Actual\ Anterior	NO	SI
NO	0	1
SI	0	0

Tabla 4.12 Matriz tiempo de detención por habilitación de válvula ECS en L2,  $ECS_{ijL2}$

Actual\ Anterior	NO	SI
NO	0	2
SI	1	0

Tabla 4.13 Matriz tiempos de detención por cambio de pigmento,  $color_{ij}$

Código	Dieta	Grasa	Calibre	RT	ECS	L2	L3	L4	L5	L6	L7
711251	GINZAKE Reproductor SW	23.5	5000	1	1	1	0	0	0	0	0
711263	VIRA LIMNO	22	100	0	0	1	1	1	0	0	0
711271	ULTRA HE CK	39	2000	0	0	0	1	1	1	1	0
711279	Van EXP	26	2000	0	0	1	1	1	1	1	0
711282	TRUCHINA 40	16	2000	0	0	1	1	1	1	1	0
711298	MICRO PSZ	23	50	0	0	1	1	1	0	0	0
711299	MICRO PSZ	26	100	0	0	1	1	1	0	0	0
711300	MICRO PSZ	28	250	0	0	1	1	1	1	1	1
711310	ULTRA HE AQ (9,5mm)	37	2000	0	0	0	1	1	1	1	0
711311	VIRA LIMNO	20	5	0	0	1	0	0	0	0	0

Tabla 4.14 Compatibilidad producto en cada línea de producción

Fuente: CARGILL-EWOS CORONEL

Las tablas que se muestran anteriormente (Tabla 4.9 a Tabla 4.14) corresponden al input del programa de secuenciación, la Tabla 4.9 ejemplifica el input de la planilla de trabajos a secuenciar, luego se muestran las tablas referentes al cálculo de tiempos de setup, por cualquiera de los criterios que esta señale. Por lo tanto, el cálculo de tiempos de setup para cambios de dieta  $i$  a dieta  $j$  en la máquina  $k$ , corresponde a:

$$S_{ijk} = calibre_{ij} + aditivo_{ij} + ECS_{ijk} + color_{ij} \quad (4.4)$$

La ecuación 4.4 aplicada en una función de Python da como resultado la matriz que se muestra en la Tabla 4.15 Extracto matriz de tiempos de setup  $s_{ijk}$  Tabla 4.15.

LÍNEA	TASK	JOB_0	JOB_1	JOB_2	JOB_3
L2	0	0	0	0	0
	JOB_0	0	4	6	6.5
	JOB_1	0	0	2	2.5
	JOB_2	1.5	1.5	0	2.5
	JOB_3	0.5	0.5	1.5	0
L4	0	0	0	0	0
	JOB_0	0	4	6	5.5
	JOB_1	0	0	2	1.5
	JOB_2	1.5	1.5	0	2.5
	JOB_3	0.5	0.5	1.5	0
L6	0	0	0	0	0
	JOB_0	0	4	6	5.5
	JOB_1	0	0	2	1.5
	JOB_2	1.5	1.5	0	2.5
	JOB_3	0.5	0.5	1.5	0
L7	0	0	0	0	0
	JOB_0	0	4	6	5.5
	JOB_1	0	0	2	1.5
	JOB_2	1.5	1.5	0	2.5
	JOB_3	0.5	0.5	1.5	0

Tabla 4.15 Extracto matriz de tiempos de setup  $s_{ijk}$

Para la elaboración de la matriz que se muestra en la Tabla 4.16 se utilizó el modelo de estimación obtenido en la etapa anterior. Los recuadros que se muestran vacíos implican que el trabajo  $i$  no se puede realizar en la línea  $k$ , dicha información se obtiene de la Tabla 4.14.

TASK	L2	L3	L4	L5	L6	L7
JOB_0	5.92	5.31	4.92	4.92	4.92	4.69
JOB_1	1.54	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
JOB_2	1.65	1.51	1.51			
JOB_3	1.54					

Tabla 4.16 Extracto matriz tiempos de procesamiento  $P_{ik}$

Para el desarrollo de esta etapa y a modo de ejemplo se optó por seleccionar datos de la secuencia planificada correspondiente a la primera semana del mes de julio, con una muestra de 46 órdenes de producción ( $n = \{JOB_0, JOB_1, \dots, JOB_{45}\}$ ) a distribuir entre las líneas L2, L5, L6 ( $m = \{L2, L5, L6\}$ ). A partir de dicha secuencia se calcularon las detenciones y tiempos de procesamiento, sin realizar cambios en el ordenamiento. Se construyó una carta Gantt a través de la herramienta *plotly* en Python (Figura 4.6), además se calculó el makespan con el método que se expone en la definición del problema, lo que arrojó un valor de  $C_{max} = 114.5$  horas, el que es alcanzado en la línea L5.

	L2	L5	L6
0	JOB_0	JOB_14	JOB_35
1	JOB_1	JOB_15	JOB_36
2	JOB_2	JOB_16	JOB_37
3	JOB_3	JOB_17	JOB_38
4	JOB_4	JOB_18	JOB_39
5	JOB_5	JOB_19	JOB_40
6	JOB_6	JOB_20	JOB_41
7	JOB_7	JOB_21	JOB_42
8	JOB_8	JOB_22	JOB_43
9	JOB_9	JOB_23	JOB_44
10	JOB_10	JOB_24	JOB_45
11	JOB_11	JOB_26	
12	JOB_12	JOB_27	
13	JOB_13	JOB_28	
14	JOB_25	JOB_29	
15		JOB_30	
16		JOB_31	
17		JOB_32	
18		JOB_33	
19		JOB_34	
20			

Tabla 4.17 Secuencia planificada en máquinas paralelas



Figura 4.6 Carta Gantt de secuencia de producción planificada

Utilizando la misma muestra que se evaluó en la etapa anterior, y utilizando las tablas de tiempos de procesamiento (Tabla 4.16) y de tiempos de setup (Tabla 4.15) se programó la heurística de *setupECT* (Salazar Hornig & Ávila Thieme, 2017) que propone una variante del ordenamiento en base al tiempo

de completación más temprano (ECT: earliest Completion Time) incluyendo los tiempos de setup en el cálculo.

```

procedure setupECT()
     $U \leftarrow \{1, 2, \dots, n\}$ 
    for  $k = 1, \dots, m$  do  $M_k = 0$  endfor
    while  $U \neq \emptyset$  do
         $t_{j(k)} = \arg[\min_{k=1, \dots, m} \{M_k + p_{jk} + s_{ijk}\}]; j \in U$ 
         $j_0(k_0) \leftarrow \arg[\min_{j \in U} \{t_{j(k)}\}]$ 
        Asignar trabajo  $j_0$  máquina  $k_0$ 
         $M_{k_0} \leftarrow M_{k_0} + p_{j_0 k_0} + s_{ij_0 k_0}$ 
         $U \leftarrow U - \{j_0\}$ 
    end while
end procedure

```

Figura 4.7 Algoritmo Heurística setupECT (Salazar Hornig & Ávila Thieme, 2017)

Una vez aplicado el algoritmo que se muestra en la Figura 4.7 en el caso seleccionado, se genera un ordenamiento distinto al que se propone en la secuencia planificada y se obtiene un valor de  $C_{max} = 90.31$  horas lo que significa una reducción de 24.19 horas o 21.13% del makespan.

	L2	L5	L6
0	JOB_1	JOB_14	JOB_23
1	JOB_10	JOB_17	JOB_37
2	JOB_0	JOB_6	JOB_35
3	JOB_9	JOB_15	JOB_19
4	JOB_3	JOB_8	JOB_36
5	JOB_2	JOB_16	JOB_22
6	JOB_5	JOB_7	JOB_40
7	JOB_25	JOB_20	JOB_38
8	JOB_11	JOB_29	JOB_41
9	JOB_12	JOB_30	JOB_33
10	JOB_31	JOB_34	JOB_24
11	JOB_4	JOB_28	JOB_39
12	JOB_13	JOB_26	JOB_45
13	JOB_18	JOB_27	JOB_42
14		JOB_44	
15		JOB_32	
16		JOB_43	
17		JOB_21	

Tabla 4.18 Secuencia paralela de setupECT

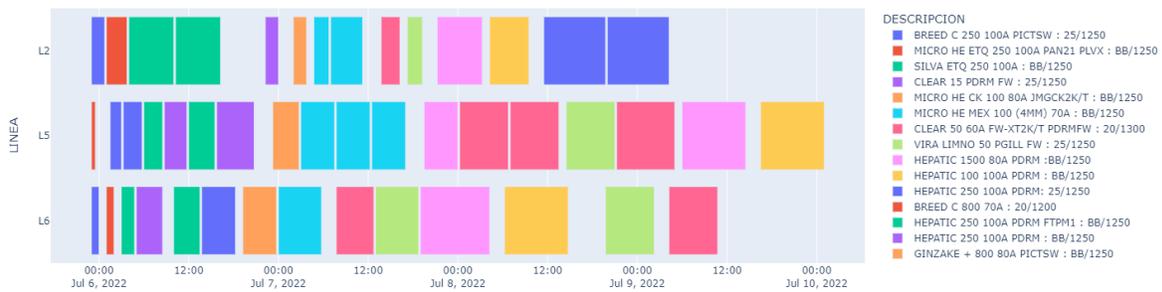


Figura 4.8 Carta Gantt de secuencia setupECT

## 4.6 Optimización de resultados mediante Iterated Local Search (ILS)

Considerando la mejora obtenida por medio de la heurística setupECT, se procedió a aplicar la heurística de búsqueda local ILS (iterated local search) con el objetivo de mejorar el makespan de la secuencia resultante, reordenando la asignación obtenida en el algoritmo anterior (ver Tabla 4.18). La implementación de un algoritmo de búsqueda local permite la permutación de elementos dentro de la misma secuencia, lo que potencialmente puede corregir la principal limitación de la heurística setupECT, que por criterio de ordenamiento del tiempo de completación más temprano, provoca una concentración de las ordenes de fabricación de menor duración al inicio de la secuencia.

```

1. Set  $max\_iter$ ,  $pert$ ,  $iter = 1$ ,  $cnt = 0$ ,  $i = 1$ ;
2. Generate an initial permutation  $\pi$ , set  $\pi^* = \pi$ ;
3. FOR  $iter := 1$  TO  $max\_iter$  DO
  BEGIN
4.   FOR  $i := 1$  TO  $n$  DO
    BEGIN
5.     Find  $k$ , which satisfies  $\pi(k) = \pi^*(i)$ ;
6.     Insert job  $\pi(k)$  into other  $n - 1$  positions in  $\pi$ ,
       respectively, and let  $\pi'$  be the best one among
       the  $n - 1$  generated permutations;
7.     If  $\pi'$  is better than  $\pi$ , then set  $\pi = \pi'$ ,  $cnt = 0$ ;
       otherwise, set  $cnt = cnt + 1$ ;
8.     If  $\pi$  is better than  $\pi^*$ , then set  $\pi^* = \pi$ ;
9.     IF  $cnt \geq n$  THEN
      BEGIN
10.      Perturb  $\pi^*$  by  $pert$  times random adjacent pair-
          wise interchange to generate a permutation  $\pi$ ;
11.      If  $\pi$  is better than  $\pi^*$ , then set  $\pi^* = \pi$ ;
12.      Set  $cnt = 0$ ;
      END
    END
  END
END
Output  $\pi^*$  and stop.

```

Figura 4.9 Pseudocódigo ILS  
Fuente: Dong, Huang, & Chen, 2009

Se utilizó el algoritmo ILS propuesto por Dong, Huang, & Chen el año 2009 (ver Figura 4.9), implementado a través de Python, generando permutaciones iterativas en las secuencias de cada línea de forma individual, de manera que evalúa el cambio de posición de cada una de las ordenes de fabricación a lo largo de todas las posibles posiciones dentro de la línea de producción asignada.

La implementación de este algoritmo, genera una nueva secuencia (ver Tabla 4.19) cuyo resultado de makespan es  $C_{max} = 87.31$  horas lo que implica una mejora del 23.75% respecto del makespan de la secuencia planificada.

	L2	L5	L6
0	JOB_3	JOB_7	JOB_36
1	JOB_10	JOB_17	JOB_35
2	JOB_0	JOB_6	JOB_23
3	JOB_9	JOB_15	JOB_19
4	JOB_1	JOB_8	JOB_37
5	JOB_25	JOB_14	JOB_22
6	JOB_5	JOB_21	JOB_40
7	JOB_2	JOB_20	JOB_42
8	JOB_11	JOB_29	JOB_41
9	JOB_12	JOB_30	JOB_33
10	JOB_31	JOB_34	JOB_24
11	JOB_4	JOB_44	JOB_39
12	JOB_13	JOB_43	JOB_45
13	JOB_18	JOB_27	JOB_38
14		JOB_28	
15		JOB_32	
16		JOB_26	
17		JOB_16	

Tabla 4.19 Secuencia paralela de ILS aplicado a la solución de setupECT

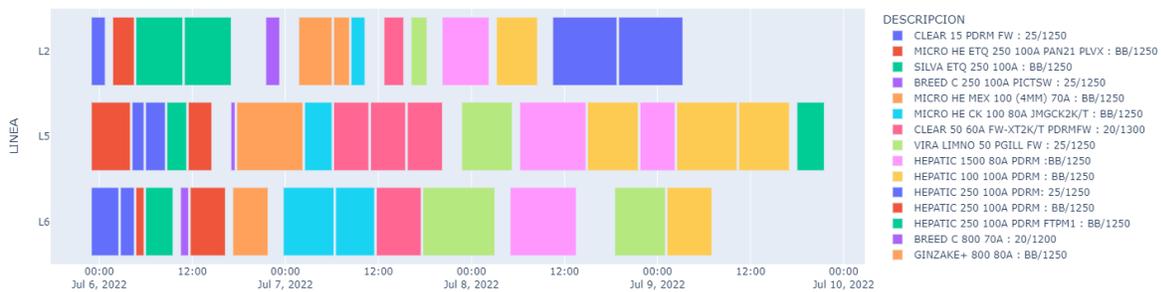


Figura 4.10 Carta Gantt de secuencia ILS

## 4.7 Optimización de resultados mediante un Algoritmo Evolutivo

Tomando la solución entregada por la heurística *setupECT* (Figura 4.7) se procedió a formular una heurística de búsqueda local con el objetivo de mejorar la anterior. La heurística seleccionada corresponde a la de un algoritmo evolutivo.

Los algoritmos evolutivos, los cuales toman la lógica de la evolución biológica para la búsqueda de soluciones, en este algoritmo en particular se inicializa con una población de soluciones factibles, las cuales se evalúan para encontrar las mejores y peores, el criterio de evaluación será el makespan ( $C_{max}$ ). El algoritmo base es el que se propone en la Figura 4.11, propuesto por Pinedo el año 2012 implementado mediante la programación en Python.

```

Step 1
  Set  $k = 1$ 
  Select  $l$  initial sequences  $S_{1,1}, \dots, S_{1,l}$  using some heuristic

Step 2
  Select the two best schedules among  $S_{k,1}, \dots, S_{k,l}$ 
  and call these  $S_k^+$  and  $S_k^{++}$ 
  Select the two worst schedules among  $S_{k,1}, \dots, S_{k,l}$ 
  and call these  $S_k^-$  and  $S_k^{--}$ 
  Generate two offspring  $S^*$  and  $S^{**}$  from parents  $S_k^+$  and  $S_k^{++}$ 
  Replace  $S_k^-$  and  $S_k^{--}$  with  $S^*$  and  $S^{**}$ 
  Keep all other schedules the same and go to step 3

Step 3
  Increment  $k$  by 1
  If  $k = N$  then STOP,
  otherwise go to step 2

```

Figura 4.11 Pseudocódigo algoritmo evolutivo propuesto por Pinedo, 2012

Si bien en el algoritmo propuesto, se definen los criterios de selección, para la etapa de inicialización (Step 1, Figura 4.11) se genera una población aleatoria, barajando una secuencia inicial múltiples veces hasta obtener el tamaño deseado. En la baraja además de verse afectado el orden de la secuencia, también se selecciona de forma aleatoria la línea en cual se realizará cada trabajo, siempre y cuando este sea factible. Este procedimiento inicial se describe en la Figura 4.12.

**Input:** initial sequence and initial population size  
**Step 1:** Create empty list  $l$  and insert initial sequence as the first element  
**Step 2:** while the size of  $l$  is less than the desired initial population shuffle initial sequence  
     if shuffled sequence is feasible and is not in  $l$ , append it to  $l$   
     if shuffled ssequence is not feasible or is in  $l$  discard it  
**Output:** initial population  $l$

**Figura 4.12** Generación de población inicial con secuencias aleatorias

Los individuos generados, corresponden a tablas de dos variables donde la primera identifica la orden de fabricación que se lleva a cabo y la segunda indica la línea en la cual se asigna, además la posición de cada elemento indica el orden en el que se fabrica. Un ejemplo de individuo se muestra en la Tabla 4.20.

Task	Job_28	Job_31	Job_13	Job_5	Job_6	Job_8	Job_44	Job_23	Job_24	Job_40	Job_41	Job_14
Line	L5	L5	L6	L2	L2	L2	L6	L6	L5	L6	L2	L2

**Tabla 4.20** Ejemplo de individuo de algoritmo evolutivo

Cubiertas las etapas de inicialización de la población y selección de individuos, lo que respecta a operador genético se divide en dos partes. En primer lugar el cruzamiento (*crossover*), se utilizó el operador PMX (Partially Mapped Crossover) propuesto por Goldberg & Lingle (1985) y utilizando el paquete de herramientas DEAP (Fortin, De Rainville, Gardner, Parizeau, & Gagné, 2012) de algoritmos evolutivos para Python, el cual permite un cruzamiento de dos individuos padre, tomando un segmento aleatorio de cada uno y los intercambia entre sí, tal como se ilustra en la Tabla 4.21 y se explica en mayor detalle en la Figura 4.13. Una vez reposicionados los elementos de la secuencia, da como resultado dos individuos hijos (*offsprings*). Además, con el objetivo de prevenir la generación de secuencias idénticas y la convergencia prematura, se procede a realizar un procedimiento de mutación de tipo *swap*, la cual sencillamente toma cada uno de los *offsprings* y permuta la posición de dos elementos de forma aleatoria. Luego de generar ambos *offsprings*, estos son posicionados en la población sobreviviente, mientras que las secuencias de peor desempeño son desechadas.

**Input:** two parents  
**Step 1:** Select two positions along the string uniformly at random.  
     The substrings defined by the two positions are called the mapping sections.  
**Step 2:** Exchange two substrings between parents to produce proto – children.  
**Step 3:** Determine the mapping relationship between two mapping sections.  
**Step 4:** Legalize offspring with the mapping relationship. Output: two offspring

**Figura 4.13** Pseudocódigo Procedimiento PMX Crossover  
 Fuente: LAHJOUJI EL IDRISSE, TAJANI, & SABBANE, 2017

PARENT 1		PARENT 2		OFFSPRING 1		OFFSPRING 2	
TASK	LINE	TASK	LINE	TASK	LINE	TASK	LINE
JOB_28	L5	JOB_31	L2	JOB_40	L6	JOB_31	L2
JOB_31	L5	JOB_11	L2	JOB_31	L5	JOB_11	L2
JOB_13	L6	JOB_29	L5	JOB_13	L6	JOB_35	L5
JOB_5	L2	JOB_26	L2	JOB_17	L6	JOB_26	L2
JOB_6	L2	JOB_40	L5	JOB_6	L2	JOB_28	L2
JOB_8	L2	JOB_45	L5	JOB_8	L2	JOB_3	L2
JOB_44	L6	JOB_9	L6	JOB_44	L6	JOB_0	L2
JOB_23	L6	JOB_19	L5	JOB_19	L5	JOB_23	L6
JOB_24	L5	JOB_25	L2	JOB_25	L2	JOB_24	L5
JOB_40	L6	JOB_28	L2	JOB_28	L2	JOB_40	L6
JOB_41	L2	JOB_3	L2	JOB_45	L5	JOB_1	L5
JOB_14	L2	JOB_15	L2	JOB_30	L2	JOB_14	L2
JOB_42	L6	JOB_35	L5	JOB_29	L5	JOB_42	L6
JOB_30	L5	JOB_16	L6	JOB_16	L6	JOB_27	L5
JOB_29	L5	JOB_42	L5	JOB_35	L5	JOB_29	L5
JOB_17	L6	JOB_5	L2	JOB_5	L2	JOB_17	L6
JOB_3	L2	JOB_1	L5	JOB_1	L5	JOB_22	L5
JOB_1	L5	JOB_22	L5	JOB_22	L5	JOB_41	L2
JOB_9	L6	JOB_0	L2	JOB_0	L2	JOB_9	L6
JOB_16	L2	JOB_27	L5	JOB_27	L5	JOB_15	L5
JOB_33	L6	JOB_20	L5	JOB_20	L5	JOB_33	L6
JOB_2	L2	JOB_21	L5	JOB_21	L5	JOB_2	L2
JOB_45	L6	JOB_41	L2	JOB_3	L2	JOB_45	L6
JOB_27	L5	JOB_14	L2	JOB_15	L2	JOB_30	L5
JOB_11	L2	JOB_44	L6	JOB_11	L2	JOB_44	L6
JOB_37	L5	JOB_37	L6	JOB_37	L5	JOB_37	L6
JOB_32	L2	JOB_36	L6	JOB_32	L2	JOB_36	L6
JOB_20	L5	JOB_7	L6	JOB_33	L6	JOB_7	L6
JOB_26	L2	JOB_12	L2	JOB_26	L2	JOB_12	L2
JOB_38	L6	JOB_39	L6	JOB_38	L6	JOB_39	L6
JOB_35	L6	JOB_23	L6	JOB_42	L6	JOB_19	L5
JOB_15	L5	JOB_34	L5	JOB_14	L2	JOB_34	L5
JOB_21	L5	JOB_4	L2	JOB_2	L2	JOB_4	L2
JOB_39	L6	JOB_33	L5	JOB_39	L6	JOB_20	L5
JOB_0	L5	JOB_10	L6	JOB_9	L6	JOB_10	L6
JOB_12	L2	JOB_30	L2	JOB_12	L2	JOB_16	L6
JOB_36	L6	JOB_32	L5	JOB_36	L6	JOB_32	L5
JOB_18	L6	JOB_2	L2	JOB_18	L6	JOB_21	L5
JOB_34	L2	JOB_38	L5	JOB_34	L2	JOB_38	L5

Tabla 4.21 Partially Mapped Crossover (PMX) aplicado a dos secuencias padre

En cuanto a los parámetros utilizados, tanto para tamaño de población y número de generaciones, se obtuvieron los mejores resultados con valores de 100 y 100 respectivamente. Donde existió menor cantidad de convergencia prematura y se obtuvieron valores mejorados del makespan respecto a las heurísticas anteriores (Figura 4.7 y Figura 4.9). En la Tabla 4.22 y Figura 4.14 se muestra la solución obtenida en el proceso de mejora utilizando el algoritmo evolutivo.

	L2	L5	L6
0	JOB_1	JOB_14	JOB_35
1	JOB_3	JOB_17	JOB_23
2	JOB_25	JOB_15	JOB_40
3	JOB_10	JOB_7	JOB_36
4	JOB_0	JOB_16	JOB_43
5	JOB_2	JOB_22	JOB_38
6	JOB_12	JOB_31	JOB_37
7	JOB_29	JOB_30	JOB_41
8	JOB_5	JOB_21	JOB_42
9	JOB_11	JOB_20	JOB_33
10	JOB_18	JOB_28	JOB_24
11	JOB_4	JOB_8	JOB_39
12	JOB_9	JOB_27	JOB_19
13	JOB_13	JOB_26	JOB_45
14		JOB_34	JOB_44
15		JOB_32	
16		JOB_6	

Tabla 4.22 Secuencia paralela de algoritmo evolutivo

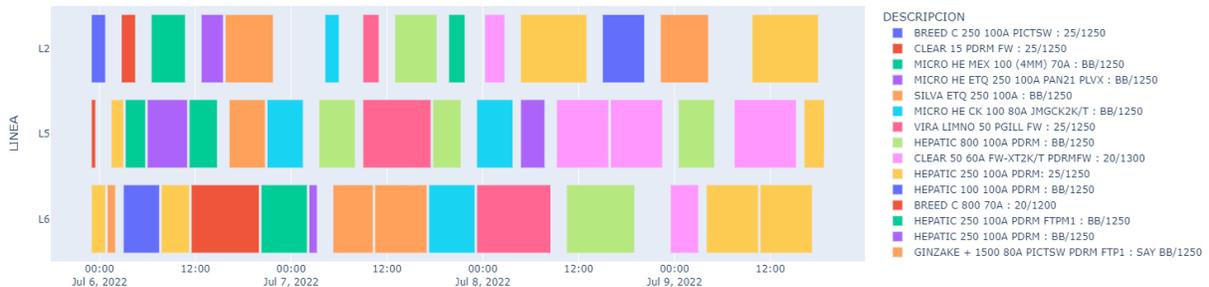


Figura 4.14 Carta Gantt de secuencia algoritmo evolutivo

El valor del makespan obtenido para la secuencia de la Tabla 4.22 corresponde a  $C_{max} = 84.04$  horas, lo que implica una mejora de 30.46 horas en los tiempos de producción. Así también en la Figura 4.14 se puede observar una distribución de trabajos notablemente más eficiente.

## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Resultados obtenidos

Luego de establecer la formulación de los algoritmos de las heurísticas mencionadas en el capítulo anterior, se obtienen resultados positivos en la disminución de makespan respecto de secuencias planificadas, logrando porcentajes importantes de reducción de tiempos según el método de secuenciación que se utilice.

Con el objetivo de formular un programa que se adapte a cada escenario de producción, se aplicó el sistema de planificación en cuatro casos distintos entre sí, tanto por disponibilidad de máquinas, como cantidad de trabajos a realizar y todos obtenidos a partir de secuencias previamente planificadas. Donde se obtuvieron mejoras de un 30.37% promedio, utilizando el algoritmo evolutivo y comparando respecto del makespan de las secuencias planificadas, dicha comparación se expone en la tabla Tabla 5.1.

Caso 1, $n = 46, m = 3$	Planificado	setupECT	ILS	GA
$C_{max}$	114.50	90.31	87.31	84.04
Cambio (%)	0.00%	21.13%	23.75%	26.60%
Tiempo Computacional (s)		2.10	3.10	9.80
Caso 2, $n = 48, m = 3$				
$C_{max}$	103.20	98.45	96.45	80.49
Cambio (%)	0.00%	4.60%	6.54%	22.01%
Tiempo Computacional (s)		2.30	4.10	10.60
Caso 3, $n = 46, m = 4$				
$C_{max}$	94.16	51.28	46.78	47.27
Cambio (%)	0.00%	45.54%	50.32%	49.80%
Tiempo Computacional (s)		2.20	2.80	12.20
Caso 4, $n = 33, m = 3$				
$C_{max}$	67.04	69.98	68.48	51.56
Cambio (%)	0.00%	-4.39%	-2.15%	23.09%
Tiempo Computacional (s)		1.20	1.50	7.70

Tabla 5.1 Comparativa de desempeño según método de secuencia

## 5.2 Discusión de resultados

### 5.2.1 Cálculos de rendimiento y modelo de estimación

En este ámbito el rol de la data histórica es fundamental y fue el aspecto donde más dificultades se presentaron, pues es un área que cada vez cobra mayor relevancia y, sin embargo, existen varias aristas en las que resulta urgente hacer correcciones. Se encontraron muchos casos de incongruencia al momento de evaluar datos generados por distintas áreas, y en muchas ocasiones fue necesario realizar búsquedas individuales de casos cuyos resultados resultaban incoherentes respecto de los rangos reales. Por lo tanto, resulta crítico avanzar en un mejor sistema de registro de la data, a modo de volverla confiable y útil para la toma de decisiones y estimar escenarios futuros de producción, esto implica evitar el input y la intervención manual de los datos, estableciendo un sistema de registro estándar y en lo posible automático.

Una mejora en los sistemas de registro supone una mayor fiabilidad en los datos y como consecuencia, se pueden desarrollar modelos predictivos más confiables, más eficientes y con un mayor volumen de datos. El modelo regresivo que se propuso en este proyecto, si bien cuenta con una alta precisión, está basado completamente en la situación actual de los datos. Además, este modelo requirió de una exhaustiva búsqueda de variables relevantes y aun así la variable de tamaño de lote resulta ser la que más explica la varianza de los tiempos producción. En una próxima iteración de un modelo predictivo se pueden incluir nuevas características propias de cada tipo de producto.

Pese a lo mencionado previamente, fue posible percibir la importancia que tiene el buen manejo de los datos en la industria y plantear alternativas para la predicción de resultados futuros utilizando herramientas de machine learning, cuyas aplicaciones en la empresa resultan muy escasas hoy en día.

### 5.2.2 Métodos de optimización

Los valores que se obtuvieron aplicando las distintas metaheurísticas resultan optimistas, pues se observa una clara mejora en los tiempos totales de producción. Lo que está estrechamente relacionado al objetivo principal, que plantea una reducción en los tiempos de detención por cambio de producto. Estos cambios en el funcionamiento cotidiano de la planta resultan inevitables, sin embargo, el prever cuando ocurren, significa un gran avance en las áreas de planificación y producción.

Por otra parte, el automatizar la construcción de la secuencia de producción, también plantea avances significativos a la labor del área de planificación. Si bien existen una serie de supuestos que se tuvieron que establecer para crear una instancia ideal al momento de secuenciar. El desarrollo de este proyecto

plantea un hito inicial para un sistema de planificación más completo e integrado con las distintas etapas de la producción. Además, propone un sistema flexible que es capaz de responder a distintos volúmenes de datos, así también a una posterior actualización de gama de productos y habilitación o detención de distintas líneas de producción, ajustándose de buena manera a la actualidad y el futuro de la empresa.

### 5.2.3 Observación in situ

Luego de conocer en mayor profundidad la infraestructura de la planta y de mediante la observación del proceso productivo se identificaron oportunidades de mejora que se tradujeron en sugerencias al área de producción y personal encargado. Utilizando metodología de lean manufacturing por medio de estrategias SMED se sugirió anteponerse a los cambios de matriz y cuchillas del cabezal del extrusor, ensamblando en un segundo portamatriz las piezas del cabezal, de manera que, al momento de la detención y limpieza, el cambio de cabezal sea inmediato y no requiera el desarme y ensamble de la pieza junto con el procedimiento de limpieza. Dicha observación ya se tenía presente en jefatura, sin embargo, no se ponía en práctica por parte de los operadores.

## 6 CONCLUSIONES

El proyecto de memoria de título se plantea a raíz de una problemática recurrente en las actividades productivas de la empresa Cargill-Ewos, problemática que se enmarca en una ineficiencia a la hora de planificar la producción y que, pese a la falta de sistemas automáticos, las secuencias generadas en la cotidianeidad responden de forma eficaz a los distintos escenarios del día a día. Por lo tanto, este proyecto plantea una herramienta de mejora y complemento de lo que ya se realiza, y no pretende la eliminación de alguna de las etapas del proceso productivo.

Luego del modelamiento de los datos y aplicación de metaheurísticas, se puede aseverar que los objetivos del proyecto se cumplieron. Se comprobó que existe cabida a la implementación de mejoras, tanto en el manejo de los datos, como en la elaboración de secuencias de producción. Además, la metodología propuesta, permite flexibilidad en la instancia en la cual se implemente y se ajusta a las circunstancias de escenarios reales de la industria.

En adición a lo anterior, este proyecto sienta las bases para continuar con su desarrollo, fortaleciendo una herramienta que integre a otras etapas del proceso productivo, de manera que se avance a una automatización más precisa y completa. Por otra parte, se establecieron los datos relevantes para la formulación del proyecto, lo que significa un horizonte al que las áreas involucradas en el registro y obtención de datos deben apuntar para lograr el buen funcionamiento de la herramienta que se propone.

Del mismo modo, este proyecto demuestra la relevancia de las herramientas ligadas a la investigación de operaciones en el ámbito productivo y sostiene que problemáticas complejas del rubro se pueden abordar utilizando perspectivas científicas.

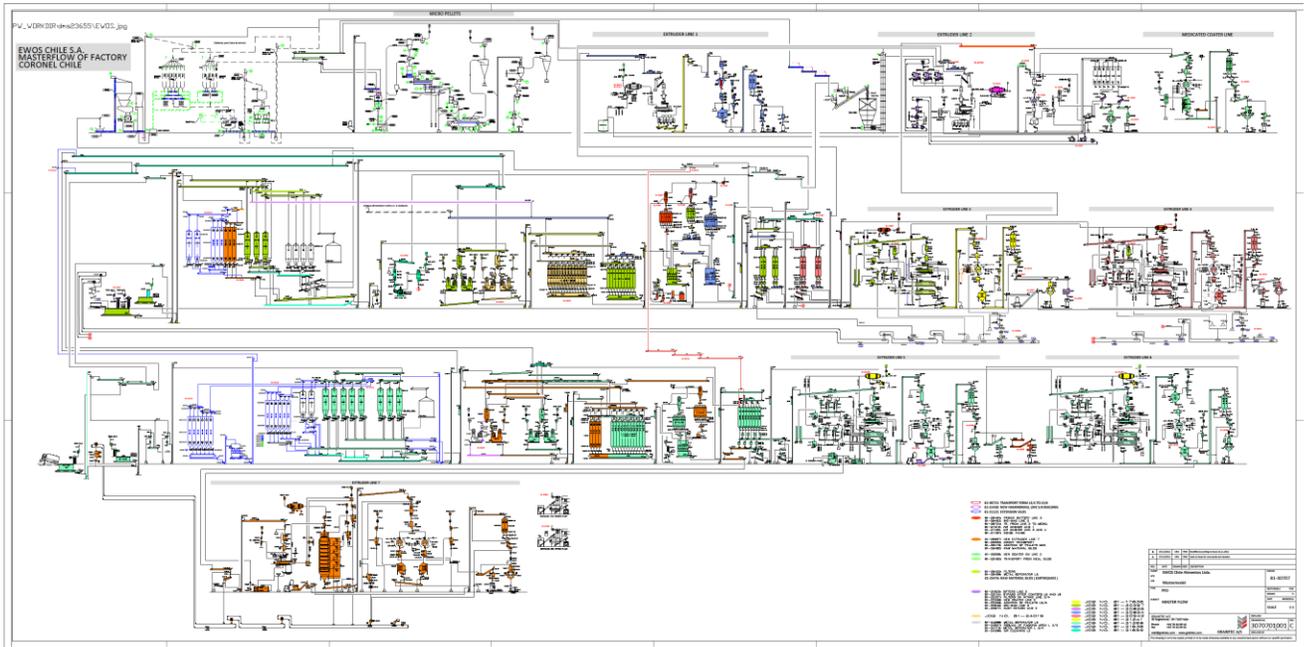
## REFERENCIAS

- Alcalá Gámez, A. (2011). *Situando el SMED como una herramienta de "Lean Manufacturing" para mejorar los tiempos de preparación, ajuste y cambios de herramientas*. Universidad de Sonora, División de Ciencias e Ingeniería.
- CARGILL-EWOS CORONEL. (s.f.).
- Dong, X., Huang, H., & Chen, P. (2009). An iterated local search algorithm for the permutation flowshop problem with total flowtime criterion. *Computers & Operations Research*, 36(5), 1664-1669. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.04.001>.
- Fortin, F.-A., De Rainville, F.-M., Gardner, M.-A., Parizeau, M., & Gagné, C. (Julio de 2012). DEAP: Evolutionary Algorithms Made Easy. *Journal of Machine Learning Research*, 13, 2171-2175.
- Goldberg, D. E., & Lingle, R. (1985). Alleles, loci, and the traveling salesman problem. *Proceedings of an international conference on genetic algorithms and their applications*, 154, pp. 154-159.
- Guinet, A. (1993). Scheduling sequence-dependent jobs on identical parallel machines to minimize completion time criteria. *The International Journal of Production Research*, 31, 1579-1594.
- Kim, J., & Kim, H.-J. (25 de Junio de 2021). Parallel machine scheduling with multiple processing alternatives and sequence-dependent setup times. *International Journal of Production Research*, 59(18), 5438-5453. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1781278>
- LAHJOUJI EL IDRISSE, A., TAJANI, C., & SABBANE, M. (30 de April de 2017). NEW CROSSOVER OPERATOR FOR GENETIC ALGORITHM TO RESOLVE THE FIXED CHARGE TRANSPORTATION PROBLEM. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 95(8).
- McKinney, W. (2010). Data Structures for Statistical Computing in Python. En S. v. Millman (Ed.), *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, 445, págs. 56-61. doi:10.25080/Majora-92bf1922-00a
- O'Reilly Media. (2020). *Towards Data Science*. Obtenido de A Quick and Dirty Guide to Random Forest Regression: <https://towardsdatascience.com/a-quick-and-dirty-guide-to-random-forest-regression->



# ANEXOS

Plano conceptual, Planta Cargill-Ewos Coronel.



## Restricciones de proceso por Línea de producción

Restricciones proceso

Fecha actualización: 11/04/2022

Calibre\Línea	L2	L3	L4	L5	L6	L7	LM
0,15	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
0,18	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
0,75	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
2	SI*	NO	NO	NO	NO	NO	NO
15	SI*	NO	NO	NO	NO	NO	NO
50 (3mm)	SI*	SI*	SI*	NO	NO	NO	NO
100 (4mm)	SI* *	SI**	SI**	NO	NO	NO	NO
250	SI	SI	SI	SI***	SI***	SI***	NO
800	SI, Max 33% fat	SI, Max 39 % fat	SI	SI	SI	SI	NO
1000	SI, Max 33% fat	SI, Max 39 % fat	SI	SI	SI	SI	NO
1500	SI, Max 33% fat	SI, Max 39 % fat	SI	SI	SI	SI	NO
2000	SI, Max 33% fat	SI, Max 39 % fat	SI	SI	SI	Algunos clientes*	NO
3500 (9,5mm)	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
3500 (12mm)	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
Medicado	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO

\*Clientes liberados en L7: Todos menos, Mowi, Multiexport, Cooke.

**NO\***: En proceso de validación

SI\*: Requiere pulverizado

SI\*\*: Puede no pulverizarse, pero se debe asumir detenciones por White layer.

SI\*\*\*: Se puede fabricar en todas las líneas, excepto VIRA 250. Por restricción de materias primas en nave 5,6, 7.

**MEDICADOS MANUALES:** La base de los Medicados con aceitado Manual deben estar envasados en bolsas. Las bases deben ser fabricadas siempre que se solicite el medicado (no se debe usar alimento en stock como base), ya que se deben asegurar resultados de proximales de grasa entre el mínimo y óptimo.

**Restricciones de línea**

L2/L3: No se pueden programar dietas que requieran pulverizado en paralelo. (Calibre 2 al 50)

L2/L3/L4: Solo se puede programar en una línea bolsas con envase automático y solo L2 con envase manual.

L5/L6/L7: Solo se puede programar en una línea bolsas.

L2: No se pueden programar bolsas de 10 Kg (Se debe eliminar variante de micro start 2 en bolsas de 10 Kg).

L2/L3: No se puede programar medicado en ambas líneas que ocupe la misma torre.

- Torre 2 A: Emamectina, Oxitetracilina
- Torre 2 B: Florfenicol

Calibres de 2 al 50: Batch mínimo de 4 ton, MO mínimo de 10 ton. (depende de tabla de batch mínimos)

Calibres de 100 al 3500: Batch mínimo de 5 ton, MO mínimo de 10 ton (depende de tabla de batch mínimo).

#### Restricciones de dieta

RT 6 MM (250): Se puede fabricar en todas las líneas.

Dieta RT 9,5mm: Se puede producir en L4, L7. En proceso de validación en L5: Ginzake +1500 y Rapid C 800 ya validados. L6 validada con Ginzake HE 1500.

Dieta RT 12 MM: Se puede producir en L4. Se debe validar en L5.

Reproductor SW: Calibre 12 mm validado en L2, con válvula ECS.

Reproductor FW: Todas las líneas ok, restringido en L7 (**limitado por el tamaño de MO's** menores a 15 ton).

Reproductor LF/ Ewos Marine: Solo L2 con válvula ECS. Hay un archivo de productos que requieren ECS.

Breed, Breed Clear: Se puede fabricar en L2, L3, L4, L5, L6 y L7 (**limitado por el tamaño de MO's** menores a 15 ton).

Ema con cobertura: Se pueden producir tanto en la torre 2 A como en la 2 B con cualquier nivel de grasa.

Sturgeon: Solo L2. Ocupa válvula ECS (Averiguar si van seguir pidiendo esta dieta).

Vira limno: Solo en línea 2. Se comenzará a validar en L3 y L4.

Dietas con alta lecitina sobre 5,2%: Solo se puede hacer en L4, L5 y L7. Validada en L6 hasta 5,4%.

Otras restricciones:

- L2: No se puede pasar de un calibre 50 a un 15 o viceversa, ya que es difícil separarlos. Se debe usar un calibre de transición.

Calibre actual		2000/3500	1000	250	100	50	15	5	2
Calibre anterior									
2000/3500	3.0x10.5	3.0x10.5	5.0x7.0	3.5x4.5	2.5x4.0	1.8x2.5	1.2x1.7	0.5x2.0	
1000	1.5x3.5		5.0x7.0	3.5x4.5	2.5x4.0	1.8x2.5	1.2x1.7	0.5x2.0	
250	10.0x14.0	8.0x10.5		1.5x3.5	2.5x4.0	1.8x2.5	1.2x1.7	0.5x2.0	
100	10.0x14.0	8.0x10.5	5.0x7.0		Limpiosa	Limpiosa	1.2x1.7	0.5x2.0	
50	10.0x14.0	8.0x10.5	5.0x7.0	Limpiosa		Limpiosa	1.2x1.7	0.5x2.0	
15	10.0x14.0	8.0x10.5	5.0x7.0	3.5x4.5	Limpiosa		1.2x1.7	0.5x2.0	
5	10.0x14.0	8.0x10.5	5.0x7.0	1.5x3.5	2.5x4.0	1.8x2.5		Limpiosa	
2	10.0x14.0	8.0x10.5	5.0x7.0	1.5x3.5	2.5x4.0	1.8x2.5	Limpiosa		Limpiosa

Calibre actual		1200/1700/2000/2500/3500	800/1100	250	100	50	15	5	2
Calibre anterior									
1200/1700/2000/2500/3500		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
800/1100	SI		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
250	SI	SI		SI	SI	SI	SI	SI	SI
100	SI	SI	SI		SI	SI	SI	SI	SI
50	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
15	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
5	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
2	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Limpiosa: No se puede separar.

Calibres intermedios: MO mínimas de 20 ton (por confirmar con producción la cantidad).

Próxima revisión 12/05

Línea	Calibre	Tipo de Dieta	Nivel de grasa	Grasa	Diámetro nominal matriz	Número de perforaciones totales en matriz	Largo Perforación	Número de perforaciones abiertas en matriz	Código bodega	Capacidad extrusor
				[%]	[mm]		L [mm]			[ton/h]
2	2 [1,1MM]	ESTÁNDAR	BAJO	15,0 - 16,0	0.8	2780	2.5	2780	90.05 .073	6.0
	2 [1,1MM]	VEL. HUNDIMIENTO	BAJO	15,0 - 16,0	0.8	2780	2.5	2085	90.05 .073	5.0
	5 [1,6MM]	ESTÁNDAR	BAJO	13,0 - 20,0	1.2	1092	2	1092	90.05 .059	4.0
	5 [1,6MM]	VEL. HUNDIMIENTO	BAJO	13,0 - 20,0	1.2	800	2	800	90.05 .035	4.0
	15 [2,2MM]	ESTANDAR	BAJO	13,0 - 22,0	1.7	800	4	600	90.05 .060	7.5
	15 [2,2MM]	VEL. HUNDIMIENTO	BAJO	13,0 - 22,0	1.7	800	4	600	90.05 .060	7.5
	50 [3,0MM]	ESTANDAR	BAJO	13,0 - 23,0	2.5	400	5	400	90.05 .065	7.5
	50 [3,0MM]	VEL. HUNDIMIENTO	BAJO	13,0 - 23,0	2.5	400	5	400	90.05 .065	7.5
	100 [4,0MM]	ESTANDAR	BAJO - MEDIO	15,0 - 27,5	3.3	224	6.4	224	90.05 .041	8.0
	100 [4,0MM]	VEL. HUNDIMIENTO	BAJO - MEDIO	15,0 - 27,5	3.0	256	4.8	256	90.05 .067	8.0
	250 [6,0MM]	ESTANDAR	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	4.8	80	9	80	90.05 .074	8.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	BAJO	20,5 - 27,5	8.0	32	15	32	90.05 .068	7.5
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	MEDIO	29 - 33,5	7.3	32	11	32	90.05 .054	7.5
	1500/2000[12MM]	ESTANDAR	BAJO	19,0 - 27,0	9.5	32	13	32	90.05 .069	7.5
3	100 [4,0MM]	ESTANDAR	BAJO	15,0 - 27,5	3.3	224	6	224	90.05 .041	9.5
	100 [4,0MM]	MEDICADO	BAJO	15,0 - 27,5	3.3	224	6	224	90.05 .041	9.5
	250 [6,0MM]	ESTANDAR	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	4.8	104	9	104	90.05 .050	10.0
	250 [6,0MM]	MEDICADO	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	4.8	80	9	80	90.05 .050	10.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	BAJO	20,5 - 26,0	7.3	32	15	32	90.05 .068	9.5
	800/1500 [9,5MM]	MEDICADO	BAJO	20,5 - 26,0	7.3	32	15	32	90.05 .068	9.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	MEDIO	29,0 - 33,5	7.3	32	11	32	90.05 .054	9.5

	800/1500 [9,5MM]	MEDICADO	MEDIO	29,0 - 33,5	7.3	32	11	32	90.05 .054	9.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	ALTO	34,0 - 38,5	6.8	36	11	36	90.05 .066	9.0
	800/1500 [9,5MM]	MEDICADO	ALTO	34,0 - 38,5	6.8	36	11	36	90.05 .066	8.0
	1500/2000/3500 [12MM]	ESTANDAR	BAJO	20,0 - 27,5	9.5	32	17	32	90.05 .069	9.0
	1500/2000/3500 [12MM]	MEDICADO	BAJO	20,0 - 27,5	9.5	32	17	32	90.05 .069	9.0
	1500/2000/3500 [12MM]	ESTANDAR	MEDIO	29,5 - 33,5	8.7	24	13	24	90.05 .055	9.0
	1500/2000/3500 [12MM]	MEDICADO	MEDIO	29,5 - 33,5	8.7	24	13	24	90.05 .055	8.5
	1500/2000/3500 [12MM]	ESTANDAR	ALTO	34,0 - 41,0	8.3	28	13	28	90.05 .070	9.0
	1500/2000/3500 [12MM]	MEDICADO	ALTO	34,0 - 41,0	8.3	28	13	24	90.05 .070	8.0
4	100 [4,0MM]	ESTANDAR / RT	BAJO	15 - 27,5	3.3	224	6	224	90.05 .041	9.5
	250 [6,0MM]	ESTANDAR / RT	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	4.8	104	9	104	90.05 .050	10.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	BAJO	20,5 - 27,5	7.3	32	15	32	90.05 .068	9.0
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	MEDIO	29,0 - 33,5	7.3	32	11	32	90.05 .042	9.0
	800/1500 [9,5MM]	RT	MEDIO	29,0 - 33,5	6.8	44	11	44	90.05 .042	8.5
	800/1500 [9,5MM]	ESTANDAR	ALTO	34,0 - 38,5	6.8	36	11	36	90.05 .066	9.0
	800/1500 [9,5MM]	RT	ALTO	34,0 - 38,5	6.8	44	11	44	90.05 .066	9.0
	1500/2000/3500 [12MM]	ESTANDAR	BAJO	20,0 - 27,5	9.5	32	17	32	90.05 .069	8.5
	1500/2000/3500 [12MM]	ESTANDAR	MEDIO	29,5 - 33,5	8.7	24	13	24	90.05 .055	9.0
	1500/2000/3500 [12MM]	ESTANDAR	ALTO	34,0 - 41,0	8.3	28	13	24	90.05 .070	8.5
	1500/2000/3500 [12MM]	RT	ALTO	34,0 - 41,0	8.3	28	13	28	90.05 .070	9.0
	7	250 [6,0MM]	ESTANDAR / RT	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	4.8	132	9	132	90.05 .042
800/1500 [9,5MM]		ESTANDAR / RT	BAJO	20 - 28,9	6.8	44	11	44	90.05 .077	13.0
800/1500 [9,5MM]		ESTANDAR	MEDIO	29,0 - 33,5	6.8	36	11	36	90.05 .066	13.0
800/1500 [9,5MM]		RT	MEDIO	29,6 - 33,5	6.8	44	11	44	90.05 .077	13.0
800/1500 [9,5MM]		ESTANDAR	ALTO	34,0 - 38,5	6.8	36	11	36	90.05 .066	13.0
800/1500 [9,5MM]		RT	ALTO	34,0 - 38,5	6.8	44	11	44	90.05 .077	13.0
1500/2000 [12MM]		ESTANDAR	MEDIO	29,6 - 33,5	8.7	24	13	24	90.05 .055	12.0

Tabla Macroinsumos por dieta (extracto)

Codigo	Dieta	Calibre	Grasa	Humedad	Cenizas	Fibra	ENN	GE (MJ/kg)
			Target, %	Typical				
481355	MARINE	2000	14	7	7.5	1	16.5	21.32
481811	Micro EXP	0.18	13.5	8	12	0.1	11.4	20.33
481812	Micro EXP	0.75	15	8	12	0.1	10.9	20.60
481813	Micro EXP	2	15	7.5	12	0.1	11.4	20.68
481814	TRANSFE R EXP	5	20	6	7	0.5	13.5	22.85
481831	MARINE	5	13	6.5	10	0.5	12.5	20.98
481832	MARINE	15	13	6.5	10	0.5	12.5	20.98
481865	TRANSFE R EXP	15	22	6	7	1.5	13.5	23.11
481866	TRANSFE R EXP	50	22	7	7	1	13	22.94
481890	TRANSFE R EXP	100	24	8	7	1	12	23.08
482400	MICRO START	0.15	14.5	8	10.5	0.1	12.9	20.74
482401	MICRO START	0.18	14.5	8	10.5	0.1	12.9	20.74
482402	MICRO START	0.75	14.5	8	10.5	0.1	12.9	20.74
482403	MICRO START (L2)	2	15	7.5	12	0.1	11.4	20.68
482414	MICRO R BOOST	5	19	6	10	0.5	13.5	21.99
482415	MICRO R BOOST	15	21	6	9	1	15	22.41
482437	MICRO START LD	0.15	13.5	8	12	0.1	11.4	20.33
482438	MICRO START LD	0.18	15	8	12	0.1	9.9	20.66
482439	MICRO START LD	0.75	15	8	12	0.1	10.9	20.60

482440	MICRO START LD	2	15	7.5	12	0.1	11.4	20.68
482441	Micro LD (Float)	5	19	7	9	0.2	15.3	21.89
482442	Micro LD (Float)	15	20	5.5	8	1	16.5	22.51
482443	Micro LD (Float)	50	20.5	5.5	8	1	16.5	22.59
482461	Micro Start (LM)	2	15	7.5	12	0.1	11.4	20.68
482516	TRUCHIN A 44	15	14	7	6.5	3	25.5	20.84
482517	TRUCHIN A 42	50	16	7	6.5	3	24.5	21.22
482524	Micro LD	5	19	7	9	0.2	15.3	21.89
482525	Micro LD	15	20	5.5	8	1	16.5	22.51
482526	Micro LD	50	20.5	5.5	8	1	16.5	22.59
482527	Micro LD	100	24	7.5	10.5	1.5	9.5	22.50
482529	Micro LD (Float)	100	21.5	7	7.5	0.5	16.5	22.54
581022	VIRA	2	17	6	10	0.2	15.3	21.57
581023	VIRA	5	18.5	6.5	10	1	14	21.72
581024	VIRA	15	21	6.5	9.5	1	15	22.17
581185	BACTER	5	19	6.5	10.5	0.5	13	21.78
581186	BACTER	15	20.5	6.5	10.5	1.1	12.9	21.99
781012	BACTER	2000	36	5.5	5	1	17	25.73
781013	BACTER (9,5mm)	2000	36	5.5	5	1.3	16.7	25.73
781023	VIRA	2000	34	6	6.5	1.5	17	24.91
781024	VIRA (9,5 mm)	2000	33	6	6.5	1.5	18	24.68

### Implementación algoritmo setup ECS en Python

```

while len(U)>0:
    time=(sec.iloc[-
1]+processing_times.loc[U[0]][LINES])+np.array([setup_time.loc[(j,M.loc[j
]),U[0]] for j in LINES ])
    tmin=np.nanmin(time)
    job=U[0]
    LINE=LINES[np.argmin(time)]
    for i in U:
        time_aux=(sec.iloc[-
1]+processing_times.loc[i][LINES])+np.array([setup_time.loc[(j,M.loc[j]),
i] for j in LINES ])
        t_aux=np.nanmin(time_aux)
        job_aux=i
        LINE_AUX=LINES[np.argmin(time_aux)]
        if t_aux < tmin:
            time=time_aux
            tmin=t_aux
            job=job_aux
            LINE=LINE_AUX
    print(job,sec)
    M.at[LINE]=job
    U.remove(job)
    M2.at[LINE]=time.loc[LINE]
    sec=sec.append(M2,ignore_index=True)
    setupECTseq=pd.concat([setupECTseq,pd.DataFrame([[job,LINE]],columns=
['TASK','LINE'])])

```

### Función de cálculo de makespan

```

def Cmax (df):
    Cm=0
    for i in LINES:
        mach_sel=df.loc[df['LINE']==i].index
        C=0
        k='0'
        for j in mach_sel:
            C+=setup_time.loc[(i,k),j]+processing_times.loc[j,i]
            k=j
        if pd.isna(C):
            return 0
        elif C>Cm:
            Cm=C
    return Cm

```

**Generador de población Inicial**

```

l=[]
Cs=[]
l.append(setupECTseq)
Cs.append(Cmax(setupECTseq))

while len(l)<50:
    shuffled=shuffle(setupECTseq)
    for i in shuffled.index:
        a=processing_times.loc[i][LINES].notna()
        b=[i if a[i] == True else '' for i in a.index]
        shuffled.at[i,'LINE']=random.choice(random.choices(b,weights=map(
len,b)))
    # print(Cmax(shuffled))
    if not any([shuffled.equals(i) for i in l]):
        Cs.append(Cmax(shuffled))
        l.append(shuffled)
Cs=np.array(Cs)

S_p=l[np.argmin(Cs)].copy()
S_pp=l[np.where(Cs==np.sort(Cs)[1])[0][0]].copy()
S_m=l[np.argmax(Cs)].copy()
S_mm=l[np.where(Cs==np.sort(Cs)[-2])[0][0]].copy()

print(Cmax(S_p),Cmax(S_pp))

```

## Implementación algoritmo genético

```

gen=0
while gen<50:

    S_p=1[np.argmin(Cs)].copy()

    S_pp=1[np.where(Cs==np.sort(Cs)[1])[0][0]].copy()
    print(Cmax(S_p),Cmax(S_pp))
    if S_p.equals(S_pp):
        print(gen)
        break
    S_m=1[np.argmax(Cs)].copy()
    S_mm=1[np.where(Cs==np.sort(Cs)[-2])[0][0]].copy()
    a=chromosome_encoding(S_p)
    b=chromosome_encoding(S_pp)

    p1,p2,child1,child2=cxPartiallyMatched(a,b)

    S_x,S_xx=pd.DataFrame(columns=['TASK','LINE']),pd.DataFrame(columns=['TASK','LINE'])
    S_x['TASK']=child1.astype(str)
    S_x['TASK']='JOB_'+S_x['TASK']
    S_xx['TASK']=child2.astype(str)
    S_xx['TASK']='JOB_'+S_xx['TASK']

    for i in S_x.index:
        if i not in np.arange(p1,p2):
            S_x.at[i,'LINE']=S_p.loc[S_x.loc[i,'TASK']]['LINE']
            S_xx.at[i,'LINE']=S_pp.loc[S_xx.loc[i,'TASK']]['LINE']

            elif i in np.arange(p1,p2):
                S_x.at[i,'LINE']=S_pp.loc[S_x.loc[i,'TASK']]['LINE']
                S_xx.at[i,'LINE']=S_p.loc[S_xx.loc[i,'TASK']]['LINE']
    S_x=swap_mutation(S_x)
    S_xx=swap_mutation(S_xx)
    gen+=1
    S_x=S_x.set_index('TASK')
    S_xx=S_xx.set_index('TASK')

    j=np.argmax(Cs)
    k=np.where(Cs==np.sort(Cs)[-2])[0][0]
    S_m=S_x.copy()
    l[j]=S_m.copy()
    S_mm=S_xx.copy()
    l[k]=S_mm.copy()

    Cs[j]=Cmax(S_x)
    Cs[k]=Cmax(S_xx)

```

## Consideraciones respecto a detenciones para operadores

## LECCIÓN DE UN PUNTO



**Título:** CAMBIOS DE CALIBRE Y DIETA/PIGMENTO

**Elaborada por:** CESAR ARANEDA, JONATAN LICANCURA, MANUEL SAEZ, LUIS ESPINOZA, OSCAR GONZALEZ

**Fecha:** 05/04/2021

**Línea/Depto.:** PRODUCCIÓN

**Máquina/Área/Línea:** EXTRUSOR/SECADOR/ACEITADOR/ENFRIADOR

**Aprobado por**

**Validador:** RUBÉN ESCOBAR/DIEGO SUAZO

**V°B°:**



### TENER EN CUENTA LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES:



PARA MANTENER EL RENDIMIENTO DE LAS LINEAS, TENER EN CONSIDERACIÓN LAS SIGUIENTES DIRECTRICES:

1. NO SE DEBE DETENER PARA SEPARAR DIETAS/PRODUCTOS QUE SE DIFERENCIEN EN PACKS Y/O VITAMINAS/MINERALES/ADITIVOS ESPECIALES CLIENTES.
2. NO SE DEBE APAGAR SECADORES O BAJAR TEMPERATURA DE SECADO PARA LA FABRICACIÓN DE VACUNAS, YA QUE PONE EN RIESGO OTROS ASPECTOS DE LA CALIDAD DE NUESTROS PRODUCTOS.
3. SE REALIZA CAMBIO EN FORMA DE IMPUTAR TIEMPOS POR LIMPIEZA CAMBIO DE CALIBRE Y CAMBIO DE DIETA:  
SE DEBE SEPARAR EN REPORTE EL TIEMPO QUE IMPLICA CAMBIO DE MATRIZ Y REPORTAR APARTE LA LIMPIEZA DE LA LÍNEA, SE DEBEN IMPUTAR LOS TIEMPOS EN LA SECCIÓN **“PLANIFICACIÓN”** EN EL INFORME DE TIEMPOS DE EXTRUSOR, LOS TIEMPOS DEFINIDOS PARA CADA LIMPIEZA SON:

LÍNEAS	CAMBIO DE MATRIZ (min)	LIMPIEZA DE LÍNEA (min)	CAMBIO DE DIETA/PIGMENTO
L2	30	50	30
L3-L4-L5-L6-L7	30	60	30

SI EL TIEMPO SE EXCEDE DE LO INDICADO EN LA TABLA, EL RESTO DE LOS MINUTOS SE DEBE IMPUTAR A **“EXTENSIÓN LIMPIEZA LÍNEA MEDICADO, EXTENSIÓN LIMPIEZA CAMBIO DE CALIBRE Y EXTENSIÓN CAMBIO DIETA/PIGMENTO”** QUE SE ENCUENTRA EN LA SECCIÓN DE TIEMPOS **“OPERACIONAL”**

4. SE CREA DEFINICIÓN DE TIEMPO **“MODIFICACIÓN DE DIETA”** EN SECCIÓN **“OPERACIONAL/MOLIENDA Y DOSIFICACIÓN”** PARA IMPUTAR LOS TIEMPOS DE ESPERA POR MODIFICACIONES DE DIETA, YA SEA POR GRASA DIETA U OTRO REQUISITO.
5. PARA EL CASO DE SEPARACIÓN POR PIGMENTO, SEPARAR SÓLO LAS DIETAS QUE VAYAN DE MENOR A MAYOR CONCENTRACIÓN DE PIGMENTO Y QUE TENGAN MÁS DE 40 ppm DE DIFERENCIA.
6. NO SE DEBE SEPARAR DIETAS POR MOTIVO DE COLORACIÓN ATÍPICA.
7. **NO SE DEBE REALIZAR LIMPIEZA DE ENFRIADOR ANTES/DESPUÉS DE UNA FABRICACIÓN CON ETOXIQUINA**, SOLO SE DEBE DETENER PARA HACER SEPARACIÓN EN **ENFRIADOR** DE LOS PRODUCTOS.
8. LIMPIEZAS MECÁNICAS EN LÍNEA MEDICADO, SÓLO APLICAN PARA CAMBIO DE CALIBRE O CAMBIO EN EL TIPO DE MEDICAMENTO.

## Herramientas recomendadas por el equipo procesos

Línea	Calibre	Tipo de Dieta	Nivel de grasa	Grasa [%]	Diámetro nominal matriz [mm]	Número de perforaciones totales en matriz	Largo Perforación L [mm]	Número de perforaciones aberturas en matriz	Código bodega	Capacidad extrusor [ton/h]	Área por tonelada [mm <sup>2</sup> /ton/h]	Número de cuchillos [u]	Configuración tornillo cónico	Temperatura salida acondicionador [°C]	Tiempo residencia secador	Humedad salida secador [°C]	Doris salida secador [%]	Vacio [%]	Liberación vacío mínimo [%]	Humedad PT [°C]	
2	2 [1,1MM]	ESTÁNDAR	BAJO	15,0 - 16,0	0,8	2780	2,5	2780	90.05.073	6,0	233	15	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	40	90	5,5 - 6,0	
	2 [1,1MM]	VEL HUNDIMIENTO	BAJO	15,0 - 16,0	0,8	2780	2,5	2085	90.05.073	5,0	210	15	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	<20	90	5,5 - 6,0	
	5 [1,6MM]	ESTÁNDAR	BAJO	13,0 - 20,0	1,2	1092	2	1092	90.05.059	4,0	309	15	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	40	90	5,5 - 6,0	
	5 [1,6MM]	VEL HUNDIMIENTO	BAJO	13,0 - 20,0	1,2	800	2	800	90.05.035	4,0	226	15	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	<20	90	5,5 - 6,0	
	15 [2,2MM]	ESTÁNDAR	BAJO	13,0 - 22,0	1,7	800	4	600	90.05.060	7,5	182	15	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	50	90	5,5 - 6,0	
	15 [2,2MM]	VEL HUNDIMIENTO	BAJO	13,0 - 22,0	1,7	800	4	600	90.05.060	7,5	182	15	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	<30	90	5,5 - 6,0	
	50 [3,0MM]	ESTÁNDAR	BAJO	13,0 - 23,0	2,5	400	5	400	90.05.065	7,5	262	10	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	50	90	5,5 - 6,0	
	50 [3,0MM]	VEL HUNDIMIENTO	BAJO	13,0 - 23,0	2,5	400	5	400	90.05.065	7,5	262	10	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	<40	90	5,5 - 6,0	
	100 [4,0MM]	ESTÁNDAR	BAJO - MEDIO	15,0 - 27,5	3,3	224	6,4	224	90.05.041	8,0	239	10	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	60	110	5,5 - 6,0	
	100 [4,0MM]	VEL HUNDIMIENTO	BAJO - MEDIO	15,0 - 27,5	3,0	256	4,8	256	90.05.067	8,0	226	10	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	<40	110	5,5 - 6,0	
	250 [6,0MM]	ESTÁNDAR	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	4,8	80	9	80	90.05.074	8,0	181	10	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	80	110	5,5 - 6,0	
	800/1500 [9,5MM]	ESTÁNDAR	BAJO	20,5 - 27,5	8,0	32	15	32	90.05.068	7,5	214	6	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	80	110	5,5 - 6,0	
	800/1500 [9,5MM]	ESTÁNDAR	MEDIO	29 - 33,5	7,3	32	11	32	90.05.054	7,5	179	6	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	85	110	5,5 - 6,0	
	1500/2000 [12MM]	ESTÁNDAR	BAJO	19,0 - 27,0	9,5	32	13	32	90.05.069	7,5	202	6	Media retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	85	110	5,5 - 6,0	
	100 [4,0MM]	ESTÁNDAR	BAJO	15,0 - 27,5	3,3	224	6	224	90.05.041	9,5	302	10	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	60	110	5,5 - 6,0	
	100 [4,0MM]	MEDICADO	BAJO	15,0 - 27,5	3,3	224	6	224	90.05.041	9,5	202	10	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	60	110	5,5 - 6,0	
	250 [6,0MM]	ESTÁNDAR	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	4,8	104	9	104	90.05.050	10,0	188	8	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	80	110	5,5 - 6,0	
	250 [6,0MM]	MEDICADO	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	4,8	80	9	80	90.05.050	10,0	145	8	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	80	110	5,5 - 6,0	
	3	800/1500 [9,5MM]	ESTÁNDAR	BAJO	20,5 - 26,0	7,3	32	15	32	90.05.068	9,5	141	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	80	110	5,5 - 6,0
		800/1500 [9,5MM]	MEDICADO	BAJO	20,5 - 26,0	7,3	32	15	32	90.05.068	9,0	149	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	80	110	5,5 - 6,0
800/1500 [9,5MM]		ESTÁNDAR	MEDIO	29,0 - 33,5	7,3	32	11	32	90.05.054	9,5	141	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	85	130	5,5 - 6,0	
800/1500 [9,5MM]		MEDICADO	MEDIO	29,0 - 33,5	7,3	32	11	32	90.05.054	9,0	149	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	85	130	5,5 - 6,0	
800/1500 [9,5MM]		ESTÁNDAR	ALTO	34,0 - 38,5	6,8	36	11	36	90.05.066	9,0	145	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	
800/1500 [9,5MM]		MEDICADO	ALTO	34,0 - 38,5	6,8	36	11	36	90.05.066	8,0	163	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	
1500/2000/3500 [12MM]		ESTÁNDAR	BAJO	20,0 - 27,5	9,5	32	17	32	90.05.069	9,0	252	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	85	100	5,5 - 6,0	
1500/2000/3500 [12MM]		MEDICADO	BAJO	20,0 - 27,5	9,5	32	17	32	90.05.069	9,0	252	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	85	100	5,5 - 6,0	
1500/2000/3500 [12MM]		ESTÁNDAR	MEDIO	29,5 - 33,5	8,7	24	13	24	90.05.055	9,0	159	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	120	5,5 - 6,0	
1500/2000/3500 [12MM]		MEDICADO	MEDIO	29,5 - 33,5	8,7	24	13	24	90.05.055	8,5	168	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	120	5,5 - 6,0	
1500/2000/3500 [12MM]		ESTÁNDAR	ALTO	34,0 - 41,0	8,3	28	13	28	90.05.070	9,0	168	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	
1500/2000/3500 [12MM]		MEDICADO	ALTO	34,0 - 41,0	8,3	28	13	28	90.05.070	8,0	162	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	
100 [4,0MM]		ESTÁNDAR / RT	BAJO	15 - 27,5	3,3	224	6	224	90.05.041	9,5	202	10	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	60	110	5,5 - 6,0	
250 [6,0MM]		ESTÁNDAR / RT	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	4,8	104	9	104	90.05.050	10,0	188	8	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	-	80	110	5,5 - 6,0	
800/1500 [9,5MM]		ESTÁNDAR	BAJO	20,5 - 27,5	7,3	32	15	32	90.05.068	9,0	149	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	80	130	5,5 - 6,0	
800/1500 [9,5MM]		ESTÁNDAR	MEDIO	29,0 - 33,5	7,3	32	11	32	90.05.042	9,0	149	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	85	110	5,5 - 6,0	
4	800/1500 [9,5MM]	RT	MEDIO	29,0 - 33,5	6,8	44	11	44	90.05.042	8,5	188	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	85	110	5,5 - 6,0	
	800/1500 [9,5MM]	ESTÁNDAR	ALTO	34,0 - 38,5	6,8	36	11	36	90.05.066	9,0	145	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	
5	800/1500 [9,5MM]	RT	ALTO	34,0 - 38,5	6,8	44	11	44	90.05.066	9,0	178	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	
	800/1500 [9,5MM]	ESTÁNDAR	BAJO	20,0 - 27,5	9,5	32	17	32	90.05.069	8,5	267	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	85	100	5,5 - 6,0	
6	1500/2000/3500 [12MM]	ESTÁNDAR	MEDIO	29,5 - 33,5	8,7	24	13	24	90.05.055	9,0	159	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	100	5,5 - 6,0	
	1500/2000/3500 [12MM]	ESTÁNDAR	ALTO	34,0 - 41,0	8,3	28	13	28	90.05.070	8,5	153	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	
	1500/2000/3500 [12MM]	RT	ALTO	34,0 - 41,0	8,3	28	13	28	90.05.070	9,0	168	6	Doble retención	95-100	35 min	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	
	250 [6,0MM]	ESTÁNDAR / RT	BAJO - MEDIO	16,0 - 31,0	4,8	132	9	132	90.05.042	13,0	184	10	Doble retención	95-100	220 s/deck	7,5 - 8,0	>96	80	130	5,5 - 6,0	
7	800/1500 [9,5MM]	ESTÁNDAR / RT	BAJO	20 - 28,9	6,8	44	11	44	90.05.077	13,0	123	8	Doble retención	96-100	221 s/deck	7,5 - 8,1	>96	80	130	5,5 - 6,0	
	800/1500 [9,5MM]	ESTÁNDAR	MEDIO	29,0 - 33,5	6,8	36	11	36	90.05.066	13,0	101	8	Doble retención	95-100	220 s/deck	7,5 - 8,0	>96	85	130	5,5 - 6,0	
	800/1500 [9,5MM]	RT	MEDIO	29,6 - 33,5	6,8	44	11	44	90.05.077	13,0	123	8	Doble retención	95-100	220 s/deck	7,5 - 8,0	>96	85	130	5,5 - 6,0	
	800/1500 [9,5MM]	ESTÁNDAR	ALTO	34,0 - 38,5	6,8	36	11	36	90.05.066	13,0	101	8	Doble retención	95-100	220 s/deck	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	
	800/1500 [9,5MM]	RT	ALTO	34,0 - 38,5	6,8	44	11	44	90.05.077	13,0	123	8	Doble retención	95-100	220 s/deck	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	
	1500/2000 [12MM]	ESTÁNDAR	MEDIO	29,6 - 33,5	8,7	24	13	24	90.05.055	12,0	119	6	Doble retención	95-100	220 s/deck	7,5 - 8,0	>96	87	130	5,5 - 6,0	

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION – FACULTAD DE INGENIERIA  
RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO**

**Departamento** : Departamento de Ingeniería .... INDUSTRIAL  
**Carrera** : Ingeniería Civil .... INDUSTRIAL  
**Nombre del memorista** : GONZALO LUARTE PACHECO  
**Título de la memoria** : PROYECTO DE REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE DETENCIÓN POR  
**Fecha de la presentación oral** : CAMBIO DE PRODUCTO EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN  
02/09/2022

**Profesor(es) Guía** : EDUARDO SALAZAR  
**Profesor(es) Revisor(es)** : ROSA MEDINA  
**Concepto** :  
**Calificación** :

**Resumen (máximo 200 palabras)**

Cargill-Ewos corresponde a una empresa del rubro alimenticio y de origen norteamericano, con actual sede en Chile y presencia a nivel global. Las actividades que se desarrollan en Chile se limitan solo a alimento para salmonicultura. En su estructura organizacional se encuentran las áreas de Plant Operations y el área de Supply Chain, las que se encargan entre otras cosas, de la planificación de las secuencias de producción.

En las áreas mencionadas anteriormente es que se propone una problemática a abordar en la presente memoria de título. Dicha problemática nace de la planificación de secuencias de producción que actualmente se desarrolla de forma manual. Como resultado, se genera una secuencia que, si bien cumple los plazos de entrega, provoca consecuencias en el área de producción, causando numerosas detenciones por cambios de lo que se está produciendo en la línea respectiva.

Es por este motivo que este proyecto de MT plantea un sistema automático de planificación de producción, utilizando recursos de la planificación y control de la producción, investigación de operaciones y machine learning. Logrando resultados positivos a través de métodos heurísticos, que se ven reflejados en los valores de makespan de secuencias propuestas.

Agosto de 2022  
Concepción, Chile