



**UNIVERSIDAD SAN SEBASTIÁN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO.**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL.**  
**SEDE TRES PASCUALAS CONCEPCIÓN.**

**OPTIMIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN PROCESO PRODUCTIVO CHANCADO DE  
ÁRIDOS PLANTA SERVITERRA PEDREGAL MEDIANTE SIMULACIÓN.**

Proyecto para optar al título de Ingeniero Civil Industrial.

Profesor Tutor Sr: Felipe Fabián Baesler Abufarde

Estudiante: Gabriel Isaac Macaya Mendoza

© Gabriel Isaac Macaya Mendoza.

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento, siempre y cuando se incluya la cita bibliográfica del documento.

Concepción, Chile  
2024

## HOJA DE CALIFICACIÓN

En \_\_\_\_\_ el \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_ los abajo firmantes dejan constancia que el (la) estudiante \_\_\_\_\_ de la carrera de \_\_\_\_\_ ha aprobado la tesis para optar \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_ título \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ con una nota de \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Profesor Evaluador

\_\_\_\_\_  
Profesor Evaluador

\_\_\_\_\_  
Profesor Evaluador

## ÍNDICE

<b>HOJA DE CALIFICACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO I: ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Antecedentes de la Empresa .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Descripción del Proceso de Estudio.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 Formulación del problema .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Justificación e Importancia.....</b>	<b>18</b>
<b>1.5 Alcances.....</b>	<b>18</b>
<b>1.6 Delimitaciones .....</b>	<b>19</b>
<b>1.7 Limitaciones.....</b>	<b>19</b>
<b>1.8 Estado del Arte .....</b>	<b>20</b>
<b>1.9 Objetivos .....</b>	<b>21</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Optimización de procesos .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Logística Interna.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3 Gestión de Operaciones .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4 Simulación con SIMIO LLC y su aplicación en optimización de procesos .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 Estadística Estocástica y su aplicación en la simulación .....</b>	<b>24</b>

<b>2.6 Distribuciones de probabilidad en la simulación de procesos .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Etapa 1: Recopilación de datos.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Etapa 2: Análisis de datos .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4 Etapa 4: Elección Mejor Distribución.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5 Etapa 5: Análisis Cintas Transportadoras para el modelo .....</b>	<b>27</b>
<b>3.6 Etapa 6: Modelo y Simulación en SIMIO LLC.....</b>	<b>28</b>
<b>3.7 Etapa 7: Desarrollo de Propuestas de mejora .....</b>	<b>28</b>
<b>3.8 Etapa 8: Comparación y selección propuestas de mejora .....</b>	<b>29</b>
<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS ANTES DE LA SIMULACIÓN .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Elección mejor distribución .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 Elección de mejor distribución.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3 Análisis cintas transportadoras para el modelo .....</b>	<b>31</b>
<b>CAPITULO V: PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIÓN.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Descripción del Proceso SIMIO LLC .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 Descripción proceso Planta 1 y 2.....</b>	<b>36</b>
<b>5.3 Proceso y especificaciones Planta 1 .....</b>	<b>36</b>
<b>5.4 Proceso y especificaciones Planta 2 .....</b>	<b>38</b>
<b>5.5 Resultado Modelo Situación Actual.....</b>	<b>38</b>

<b>5.6 Resultado Modelo Generales 10 réplicas .....</b>	<b>39</b>
<b>5.7 Validación de Resultados .....</b>	<b>40</b>
<b>5.8 Propuestas de solución Planta 1 y Planta 2 aumentando su buzón de alimentación.....</b>	<b>41</b>
<b>5.9 Propuestas de solución Planta 1 y 2 sin ampliación .....</b>	<b>42</b>
<b>5.10 Propuestas de solución Planta 1 con aumento del 20% y Planta 2 con aumento del 12% y propuestas anteriores.....</b>	<b>43</b>
<b>5.11 Propuestas de solución Planta 1 con aumento del 33% y Planta 2 con aumento del 20% y propuestas anteriores.....</b>	<b>44</b>
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>CAPITULO VII: REFERENCIAS .....</b>	<b>47</b>
<b>CAPITULO VIII: ANEXOS.....</b>	<b>49</b>
ILUSTRACIÓN 1: ORGANIGRAMA DIRECTORIO SERVITERRA LTDA	10
ILUSTRACIÓN 2: ORGANIGRAMA GENERAL SERVITERRA LTDA ÁRIDOS	11
ILUSTRACIÓN 3: DIAGRAMA RESUMEN PRODUCTIVO	11
ILUSTRACIÓN 4: PARED DE LECHO DE ROCA	12
ILUSTRACIÓN 5: POZO DE EXTRACCIÓN	12
ILUSTRACIÓN 6: PLANTA 1 PEDREGAL	13
ILUSTRACIÓN 7: PLANTA 2 PEDREGAL	13
ILUSTRACIÓN 8: BUZÓN DE ALIMENTACIÓN	14
ILUSTRACIÓN 9: SEGUNDO PROCESO HARNERO CONO CHANCADOR	15
ILUSTRACIÓN 10: CONO CHANCADOR	15
ILUSTRACIÓN 11: CONO CHANCADOR CARCASA	16
ILUSTRACIÓN 12: CONO DE DESCARGA PRODUCTOR TERMINADO PLANTA 1	16
ILUSTRACIÓN 13: CONO DE MATERIAL TERMINADO PLANTA 2	17
ILUSTRACIÓN 14: RECORRIDO IDENTIDAD	34

ILUSTRACIÓN 15: ZONA DESCARGA	35
ILUSTRACIÓN 16: DESCARGA VEHÍCULOS	35
ILUSTRACIÓN 17: SEPARADOR COPIA UNIDADES	36
ILUSTRACIÓN 18: PLANTA 1	37
ILUSTRACIÓN 19: PLANTA 2	38
TABLA 1: TIEMPOS BONDAD AJUSTE .....	30
TABLA 2: RESULTADOS ELECCIÓN MEJOR DISTRIBUCIÓN .....	31
TABLA 3: DATOS VELOCIDADES PLANTA 1 CINTAS TRANSPORTADORAS .....	32
TABLA 4: DATOS VELOCIDADES PLANTA 2 CINTAS TRANSPORTADORAS .....	32
TABLA 5: TRABAJO 10 HORAS PLANTA 1 .....	38
TABLA 6: TRABAJO 10 HORAS PLANTA 2 .....	38
TABLA 7: RESULTADO PLANTA 1 ORIGINAL SIN AMPLIACIÓN 10 RÉPLICAS.....	40
TABLA 8: RESULTADO PLANTA 2 ORIGINAL SIN AMPLIACIÓN 10 RÉPLICAS.....	41
TABLA 9: TABLA RESUMEN RESULTADOS PLANTA 1 Y 2.....	42
TABLA 14: TABLA RESUMEN PROPUESTAS SOLUCIÓN SIN AMPLIACIÓN .....	43
TABLA 21: TABLA RESUMEN PROPUESTA SOLUCIÓN AUMENTO 20% Y 12% BUZONES ALIMENTACIÓN .....	43
TABLA 28: TABLA RESUMEN PROPUESTA SOLUCIÓN AUMENTO 33% Y 12% BUZONES ALIMENTACIÓN .....	44
TABLA 10: PLANTA 1 AUMENTO 20% .....	53
TABLA 11: PLANTA 1 AUMENTO 33% .....	54
TABLA 12: PLANTA 2 AUMENTO 12% .....	54
TABLA 13: PLANTA 2 AUMENTO 20% .....	55
TABLA 15: PLANTA 1 46% MENOS DE ACOPIO .....	55
TABLA 16: PLANTA 2 46% MENOS DE ACOPIO .....	56
TABLA 17: PLANTA 1 - 4 VEHÍCULOS .....	56
TABLA 18: PLANTA 2 - 4 VEHÍCULOS .....	57
TABLA 19: PLANTA 1 - SIN ACOPIO.....	57
TABLA 20: PLANTA 2 - SIN ACOPIO.....	58
TABLA 22: PLANTA 1 - AUMENTO 20 % Y 46% MENOS DE ACOPIO .....	58
TABLA 23: PLANTA 2 - AUMENTO 12 % Y 46% MENOS DE ACOPIO .....	59
TABLA 24: PLANTA 1 - AUMENTO 20% Y 4 VEHÍCULOS .....	59
TABLA 25: PLANTA 2 - AUMENTO 12% Y 4 VEHÍCULOS .....	60
TABLA 26: PLANTA 1 - AUMENTO 20% Y SIN ACOPIO. ....	60
TABLA 27: PLANTA 2 - AUMENTO 12% Y SIN ACOPIO. ....	61
TABLA 29: PLANTA 1 - AUMENTO 33% Y 64% MENOS DE ACOPIO.....	61

TABLA 30: PLANTA 2 - AUMENTO 20% Y 64% MENOS DE ACOPIO .....	62
TABLA 31: PLANTA 1 - AUMENTO 33% Y 4 VEHÍCULOS .....	62
TABLA 32: PLANTA 2 - AUMENTO 20% Y 4 VEHÍCULOS .....	63
TABLA 33: PLANTA 1 - AUMENTO 33% SIN ACOPIO .....	63
TABLA 34: PLANTA 2 - AUMENTO 20% SIN ACOPIO .....	64

## CAPITULO I: ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes de la Empresa

Serviterra LTDA. Es un holding de empresas creado en 2002 por el Sr. Pablo Morgados Puga, con el propósito de brindar soluciones integrales de construcción y fabricación de asfalto en la región del Biobío, con sede en la ciudad de Los Ángeles.

Este holding está compuesto por tres empresas que operan de manera complementaria:

- 1. Servicios Mecanizados Serviterra LTDA:** Se especializa en la construcción y mantención de caminos rurales y urbanos, contribuyendo a mejorar la conectividad del transporte público en la región.
- 2. Plantas de áridos:** Conformada por tres instalaciones ubicadas en distintas localidades:
  - Una planta en Tucapel actualmente inactiva por permisos municipales.
  - Planta pedregal, en Quilleco, que produce materiales como grava, gravilla<sup>3/4</sup>, arena, base T50-b, entre otros materiales. Esta planta abastece tanto a grandes industrias como a empresas minoristas.
  - Planta de Los Ángeles (sector La Isla), que opera con cuatro procesadoras de material, cada una con una capacidad de producción de 80 m<sup>3</sup>/hora.
- 3. Transportes Morgados:** Dispone de una flota de 40 a 100 camiones especializados en el transporte de materiales a granel y asfalto caliente.
  - En conjunto, el holding emplea aproximadamente 800 personas, posicionándose como líder en la producción de áridos y construcción en la comuna Los Ángeles, con capacidad para abastecer a toda la región.

### Objetivo Organizacional de la Empresa

El objetivo organizacional de la empresa se enfoca en brindar soluciones integrales para la construcción y mantenimiento de caminos, así como la producción y transporte de áridos y asfaltos de alta calidad.

### Valores

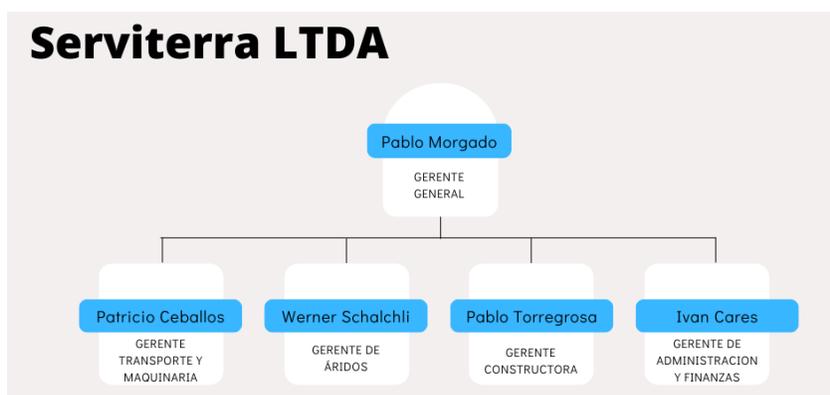
Dentro de sus principales valores como empresa se encuentran:

- Innovación.
- Espíritu de colaboración.
- Sostenibilidad.
- Actitud de excelencia.
- Solidez y creación de valor.

## Organigrama

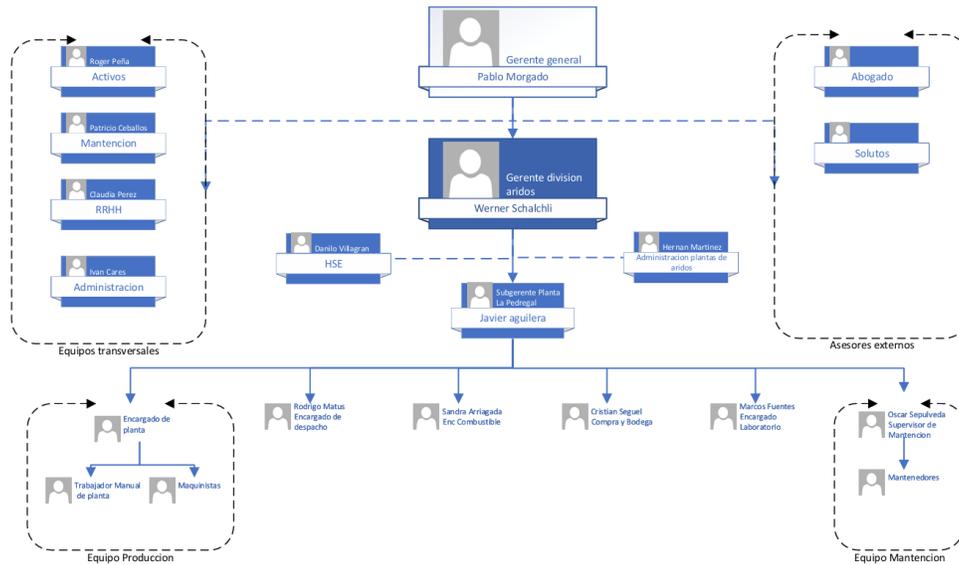
A continuación, se presentan los organigramas correspondientes al Directorio de Serviterra LTDA.

*Ilustración N°1: Organigrama Directorio Serviterra LTDA*



*Fuente 1: Serviterra LTDA*

Ilustración N°2: Organigrama General Serviterra LTDA Áridos

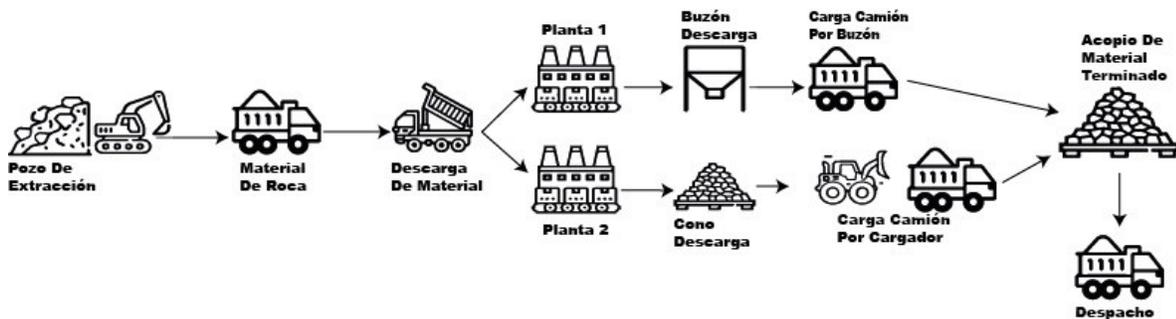


Fuente 2: Serviterra LTDA

## 1.2 Descripción del Proceso de Estudio

Para comprender el proceso de estudio en la planta de áridos Pedregal y las consecuencias del análisis de optimización y simulación. Es fundamental examinar las etapas del modelo productivo, como se presenta en el Diagrama Resumen Productivo (Ilustración N°3).

Ilustración N°3: Diagrama Resumen Productivo



## Extracción del material.

El proceso comienza con la extracción de roca de un lecho terrestre (Ilustración N°4). Estas rocas sedimentarias, conocidas como conglomerados (Migoñ, 2020), son el resultado de millones de años de compresión durante el periodo de la glaciación. La zona de extracción, delimitada con línea punteada roja (Ilustración N°5), abarca 550.000 m<sup>2</sup>, y el material se encuentra listo para ser extraído.

*Ilustración N°4: Pared de Lecho de Roca*



*Ilustración N°5: Pozo de extracción*



## Transporte a las plantas de procesamiento.

El material extraído se transporta hacia las Plantas 1 y 2 según las necesidades específicas de cada una (Ilustración N°6 y Ilustración N°7). Los camiones descargan el material en buzones de alimentación (Ilustración N°8), donde inicia el proceso de chancado del material para la producción de áridos.

*Ilustración N°6: Planta 1 Pedregal*



*Ilustración N°7: Planta 2 Pedregal*



*Ilustración N°8: Buzón de Alimentación*



### **Procesamiento inicial.**

#### **Trituración inicial o primaria.**

En primera instancia, el material extraído pasa por el chancador mandíbula (China First Engineering Technology Co.,Ltd., s. f.) , este se encarga de realizar la fractura inicial de las rocas. El equipo utiliza dos placas (una fija y otra móvil) para comprimir y romper el material.

#### **Separación y trituración.**

El material triturado se transporta mediante cintas hacia el Harnero 1 (Ilustración N°9), donde se separa arena procesada y material que requiere un nuevo procesamiento. Este último paso por los Conos Chancadores 1 y 2 para un segundo ciclo de trituración (Trituración & Timken, s. f.).

#### **Procesamiento final.**

El material triturado se somete a una tercera etapa en el Harnero 2, donde se clasifica en:

- Polvo roca.
- Grava.
- Material que necesita otro proceso de trituración en el Cono Chancador 3.

El proceso continúa hasta que todo el material alcanza los estándares requeridos para los productos finales (Ilustración N°10 e Ilustración N°11).

*Ilustración N°9: Segundo Proceso Horno Cono Chancador*



*Ilustración N°10: Cono Chancador*



*Ilustración N°11: Cono Chancador Carcasa*



### **Almacenamiento y carga.**

El material terminado se almacena en buzones en la Planta 1 (Ilustración N°12). En la Planta 2, que carece del sistema de descarga, el material se carga directamente en camiones mediante cargadores frontales (Ilustración N°13).

*Ilustración N°12: Cono de Descarga Productor terminado Planta 1*



Ilustración N°13: Cono de material terminado Planta 2



### 1.3 Formulación del problema

El estudio se llevó a cabo en la empresa Serviterra LTDA, específicamente en el área de procesos de las Plantas 1 y 2 de producción de áridos.

Durante este análisis, se identifican dos problemas principales que afectan la eficiencia operativa:

#### 1. Retraso de camiones para abastecimiento Planta 1 y 2:

Las plantas 1 y 2 dependen del material extraído en un pozo ubicado a 1,4 km de distancia. La logística de transporte, que se realiza con tres camiones, enfrenta tiempos de inactividad frecuentes debido a que estos no llegan a tiempo a las zonas de descarga. Esto genera períodos de desabastecimiento, deteniendo temporalmente la producción.

#### 2. Capacidad de descarga de buzones de alimentación Planta 1 y 2:

En la planta 1, el buzón tiene una capacidad de  $13\text{m}^3$ , insuficiente para manejar cargas que, en ocasiones, superan este límite, lo que provoca derrames y pérdida de material. Además, cuando los camiones no están disponibles para descargar, se generan cuellos de botella que obligan a detener la producción.

En la Planta 2, aunque la capacidad del buzón es mayor ( $25\text{m}^3$ ), también se busca optimizar su uso para incrementar la producción.

## 1.4 Justificación e Importancia

La optimización de los procesos en las Plantas 1 y 2 de la empresa Serviterra LTDA. Es esencial para abordar problemas críticos de logística y capacidad productiva. A continuación, se destacan las principales razones que justifican este estudio:

1. Mejora en la eficiencia operativa: Solucionar los problemas de transporte y alimentación aumentando la eficiencia de las plantas, logrando una mayor producción con los mismos recursos.
2. Reducción de costos: Al minimizar los tiempos de inactividad y optimizar el uso de los camiones, se reducirá el gasto operativo, mejorando la competitividad de la empresa.
3. Incremento de la productividad: Asegurar un flujo continuo de materiales evitará interrupciones y permitirá satisfacer la demanda de manera más eficiente.
4. Sustentabilidad y reducción de pérdida de carga: Mejorar la capacidad de los buzones y la logística de transporte reducirá el material y los tiempos muertos, promoviendo una operación más sostenible y con menos pérdidas.
5. Toma de decisiones basada en datos: La investigación y el análisis de datos realizados proporcionarán información clave para planificar mejoras estratégicas y evaluar su impacto.

## 1.5 Alcances

El alcance de este proyecto consiste en realizar una investigación sobre el proceso productivo y logísticas de las Plantas 1 y 2 en la producción de áridos. Este estudio abordará los problemas actuales con el abastecimiento hacia las plantas, capacidad de buzones y configuración de la planta utilizando SIMIO LLC como programa de simulación y así realizar un análisis de datos para implementar las mejores propuestas.

Primero se basa en el estudio de los problemas identificados en las Plantas 1 y 2 donde se busca examinar el rendimiento actual que tiene el transporte de materia prima desde el pozo hasta los buzones de alimentación, identificar los tiempos muertos y los cuellos de botella que provocan retrasos en el abastecimiento de las plantas, evaluar la capacidad de los buzones de alimentación y descarga viendo si es posible aumentar o reducir el número de camiones o de cargadores correspondientes.

En segundo lugar, su recopilación de datos e información documentan las interrupciones de la producción y las causas, mediante estos estudios que se realizan en programas de simulación como SIMIO LLC (*Simio Software Products for Simulation and Production Scheduling* | *Simio*, s. f.), gracias a este programa se ejecutarán diferentes escenarios para prever el impacto de las mejoras propuestas en la eficiencia y costos, con esto se logrará comparar los resultados de las simulaciones con los datos actuales para identificar las configuraciones más eficientes y desarrollar las propuestas para la implementación de las mejoras, incluyendo cambios estructurales y operativos.

### **1.6 Delimitaciones**

El proyecto se define dentro de las siguientes áreas:

1. Delimitaciones geográficas: El estudio se centrará exclusivamente a la Planta Pedregal y su sistema de transporte interno, excluyendo otras plantas del holding.
2. Delimitaciones temporales: La investigación y recopilación de datos se realizó durante un periodo de seis meses, entre enero y julio de 2024, período en el cual también se ejecutaron las simulaciones.
3. Posibles limitaciones técnicas o de infraestructura que influyan en la implementación de las soluciones propuestas: Las soluciones propuestas asumen que se pueden realizar modificaciones menores en la infraestructura existente, sin requerir inversiones sustanciales fuera del alcance del proyecto.
4. Delimitaciones Datos utilizados: Se utilizaron datos históricos y operativos proporcionados por la empresa, complementados con información recopilada por el estudiante.

### **1.7 Limitaciones**

El estudio presenta las siguientes restricciones:

1. Tiempo y recursos: El tiempo y los recursos disponibles para el estudio son limitados ya que se debe tener acceso al personal especializado, equipos de medición, herramientas de simulación como SIMIO LLC, la restricción de recursos puede limitar la profundidad y el alcance del análisis.

2. Precisión de los datos: La disponibilidad de datos históricos y operativos es crucial para el éxito del análisis. La calidad de estos datos afecta directamente la validez de las simulaciones y propuestas.
3. Factores técnicos y de infraestructura: Las propuestas de optimización se ven condicionadas por las capacidades técnicas actuales de las plantas, incluyendo los equipos, el diseño físico y los sistemas de control y automatización.

## 1.8 Estado del Arte

La optimización de procesos en industrias a gran escala es una estrategia esencial para aumentar la competitividad en un mercado globalizado. Entre las técnicas más efectivas para este propósito, la simulación de eventos discretos ha surgido como una herramienta clave que permite modelar, analizar y optimizar sistemas complejos en entornos controlados.

Uno software destacado en este campo es **SIMIO LLC**, reconocido por su capacidad para crear modelos dinámicos en 3D que ayudan a visualizar y optimizar procesos industriales y logísticos. Esta herramienta permite abordar desafíos como cuellos de botella, planificación de recursos y diseño eficiente de sistemas productivos. Como nos enseña Luis Tormo Rico en una empresa de conservas Luis Tormo Rico (2020), desarrolló un sistema integrado de simulación y optimización para mejorar el proceso de una empresa de conservas con el fin de mejorar el proceso productivo, al igual que realizar un estudio de este logrando configuraciones más eficientes y una reducción significativa en los tiempos de inactividad y en sus costos operativos.

En el contexto de la producción de áridos, estas metodologías son igualmente relevantes. Las Plantas 1 y 2 de Serviterra LTDA. enfrentan desafíos logísticos similares a los descritos por Tormo Rico, como la necesidad de mantener la puntualidad en el transporte y asegurar la capacidad adecuada de los equipos para evitar interrupciones en la producción. El uso de SIMIO LLC permite abordar todos estos desafíos mediante la creación de modelos que replican los procesos actuales, identificando cuellos de botella y optimizando flujos de trabajo.

Otro ejemplo lo aporta **Alejandro Fález** (2014), quien utilizó simulaciones de eventos discretos para optimizar la logística en una tienda de suministros y una línea de fabricación. Este enfoque permitió mejorar el flujo de materiales, reducir los tiempos de espera y aumentar la eficiencia general del sistema. En el caso de Serviterra Ltda., se pueden aplicar principios similares para asegurar un flujo constante de material desde el pozo hasta los buzones de alimentación, ajustando la capacidad de los equipos y minimizando los bloqueos en el proceso. Con esto demostraba problemas similares ya que modela un sistema simulando una llegada de pedidos y de su distribución en una línea de producción, cuya optimización de la logística permitió mejorar el flujo de materiales reduciendo los tiempos de espera y aumentando la eficiencia general del sistema, al igual que en el trabajo se compararía con el flujo de camiones y la secuencia de abastecimiento, asegurando las Plantas 1 y 2 para que mantengan un flujo constante de material desde el pozo hasta los buzones de alimentación. También demuestra la implicación que tiene la capacidad de las estaciones de trabajo donde debía ser ajustada para evitar los bloqueos y asegurar el flujo constante del material.

En relación con el problema de la capacidad de alimentación, se busca analizar distintos ajustes que permitan evitar el derramamiento de material y aumentar la producción como producto final. La simulación se presenta como una herramienta clave para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos en diversos sectores. Estudios como los realizados por Tormo Rico y Fález Blasco evidencian la efectividad de integración simulación y optimización para resolver problemas específicos en entornos industriales, abordando desde la logística hasta la mejora en la capacidad de procesamiento.

## **1.9 Objetivos**

### **1.9.1 Objetivo General**

Optimizar los procesos de abastecimiento y buzones de alimentación de las Plantas 1 y 2, de Serviterra LTDA. Para aumentar la producción de áridos de un 11% a un 25%, en un periodo de seis meses, utilizando un modelo de simulación en turnos de 10 horas mejorando la capacidad de los buzones y asegurando un flujo continuo de materiales.

### 1.9.2 Objetivos Específicos

1. Optimizar la logística interna creando una mejora en el sistema de transporte de materia prima desde el pozo hasta las Plantas 1 y 2, con el objetivo de reducir los tiempos muertos en un 5% durante un periodo de tres meses, y determinar el número óptimo de camiones para asegurar un flujo constante.
2. Proponer ajustes en la capacidad de los buzones de alimentación de las Plantas 1 y 2 para disminuir en un 10% los derrames de material y aumentar la producción continua en un 15% durante un período de seis meses.
3. Mediante la identificación de interrupciones en la producción, utilizando simulaciones en SIMIO LLC para reducir las interrupciones en un 5% durante turnos de 10 horas en seis meses.
4. Analizar datos históricos y operativos de las Plantas 1 y 2 en un período de 12 meses para comparar escenarios y proponer configuraciones que mejoren la eficiencia operativa en al menos un 10.

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO**

El presente proyecto se enfoca en la optimización de procesos en la producción de áridos, utilizando herramientas de simulación y análisis de datos. La empresa en estudio, Serviterra Ltda., enfrenta desafíos relacionados con la eficiencia operativa en las Plantas 1 y 2. Para abordar estos problemas, se emplearán herramientas como SIMIO LLC y Excel, explorando conceptos clave en logística, gestión de operaciones y estadística aplicada.

### **2.1 Optimización de procesos**

La optimización de procesos implica la mejora continua de los procedimientos y sistemas utilizados en la producción para maximizar la eficiencia, reducir costos y aumentar la productividad (Vicente & Ramírez, 2010).

En el caso de Serviterra Ltda., fortalecer y optimizar los procesos en las Plantas 1 y 2 tendrá un impacto significativo, reduciendo costos y aumentando el rendimiento. Esto permitirá cumplir con los estándares de calidad del sector y atender la creciente demanda del mercado de áridos, otorgando una ventaja competitiva frente a otras empresas del rubro.

### **2.2 Logística Interna**

La logística interna abarca desde la recepción de materia prima hasta la entrega del producto final. Su objetivo principal es maximizar la capacidad productiva y reducir costos, fomentando la sostenibilidad a través de inventarios eficientes y cadenas de suministro resilientes (Taghikhah et al., 2019).

En el caso de Serviterra LTDA, la logística interna incluye el transporte de materia prima desde el pozo hacia las plantas y la gestión de los buzones de alimentación y descarga, los cuales son elementos críticos para asegurar un flujo continuo y evitar interrupciones en la producción.

### **2.3 Gestión de Operaciones**

La gestión de operaciones se centra en la planificación, organización y supervisión de procesos productivos. En las plantas de producción de áridos, esto incluye la coordinación de maquinaria, personal, inventarios y equipos críticos. De acuerdo con Chase - Jacobs, (2009), los principios fundamentales de esta gestión incluyen la planificación de capacidades, la programación de producción y el control de inventarios. Además, estas herramientas pueden complementarse con simulaciones para prever necesidades futuras y optimizar los recursos disponibles.

En Serviterra LTDA, una gestión operativa eficiente permitirá identificar cuellos de botella y mejorar la productividad general de las plantas, especialmente al integrar simulaciones detalladas que modelan escenarios operativos.

### **2.4 Simulación con SIMIO LLC y su aplicación en optimización de procesos**

SIMIO LLC es un software de simulación diseñado para modelar sistemas industriales complejos. Permite analizar diferentes escenarios, optimizar procesos y validar configuraciones mediante modelos virtuales que replican el comportamiento de un sistema real (Dennis et al., 2013).

En el contexto de Serviterra Ltda; SIMIO LLC será clave para identificar cuellos de botella, evaluar configuraciones alternativas en la maquinaria y analizar el impacto de cambios en la logística interna. Esto permitirá validar propuestas de optimización antes de implementarlas, reduciendo riesgos y costos asociados.

### **2.5 Estadística Estocástica y su aplicación en la simulación**

La estadística estocástica es una rama de la estadística que estudia y modela fenómenos aleatorios, es decir, aquellos eventos que contienen incertidumbre y no pueden predecirse con precisión exacta. En el contexto de la producción de áridos, esta disciplina resulta fundamental para representar las variabilidades en factores operativos, como los tiempos de transporte, tiempos de inactividad y comportamiento de los equipos. La incorporación de estadística estocástica en la simulación permite crear una representación más realista del sistema, considerando fluctuaciones que impactan la eficiencia y productividad de las plantas (Batanero et al., s. f.).

## 2.6 Distribuciones de probabilidad en la simulación de procesos

Las distribuciones de probabilidad son fundamentales para el análisis y simulación de procesos que contienen elementos de aleatoriedad, ya que permiten describir y predecir lo que podría pasar dentro de un sistema. Se define que una variable aleatoria tome ciertos valores, proporcionando su comportamiento en un contexto específico.

Cada distribución tiene aplicaciones específicas:

- **Distribución normal:** útil para procesos con variabilidad limitada.
- **Distribución exponencial:** adecuada para tiempos entre eventos independientes, como fallas de equipos.
- **Distribución Weibull y triangular:** permiten modelar situaciones con límites definidos o tasas de ocurrencia variables (Catherine Forbes et al., 2011).

En el caso de Serviterra LTDA; estas distribuciones facilitarán la simulación de eventos críticos, proporcionando un análisis detallado que respalde la toma de decisiones estratégicas para la mejora operativa.

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se diseñó para abordar los problemas de eficiencia operativa en las Plantas 1 y 2 de Serviterra LTDA; utilizando simulaciones y análisis de datos como herramientas principales. El enfoque metodológico se estructuró en ocho etapas, desde la recopilación de datos hasta la implementación y evaluación de propuestas de mejora, siguiendo un enfoque sistemático que garantizara resultados confiables y aplicables.

### 3.1 Etapa 1: Recopilación de datos

El proceso comenzó con un estudio exhaustivo de las áreas clave del sistema productivo, incluyendo tiempos, ciclos de trabajo, mantenimiento y capacidades de producción en las Plantas 1 y 2. Se recopilaron datos históricos y operativos a partir de informes proporcionados por el subgerente de áridos, Javier Aguilera.

Además, se realizaron visitas a terreno para registrar tiempos específicos relacionados con el transporte de áridos desde el pozo hasta las plantas. Este análisis incluyó la observación detallada de tiempos de traslado, carga y descarga, datos fundamentales para evaluar la eficiencia del proceso.

### 3.2 Etapa 2: Análisis de datos

En esta etapa se analizaron los informes de producción para identificar interrupciones, tiempos operativos y ciclos de transporte. Con los datos recopilados, se elaboró una tabla en Excel que consolidó toda la información obtenida.

Posteriormente, se realizó un análisis de bondad de ajuste de los tiempos de transporte, clasificando los datos en distintas distribuciones de probabilidad y calculando promedios para facilitar el modelado estadístico.

### 3.3 Etapa 3: Resultados Bondad de ajuste y selección

Durante la recopilación de datos en terreno sobre el transporte operativo en las plantas 1 y 2, se analiza el tiempo que demora cada camión en trasladarse desde el pozo de extracción hasta las plantas de producción. El objetivo es examinar los tiempos en cada etapa del proceso, desde la carga hasta la descarga hacia los buzones de alimentación.

Para ello, se registran los siguientes ítems:

1. Tiempo de espera carga.
2. Tiempo carga excavadora.
3. Llegada a descargar buzones.
4. Tiempo descarga.
5. Viaje al pozo.

### **3.4 Etapa 4: Elección Mejor Distribución**

Para elegir la distribución apropiada, se utiliza Python como herramienta de análisis. Los tiempos recopilados del transporte en el proceso productivo hacia las plantas 1 y 2 se cargan en un archivo Excel, el cual se procesa en la plataforma gratuita Google Colab. En esta plataforma, el archivo se analiza mediante un código específico en Python para determinar la distribución más adecuada, evaluando el valor P de cada una. Este valor permite identificar la distribución con menor variabilidad, seleccionando aquella con el valor más bajo para el estudio.

En esta etapa se realiza un análisis de bondad de ajuste, dado que el modelo permite ajustar un conjunto de datos observados, (Tabla 2: Resultados elección mejor distribución). Al analizar la bondad de ajuste, el primer aspecto fundamental es el promedio de los tiempos, en este caso, correspondiente al proceso de traslado de material. Esto facilita la adecuación a un modelo estadístico que describa correctamente los datos observados, lo cual es crucial para asegurar inferencias y decisiones basadas en el modelo.

Gracias a esto, se realiza el análisis de cada columna de la Tabla tiempos Bondad Ajuste, donde se analizan 12 distribuciones distintas: normal, cauchy, logística, exponencial, uniforme, gamma, lognormal, weibull\_min, f, t y triangular.

### **3.5 Etapa 5: Análisis Cintas Transportadoras para el modelo**

En la producción del material de roca las planta 1 y 2 las encargadas de realizar todo el movimiento de material hacia las áreas de procesamiento son las cintas transportadoras. En este caso, el número de cintas varía en cada planta. La planta 1 cuenta con un total de 22 cintas transportadoras (Anexo 5) para todo el proceso, mientras que la planta 2 cuenta con 5 cintas transportadoras (Anexo 6) en total para el proceso. Con esto

estudiado y realizado el análisis de datos por Excel para cada una de estas cintas es averiguar la velocidad con la que transportan el material.

A partir de estos datos y del diámetro que tienen los cilindros de transporte por donde se desplaza la cinta, se analiza la cantidad de poleas que contiene el sistema y sus diámetros, donde se realiza la transformación de torque para la velocidad de las cintas. Estas son impulsadas por un motor que, en este caso, opera de manera constante para todas las cintas a 1450 RPM, con reductores con un valor de 0.066, además de otras dos constantes más: el valor  $\pi$  y 60 segundos. En la planta 1, se establece que el diámetro de cada polea y de la polea motriz es de 1 pulgada de forma constante en todas las cintas (Anexo 7), mientras que en la planta 2 se utilizan distintos tamaños de polea (Anexo 8).

### **3.6 Etapa 6: Modelo y Simulación en SIMIO LLC**

En esta etapa se recurre al software SIMIO LLC, donde se crea el modelo de simulación de las Plantas 1 y 2 para evaluar los diferentes escenarios y proponer las mejoras correspondientes. Para construir el modelo, se utilizan los datos recopilados, incluyendo sus distribuciones y los elementos clave de los procesos; como camiones, buzones y cintas transportadoras. Luego, se compararán los resultados de los modelos de simulación con los datos reales para validar su precisión y realizar los ajustes necesario. Con esto, se pueden realizar diversas modificaciones al modelo para ajustarlo a la configuración óptima, optimizando así el proceso y analizando el impacto de estas mejoras.

### **3.7 Etapa 7: Desarrollo de Propuestas de mejora**

Para el desarrollar la propuesta de mejora, se recopilan los datos obtenidos en las etapas los buzones de alimentación y proponer optimizaciones en el uso de camiones. Esto incluye definir la cantidad adecuada de camiones para generar un flujo constante de viajes sin interrupciones hacia las plantas 1 y 2, así como sugerir cambios en los procedimientos operativos para optimizar el uso de recursos y reducir el tiempo de inactividad.

### **3.8 Etapa 8: Comparación y selección propuestas de mejora**

Finalmente, se compararon las propuestas de mejora en términos de impacto operativo y factibilidad. Este análisis permitió seleccionar las estrategias más efectivas para reorganizar los recursos de las Plantas 1 y 2, logrando un incremento significativo en la producción durante turnos de 10 horas.

## CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS ANTES DE LA SIMULACIÓN

Antes de implementar la simulación en SIMIO LLC, se realizó un análisis detallado del proceso productivo y se recopilaron los datos necesarios para garantizar que la simulación represente fielmente la realidad. Este enfoque busca minimizar la tasa de error y generar resultados confiables para optimizar los procesos operativos de las Plantas 1 y 2 de Serviterra LTDA.

### 4.1 Elección mejor distribución

En total, se obtuvieron 35 observaciones, cada una expresada en segundos luego de realizar su transformación correspondiente:

Tabla 1: Tiempos Bondad Ajuste

Tiempo espera carga	Tiempo carga excavador a seg	Llegada a descarga buzones seg	tiempo espera descarga seg	Tiempo descarga seg	Viaje al pozo seg
0,00	82,20	182,40	83,40	14,40	204,00
1,50	80,40	192,60	373,80	15,60	191,40
0,58	93,60	187,20	76,80	13,20	182,40
0,00	81,60	189,00	300,60	21,00	186,00
3,00	80,40	198,60	0,00	14,40	204,00
0,00	126,00	189,00	423,60	15,00	188,40
0,00	135,00	201,00	192,00	18,00	199,20
0,00	124,20	244,80	274,20	19,20	193,20
2,00	88,80	241,80	192,00	14,40	188,40
1,25	123,60	212,40	420,00	14,40	205,80
3,24	91,20	183,00	375,00	13,80	186,00
0,00	80,40	195,00	0,00	15,00	199,20
2,25	94,80	189,00	207,00	18,00	189,00
5,54	94,20	189,00	328,80	15,00	192,00
0,00	82,80	198,60	432,00	19,20	190,20
0,00	79,20	195,00	362,40	12,60	186,00
0,00	88,80	252,00	312,00	12,00	199,20
1,24	94,80	186,00	195,00	13,80	191,40
2,45	129,00	194,40	126,00	15,00	182,40
3,25	126,00	189,00	66,00	135,00	184,20
1,02	123,00	192,00	192,00	13,80	205,80
7,00	132,00	207,00	30,00	14,40	199,20
8,25	80,40	240,00	195,00	18,00	193,20
0,00	76,80	183,00	435,00	14,40	190,20
0,00	81,00	241,20	212,40	13,20	180,00
2,15	92,40	240,00	480,00	15,00	189,00
1,24	121,80	189,00	435,00	15,60	183,60
2,25	74,40	194,40	360,00	16,20	186,00
0,00	140,40	240,00	132,60	16,80	180,00
0,00	120,60	212,40	74,40	15,00	193,20
1,25	80,40	189,00	30,00	16,80	190,80
2,00	120,00	198,60	73,20	17,40	195,00
3,25	129,00	192,00	34,80	17,40	196,80
5,05	94,80	246,00	75,00	15,00	189,00
3,20	127,20	213,60	154,80	18,00	199,20

## 4.2 Elección de mejor distribución

Para la elección de la mejor distribución se utilizó un código de Python; (Goodger & Goodger, s. f.; Python) (Wikipedia, la enciclopedia libre, s. f.). Gracias a este se logró descubrir la mejor distribución para cada caso, quedando en lo siguiente:

*Tabla 2: Resultados elección mejor distribución*

Parámetro Analizado	Distribución Seleccionada	Parámetros de Distribución	Valor P	Observaciones o justificaciones
Tiempo Carga Excavadora	Distribución Uniforme	Máximo: 139.47, Mínimo: 64.60	0.11	Ajuste razonable para variabilidad entre tiempos máximos y mínimos.
Llegada a descarga buzones	Distribución Uniforme	Máximo: 244.1, Mínimo: 166.64	0.065	Intervalo de tiempo consistente, variabilidad controlada.
Tiempo descarga	Distribución Weibull	$\alpha: 8.34, \beta: 16.52$	0.07	Ajuste adecuado para modelar confiabilidad y vida útil del sistema.
Viaje al pozo	Distribución Uniforme	Máximo: 204.32, Mínimo: 179.31	0.54	Buen ajuste para modelar intervalos de tiempo constante en viajes.

Con todos estos datos ya estudiados, de cada columna de los datos facilitados y tomados en terreno. Se tiene todo lo necesario para la implementación de todas estas distribuciones, y así comenzar el análisis en la simulación, ya que contendría todo lo necesario para analizar sus probabilidades y estadísticas de acuerdo con lo que se tiene planteado en el problema del transporte de camiones dentro de Serviterra LTDA Planta Pedregal. En el Anexo 13 se puede ver con mayor detalle dicho código, tanto en los Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3 y Anexo 4 se pueden observar sus histogramas.

## 4.3 Análisis cintas transportadoras para el modelo

Los resultados son reflejados en las siguientes ilustraciones:

Tabla 3: Datos Velocidades Planta 1 Cintas Transportadoras

Planta 1		
Numero de Cintas	Diametro	Velocidad
Cinta 1	40	2,02
Cinta 2	38	1,92
Cinta 3	38	1,92
Cinta 4	38	1,92
Cinta 5	38	1,92
Cinta 6	38	1,92
Cinta 7	38	1,92
Cinta 8	38	1,92
Cinta 9	38	1,92
Cinta 10	38	1,92
Cinta 11	38	1,92
Cinta 12	42	2,12
Cinta 13	38	1,92
Cinta 14	38	1,92
Cinta 15	38	1,92
Cinta 16	45	2,28
Cinta 17	45	2,28
Cinta 18	38	1,92
Cinta 19	38	1,92
Cinta 20	38	1,92
Cinta 21	38	1,92
Cinta 22	38	1,92

Tabla 4: Datos Velocidades Planta 2 Cintas Transportadoras

Planta 2		
Numero de Cintas	Diametro	Velocidad
Cinta 1	40	1,26
Cinta 2	40	1,26
Cinta 3	30	1,24
Cinta 4	30	1,14
Cinta 5	31	1,28

Para poder realizar la simulación en el software SIMIO LLC de cada cinta por planta, se necesitaba tener las velocidades de cada una, para ello se establecieron promedios, de esta forma para la Planta 1 la velocidad de las cintas transportadoras se fija como 1.92 metros por segundo, y en la Planta 2 1.26 metros por segundo, dando por finalizado el análisis de las cintas.

## CAPITULO V: PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIÓN

En este estudio se desarrolló un proceso exhaustivo de simulación mediante el software SIMIO LLC, en el cual se analizaron diversos escenarios para optimizar la producción en la planta de áridos Pedregal. El enfoque principal se centró en evaluar los valores de producción obtenidos en las Plantas 1 y 2, particularmente aquellos relacionados con los "sink", elementos de SIMIO LLC que proporcionan los valores finales del sistema simulado. Estos elementos ofrecen una visión detallada de los parámetros clave, incluyendo la operación de chancadores y conos (encargados de la molienda del material de roca para la producción de gravilla), así como el transporte interno y su configuración, los cuales impactan directamente en la eficiencia y productividad del sistema.

Para la evaluación de los modelos, se han considerado múltiples escenarios con métricas clave. Como la cantidad de identidades que circulan en los modelos, el tiempo de inactividad en los procesos principales y la variabilidad en la capacidad de transporte.

El análisis del proceso de producción reveló que la jornada laboral comienza a las 08:00 hrs y se extiende hasta las 12:45 hrs, momento en que los vehículos de transporte realizan una pausa para colación. Posteriormente, a las 13:00 hrs, las operaciones se interrumpen para el descanso de almuerzo de los empleados, el cual finaliza a las 14:00 hrs. Luego, el trabajo se reanuda hasta las 17:00 hrs, momento en que finaliza el transporte, con el cierre de actividades para el personal a las 18:00 hrs.

### 5.1 Descripción del Proceso SIMIO LLC

El proceso comienza con la excavadora, la cual material extrae a una tasa definida por una distribución random Triangular (70, 80, 100), evaluada en segundos. En esta distribución, el mínimo es 70 segundos, el promedio 80 segundos y el máximo 100 segundos. Una vez extraído el material, un vehículo llega para recogerlo, como se ilustra en la Ilustración N°14. Para este estudio, cada unidad de identidad se define como 15 m<sup>3</sup>.

El vehículo transporta el material a la zona de descarga. Este viaje se modela mediante una distribución random uniform (166.64, 244.1), cuyos valores, expresados en segundos, son seleccionados aleatoriamente por el software para representar los diferentes escenarios posibles en el trayecto. La Ilustración N°15 muestra este proceso.

Al llegar a la zona de descarga, el vehículo determina el destino de la identidad en función de las condiciones programadas en el software. La elección depende de si los buzones de descarga de las Plantas 1 y 2 están por debajo del 20% de su capacidad, como se observa en la Ilustración N°16. La descarga se realiza en un tiempo modelado mediante una distribución random Weibull (8.3407, 16.524), donde el valor se expresa en segundos.

Tras la descarga, la identidad avanza hacia el separador, mientras los vehículos regresan a su punto de inicio para repetir el ciclo de transporte. Este retorno se modela con una distribución random Uniform (179.31, 204.32), también representada en segundos.

En el separador, la función que cumple es aumentar esta identidad hasta 150 unidades Ilustración N°17, ya que al momento de hacer el análisis necesitamos un alto flujo de identidades para tener resultados más exactos, con lo que se decidió fraccionar esta identidad que se establece de 15 metros. Esta única decidió que equivaldría a 10 unidades más pequeñas, ganando así un mayor número de observaciones, logrando así que su análisis estadístico sea más robusto, transformando así todo el proceso continuo a uno discreto, ya que esto permite que el sistema maneje múltiples observaciones en lugar de trabajar con una única identidad de 15 m<sup>3</sup>.

Ilustración N°14: Recorrido identidad

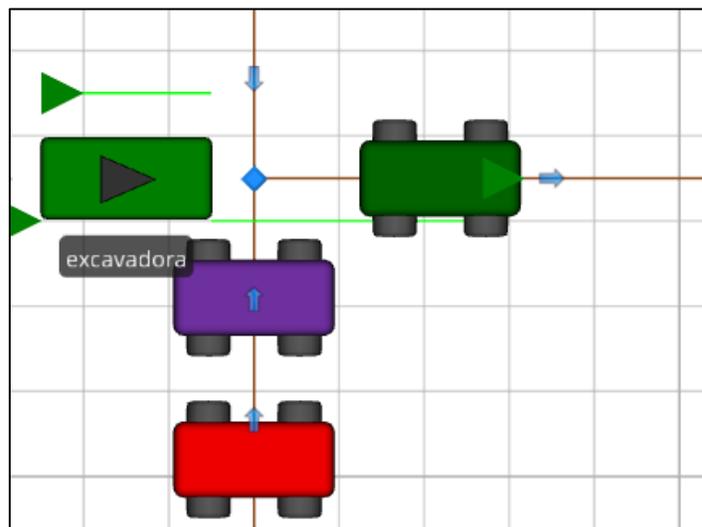


Ilustración N°15: Zona Descarga

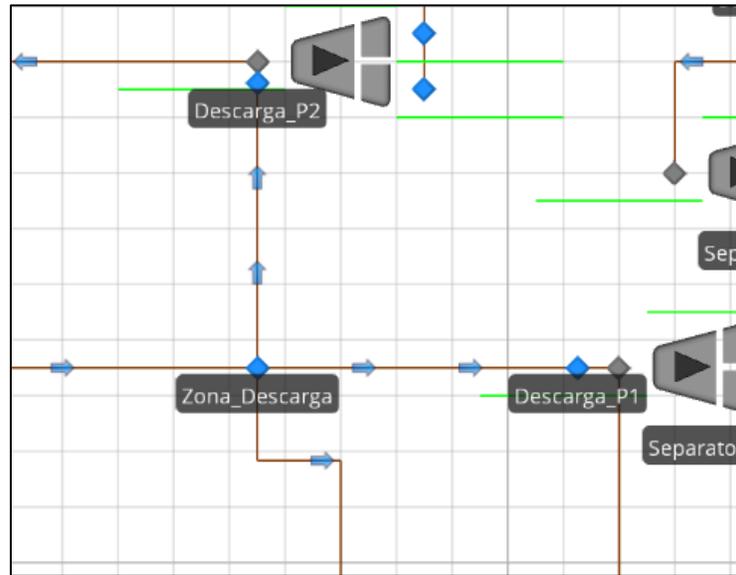


Ilustración N°16: Descarga Vehículos

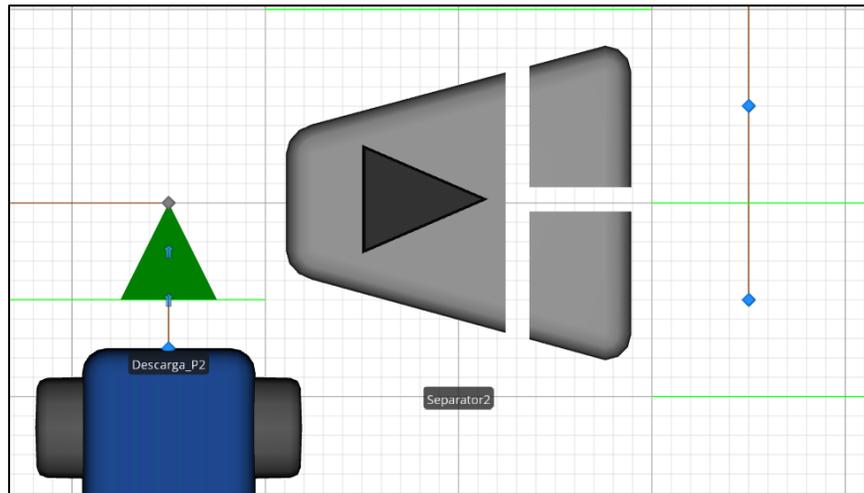
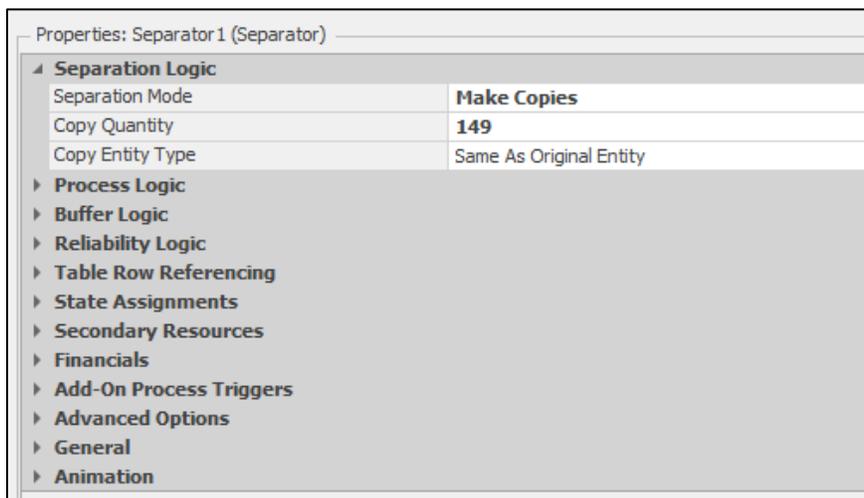


Ilustración N°17: Separador Copia Unidades



## 5.2 Descripción proceso Planta 1 y 2

Cuando las identidades pasan por el separador en las Plantas 1 y 2 (Ilustración N°17), las 150 identidades se procesan en los chancadores de ambas plantas. Estos equipos tienen una capacidad de producción de 120 m<sup>3</sup> por hora, lo que equivale a un tiempo de procesamiento de 30 segundos por metro cúbico de material.

Dado que las identidades se fraccionaron en 150 partes, este tiempo se dividió entre 10, resultando en un tiempo de procesamiento de 3 segundos por identidad en ambos chancadores.

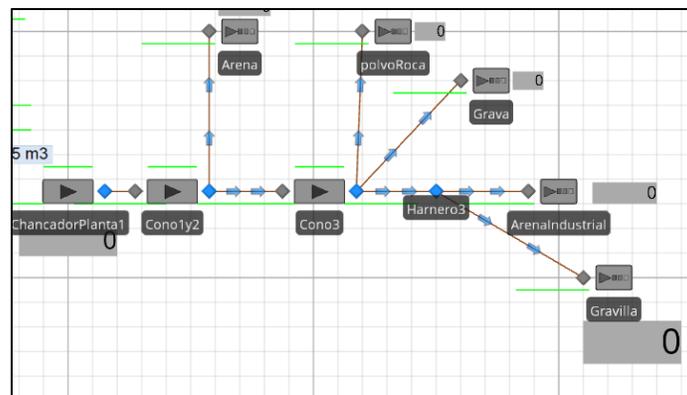
El material procesado se transporta a través de cintas transportadoras con una capacidad máxima de 330 m<sup>3</sup> por hora y una velocidad de 1,92 metros por segundo. Estas cintas conducen el material hacia las zonas de procesamiento correspondientes, donde finalmente se descarga en los buzones.

## 5.3 Proceso y especificaciones Planta 1

En la Planta 1 (Ilustración N°18), el proceso comienza con el chancador primario, que realiza la primera fase de trituración. Posteriormente, el material se transporta hacia un harnero, junto con los conos 1 y 2 de la planta, donde se realiza la separación inicial de arena y material de roca.

1. **Harnero inicial:** Separa el material en un 37% de arena y un 63% de material de roca.
2. **Conos 1 y 2:** Funcionan en paralelo, procesando el material de roca en 6,7 segundos por metro cúbico. El material terminado se transporta al cono 3. El 37% de arena resultante se considera producto terminado y se lleva directamente al buzón de descarga para su almacenamiento en el acopio.
3. **Cono 3:** En el cono 3, el equipo más grande de la planta, el material se procesa a una tasa de 8.523 segundos por metro cúbico. En esta etapa, el harnero asociado separa el material en:
  - **10% polvo de roca:** Producto terminado.
  - **10% grava:** Producto terminado.
  - **80% material transformado en gravilla:** Pasa a un tercer harnero para su clasificación final.
4. **Tercer harnero:** El material se clasifica en:
  - **75% gravilla:** Producto terminado.
  - **10% arena industrial:** Producto terminado.
  - **15% material sobredimensionado:** Retorna al cono 3 para ser reprocesado y clasificado nuevamente. Este ciclo asegura la máxima utilización de los materiales y optimizar la producción de la planta 1.

Ilustración N°18: Planta 1

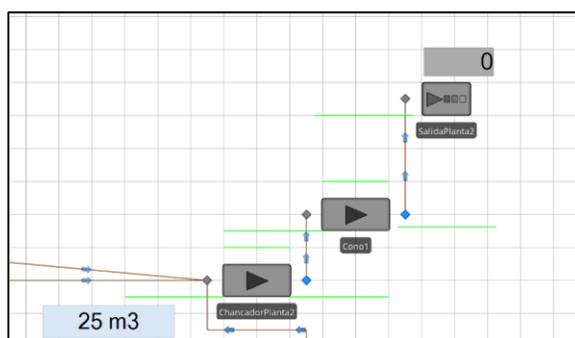


## 5.4 Proceso y especificaciones Planta 2

En la Planta 2 (Ilustración N°19), el proceso comienza con un chancador primario. A diferencia de la Planta 1, esta planta es más pequeña, ya que cuenta con un solo cono, que procesa el material de roca en un tiempo de 8.523 segundos por metro cúbico.

El producto final de la Planta 2 es la base T-50B, compuesta por un 20% de arena y un 80% de grava. Esta planta tiene una única salida y un sistema de retorno que distribuye el producto terminado en un 70%, mientras que el 30% restante regresa al cono para ser reprocesado. Este ciclo se repite hasta que se procesa toda la carga proporcionada por el vehículo.

Ilustración N°19: Planta 2



## 5.5 Resultado Modelo Situación Actual

En esta sección se evaluó el cómo las plantas trabajan en un día de turno completo sin análisis de replicas en cómo están en su forma actual en funcionamiento.

Tabla 5: Trabajo 10 horas Planta 1

Tipo de material	Producción 10 horas turno (m <sup>3</sup> )
Gravilla	330
Grava	75
Arena	309
Acopio	645
Polvo Roca	70
Arena Industrial	22

Tabla 6: Trabajo 10 horas Planta 2

Tipo Material	Producción 10 horas turno (m <sup>3</sup> )
Base T50	361

Estos resultados demuestran lo que produce la Planta 1 y la Planta 2 en un día de producción o turno completo de 10 horas hoy, estableciendo así su situación actual que fue comparada con los datos entregados por los informes diarios presentados por la empresa en Excel que representaba valores correctos a través de la simulación (Anexo 14).

### 5.6 Resultado Modelo Generales 42 réplicas

Para generar el modelo de simulación, fue necesario realizar réplicas que permitan obtener resultados representativos y confiables. El uso de múltiples réplicas permite capturar la variabilidad del sistema y obtener estimaciones precisas, fundamentales para la toma de decisiones basadas en los datos de simulación.

Para determinar el número óptimo de réplicas, se utiliza la siguiente fórmula estadística:

$$n = \left( \frac{t_{\alpha/2, n-1} \cdot S}{E} \right)^2 \quad (1)$$

- $n$  es el número de replicas necesarias.
- $t_{\alpha/2, n-1}$  es el valor crítico de la distribución  $t$  para el nivel de confianza del 95% de grados de libertad.
- $S$  es la desviación estándar de las réplicas piloto.
- $E$  es el error máximo permitido o precisión deseada.

Su cálculo lo vemos de la siguiente manera; utilizamos réplicas piloto que en este caso en primera instancia son 10 pero se denota que al momento de realizar estas replicas su ancho tanto de su límite inferior como superior es demasiado extenso, se busca una cantidad favorable de replicas para que disminuya el ancho, con lo que al usar SIMIO nos entrega que lo más favorable son 42 réplicas con una desviación estándar de 1012, por

lo que luego su error máximo o media permitida que figura anterior mente con 10 réplicas son 350 y por último el valor crítico de la distribución t que es de 2.262 para grados 95% de libertad que fue facilitado por la tabla de distribución t (Tabla t-Student, s. f.). Luego de esto, remplazamos en la fórmula concluyendo lo siguiente:

$$n = \left( \frac{2.262 \cdot 1012}{350} \right)^2$$

$$n = 42$$

El número de réplicas es 42, asegurando que los resultados sean confiables y se mantengan dentro del margen de error aceptado donde las 42 réplicas ofrecieron un nivel de seguridad mayor.

En el estudio de varios escenarios, utilizando 42 réplicas mediante la simulación, se concluye que las plantas pueden mejorar su producción al ampliar la capacidad de sus buzones de alimentación. En el caso de la Planta 1, al incrementar su capacidad de 15m<sup>3</sup> a 18m<sup>3</sup>, se observa un aumento del 20%. Para la Planta 2, al aumentar su capacidad de 25m<sup>3</sup> a 28m<sup>3</sup>, se obtiene un incremento del 12%. Además, se evalúan incrementos adicionales de 15m<sup>3</sup> a 20m<sup>3</sup> para la Planta 1 y de 25m<sup>3</sup> a 30m<sup>3</sup> para la planta 2 respectivamente, cuyos resultados son los siguientes:

## 5.7 Validación de Resultados

### Validación de Resultados Planta 1

*Tabla 7: Resultado Planta 1 Original sin ampliación 42 réplicas*

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	388	374	396	49	68
Grava	64	60	68	19	26
Arena	317	328	328	56	78
Acopio	588	675	675	420	587
Polvo Roca	65	60	68	19	26
Arena Industrial	23	21	26	11	15

En un turno de trabajo, los resultados obtenidos para los diferentes materiales son:

- **Gravilla:** Como mínimo la planta pudo producir 374m<sup>3</sup> de material terminado, un máximo de 396m<sup>3</sup> y en promedio una producción de 388m<sup>3</sup>. En su intervalo de confianza nos encontramos con que es 49, por lo cual es moderado. Al momento de ver su relación y dividir sobre la producción obtenemos que se trataría de 1,26%, por lo que sería una estimación bastante precisa. En su desviación estándar obtenemos que al dividir sobre su promedio igual obtenemos un 1.75 %, lo que explicaría una muy baja variabilidad con lo que sus resultados son consistentes.
- **Grava, arena, polvo de roca, arena industrial y acopio:** Estos resultados para estos materiales, al igual que la gravilla, representan una producción consistente y controlada con una variabilidad que se mantiene dentro de los rangos moderados, en promedio 4.78 %, al igual que su intervalo de confianza con un 4.76% en promedio de todos estos materiales, lo que indica que toda la producción está en rangos moderados y consistentes.

## Validación de Resultados Planta 2

*Tabla 8: Resultado Planta 2 Original sin ampliación 42 réplicas*

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	361	359	362	8	12

Para la planta 2 solo se tiene una única de producción de base T50, por lo tanto, tenemos que en promedio de producción en el turno 361m<sup>3</sup>, 359m<sup>3</sup> de mínimo y un máximo 362m<sup>3</sup>. Su intervalo de confianza demuestra que al momento de dividirlo por su promedio es tan solo el 2%, por lo que su ancho es muy estable al igual que su desviación, que corresponde al 3% de variabilidad, por lo que el ajuste sería bueno para el estudio.

## 5.8 Propuestas de solución Planta 1 y Planta 2 aumentando su buzón de alimentación.

En la Planta 1 y 2 se consideró un aumento del 20% y un 33%, por lo que conllevó a un aumento en m<sup>3</sup> para la planta 1 de 15m<sup>3</sup> a 18m<sup>3</sup> y en segunda instancia a 20m<sup>3</sup>. Para la

Planta 2 se consideraron porcentajes del 12% y 20% respectivamente, porque en comparación con la Planta 1 su buzón de alimentación era de mayor capacidad, 20m<sup>3</sup>, para luego reflejar un aumento de sus propuestas de solución de 28m<sup>3</sup> y luego en 30m<sup>3</sup>. Con estas opciones de ampliación de los buzones, lo que se busca lograr es analizar el comportamiento de cada una de las plantas si sus soluciones presentan una mejora en la capacidad de producción para su producto final. En el Anexo 9 se pueden ver con mayor detalle los resultados obtenidos de los otros tipos de materiales.

*Tabla 9: Tabla Resumen resultados planta 1 y 2.*

<b>Producción</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Material</b>	<b>Producción (m<sup>3</sup>)</b>
Planta 1	Aumento del 20% 18 m <sup>3</sup>	Gravilla	423
Planta 1	Aumento del 33% 20 m <sup>3</sup>	Gravilla	430
Planta 2	Aumento del 12% 28m <sup>3</sup>	Base T50	409
Planta 2	Aumento del 20% 30 m <sup>3</sup>	Base T50	409

Como observa en (Tabla 9), los resultados de la producción más relevante para la empresa se concentran tanto en Gravilla y base T50. En la planta 1, los datos nos muestran un aumento considerable a sus valores de producción al ampliar la capacidad del buzón de alimentación. Sin embargo, en la planta 2, se observa que el incremento fue moderado y se mantuvo estable en ambas propuestas, tanto como en el 12% como con el 20%, sin cambios significativos en su producción.

### **5.9 Propuestas de solución Planta 1 y 2 sin ampliación**

En esta situación, se plantea como propuestas analizar cómo reaccionarían los procesos productivos ante diferentes escenarios en las plantas 1 y 2. Estos escenarios incluyen; una reducción del 46% en el acopio, el uso de vehículos y la ausencia de acopio, con el objetivo de determinar si se producen aumentos o disminuciones en la producción.

Un resumen de los resultados para la producción más importante se presenta en el texto principal, mientras que los resultados generales se encontraran en Anexo 10.

Tabla 10: Tabla resumen propuestas solución sin ampliación

Producción	Propuesta	Material	Producción (m <sup>3</sup> )
Planta 1	46% Menos de Acopio	Gravilla	421
Planta 1	4 vehículos	Gravilla	423
Planta 1	Sin Acopio	Gravilla	396
Planta 2	46% Menos de Acopio	Base T50	409
Planta 2	4 vehículos	Base T50	361
Planta 2	Sin Acopio	Base T50	325

Los resultados muestran que, al aplicar las propuestas, la planta 1 se observa un leve aumento en la producción, aunque no significativamente. Donde la mayor mejora es un 46% menos de acopio. En cambio, en la planta 2 no se evidencian mejoras con respecto a los escenarios anteriores.

#### 5.10 Propuestas de solución Planta 1 con aumento del 20% y Planta 2 con aumento del 12% y propuestas anteriores.

En este caso, las propuestas presentan diferentes alternativas que la empresa puede considerar para aumentar su producción. En particular, se observa un aumento del 20% en la planta 1 y del 12% en la planta 2, mostrando los siguientes resultados:

Tabla 11: Tabla resumen propuesta solución aumento 20% y 12% buzones alimentación

Producción	Propuesta	Material	Producción (m <sup>3</sup> )
Planta 1	46% Menos de Acopio	Gravilla	422
Planta 1	4 vehículos	Gravilla	400
Planta 1	Sin Acopio	Gravilla	437
Planta 2	46% Menos de Acopio	Base T50	409
Planta 2	4 vehículos	Base T50	402
Planta 2	Sin Acopio	Base T50	408

Al revisar los resultados, se observa que, al aumentar la capacidad de los buzones en un 20% para la planta 1, se produce un incremento considerable en la producción de gravilla, en la propuesta sin acopio, se alcanza un resultado de 437m<sup>3</sup>. En la planta 2, ninguna de las alternativas genera un cambio significativo, manteniéndose la producción estable. En

el Anexo 11 se pueden ver con mayor detalle los resultados obtenidos de los otros tipos de materiales.

### 5.11 Propuestas de solución Planta 1 con aumento del 33% y Planta 2 con aumento del 20% y propuestas anteriores.

En el caso del mayor aumento que se puede realizar a los buzones de alimentación, es importante considerar medidas para evitar que el terreno ceda debido al peso adicional que estos tendrían, asegurando así la estabilidad del sistema y el correcto funcionamiento de las propuestas planteadas

*Tabla 12: Tabla resumen propuesta solución aumento 33% y 12% buzones alimentación*

<b>Producción</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Material</b>	<b>Producción (m<sup>3</sup>)</b>
Planta 1	46% Menos de Acopio	Gravilla	441
Planta 1	4 vehículos	Gravilla	440
Planta 1	Sin Acopio	Gravilla	440
Planta 2	46% Menos de Acopio	Base T50	409
Planta 2	4 vehículos	Base T50	409
Planta 2	Sin Acopio	Base T50	408

Los resultados demuestran que, al aumentar al máximo la capacidad de todos los buzones de alimentación, la producción se mantiene constante en ambas plantas y no varía de ninguna manera. Esto sugiere la presencia de un problema de cuello de botella o algún otro problema que las plantas no son capaces de producir el material entrante, lo que estaría generando retrasos en el proceso productivo.

Un resumen de los resultados para la producción más importante se presenta en el texto principal, mientras que los resultados generales se encontraran en Anexo 12.

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES

El análisis de las distribuciones utilizadas en la simulación permitió identificar que las distribuciones uniforme y Weibull son adecuadas para modelar los tiempos de transporte y operación en el sistema. Los resultados muestran que el número de camiones no genera un impacto significativo en la reducción de los tiempos de espera, lo cual es un hallazgo clave para optimizar el uso de recursos sin necesidad de aumentar el número de vehículos.

En relación con las Plantas 1 y 2, el estudio evidenció un aumento considerable en la producción al incrementar la capacidad de los buzones en un 20% para la Planta 1 y en un 12% para la Planta 2. Sin embargo, ampliaciones mayores (33% en la Planta 1 y 20% en la Planta 2) no resultaron efectivas debido a:

- **Planta 1:** Un incremento en la variabilidad y en el intervalo de confianza, lo que afecta la estabilidad del sistema.
- **Planta 2:** La falta de impacto en la producción, dado que otros equipos limitan la capacidad de procesamiento.

Por lo tanto, la ampliación de los buzones en los porcentajes iniciales es la opción más viable para incrementar la producción, aunque se sugiere evaluar las mejoras en ciertos equipos en la planta 2, para permitir un incremento adicional sin generar cuellos de botella.

El análisis de escenarios mediante simulación en SIMIO evaluó opciones como la adición de vehículos, la reducción del acopio y la eliminación de este. Los resultados más favorables fueron:

- **Planta 1:** Un aumento de capacidad del buzón del 20% y la reducción del acopio en un 49%. Esto proporcionó mejores resultados, manteniendo la variabilidad dentro de límites controlables.

- **Planta 2:** Un aumento del 12% en la capacidad del buzón fue suficiente para mejorar la producción sin generar una variabilidad excesiva. Sin embargo, para optimizar aún más, es necesario incrementar la capacidad del cono, que actualmente opera a una alta tasa de utilización. Este cambio permitiría procesar material de forma más eficiente, evitando colas y aumentando la capacidad productiva.

Finalmente, se identifican ciertas limitaciones del estudio relacionadas con las capacidades de infraestructura asumidas en la simulación. Los tamaños y disposiciones de los buzones de alimentación podrían requerir inversiones significativas en su implementación práctica. Además, factores externos, como las condiciones climáticas, el desgaste de los equipos y la disponibilidad de personal, no fueron considerados en la simulación y podrían afectar los resultados en escenarios reales.

Para continuar con la mejora del proceso de producción de Serviterra LTDA, se recomiendan futuros trabajos que incluyan un análisis de costos-beneficios para evaluar la rentabilidad y determinar su viabilidad económica, la ampliación de la simulación a periodos más extensos para obtener una visión más integral del rendimiento del sistema, y la exploración de tecnologías avanzadas que permitan incorporar herramientas que incrementan la eficiencia y el control de los procesos productivos. Estos trabajos futuros permitirán optimizar la producción y la eficiencia operativa, contribuyendo a una gestión más ágil y oportuna del sistema.

## CAPITULO VII: REFERENCIAS

- Batanero, C., Begué, N., Gea, M. M., & Roa, R. (s. f.). *EL MUESTREO: UNA IDEA ESTOCÁSTICA FUNDAMENTAL*.
- Catherine Forbes, Merran Evans, Nicholas Hastings, & Brian Peacock. (2011). *Statistical Distributions (4th ed)*.
- Chase Richard B. - Jacobs Robert F. (2009). Administración de Operaciones -Producción y Cadena de Sumnistro - Chase and Jacobs - 13 edición. *Mc Graw Hill education*, 13.
- Dennis, C., David, P., Sturrock, T., Dennis Pegden, C., & Sturrock, D. T. (2013). *Rapid Modeling Solutions: Introduction to Simulation and Simio Rapid Modeling Solutions: Introduction to Simulation and Simio-Color Interior*. [www.simio.com/products](http://www.simio.com/products).
- Equipo de Trituradora Móvil de Mandíbula (Modelo de Rueda) | China First Engineering Technology Co.,Ltd.* (s. f.). Recuperado 21 de julio de 2024, de <https://es.cftccrusher.com/product/mobilecrushermachine/tyrejawcrusherplant.html>
- Fin Carrera, P. DE, & Alejandro Félez Blasco Director, A. (2014). *Modelización y simulación con SIMIO de procesos industriales y logísticos*.
- Goodger, D., & Goodger, D. (s. f.). Code Like a Pythonista: Idiomatic Python. *Python.net*. Recuperado 22 de julio de 2024, de <http://python.net/~goodger/projects/pycon/2007/idiomatic/handout.html#whitespace-1>
- Luis Tormo Rico. (2020). *Comunicación entre un simulador y un optimizador para la mejora del proceso de esterilización de una empresa de conservas*.
- Migoñ, P. (2020). Geomorphology of conglomerate terrains – Global overview. *Earth-Science Reviews*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103302>
- Python - Wikipedia, la enciclopedia libre.* (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2024, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Python>

*Simio Software Products for Simulation and Production Scheduling* | Simio. (s. f.).  
Recuperado 7 de julio de 2024, de <https://www.simio.com/software/>

*Tabla t-Student*. (s. f.).

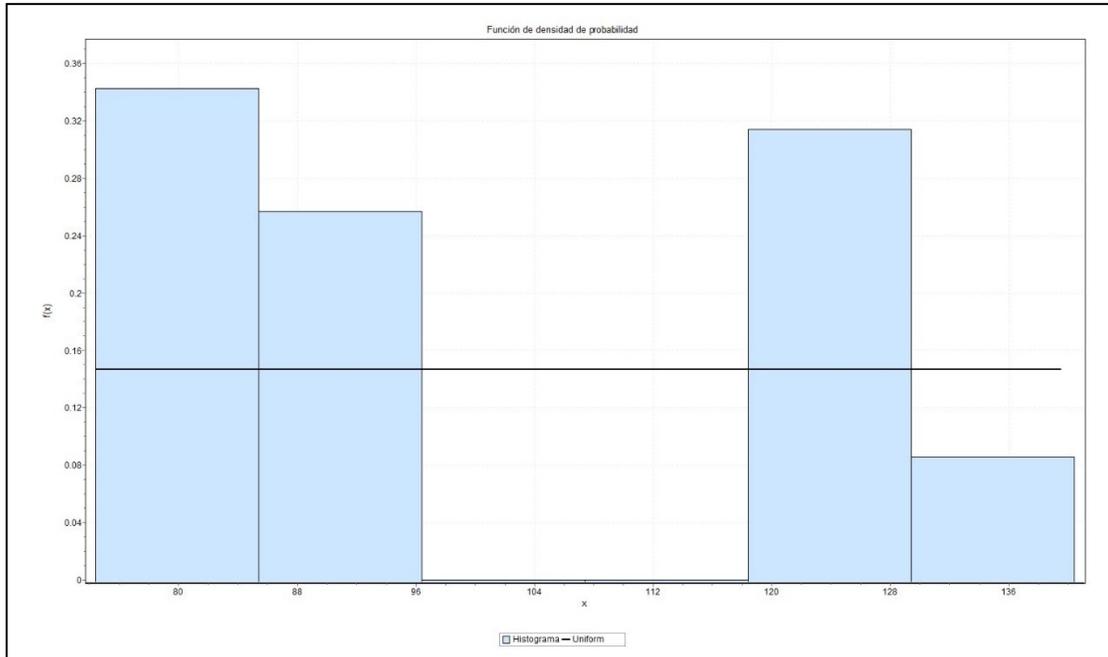
Taghikhah, F., Voinov, A., & Shukla, N. (2019). Extending the supply chain to address sustainability. En *Journal of Cleaner Production* (Vol. 229, pp. 652–666). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.051>

Trituración, & Timken, √. (s. f.). *CHANCADOR DE CONO SYMONS ZYS36-B 3FT STD APLICACIÓN Y USO: RODAMIENTO*. Recuperado 7 de noviembre de 2024, de <https://www.imposur.cl/resources/symons/Chancador%20Cono%20Symons%20ZYS36-B%203FT%20STD.pdf>

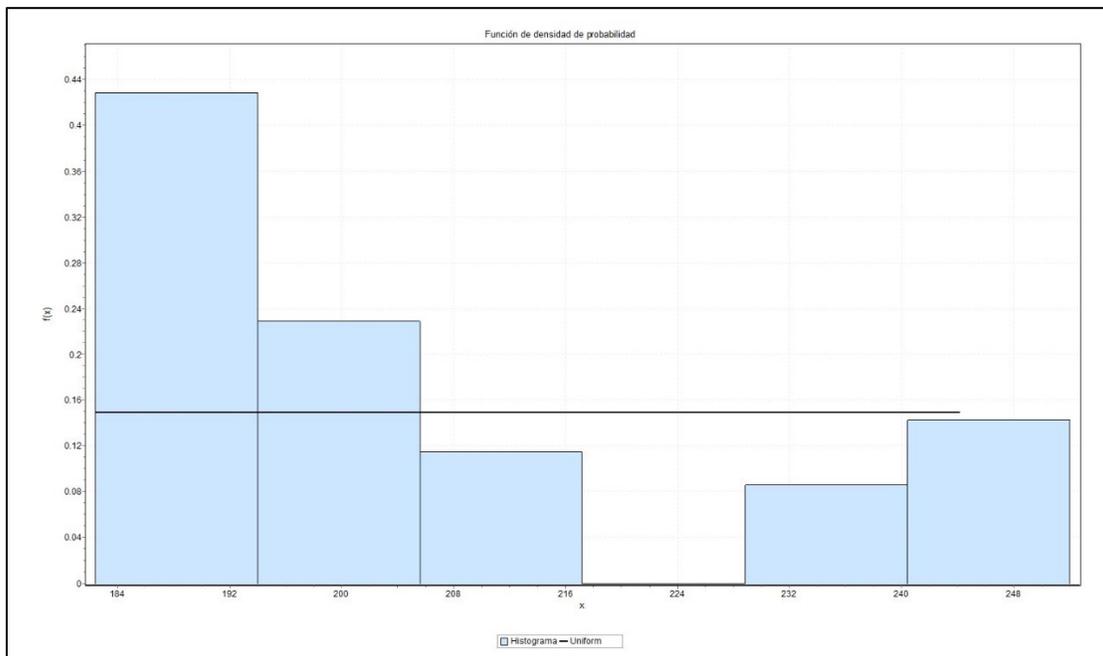
Vicente, R., & Ramírez, R. (2010). *Optimización de Procesos*.

## CAPITULO VIII: ANEXOS

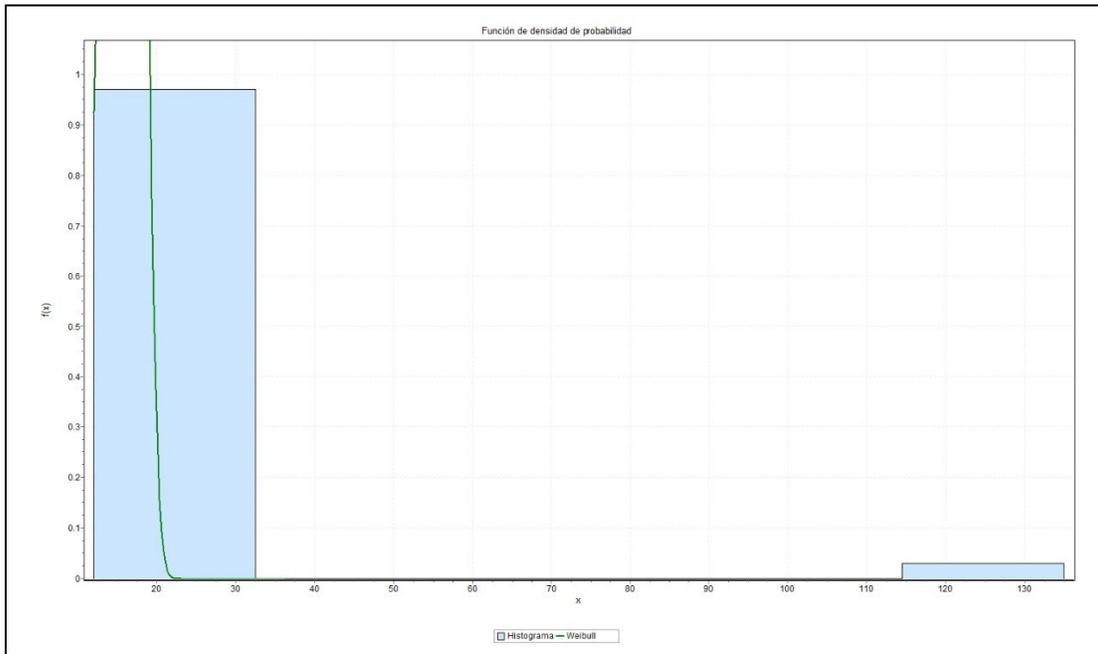
Anexo 1: Histograma y PDF Tiempo Carga Excavadora



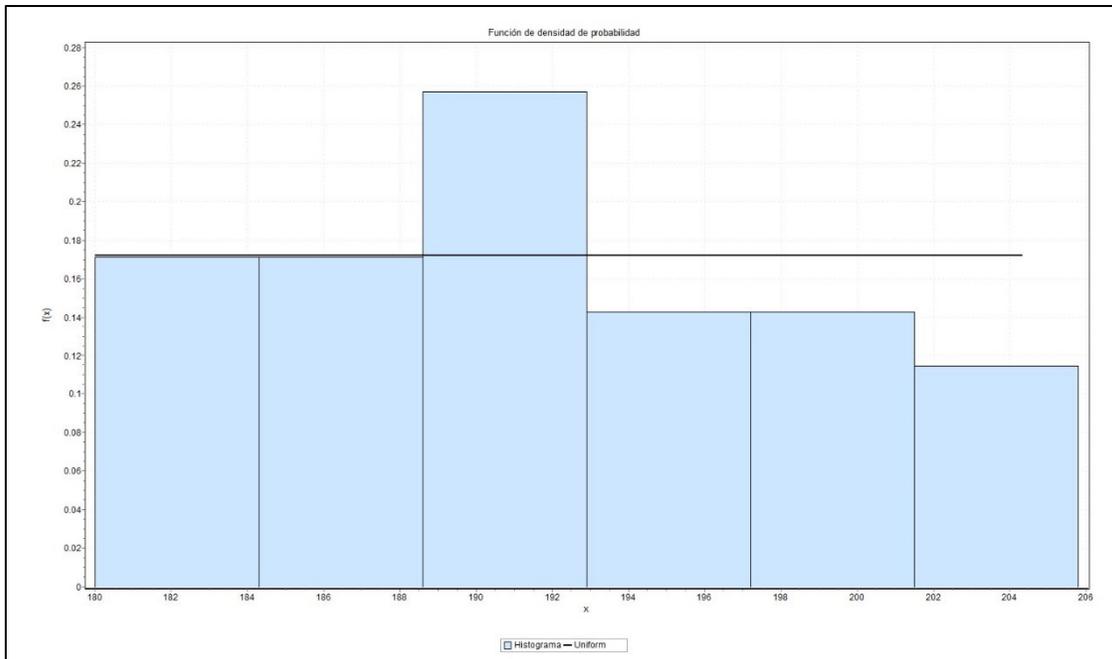
Anexo 2: Histograma y PDF descarga buzones alimentación



Anexo 3: Histograma y PDF tiempo descarga



Anexo 4: Histograma y PDF viaje al pozo





Anexo 5: Tabla datos planta 1 cintas transportadoras

Planta 1	
Numero de Cintas	Diametro
Cinta 1	40
Cinta 2	38
Cinta 3	38
Cinta 4	38
Cinta 5	38
Cinta 6	38
Cinta 7	38
Cinta 8	38
Cinta 9	38
Cinta 10	38
Cinta 11	38
Cinta 12	42
Cinta 13	38
Cinta 14	38
Cinta 15	38
Cinta 16	45
Cinta 17	45
Cinta 18	38
Cinta 19	38
Cinta 20	38
Cinta 21	38
Cinta 22	38

Anexo 6: Tabla datos planta 2 cintas transportadoras

Planta 2	
Numero de Cintas	Diametro
Cinta 1	40
Cinta 2	40
Cinta 3	30
Cinta 4	30
Cinta 5	31

Fuente 3: Elaboración propia.

Anexo 7: Tabla datos poleas motrices y poleas planta 1

Planta 1		
Numero de Cintas	Polea motriz	Polea
Cinta 1	1	1
Cinta 2	1	1
Cinta 3	1	1
Cinta 4	1	1
Cinta 5	1	1
Cinta 6	1	1
Cinta 7	1	1
Cinta 8	1	1
Cinta 9	1	1
Cinta 10	1	1
Cinta 11	1	1
Cinta 12	1	1
Cinta 13	1	1
Cinta 14	1	1
Cinta 15	1	1
Cinta 16	1	1
Cinta 17	1	1
Cinta 18	1	1
Cinta 19	1	1
Cinta 20	1	1
Cinta 21	1	1
Cinta 22	1	1

Anexo 8: Tabla datos poleas motrices y poleas planta 2

Planta 2		
Numero de Cintas	Polea Motriz	Polea
Cinta 1	5	8
Cinta 2	5	8
Cinta 3	9	11
Cinta 4	6	8
Cinta 5	9	11

*Anexo 9: Resultados solo Aumento buzones alimentación planta 1 y 2*

**Resultado Planta 1 aumento del 20% en su buzón de alimentación 10 réplicas:**

*Tabla 13: Planta 1 aumento 20%*

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	423	412	432	47	65
Grava	68	66	72	15	22
Arena	343	324	350	55	76
Acopio	639	555	675	250	348
Polvo Roca	69	65	77	26	37
Arena Industrial	24	22	26	10	76

Para los resultados con el aumento de su buzón de alimentación en un 20% se obtiene lo siguiente:

- **Gravilla:** Como mínimo la planta pudo producir 423m<sup>3</sup> de material terminado, un máximo de 432m<sup>3</sup> y en promedio una producción de 412m<sup>3</sup>. En su intervalo de confianza nos encontramos con que es 47, por lo cual es moderado. Al momento de ver su relación y dividir sobre la producción, obtenida que reflejaría un 11,11%, por lo que sería una estimación bastante precisa. En su desviación estándar, obtenemos que al dividir sobre su promedio igual obtenemos un 15%; con estos resultados nos damos cuenta de que aumentando su capacidad aumento un poco su producción de la planta, pero también aumento su variabilidad, aunque no afectando significativamente.
- **Grava, arena, polvo de roca, arena industrial y acopio:** Con estos resultados sucedió lo mismo que lo anterior: aumento, pero disminuyó el acopio, queriendo decir que la planta estaba trabajando con más producción, y así logrando aumentar la producción de estos materiales, pero también aumentando la variabilidad y no rompiendo su precisión que aún se encuentra dentro de los parámetros.

**Resultado Planta 1 aumento del 33% en su buzón de alimentación 10 réplicas:**

Tabla 14: Planta 1 aumento 33%

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	430	416	445	67	96
Grava	70	65	72	16	22
Arena	346	331	357	60	83
Acopio	618	570	690	225	315
Polvo Roca	67	65	74	20	28
Arena Industrial	24	23	26	7	9

Para la planta 1 y con un 33% de aumento de capacidad, tenemos lo siguiente:

- **Gravilla:** Como mínimo la planta pudo producir 416m<sup>3</sup> de material terminado, un máximo de 445m<sup>3</sup> y en promedio una producción de 430m<sup>3</sup>. En su intervalo de confianza nos encontramos con que es 67, por lo cual es moderado. Al momento de ver su relación y dividir sobre la producción, obtenemos que se trataría de 22%, por lo que sería una estimación moderada, ya que al estar aumentando el producto terminado su intervalo de confianza igual aumenta. En su desviación estándar obtenemos que al dividir sobre su promedio igual obtenemos un 15%. Con estos resultados nos damos cuenta de que no existió ningún cambio en su desviación en comparación con el aumento del 20% por lo que se encuentra en sus valores moderados.
- **Grava, arena, polvo de roca, arena industrial y acopio:** Estos valores de resultado no cambian mucho con respecto al anterior aumento de capacidad, así logrando un aumento mínimo de entre un promedio de 2m<sup>3</sup> de producción.

### Resultado Planta 2 aumento del 12% en su buzón de alimentación 10 réplicas:

Tabla 15: Planta 2 aumento 12%

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	409	407	411	10	14

Para esta versión de la planta vemos que al aumentar la capacidad a 28m<sup>3</sup> de su buzón de descarga tenemos un aumento considerable en la producción, manteniendo unos rangos razonables con la variabilidad del anterior, donde aumento su promedio en 409m<sup>3</sup>,

su mínimo en 407m<sup>3</sup> y su máximo en 411m<sup>3</sup>, con sus intervalos manteniéndose en un 2% y en un 3%.

### Resultado Planta 2 aumento del 20% en su buzón de alimentación 10 réplicas:

Tabla 16: Planta 2 aumento 20%

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	409	407	411	9	13

En esta situación los resultados del aumento de la Planta 2 escalaron en un 20%, no significa ningún cambio para la producción, cambios en sus intervalos ni su desviación por lo que debería existir un problema con el cono o chancador que se verá más adelante.

Anexo 10: Resultados propuesta solución 46% menos acopio, 4 vehículos y sin acopio

### Resultado Planta 1 46% menos de acopio:

Para este estudio se consideró un 46% menos de acopio en la planta 1, se realizó el mismo análisis efectuado anteriormente resultando de la siguiente manera:

Tabla 17: Planta 1 46% menos de acopio

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	421	271	441	378	528
Grava	69	41	75	71	100
Arena	345	225	367	302	423
Acopio	340	195	390	432	604
Polvo Roca	68	45	74	60	83
Arena Industrial	24	15	28	25	35

En este caso, al tener menos acopio, el vehículo iba constantemente a reabastecer a la Planta 1, por lo que sus tiempos de ocio sin carga disminuyeron. Se vieron mejoras en el 9% en la producción de gravilla que es el material principal para vender. Favorece y conviene realizar esta iniciativa para aumentar la producción de todos los materiales

terminados, disminuyendo un poco su acopio; por lo tanto, se elevaría considerablemente la producción.

### Resultado Planta 2 46% menos de acopio:

Tabla 18: Planta 2 46% menos de acopio

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	409	407	411	8	11

Con respecto al anterior resultado de la Planta 2 en su capacidad normal, la producción es la misma, por lo que no se vería ningún cambio al momento de disminuir el acopio, ya que al ser más pequeña la planta y solo tener un solo proceso no se ve tan perjudicada.

### Propuestas de solución Planta 1 y 2 con 4 vehículos.

En esta instancia, se investigó lo que pasaría si aumentaba el número de vehículos de transporte hacia la zona de descarga del material de 3 vehículos a 4, donde fue evaluada la producción final implementando esta mejora en ambas plantas.

### Resultado Planta 1 - 4 vehículos:

Para este estudio sumando un vehículo más al sistema, su análisis efectuado anteriormente es el siguiente:

Tabla 19: Planta 1 - 4 Vehículos

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	423	412	440	60	84
Grava	70	68	71	8	11
Arena	341	331	350	46	64
Acopio	681	600	720	247	348
Polvo Roca	69	67	73	15	21
Arena Industrial	24	21	27	13	18

Al tener en circulación para abastecer 4 vehículos a la Planta 1, se puede apreciar que aumenta su producción al igual que con un 33% menos de acopio, pero en este caso la diferencia no es tan elevada; incluso sus intervalos de confianza y de desviación estándares son mayores con un 15% y un 19% respectivamente, por lo que no saldría muy conveniente agregar otro camión de modelo.

## Resultado Planta 2 – 4 vehículos

Tabla 20: Planta 2 - 4 vehículos

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	361	357	363	13	18

Al igual que lo anterior, esta planta no se ve afectada por el aumento de vehículos o por la disminución de acopio, sigue siendo lo mismo de producción aun así aumentando su transporte.

## Propuestas de solución Planta 1 y 2 sin Acopio

Para este caso, se le quita la capacidad de acopio que pueden realizar los camiones, realizando así solo la tarea de descarga hacia las plantas. Esto, lo que logrará es que los camiones queden esperando en la zona de descarga de las plantas a descargar.

### Planta 1 Sin Acopio:

Para este estudio, se consiguió que los vehículos no acopiaran y solo se dirigieran a descargar con las condiciones estándar, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 21: Planta 1 - Sin Acopio

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	396	319	444	916	1280
Grava	63	41	75	151	212
Arena	324	296	364	742	1037
Acopio	0	0	0	0	0
Polvo Roca	64	69	75	14	207
Arena Industrial	23	25	28	54	75

En esta circunstancia, al realizar el estudio sin que los camiones realicen un acopio y deban esperar a que las plantas cumplan las condiciones para que el vehículo pueda descargar, se verifica que sus intervalos de confianza tanto como su desviación aumentan considerablemente, donde el vehículo debe esperar para realizar la descarga, con lo que no saldría conveniente realizar este ensayo por su alta variabilidad y al igual que la mejora de producción es nula, por lo que se rechazaría completamente esta opción.

### Planta 2 Sin Acopio:

Tabla 22: Planta 2 - Sin Acopio

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	325	150	362	781	109

Lo mismo ocurre con la Planta 2, su producción disminuye considerablemente y su variabilidad aumenta, por lo que al igual que la hipótesis de la Planta 1 se rechazaría rotundamente para la Planta 2.

*Anexo 11: Resultados propuesta solución aumento buzones 20% y 12%; 46% menos acopio, 4 vehículos y sin acopio*

### Aumento 20% 46% Menos de Acopio

#### Planta 1:

Para este estudio con un 46% menos de acopio en la Planta 1 se realizó el mismo análisis resultando lo siguiente:

Tabla 23: Planta 1 - Aumento 20 % y 46% menos de acopio

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	422	271	441	378	528
Grava	67	41	75	71	100
Arena	345	225	367	30	423
Acopio	340	195	390	43	60
Polvo Roca	68	45	74	60	83
Arena Industrial	24	15	28	25	35

En este caso, al tener más capacidad y menos acopio, se ve una mejora ínfima con respecto al caso anterior original. El aumento en promedio es solo de  $2\text{m}^3$ , pero donde se marca una diferencia es su máximo aumentando de  $435\text{m}^3$  a  $441\text{m}^3$ , al igual que una disminución en sus intervalos de confianza con lo que sus resultados serían mejor aceptados y menos variables.

### Aumento 12% Planta 2:

Tabla 24: Planta 2 - Aumento 12 % y 46% menos de acopio

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	409	407	4112	8	11

En la Planta 2 se puede ver un gran avance con respecto de realizar menos acopio y aumentar la capacidad de los buzones, ya que de una producción de  $361\text{m}^3$  subió a  $409\text{m}^3$  un 13% aproximadamente en aumento en producción, lo cual es bastante para la producción de la Planta 2.

## 4 vehículos

### Aumento 20% Planta 1:

Para este estudio agregando un vehículo más al sistema de análisis efectuado anteriormente resulta lo siguiente:

Tabla 25: Planta 1 - Aumento 20% y 4 vehículos

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	400	166	444	59	82
Grava	65	26	73	10	14
Arena	328	132	357	49	68
Acopio	573	195	675	10	141
Polvo Roca	66	24	76	10	15
Arena Industrial	23	98	26	36	5

En esta ocasión ocurre totalmente lo opuesto, porque disminuye la producción en comparación con la alternativa anterior de 423m<sup>3</sup> hasta 400m<sup>3</sup> lo que es una disminución considerable en el producto final más importante para la empresa que es la gravilla, más la suma de un nuevo vehículo significaría mucha inversión para la empresa sin tener ningún beneficio; por lo tanto, se desecharía esta opción al igual que la anterior.

### Aumento 12% Planta 2:

Tabla 26: Planta 2 - Aumento 12% y 4 vehículos

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	402	345	410	145	203

Al igual que lo anterior, esta planta se afecta mínimamente por el transporte de 4 vehículos por lo que no es rentable establecer otro, al igual que en la planta 1 se rechazaría.

### Sin Acopio

#### Aumento 20% Planta 1:

Para este estudio, se realizó que los vehículos no acopiaran y solo se dirigieran a descargar con las condiciones de que si le faltaban 3m<sup>3</sup> pudiera descargar el vehículo, y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 27: Planta 1 - Aumento 20% y sin acopio.

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	437	427	444	37	52
Grava	72	68	77	18	26
Arena	360	351	368	38	53
Acopio	0	0	0	0	0
Polvo Roca	716	66	73	15	21
Arena Industrial	25	22	27	11	15

Al revisar los resultados con el aumento de capacidad, se puede apreciar de que sus resultados son muy favorables y que resultaría ser de los mejores en comparación con lo anterior sin realizar ninguna modificación, donde de una producción de 396m<sup>3</sup> se obtuvieron 437m<sup>3</sup>, una diferencia de 41m<sup>3</sup> o un 10% de aumento, también aprobando sus intervalos de confianza con 8% y su desviación estándar 11% con lo cual es moderada su variabilidad y perfecta para realizar el estudio sin realizar ajustes.

### Aumento 12% Planta 2:

Tabla 28: Planta 2 - Aumento 12% y sin acopio.

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	408	404	410	14	20

En la Planta 2, al igual que la 1, se ve completamente mejorada con esto, aumentando de 325m<sup>3</sup> hacia los 408m<sup>3</sup>, una mejoría del 25%, lo que es muy bueno para la aprobación de este modelo y generación de una mayor producción de material.

*Anexo 12: Resultados propuesta solución aumento buzones 33% y 20%; 46% menos acopio, 4 vehículos y sin acopio*

### Aumento 33% 46% Menos de acopio:

#### Planta 1:

Para este estudio con un 46% menos de acopio en la Planta 1 se realizó el mismo análisis efectuado anteriormente resultando lo siguiente:

Tabla 29: Planta 1 - Aumento 33% y 64% menos de acopio

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	441	433	450	47	66
Grava	70	69	74	11	16
Arena	355	347	365	43	60
Acopio	220	190	255	152	213
Polvo Roca	71	69	74	11	15

Arena Industrial	25	23	27	8	11
------------------	----	----	----	---	----

En este caso, al tener más capacidad, un 33% más en la Planta 1, y si lo vemos en comparación con lo anterior, que se disminuyó el 46% de acopio, y ahora un 64% donde existe más capacidad, los cambios no son tan significativos ya que, la diferencia es de un 18%, por ende, no se recomienda realizar el cambio bajo estas circunstancias.

### Aumento 20% Planta 2:

Tabla 30: Planta 2 - Aumento 20% y 64% menos de acopio

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	409	408	411	9	12

En la Planta 2 no se ve ningún cambio respecto a la ampliación de capacidad anterior, que puede ser por la generación de algún cuello de botella al momento de procesar la cantidad de material que ingresa, por lo que el cono no es capaz de procesarlo como lo veremos más adelante, por lo que para esta planta se refutaría esta propuesta.

### Aumento 33% 4 vehículos

#### Planta 1:

Para este estudio agregando un vehículo más al sistema, pero con una capacidad aumentada para ambos casos de 33% y 20%:

Tabla 31: Planta 1 - Aumento 33% y 4 vehículos

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	440	434	446	29	41
Grava	71	63	77	29	40
Arena	355	351	361	25	35
Acopio	559	525	615	203	283
Polvo Roca	72	69	75	14	20
Arena Industrial	24	22	28	13	18

Al momento de analizar los 4 vehículos y la expansión de capacidad, es el único modelo donde su promedio 440m<sup>3</sup> y sus intervalos de confianza favorables juntos con su desviación se muestran eficientes, siendo el mejor modelo hasta ahora, sin embargo, es importante determinar en qué áreas se debe invertir para la adquisición de un vehículo adicional destinado al transporte de materiales, dejando a criterio de la empresa decidir si esta inversión es conveniente.

### Aumento 20% Planta 2:

Tabla 32: Planta 2 - Aumento 20% y 4 vehículos

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	409	408	411	7	9

En la Planta 2 no se aprecia ningún cambio, ya que siempre está procesando lo mismo y no existió ninguno con respecto a las otras opciones, por lo que mejoró circunstancialmente su intervalo de confianza y su desviación estándar en un 0.01% y 0.02% con lo que es muy favorable.

### Aumento 33% Sin Acopio

#### Planta 1:

Para este estudio se realizó que los vehículos no acopiaran y solo se dirigieran a descargar con la ausencia de 5m<sup>3</sup>.

Tabla 33: Planta 1 - Aumento 33% Sin Acopio

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Gravilla	440	433	457	29	41
Grava	71	66	76	24	34
Arena	358	353	367	41	58
Acopio	0	0	0	0	0
Polvo Roca	72	68	76	18	25
Arena Industrial	25	23	28	11	15

Al revisar los resultados del aumento de capacidad, se observa que, aunque son favorables y presentan un rendimiento mejorado, la diferencia de 3 m<sup>3</sup> en la producción de gravilla en comparación con el modelo anterior (aumentado en un 20%) no resulta

significativa. Además, este aumento de capacidad deja a la planta sin acopio suficiente en caso de que ocurra algún imprevisto con la excavadora, lo que obliga a utilizar el material directamente del inventario de seguridad y podría provocar una parada en la producción. Por ello, este modelo no sería conveniente para garantizar la continuidad operativa.

### Aumento 20% Planta 2:

Tabla 34: Planta 2 - Aumento 20% Sin Acopio

Tipo Material	Promedio	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza	Desviación estándar
Base T50	408	407	410	6	9

Al igual que en todos los demás supuestos, la Planta 2 no tiene mejora alguna, por lo que no sería recomendable actualizar a estos tamaños dicha planta sin invertir en un cono con mayor capacidad.

Anexo 13: código python elección mejor distribución

```
!pip install python-docx
from google.colab import files
uploaded = files.upload() # Sube tu archivo Excel
nombre_excel = list(uploaded.keys())[0]
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as stats
from docx import Document
from google.colab import files

# Instalar python-docx si es necesario
!pip install python-docx

# Cargar archivo de Excel solo una vez
uploaded = files.upload() # Sube tu archivo Excel una vez
nombre_excel = list(uploaded.keys())[0]

# Cargar datos desde Excel
df = pd.read_excel(nombre_excel)

# Extraer datos como lista
```

```

datos = df['Valores'].tolist()

# Función para pruebas de bondad de ajuste
def bondad_de_ajuste(datos, distribucion):
    dist = getattr(stats, distribucion)
    params = dist.fit(datos)
    stat, p_valor = stats.kstest(datos, distribucion, args=params)
    return p_valor, dist, params, stat

# Distribuciones a probar (incluyendo triangular)
distribuciones = ['norm', 'cauchy', 'logistic', 'expon', 'chi2', 'uniform',
                  'gamma', 'lognorm', 'weibull_min', 'f', 't', 'triang']

# Crear documento de Word para guardar resultados
documento = Document()

# Resultados de pruebas de bondad de ajuste
resultados = {}

# Probar cada distribución y generar gráficos
for distribucion in distribuciones:
    try:
        p_valor, dist, params, stat = bondad_de_ajuste(datos, distribucion)
        resultados[distribucion] = (p_valor, dist, params, stat)

        # Añadir resultados al documento de Word
        documento.add_heading(f'Resultados para {distribucion}', level=1)
        documento.add_paragraph(f'P-valor KS: {p_valor}')
        documento.add_paragraph(f'Parámetros: {params}')
        documento.add_paragraph(f'Estadística KS: {stat}')

        # Gráficos para visualizar la distribución
        plt.figure(figsize=(8, 6))
        plt.hist(datos, bins=20, density=True, alpha=0.6, color='g',
label='Datos')
        xmin, xmax = plt.xlim()
        x = np.linspace(xmin, xmax, 100)
        y = dist.pdf(x, *params)
        plt.plot(x, y, 'r-', linewidth=2, label='PDF Teórica')
        plt.title(f'Histograma y PDF - {distribucion}')
        plt.xlabel('Valor')
        plt.ylabel('Densidad')
        plt.legend()
        plt.savefig(f'plot_hist_{distribucion}.png') # Guardar el gráfico
        plt.close()

```



```
# QQ-Plot
plt.figure(figsize=(8, 6))
stats.probplot(datos, dist=dist, sparams=params, plot=plt)
plt.title(f'QQ-Plot - {distribucion}')
plt.xlabel('Cuantiles teóricos')
plt.ylabel('Cuantiles de los datos')
plt.savefig(f'plot_qq_{distribucion}.png') # Guardar el gráfico
plt.close()

# CDF Empírica y Teórica
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.hist(datos, bins=20, density=True, cumulative=True, alpha=0.6,
color='g', label='CDF Empírica')
x = np.linspace(xmin, xmax, 100)
plt.plot(x, dist.cdf(x, *params), 'r-', linewidth=2, label='CDF
Teórica')
plt.title(f'CDF - {distribucion}')
plt.xlabel('Valor')
plt.ylabel('Probabilidad acumulada')
plt.legend()
plt.savefig(f'plot_cdf_{distribucion}.png') # Guardar el gráfico
plt.close()

# PP-Plot
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.plot(np.sort(datos), np.sort(dist.cdf(np.sort(datos), *params)),
'o')

plt.title(f'PP-Plot - {distribucion}')
plt.xlabel('Cuantiles empíricos')
plt.ylabel('Cuantiles teóricos')
plt.savefig(f'plot_pp_{distribucion}.png') # Guardar el gráfico
plt.close()

# Agregar gráficos al documento de Word
documento.add_picture(f'plot_hist_{distribucion}.png')
documento.add_picture(f'plot_qq_{distribucion}.png')
documento.add_picture(f'plot_cdf_{distribucion}.png')
documento.add_picture(f'plot_pp_{distribucion}.png')

except Exception as e:
    print(f'Ocurrió un error con la distribución {distribucion}: {e}")

# Determinar la mejor distribución
mejor_distribucion = max(resultados, key=lambda x: resultados[x][0])
```

```

p_valor_mejor_distribucion = resultados[mejor_distribucion][0]

print("La mejor distribución es:", mejor_distribucion)
print("P-valor de la mejor distribución:", p_valor_mejor_distribucion)

# Guardar documento de Word con resultados
documento.save('resultados_ajuste.docx')

print("Resultados guardados en 'resultados_ajuste.docx'")

# Descargar el documento con los resultados
files.download('resultados_ajuste.docx')

```

Este código proporcionado tiene como propósito realizar un análisis de datos para la mejor distribución de tiempos para todo tiempo de estudio de tiempos, donde este código fue desarrollado en Python y ejecutado en GoogleCollab.

Anexo 14: Tabla informe producción

PRODUCTOS	05-ago		06-ago		07-
	1	2	1	2	1
BASE CHANCADA TM-40 b					
BASE CHANCADA TM-50 b					
BASE CHANCADA TM-50 b FORMIN					
GRAVA DE 1.1/2"					96
GRAVA 3"					
BASE 3"					
POLVO ROCA < 3/8"					
POLVO ROCA < 1/4"					
ARENA 1/4					
INTEGRAL BAJO 8"					
INTEGRAL GRUESO (POZO)					
GRAVILLA 3/4" SIN LAVAR					
GRAVILLA 3/4" P/HORMIGON					310
GRAVILLA 1/2					
ARENA FINA					
BOLONES SOBRE TAMAÑO					
TERRAPLEN 1 1/2					
ARENA DE RECHAZO					

Fuente 4: Serviterra LTDA.