



UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

Facultad de Ingeniería

Departamento Ingeniería Metalúrgica



Profesor Patrocinante:

Jorge Palma

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD OPERATIVA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE CAMIONES ELECTRICOS VS DIÉSEL EN UN NIVEL DE TRANSPORTE INTERMEDIO MEDIANTE SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE JAAMSIM

Vicente Antonio García Cerna

Informe de Memoria de Título

para optar al Título de Ingeniero Civil en Minas

MAYO 2024

Resumen

La industria minera actual se esfuerza constantemente por optimizar sus procesos a lo largo de las operaciones mineras, ya que esto resulta crucial para lograr resultados exitosos en la extracción de minerales. Por ello, se exploran diversas estrategias para mejorar las operaciones en cada etapa, con el objetivo de incrementar la productividad utilizando de manera eficiente los recursos disponibles.

Una herramienta fundamental en la actualidad para abordar este desafío es la simulación de procesos mineros, la cual facilita la implementación de distintas metodologías para llevar a cabo estas tareas de forma digital a lo largo de la vida útil de una mina. Esto permite analizar las consecuencias, tanto positivas como negativas, de las variaciones propuestas, evitando así posibles pérdidas y encontrando soluciones óptimas para diversos problemas.

En este contexto, se llevó a cabo la simulación de un desarrollo minero que incluye un nivel de producción y un nivel de transporte intermedio, donde se realizaron pruebas con sistemas que emplean diversas flotas de camiones de bajo perfil, tanto eléctricos como diésel. Este modelo se creó utilizando el software de simulación minera Jaamsim, el cual ofrece herramientas para diseñar un sistema que refleje de manera precisa la realidad, garantizando la fiabilidad y precisión de los resultados obtenidos.

Tras la construcción del modelo de simulación y la extracción de datos relacionados con la producción, los costos y las inversiones, se llevó a cabo un análisis de viabilidad económica comparando la implementación de camiones eléctricos frente a los diésel. Los resultados revelaron que los camiones diésel ofrecían una ventaja económica significativa debido a sus características, superando ampliamente en términos de rentabilidad a los camiones eléctricos. A pesar de que se identificaron ciertas ventajas en los camiones eléctricos, estas no fueron suficientes para competir con la eficiencia económica de los camiones diésel.

Abstract

The current mining industry is constantly trying to optimize and develop itself throughout mining work, which is crucial when it comes to obtain favorable results at exploiting mining resources. For this reason, the industry is searching different methods to improve its tasks in plenty of processes by performing them optimally in order to be able to produce more with fewer resources.

Nowadays, mining process simulation becomes a decisive tool to approach this kind of goals, which helps to implement a variety of ways of performing these tasks digitally throughout mine life. Thus, repercussions produced by these variations could be analyzed whether they were either positive or negative.

It is not necessary to make these changes in reality, avoiding possible losses and finding optimal solutions for different problems. However, a mining development simulation was performed instead, which includes a production and an intermediate transportation level. Regarding transportation, performing system tests allow us to introduce several fleets of low-profile trucks, both electric and diesel. This model was built on the Jaamsim mining simulation software, which used tools to model a system that works closely as possible to reality for better reliability and precision in the results.

After model simulation building and extracting data such as production, cost and investment, a later economic feasibility analysis between the implementation of electric and diesel trucks was performed. It concluded in a better economic result for diesel trucks due to a significant difference in the amount of profit thanks to their characteristics. Although electric trucks were favorable, they were not favorable enough to overcome diesel trucks.

Nomenclatura

Ton toneladas

Kton Kilotoneladas

Mton Megatoneladas

MUSD Millones de dólares

Km/h Kilómetros por hora

% Porcentaje

Min Minutos

Uni Unidades

LHD *Load-Haul-Dump*

VAC Valor Actual de Costos

Tabla de Contenidos

1) <i>Introducción</i>	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.1.3 Metodología.....	2
2) <i>Antecedentes</i>	4
2.1) Zona de trabajo.....	4
2.2) Carguío y Transporte	5
2.3) Simulación de Procesos Mineros	6
2.4) Jaamsim	8
2.5) Flota de equipos	9
3) <i>Alcances y/o Limitaciones</i>	12
4) <i>Elementos de Jaamsim</i>	14
4.1) Entidades	14
4.1.1) <i>Sim entity</i>	15
4.1.2) <i>Entity generator</i>	15
4.1.3) <i>Entity Conveyor</i>	16
4.1.4) <i>Assign</i>	16
4.1.5) <i>Branch</i>	17
4.1.6) <i>Server</i>	17
4.1.7) <i>Queue</i>	17
4.1.8) <i>Resource</i>	18
4.1.9) <i>Release</i>	18
4.1.10) <i>Sieze</i>	19
4.1.11) <i>Timeseries and timeThershold</i>	19
4.1.12) <i>Entity sink</i>	20
4.1.13) <i>Pique</i>	20
5) <i>Modelo conceptual</i>	22

6) Construcción del modelo	24
6.1) Nivel de Producción	25
6.2) Nivel de transporte intermedio	30
6.3) Carga de baterías	40
6.4) Cantidad de diésel cargado	41
6.5) Calculo de VAC.....	41
7) Resultados y Discusiones	43
7.1) Resultados camiones eléctricos.....	43
7.1.1) Simulación 6 camiones.....	43
7.1.2) Simulación 7 camiones.....	44
7.1.3) Simulación 8 camiones.....	45
7.1.4) Simulación 9 camiones.....	46
7.2) Resultados camiones diésel	47
7.2.1) Simulación 6 camiones.....	47
7.2.2) Simulación 7 camiones.....	48
7.2.3) Simulación 8 camiones.....	49
7.2.4) Simulación 9 camiones.....	49
7.3) Análisis comparativo de producciones	52
8) Conclusión	56
9) Bibliografía	57
10) Anexos.....	59
9.1) Anexo A: tutorial Jaamsim.....	59
9.2) Anexo B: Código de programación elección entre parte superior o inferior en nivel de producción para destino del camión.....	69
9.3) Anexo C: Código programación elección de punto de extracción en parte superior	70
9.4) Anexo D: Código programación elección de punto de extracción en parte inferior	71
9.4) Anexo E: Código decisión entrada a puntos de extracción.....	71
9.5) Anexo F: Código elección entre sección 1, 2 y zona B en nivel de transporte intermedio para destino del camión.....	72

9.6) Anexo G: Código elección entre sección 3 y 4 para destino del camión	72
9.7) Anexo H: código elección entre piques de la zona determinada	73
9.8) Anexo I: Resultados simulación 6 camiones eléctricos y su flujo de caja	74
9.9) Anexo J: Resultados simulación 7 camiones eléctricos y su flujo de caja	78
9.10) Anexo K: Resultados simulación 8 camiones eléctricos y su flujo de caja	82
9.11) Anexo L: Resultados simulación 9 camiones eléctricos y su flujo de caja	87
9.12) Anexo M: Resultados simulación 6 camiones diésel y su flujo de caja	91
9.13) Anexo N: Resultados simulación 7 camiones diésel y su flujo de caja	96
9.14) Anexo O: Resultados simulación 8 camiones diésel y su flujo de caja	100
9.15) Anexo P: Resultados simulación 9 camiones diésel y su flujo de caja	104

Índice de Figuras

Figura 1: Zona de trabajo	4
Figura 2: Camión Sandvik TH663i [16]	9
Figura 3: Camión Sandvik TH550B [17]	9
Figura 4: Calle de Nivel de Producción	12
Figura 5: Nivel de Transporte Intermedio	13
Figura 6: Sim Entity [15]	15
Figura 7: Entity Generator [15]	15
Figura 8: Entity Conveyor [15]	16
Figura 9: Assign [15]	16
Figura 10: Branch [15]	17
Figura 11: Server [15]	17
Figura 12: Queue [15]	18
Figura 13: Resource [15]	18
Figura 14: Release [15]	19
Figura 15: Seize [15]	19
Figura 16: TimeSeries y TimeThreshold [15]	20
Figura 17: Entity Sink [15]	20
Figura 18: Pique en modelo de simulación [15]	21
Figura 19: modelo conceptual parte 1	22
Figura 20: Modelo conceptual parte 2	23
Figura 21: Modelo de simulación	24
Figura 22: Tabla de producción trimestral del modelo de simulación	25
Figura 23: Nivel de producción	26
Figura 24: Piques nivel de producción	27
Figura 25: Toma de decisión y producción diaria requerida	27
Figura 26: Decisión para entrar a punto de extracción	29
Figura 27: Descarga de LHD en pique	30
Figura 28: Nivel de transporte intermedio	31
Figura 29: Generación de camiones en el modelo de simulación	32
Figura 30: Atributos de camiones en modelo de simulación	32
Figura 31: Zonas del modelo de simulación	34
Figura 32: Secciones en el modelo de simulación	34
Figura 33: Elección de ruta del camión en calle central	35

Figura 34: Decisión 1 de ruta del camión en una sección.....	36
Figura 35: Decisión 2 de ruta del camión en una sección.....	37
Figura 36: Calles de retorno.....	38
Figura 37: Chancador en modelo de simulación	39
Figura 38: Grafico producción anual de camiones diésel vs eléctricos	51
Figura 39: Grafico gasto anual de combustible de camiones diésel vs eléctricos	52
Figura 40: Prueba z para medias de 2 muestras.....	53
Figura 41: Grafico costos totales.....	54
Figura 42: VAC con producciones iguales	54

Índice de tablas

Tabla 1: Parámetros camión Sandvik TH663i [18]	10
Tabla 2: Parámetros camión Sandvik TH550B [19]	10
<i>Tabla 3: Resultados simulación 6 camiones eléctricos</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 4: Resultados simulación 7 camiones eléctricos</i>	<i>44</i>
Tabla 5: Resultados simulación 8 camiones eléctricos	45
Tabla 6: Resultados simulación 9 camiones eléctricos	46
Tabla 7: Resultados simulación 6 camiones diésel	47
Tabla 8: Resultados simulación 7 camiones diésel	48
Tabla 9: Resultados simulación 8 camiones diésel	49
<i>Tabla 10: Resultados simulación 9 camiones diésel</i>	<i>49</i>

1) Introducción

La planificación minera es una de las áreas fundamentales en la industria minera, ya que se encarga de detallar los planes para cada etapa de la actividad minera, incluyendo los trabajos necesarios. Esto permite establecer la estrategia productiva más eficiente para maximizar la productividad en la extracción de materiales.

La planificación abarca desde la exploración y evaluación de recursos, el diseño de la mina, el plan de producción, hasta la optimización de procesos, siendo este último el enfoque principal del estudio a realizar.

En la optimización de procesos mineros se busca encontrar la forma óptima de extraer el mineral, evaluando diferentes sistemas de carguío y transporte, flotas de equipos y nuevas tecnologías para mejorar la efectividad y eficiencia del trabajo. La simulación de procesos mineros es un método clave para evaluar el desempeño de estos sistemas.

La simulación permite modelar un sistema de trabajo y modificar parámetros para analizar su comportamiento. Esto proporciona información sobre las repercusiones de los cambios y permite probar diferentes escenarios para optimizar procesos. De esta manera, se pueden comparar sistemas de trabajo y elegir el más adecuado según el objetivo deseado, ya sea minimizar el impacto ambiental, optimizar las horas de trabajo o maximizar la factibilidad económica.

En el estudio propuesto, se utilizará la simulación de procesos mineros para construir un modelo digital de un nivel de transporte intermedio en una operación minera. Se generarán diferentes sistemas de trabajo con camiones eléctricos y diésel para determinar cuál de ellos ofrece mayor factibilidad económica en condiciones iguales. El modelamiento se llevará a cabo utilizando el software "Jaamsim" para analizar los resultados y tomar decisiones informadas sobre la implementación de camiones en el proceso de transporte intermedio.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

El objetivo de esta investigación es realizar un análisis comparativo de la factibilidad económica entre la implementación de camiones de bajo perfil diésel versus camiones eléctricos en un subnivel de transporte de material a un chancador mediante una simulación realizada en el software Jaamsim.

1.1.2 Objetivos específicos

- Construir un modelo en el software Jaamsim que simule un nivel de producción y un nivel de transporte intermedio.
- Generar una toma correcta de decisiones de los camiones para la extracción de material de cada pique.
- Realizar iteraciones de la simulación con distintas cantidades de camiones (6-10) para camiones eléctricos y camiones convencionales.
- Comparar resultados y cálculos en producción, consumo y costos de cada simulación.

1.1.3 Metodología

Para este estudio se siguió un plan detallado para poder realizar la construcción del modelo simulando el trabajo real de la forma más exacta posible y así poder obtener datos lo más cercanos a la realidad para su posterior análisis. Esto para que el estudio de los resultados sea de alta confiabilidad en los distintos escenarios.

El plan consta de las siguientes partes:

- Definición de parámetros iniciales los cuales serán utilizados en el sistema.
- Construcción del modelo en Jaamsim para los 2 niveles estudiados.

- Ajustes de los parámetros dentro del modelo para su correcto funcionamiento.
- Realizar iteraciones del modelo probando distintos números de camiones tanto para Diesel como para eléctricos.
- Extracción de los datos obtenidos en dichas simulaciones.
- Análisis y comparación entre los resultados de los datos obtenidos.
- Realizar una conclusión para la factibilidad del uso entre camiones Diesel y eléctricos.

2) Antecedentes

2.1) Zona de trabajo

La zona de trabajo para esta investigación consiste en 12 piques ubicados de a 3 en 4 calles las cuales están conectadas por una calle central y 2 laterales para la circulación de los camiones uniéndolos con un chancador que está ubicado contiguo a la zona de los piques. Lo cual se puede observar en la “Figura 1”.

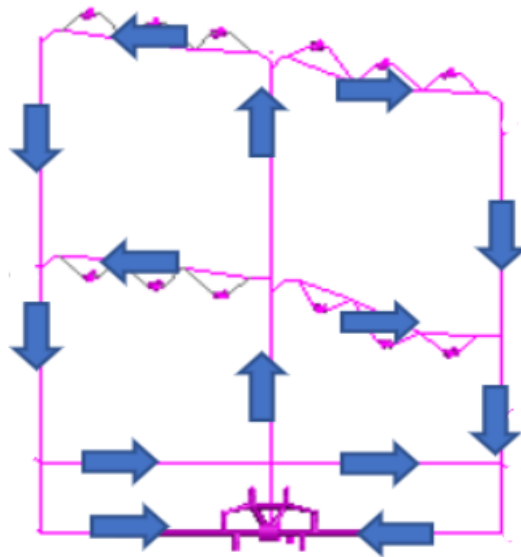


Figura 1: Zona de trabajo

Para efectos de este trabajo los parámetros utilizados a lo largo del desarrollo del trabajo en la construcción del modelo son datos reales obtenidos mediante el profesor guía e información de proveedores de equipos.

2.2) Carguío y Transporte

En la minería, el carguío y transporte de materiales son procesos vitales en la minería que deben optimizarse continuamente para mejorar la productividad y reducir costos.

El carguío se refiere a la operación de recoger el material fragmentado del frente de mina y depositarlo en un medio de transporte, mientras que el transporte implica el desplazamiento de dicho material hasta su destino final, que puede ser una planta de procesamiento o un área de almacenamiento. Estos procesos son cruciales para determinar la capacidad de producción de la mina y para optimizar los costos operativos [1].

En términos de equipos de carguío, las palas eléctricas son comúnmente utilizadas en minería a cielo abierto debido a su capacidad para cargar gran cantidad de material, mientras que los cargadores frontales ofrecen flexibilidad y movilidad tanto en minería subterránea como a cielo abierto [2]. Por otro lado, los camiones de bajo perfil (LHD) son preferidos en minería subterránea por su capacidad de operar en espacios reducidos, y los camiones de gran tonelaje son esenciales en operaciones a cielo abierto para el transporte de grandes cantidades de material [3].

La optimización de los procesos de carguío y transporte puede lograrse mediante diferentes formas como: mantenimiento eficaz para disminuir los tiempos de inactividad y aumentar la disponibilidad de los equipos, avances tecnológicos como la automatización para mejorar rendimiento y eficiencia [4]. Otra alternativa para la optimización de estos procesos es la modelación y simulación, la cual utilizando software especializados puede llegar a simular estos procesos mineros [5].

2.3) Simulación de Procesos Mineros

La minería se ha visto altamente beneficiada con la utilización de la simulación de procesos la cual se ha vuelto una parte fundamental en distintas áreas, debido a que esta permite visualizar con más detalle cada uno de los distintos procesos como la planificación, carguío y transporte de material y diferentes ámbitos dentro de la minería. Esto permite tomar decisiones estratégicas para mejorar la eficiencia de los procesos y gestionar riesgos minimizando los gastos y maximizando las ganancias.

La simulación de proceso mineros ayuda a poder analizar diferentes variables las cuales afectan directa o indirectamente el funcionamiento o eficiencia ya que se basa en la creación de modelos de simulación virtuales que imitan y replican el trabajo y funcionamiento de diferentes sistemas mineros de alta complejidad. Todo esto permite tener una mayor claridad de los distintos escenarios que se presentan en la minería sin necesidad de implementarlos en la realidad [6].

Es de suma importancia que este modelo sea una réplica lo más cercana a la realidad para la precisión del análisis de las características y funcionamiento que presenta el trabajo real que se está llevando a cabo. Esto para que al momento de emplear distintas modificaciones o pruebas a este modelo pueda entregar el cambio real que se generaría en el proceso para optimizar este mismo.

Para emplear variaciones en un modelo de simulación es necesario tener una idea clara de los parámetros que son los más críticos dentro del sistema cuya sensibilidad sea alta con respecto a los resultados que se quieren optimizar. Los parámetros se pueden modificar de diversas formas, como empleando cambios pequeños como probar distintas marcas y proporciones de equipos o elementos utilizados en el proceso que se está evaluando o utilizar diferentes opciones de combustibles o alimentaciones a maquinas involucradas en los procesos. Donde lo que se busca en estos testeos es “producir más con menos recursos” [7].

La idea principal de todo esto es la optimización de recursos en diversos escenarios creados para recrear que pasaría con la implementación o modificación de estos parámetros dando un resultado concreto en el cual se pueden analizar los riesgos asociados a cada uno de estos escenarios para poder gestionarlos de una manera más eficiente [8].

Varias empresas mineras ya han implementado esta útil herramienta fundamental para optimizar diversas operaciones dentro del proceso minero mejorando también la planificación y la reducción de riesgos que podrían provocar los diferentes cambios efectuados dentro de dichos procesos.

Ejemplo de esto tenemos una mina nacional que es Los Bronces de Anglo American, la cual empleo la simulación para optimizar la gestión de flotas de equipos ayudando a mejorar la coordinación y programación de los equipos para reducir así los tiempos de inactividad de los camiones mejorando notoriamente el rendimiento de estos viéndose reflejado positivamente en la producción de cobre de la mina [9].

Según *immersive technology* [10], la minera Rio Tinto por su parte mejoro la eficiencia en el abastecimiento de suministros para reducir tiempos de espera y optimizando su plan de producción al modelar los procesos de extracción y transporte de material mediante la simulación.

Eleonore mine en Canadá con el apoyo de un modelo geomecánico de mina y simulaciones de secuencia, aplicaron reglas de secuenciación flexibles en condiciones específicas. Dependiendo del ancho de los pilares entre las lentes, era posible extraer más de una tajeo desde el mismo punto de acceso, mejorando así su producción [11].

Como podemos observar, la simulación de procesos mineros ha dado frutos dentro de la industria en diversas compañías con ejemplos reales con resultados claros que incentiva al uso de esta herramienta. Existen diversos software para poder realizar esta labor, como Arena [12], ProModel [13] y Jaamsim [14]. Donde este último será usado para el

modelamiento de esta mina ficticia mediante el software de simulación de procesos mineros “Jaamsim”.

2.4) Jaamsim

Jaamsim es uno de los diversos softwares que se enfocan en la simulación y modelamiento de procesos proveniente de “*Java Agent-Based Simulation*” basado en elementos discretos, técnica la cual se centra en modelar y analizar sistemas donde los eventos ocurren en momentos particulares del tiempo y afectan el estado del sistema en dichos instantes [15].

Jaamsim emplea un enfoque de modelado basado en agentes y sistemas dinámicos, lo que posibilita a los ingenieros civiles la creación de modelos exhaustivos de operaciones mineras, abarcando desde la fase de planificación hasta la ejecución. A través de la programación en Java, los usuarios definen entidades como camiones mineros, excavadoras, trabajadores y otros elementos como agentes individuales. Estos agentes interactúan entre sí y con el entorno, dando lugar a un modelo dinámico de la operación minera.

La simulación se lleva a cabo mediante la ejecución de escenarios personalizados por el usuario. Los parámetros de entrada comprenden variables como la demanda de mineral, los precios del mercado, la disponibilidad de equipos y la topografía del terreno. Jaamsim simula el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo, brindando la capacidad de observar y analizar cómo interactúan los diversos componentes de la operación minera.

En el Anexo A se presenta un tutorial básico paso a paso para la construcción de modelos con este software.

2.5) Flota de equipos

La flota de equipos utilizada en el nivel de transporte intermedio para el acarreo de material consta de camiones diésel Sandvik TH663i y camiones eléctricos eléctrico Sandvik TH550B. La cantidad de estos variara en diferentes iteraciones de modelos para poder obtener la mayor cantidad posible de información para poder realizar una posterior comparativa.



Figura 2: Camión Sandvik TH663i [16]



Figura 3: Camión Sandvik TH550B [17]

Las características principales del camión diésel Sandvik TH663i se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1: Parámetros camión Sandvik TH663i [18]

Parámetros	Valores
Capacidad nominal	63 ton
Factor de llenado	80%
Capacidad efectiva	50 ton
Velocidad media	20 km/h
Tiempo de carga	1.5 min
Tiempo de descarga	0.5 min
Maniobras aculatamiento	1.5 min

Así mismo, las características principales del camión eléctrico Sandvik TH550B se presentan en la tabla 2 .

Tabla 2: Parámetros camión Sandvik TH550B [19]

Parámetros	Valores
Capacidad nominal	50 ton
Factor de llenado	80%
Capacidad efectiva	40 ton
Velocidad media	20 km/h
Tiempo de carga	1.5 min

Tiempo de descarga	0.5 min
Maniobras aculatamiento	1.5 min

3) Alcances y/o Limitaciones

El sistema por modelar consta de dos niveles:

El primero un nivel de producción de 6 calles de extracción de mineral con 10 puntos de extracción cada una con acceso a ellas por cruzados de producción, el cual la extracción de material se genera con LHD convencionales para abastecer 2 piques por cada calle de extracción. En la “Figura 4” podemos apreciar una de las calles del nivel de producción, donde los “Pexn” son los puntos de extracción de la calle y P1 junto P7 son los piques correspondientes a la calle los cuales se conectan con el nivel de transporte intermedio.

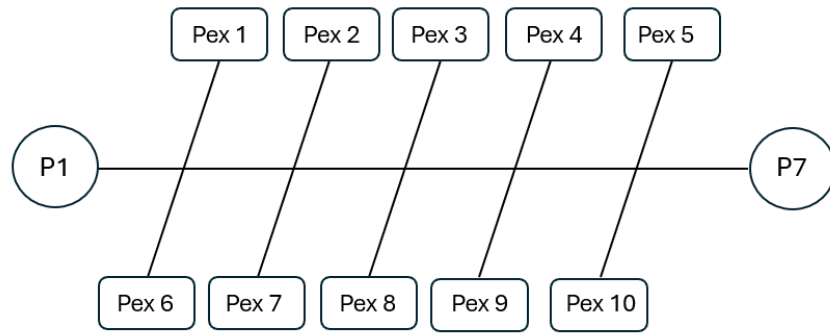


Figura 4: Calle de Nivel de Producción

El segundo es un nivel de transporte intermedio que consiste en 12 piques los cuales interactúan también con el nivel de producción ubicados en 2 zonas y 4 secciones de 3 piques cada una, el análisis del proyecto va enfocado en el estudio de este nivel de transporte intermedio donde se evaluará el uso de diferente flota de camiones que varían en la implementación de camiones diésel y camiones eléctricos, junto con el uso de distintos números de camiones utilizados en la simulación. En la Figura 5 tenemos los piques representados los “Pn” con n los distintos números correspondientes a cada pique.

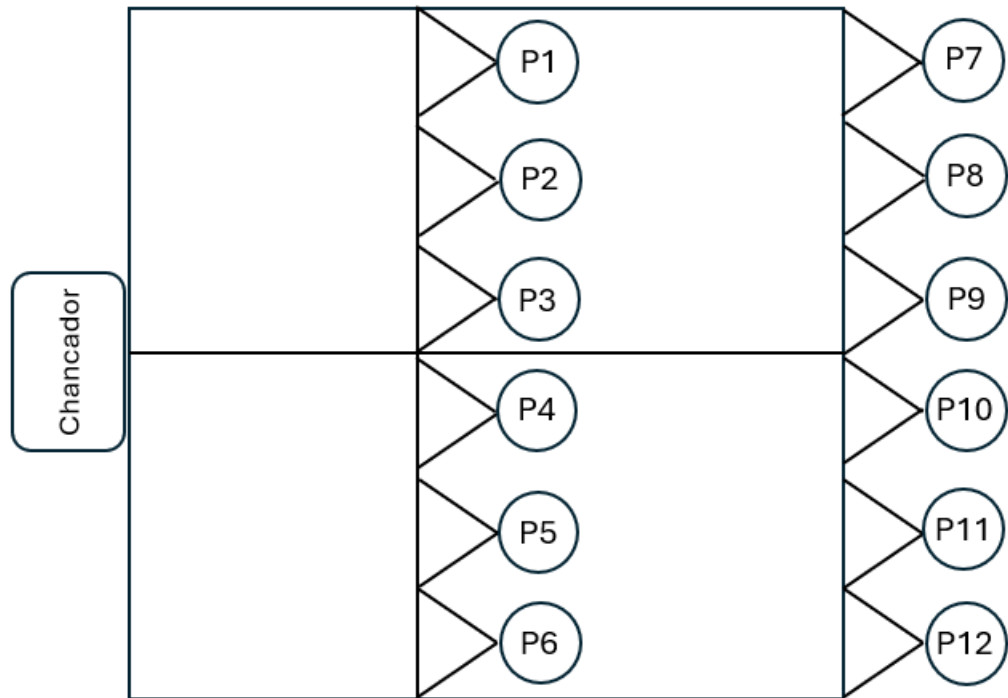


Figura 5: Nivel de Transporte Intermedio

El estudio se centra en el periodo de tiempo en el que el sistema estará en el *peak* de producción para realizar el análisis correspondiente, el cual se centra en el sistema del nivel de transporte intermedio. Se considero la construcción de una sala extra conectada al nivel de transporte intermedio para el almacenamiento y cambio de baterías para el caso de los camiones eléctricos. La simulación del sistema se hará mediante el uso del software Jaamsim.

4) Elementos de Jaamsim

Los elementos presentados a continuación son herramientas predeterminadas en Jaamsim para el modelamiento de sistemas, a continuación, se explica en que consiste cada una de ellas y como se utilizaron para la construcción del modelo de para este trabajo.

4.1) Entidades

Jaamsim presenta un amplio catálogo de entidades, las cuales sirven para cumplir un objetivo en específico, este objetivo esta preconstruido para cada entidad. Esto se refiere a que el código para realizar una acción que ya viene en la entidad misma, solo requiere parámetros de entrada los cuales dependen de cada entidad y la función que esta cumpla, como transportar una entidad, generar pausas, almacenar datos o dar atributos a estas.

Estas entidades son las responsables del funcionamiento del software, por lo que es importante tener el conocimiento de cómo trabaja y que realiza cada una. Cada entidad funciona de manera independiente, pero se pueden conectar unas a otras lo que hace que se genera el proceso el cual se quiere simular, cumpliendo el rol de equipos, locaciones, calles, piques, etc. Que se presentan en la realidad del proceso minero y todo el funcionamiento de este, permitiendo así las modificaciones habladas anteriormente para realizar las simulaciones.

Para esto se presenta a continuación que trabajo cumple cada una de las entidades empleadas en la creación del modelo para este caso de estudio .

4.1.1) *Sim entity*

Entidad básica la cual es usada en la función de cada una de las entidades por las cuales atraviesa, sirviendo así para simular un camión real que va pasando por las distintas etapas del carguío y transporte del material.

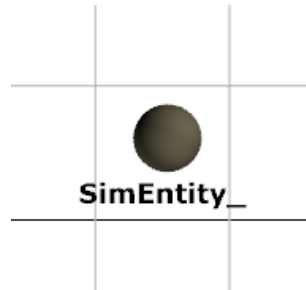


Figura 6: Sim Entity [15]

4.1.2) *Entity generator*

Entidad encargada de generar cada una de las *sim entity* las cuales se requieran en el modelo, siendo entregadas con cantidades e intervalos de tiempo que uno requiera (estos son los parámetros de entrada que esta presenta).



Figura 7: Entity Generator [15]

4.1.3) *Entity Conveyor*

Entidad encargada de transportar un *sim entity* de un punto a otro, conectando así dos lugares del proceso mineros con un tiempo de viaje que es su parámetro de entrada, sirviendo como calles para la simulación.

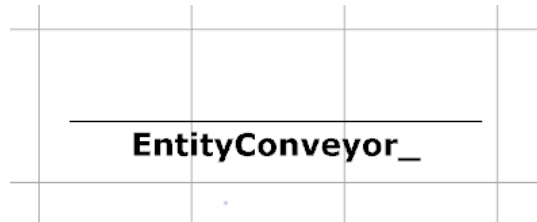


Figura 8: Entity Conveyor [15]

4.1.4) *Assign*

Esta entidad se encarga de asignar o cambiar un atributo de un *sim entity*, el cual se puede asignar un valor numérico en base a un código de programación para determinar el destino de esta en base a una elección estratégica o poder observar alguna característica del *sim entity*. Este se usa para asignar a que dirección o pique debe dirigirse cada camión.



Figura 9: Assign [15]

4.1.5) **Branch**

Puede dirigir el camino a seguir de una entidad que pase por el en base a algún atributo presente en esta para seguir un camino seleccionado de 2 o más opciones. Este se usa para determinar el camino a seguir del camión en las bifurcaciones que se presentan para llevarlo al destino asignado.

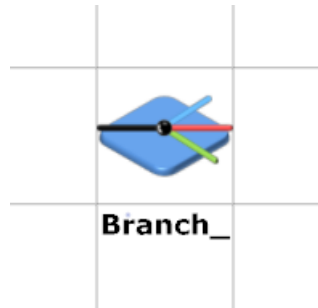


Figura 10: Branch [15]

4.1.6) **Server**

Procesa una entidad recibida con cierta duración de tiempo el cual sirve para la construcción de piques simulando el tiempo de la acción que el camión realice.



Figura 11: Server [15]

4.1.7) **Queue**

Es una cola asignada para cada servidor para que no procese más de una entidad acumulando en ella las entidades que estén a la espera de entrar al *server*. Se usa como cola de camiones para los piques.

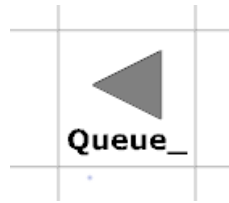


Figura 12: Queue [15]

4.1.8) Resource

Es una entidad que acumula recursos dados de parámetros de entrada conectados a *releáse* y *seize* los cuales aumentan o disminuyen dicha acumulación. Este es usado para simular la capacidad de los piques, los cuales se van llenando en el nivel de producción y disminuyendo con la extracción de material de los camiones en el nivel de transporte intermedio.



Figura 13: Resource [15]

4.1.9) Release

Entidad que al procesar un sim *entity* disminuye en una cantidad designada en los parámetros de entrada al *resource* al que esté conectado. Sirve para simular la extracción de material de los piques en los puntos de extracción.



Figura 14: Release [15]

4.1.10) Seize

Entidad que cumple la misma función que el *release*, pero aumentando en una cantidad designada. Se usa para simular la carga de los LHD a los Piques y los llenados de piques que simulan la cantidad inicial de material al momento del proceso.



Figura 15: Seize [15]

4.1.11) Timeseries and timeThershold

La primera es una entidad que permite o no el funcionamiento de una entidad en intervalos de tiempo, los cuales son estipulados en *TimeThershold*, el cual especifica estos intervalos de tiempo. Se usan para simular las pausas generadas por los cambios de turnos y colación.

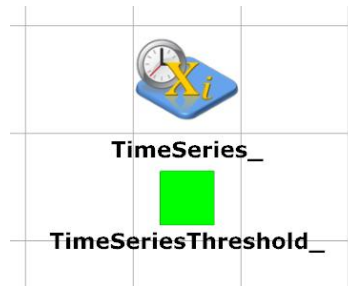


Figura 16: TimeSeries y TimeThreshold [15]

4.1.12) Entity sink

Entidad que destruye un *sim entity* para que ya no esté presente en la simulación. Se usa para eliminar los *sim entity* que generan los llenados iniciales de piques.



Figura 17: Entity Sink [15]

4.1.13) Pique

No son entidades de Jaamsim en sí, es un conjunto de entidades para simular un pique, con su respectivo material, tiempo de carga, colas y capacidad. Esto es una construcción propia para el funcionamiento del modelo en el software.

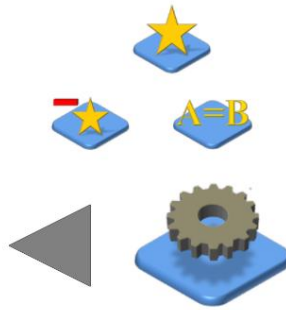


Figura 18: Pique en modelo de simulación [15]

5) Modelo conceptual

Se realizó la construcción de un modelo conceptual para presentar la cadena de decisiones en el proceso para los camiones en el nivel de transporte intermedio, tomando en cuenta las diferentes ramificaciones que conlleva cada una de estas decisiones que realiza los códigos en el software que se efectúan en tiempo real, el cual se observa en la “Figura 19 y 20”.

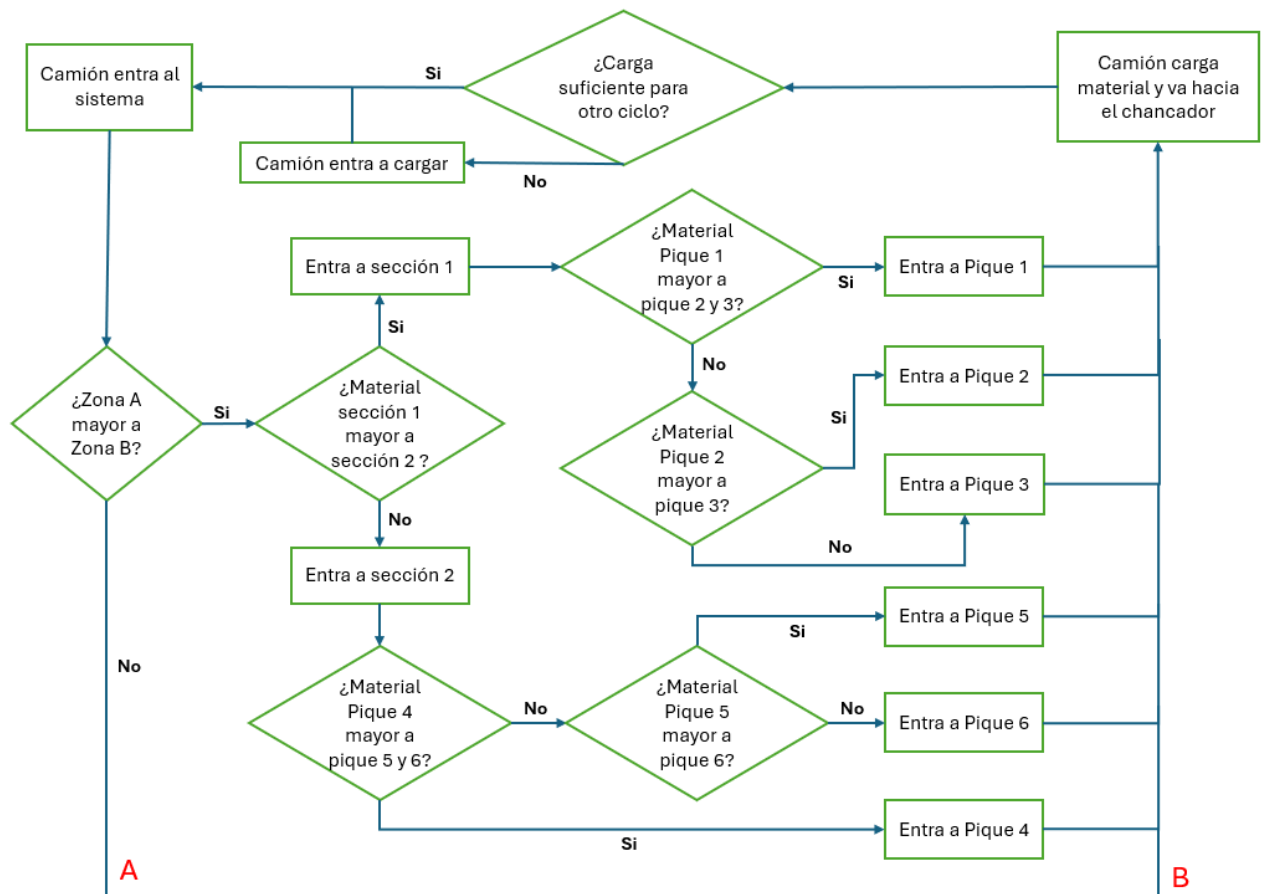


Figura 19: modelo conceptual parte 1

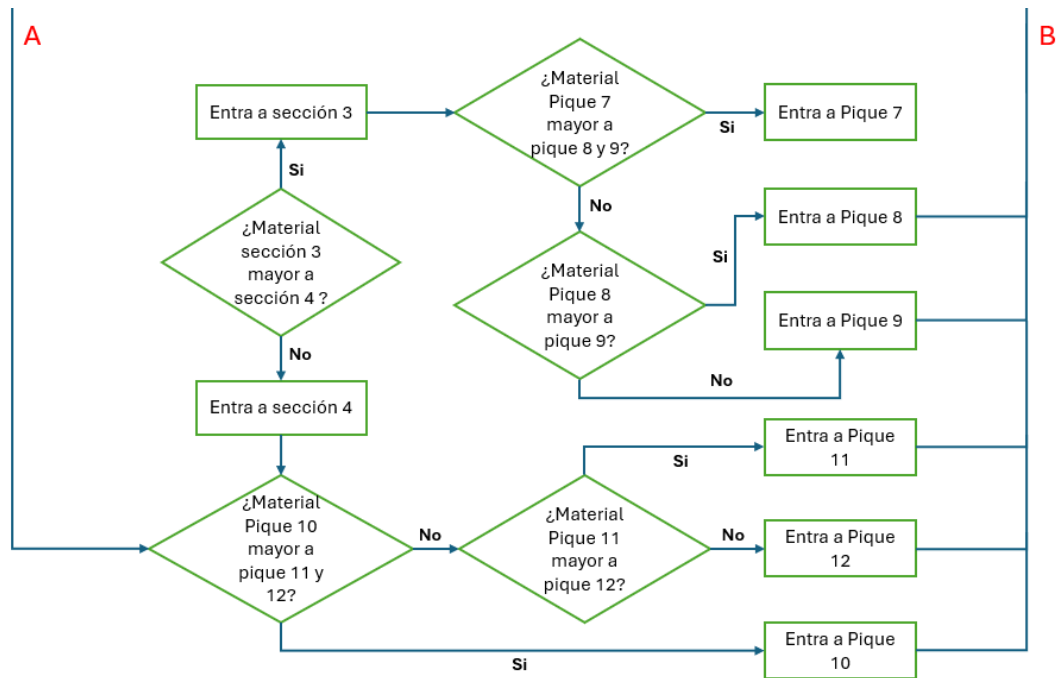


Figura 20: Modelo conceptual parte 2

La idea principal de este modelo conceptual es determinar a qué pique se dirigirá el camión escogiendo primero si la Zona A o B es la que presenta mayor material, para luego determinar si el siguiente destino es la sección 1 o 2 en el caso de la Zona A y la sección 3 o 4 en la Zona B. Finalmente determinar cuál de los 3 piques pertenecientes a la sección escogida es el que tiene mayor cantidad de material y entrar a cargar material en él.

6) Construcción del modelo

Se comenzó con la construcción del modelo real de la mina dentro del software con sus correspondientes entidades para simular el trabajo que se realiza dentro de estos niveles. Esto lo podemos observar en la “Figura 21”.

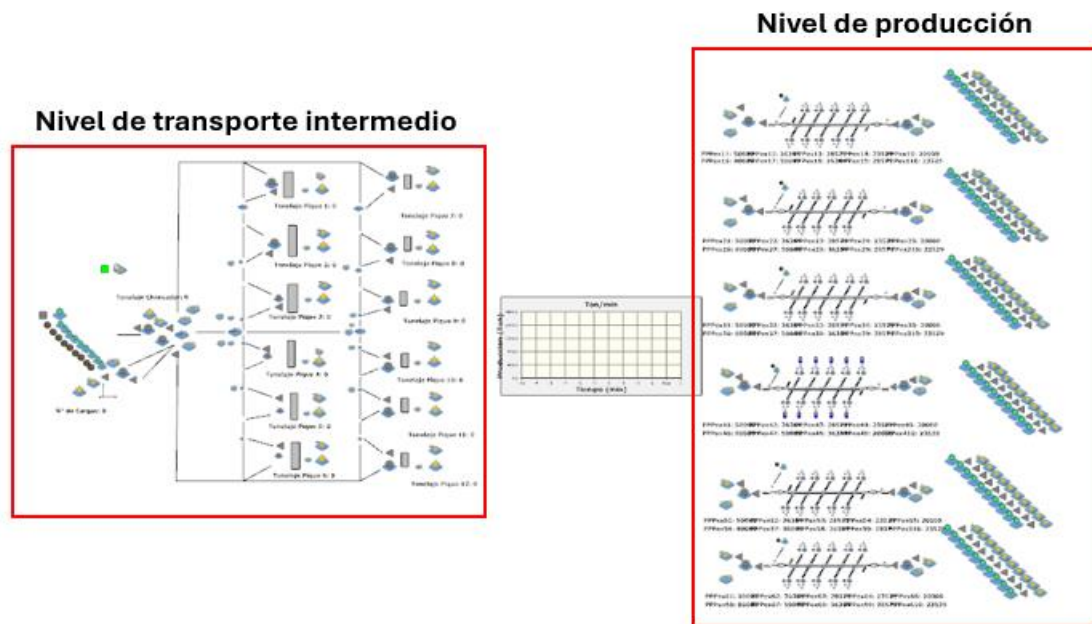


Figura 21: Modelo de simulación

Podemos observar en la tabla del centro del modelo que grafica en tiempo real las toneladas que recibe el chancador que corresponde al total del material movido en el nivel. Esto se hace para cada iteración con diferente número y tipo de camiones. A continuación, se puede apreciar de mejor manera una de las tablas generadas al termino de simulación de un trimestre.

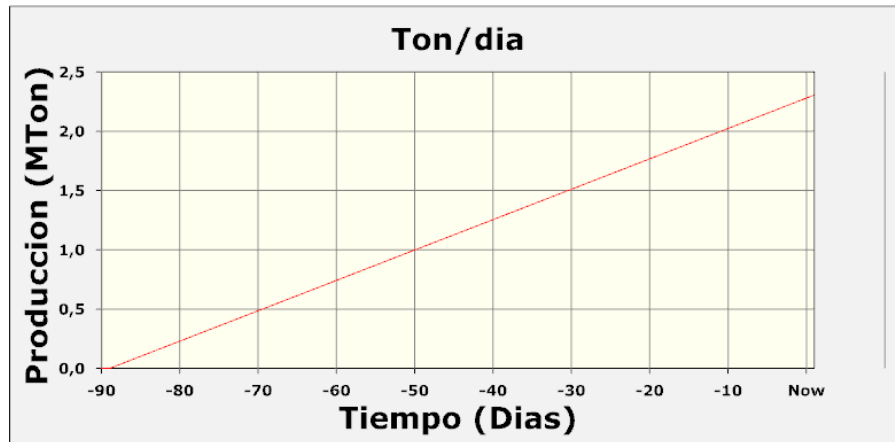


Figura 22: Tabla de producción trimestral del modelo de simulación

A la izquierda de “Figura 21” tenemos el nivel de transporte intermedio, por donde se mueven las sim entity que simulan cada uno de los camiones usados en los distintos escenarios, los cuales trabajan dentro del nivel.

Este cuenta con 4 secciones en las que se ubican 3 piques por cada una dando un total de 12, en los cuales se visualiza el tonelaje que presenta cada uno y donde se realiza la extracción de material que es llevado al chancador que lleva la cuenta de cuanto material mueven los camiones para su tratamiento posterior.

A la derecha de la “Figura 21” se puede observar las calles de producción con sus respectivos cruzados de producción y sus puntos de extracción del material. El modelo consta de 6 de estas calles que son las encargadas de llenar los piques para el posterior traslado del material mediante los camiones de bajo perfil ubicados en el nivel de transporte intermedio.

6.1) Nivel de Producción

Para este nivel se construyeron 6 calles de producción para la alimentación de los piques y así poder simular un nivel real de una mina. Para esto se necesitó la construcción de *entity generator* para la generación de entidades las cuales pasan a los *seize*, junto con una cola que requieren estos para funcionar. Estos simulan la cantidad de material que presenta cada punto de extracción posterior a su explotación, el cual será extraído por un LHD simulado mediante una *sim entity* que recorre su respectiva calle.

Estas calles se pueden observar de mejor forma en la “Figura 23”.

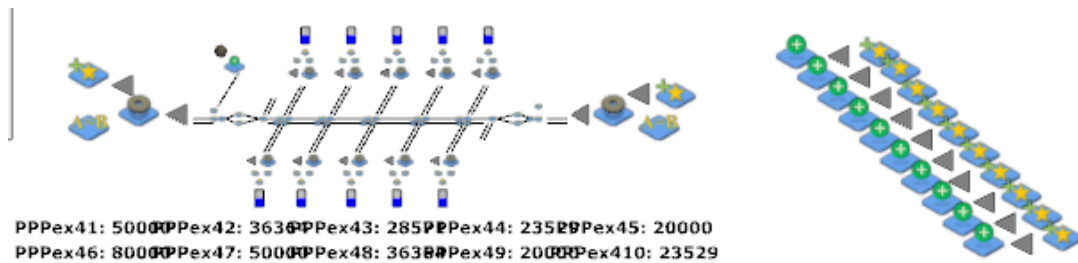


Figura 23: Nivel de producción

En los extremos izquierdo y derecho de la calle de producción de la “Figura 23” se pueden observar los piques, los cuales son llenados por los LHD simulados al igual que los camiones de bajo perfil, por un *sim entity* que hacen el recorrido de extracción. Finalmente, a la derecha los *seize* que llenan los puntos de extracción simulando la cantidad de material que se va a extraer posterior a la explotación de los puntos.

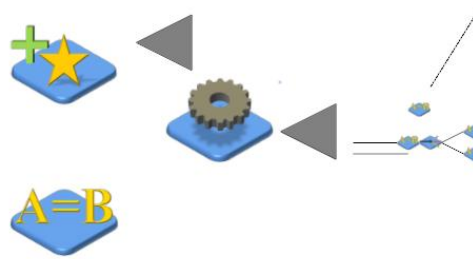


Figura 24: Piques nivel de producción

Para la cantidad de material a extraer en cada punto de extracción, se creó una tabla con valores diferentes para cada uno de ellos basado en una razón de producción diaria requerida, siguiendo un esquema que prioriza una mayor extracción de material de puntos que se encuentren más cercanos a la parte superior derecha del sistema. Esto para simular una extracción de material con avance para enfrentar la veta como se haría en una mina real.

Al entrar a la simulación, cada LHD toma la decisión de escoger cuál punto de extracción debe ir en base al que presente mayor porcentaje de material con respecto a la producción requerida. Esto se verá representado por un *resource* con el valor de dicho porcentaje.

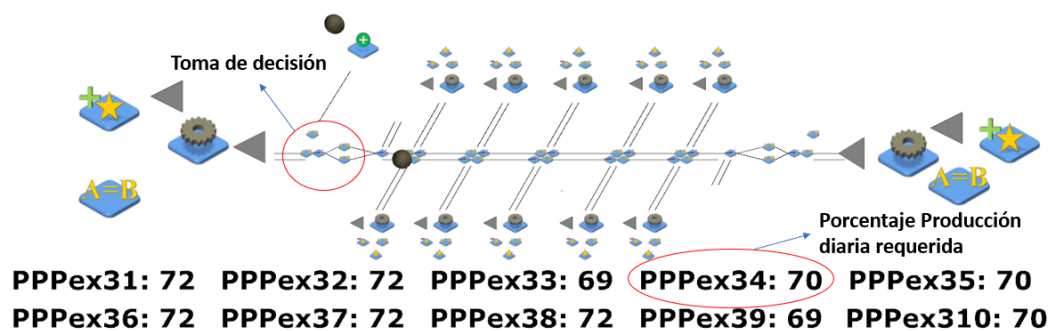


Figura 25: Toma de decisión y producción diaria requerida

Para esta elección se tienen enumerados los puntos de extracción del 1 al 10 contando desde izquierda a derecha, donde en la sección superior están los puntos del 1 al 5 y en la sección inferior del 6 al 10. La elección se desglosa en 2 partes:

Primero se suman por separados los porcentajes de producción requerida de la sección inferior y superior, esto para poder ver cuál de los 2 presenta un mayor valor la cual será la zona a la deberá ir el LHD.

Luego, sabiendo la sección a la cual debe ir, se compara cuál de los 5 puntos presenta un porcentaje más alto, asignando así un valor numérico al LHD equivalente al número del punto de extracción al cual debe ir.

El código creado para estas decisiones esta detallado en los Anexo B, C y D.

Posteriormente entra a la calle de extracción donde en cada bifurcación un *assign* genera una pregunta, en donde si el valor que se le asignó al LHD coincide con el número de uno de los puntos de extracción presente en su cruzado de producción, se le asigna un nuevo valor al LHD entre 1 y 2 para que el Branch continuo a este *assign* asigne su destino que puede ser: entrar al punto de extracción o seguir por la calle principal hasta encontrar el punto asignado.

El código creado para estas decisiones esta detallado en el Anexo E.

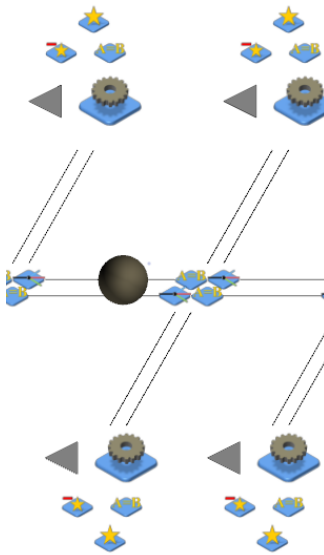


Figura 26: Decisión para entrar a punto de extracción

Una vez el LHD encuentre el punto de extracción asignado, este entrara para pasar a cargar material donde un *server* simulará el tiempo que requiere el LHD para cargar material y maniobrar junto con un *release* que disminuirá el *resource* el cual representa el porcentaje requerido para extraer, y un *assign* que cambiara un valor que representa que este LHD está cargado.

Posteriormente el LHD volverá a la calle principal donde la asignación de valor de destino elegirá siempre la calle principal para los camiones ya cargados hasta que entren a un pique y lo llenen descargando su material.

Este pique consta de un *server* con su respectiva cola que simula la maniobra y descarga del material del LHD, pasando por un *seize* el cual llenará el *resource* (que simula la cantidad de material que presenta el pique), para luego asignarle un valor que represente que el LHD está descargado mediante otro *assign* en el pique.

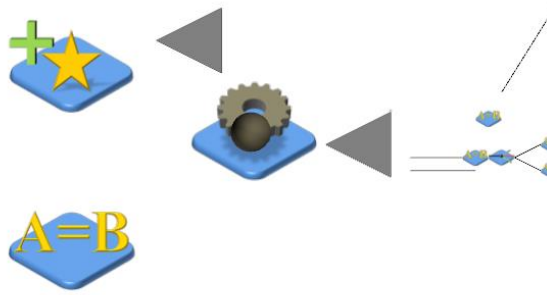


Figura 27: Descarga de LHD en pique

Finalmente, el LHD vuelve a la elección inicial repitiendo el proceso de forma iterativa debido que, al extraer material desde un punto, modifica su porcentaje de material a extraer requerido, cambiando su destino a un nuevo punto de extracción para seguir con el sistema de explotación visto en la “Figura 23”.

6.2) Nivel de transporte intermedio

Para este nivel se comenzó con *entity generator* y 10 *sim entity* para poder ingresar los camiones a los niveles junto con las calles, las cuales fueron construidas con los *entity conveyor*. También se pueden observar los 12 piques que conforman el nivel construido con un server para simular su proceso de cargado y maniobras, un *resource* para llevar la cuenta de cuanto material le queda al pique considerando el material que van cargando los respectivos LHD en el nivel de producción y el material que van trasladando los camiones de bajo perfil. La disminución de material se logra con un reléase conectado al *resource* que disminuye su almacenamiento en la cantidad de material que sacan los camiones.

Este nivel se puede apreciar de mejor forma a continuación en la “Figura 28”.

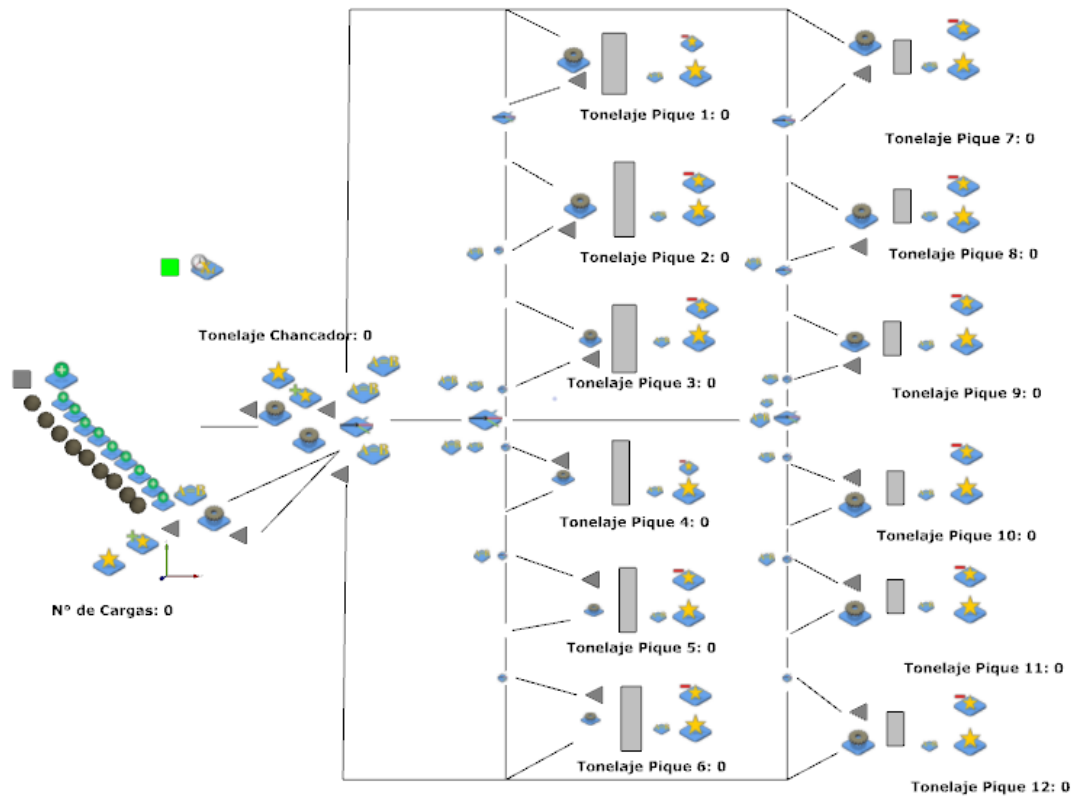


Figura 28: Nivel de transporte intermedio

En la “Figura 29” los camiones se ven representados por los círculos que corresponden a las sim entity, junto con sus respectivos generadores. Los camiones presentan 2 atributos los cuales determinan el destino al cual deberá ir, el cual ira cambiando por cada assign que pase para tomar la decisión a que pique deberá dirigirse.

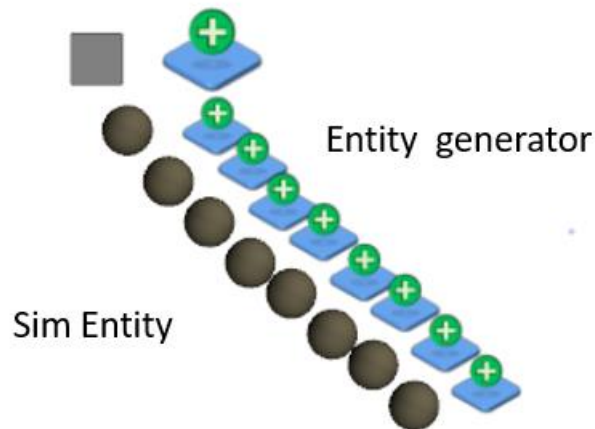


Figura 29: Generación de camiones en el modelo de simulación

Input Editor - Camion01		
Key Inputs Options Format Graphics		
Keyword	Default	Value
AttributeDefinitionList	None	{ Camion 0 } { CargaCam 100 } { Cargado 0 }
CustomOutputList	None	

Figura 30: Atributos de camiones en modelo de simulación

El primer atributo es el que determina si este camión está cargado o descargado, tomando un valor de 1 para cargado y 2 para descargado (Inicialmente es 0 previo a iniciar la simulación), para que al momento de tomar una decisión si entrar a un pique o no. Esta decisión se anula al ser multiplicada por -1 lo que genera un valor de 0 para el caso de que el camión esté cargado siguiendo siempre la calle principal hasta llegar al chancador.

El segundo es un valor que asigna el porcentaje de combustible o batería que esté presente para poder ver si la batería de los camiones eléctricos es capaz o no de realizar un nuevo ciclo de carga y descarga o una contabilidad del combustible gastado en el caso de los camiones convencionales.

Los *entity generator* hacen entrar a su respectivo camión al sistema cada 5 segundos para tener un mínimo espaciamiento al momento de entrar a la simulación. Deben haber 10 *entity generator* con 10 *sim entity* para que cada camión tenga sus propios valores de atributos mencionados anteriormente.

En el caso contrario de usar 10 entidades iguales repetidas, al momento de modificar uno de estos atributos, todos los camiones cambiarán automáticamente al valor establecido en el momento en el que se toma una decisión en cualquier camión, lo cual no permite el funcionamiento del sistema.

Luego de entrar al sistema, cada camión entra a un *assign* el cual toma la decisión a que pique deberá ir el camión. Esta se divide en varias partes a lo largo del sistema, trabajando así, por zonas y tomando la decisión en las bifurcaciones de las zonas designadas.

Primero, se determina si el camión irá a la zona A o zona B vista en la “Figura 31”, esta decisión se realiza mediante un código que calcula la cantidad de material presente en el pique descontando el número de camiones en cola de cada pique multiplicado por la capacidad de estos camiones. Con esto se tiene la cantidad total de material que puede ser extraído de cada pique.

El código para la toma de decisión se encuentra desglosado en el Anexo F y G.

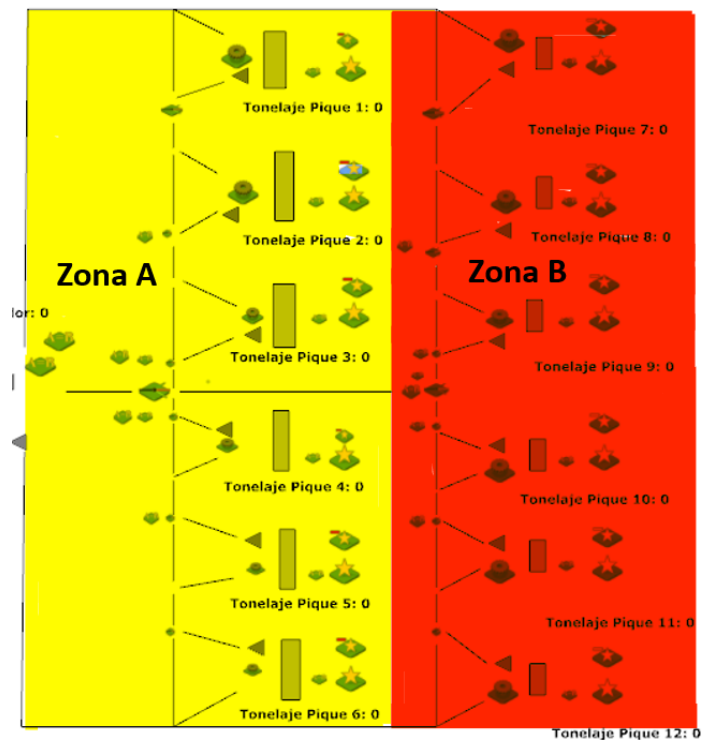


Figura 31: Zonas del modelo de simulación

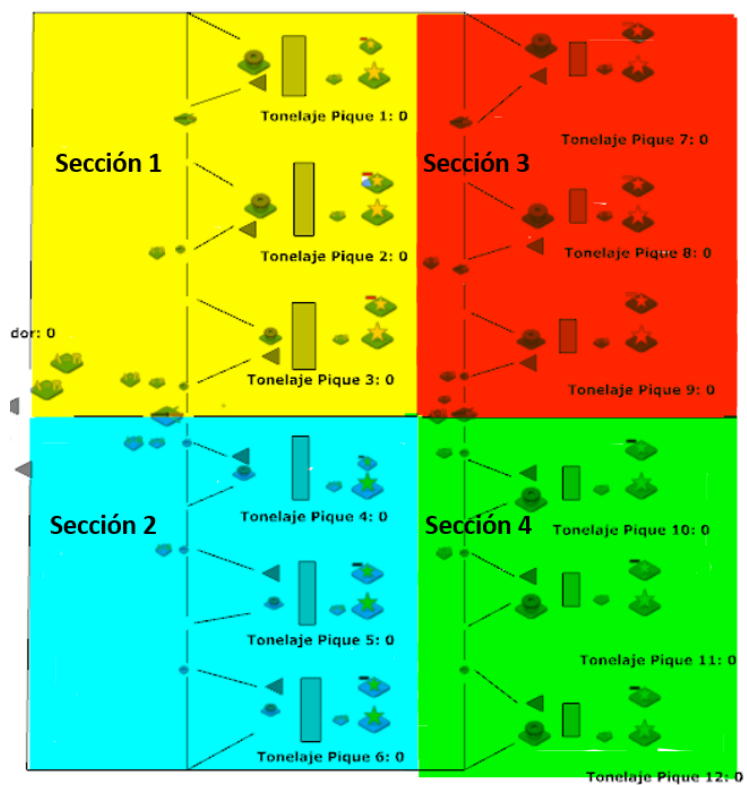


Figura 32: Secciones en el modelo de simulación

Luego, se pasa a sumar estas cantidades de material disponible de la zona A y B, y ver cuál es la que presenta mayor cantidad para ver a cuál zona se dirigirá el camión.

Una vez el camión llegue a la bifurcación de la zona A entre las secciones 1 y 2, un Branch dará rumbo al camión en base a su destino el cual puede ser: enviarlo por la calle principal hacia la zona B; enviarlo a la sección 1; enviarlo a la sección 2. Esto dependiendo de la decisión anteriormente mencionada.

Para la tomar la decisión entre la sección 1 y 2 se suman los piques 1,2 y 3 comparándolos con los 4, 5 o 6 escogiendo la sección con mayor cantidad de material.

Con esto se sabrá a que zona deberá irse el camión con un Branch con estos 3 destinos en base al atributo que se le asigne al camión en las decisiones anteriores. Para el caso de ir a la zona B se realiza el mismo procedimiento de la sección 1 y 2, pero ahora con las secciones 3 y 4 donde se encuentran los piques del 6 al 10.

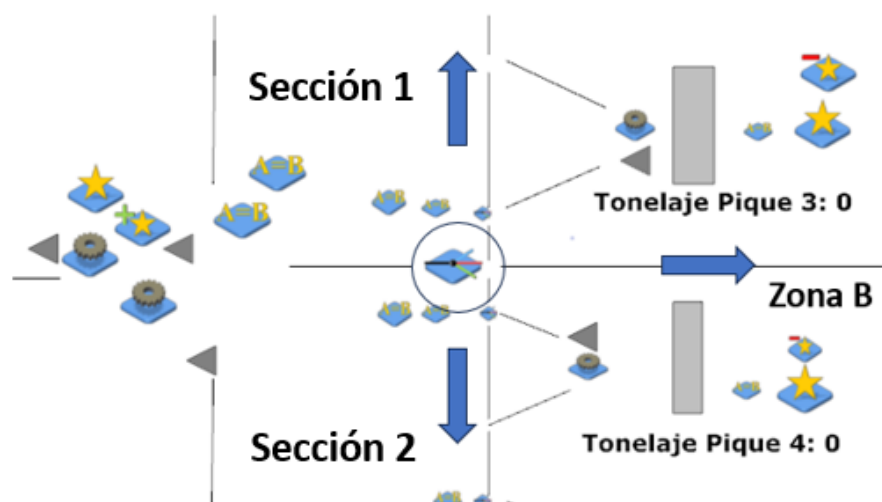


Figura 33: Elección de ruta del camión en calle central

Una vez el camión entra a alguna de las secciones del 1 al 4, se tomará la decisión de si entrar o no al primer pique que presenta la sección. Esta decisión se hará comparando las cantidades de material disponibles entre el primer pique y los otros 2 presentes en la zona, donde analizará si la cantidad del primero es mayor o igual a la del segundo o el tercero. Solo entrará al primer pique si este presenta el valor más alto entre los 3.

El código generado para esta comparación se puede encontrar en el Anexo G.

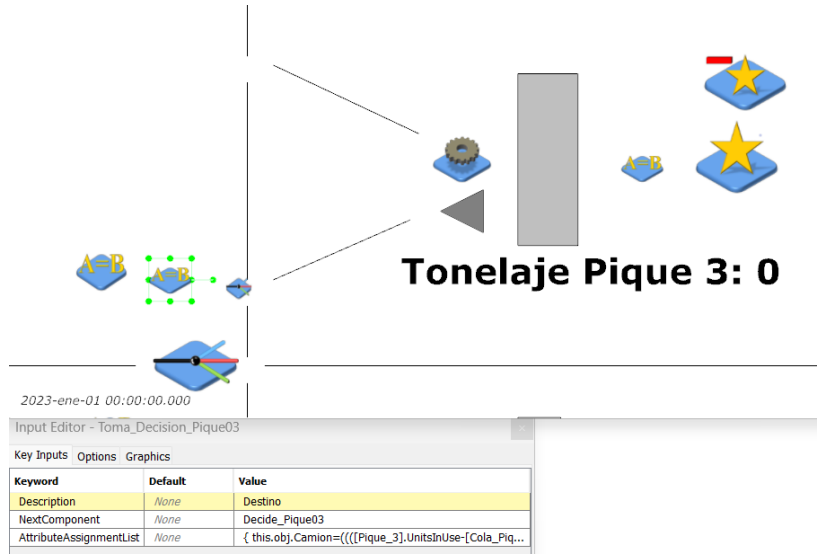


Figura 34: Decisión 1 de ruta del camión en una sección

De ser escogido el primer pique de la zona, entrará inmediatamente donde entrará a la cola del pique esperando para entrar a un *server* que simulará su tiempo de carga y maniobra. Luego a un reléase que disminuirá un *resource* que almacena la cantidad de material del pique. Posteriormente entrará a un *assign* el cual cambiará el valor del atributo del camión para determinar que este está cargado y así anular las próximas decisiones y seguir por la calle principal.

Si el primer pique de la sección no es el que presenta la mayor cantidad de material, seguirá su camino por la galería principal y en la segunda bifurcación, al momento de llegar a la

entrada del segundo pique, volverá a hacer la misma comparación de capacidades (ahora entre el segundo y tercer pique de la zona). Si el segundo pique es el que presenta una mayor capacidad, el camión entrará en este y realizará el mismo procedimiento en el pique explicado anteriormente. Al salir y llegar a la entrada del último pique seguirá la galería principal anulando la decisión de entrar al tercero por estar con un atributo que determina este camión como cargado.

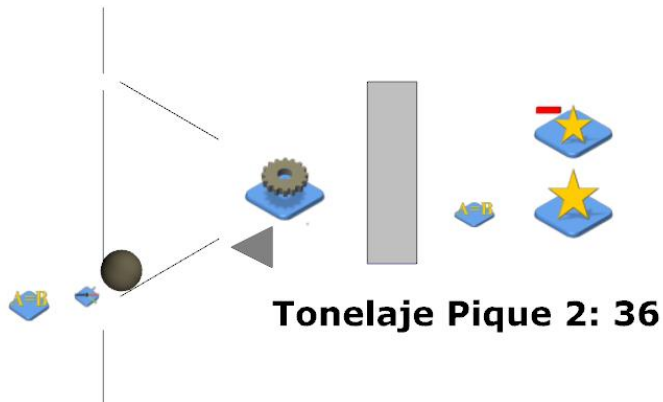


Figura 35: Decisión 2 de ruta del camión en una sección

Si el tercer pique es el que presenta mayor valor el camión, continuará por la galería principal para entrar al último pique siguiendo el mismo procedimiento que los otros 2 y volverá a la calle principal de retorno para descargar el material.

Luego, cuando los camiones estén cargados, pasarán por las galerías principales de su zona para volver por las calles de retorno al inicio. Cabe recalcar que todas las calles están simuladas con un *entity conveyor*, el cual simula los tiempos de traslado en base a la distancia de cada una de las calles de la mina divididas por las velocidades de catálogo de los camiones de bajo perfil.

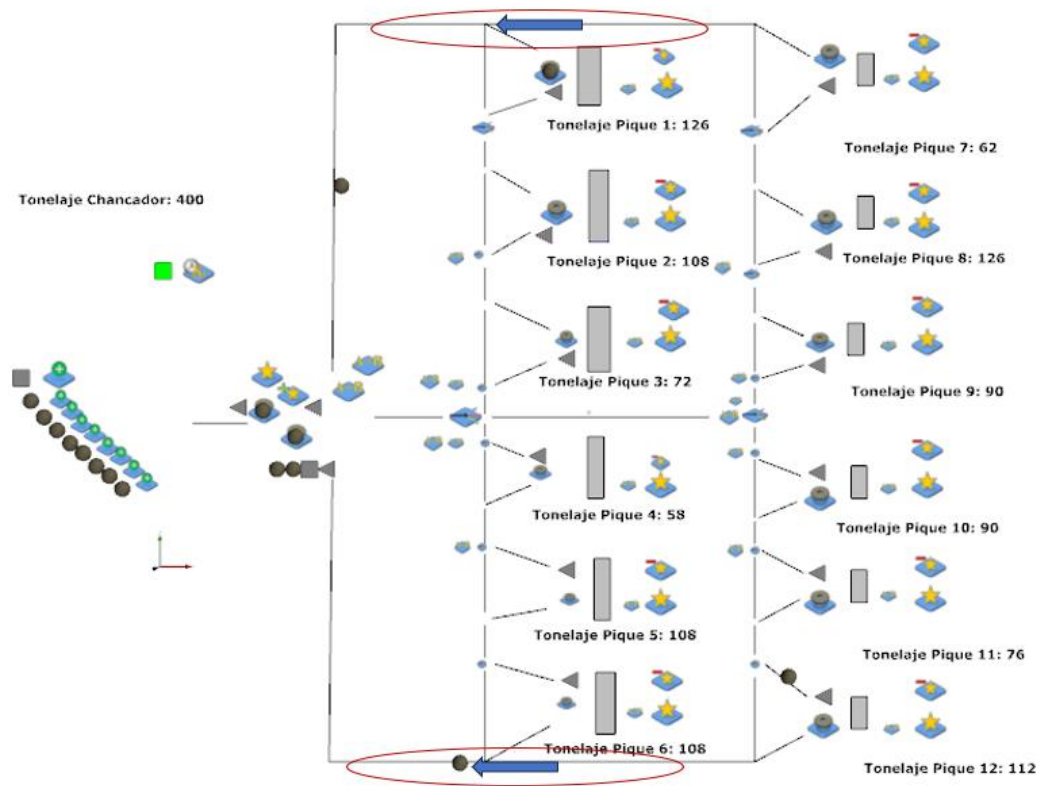


Figura 36: Calles de retorno

Finalmente, los camiones ingresan a un *sieze* el cual aumenta el almacenamiento de un *resource* que simula un chancador con la cantidad de material que contiene el camión al llegar. Este *resource* recibe todo el material transportado para ser tratado el cual lleva la contabilidad del total de material transportado en el nivel de transporte intermedio para poder realizar los análisis comparativos posteriores en el estudio.

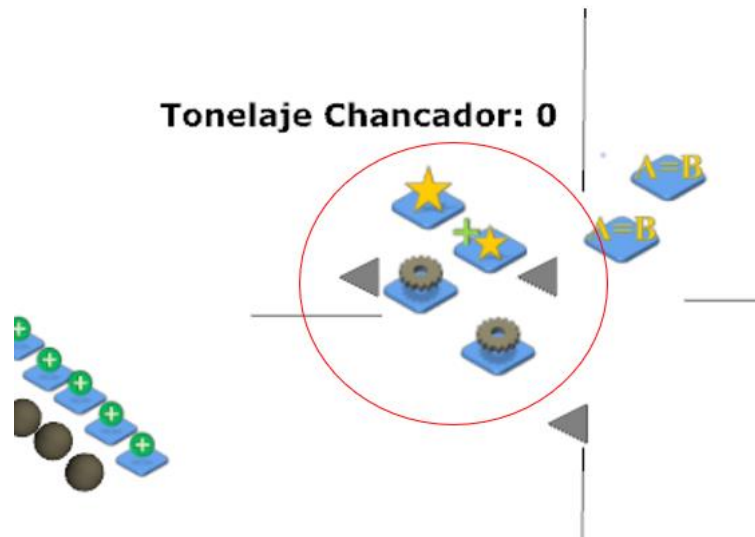


Figura 37: Chancador en modelo de simulación

Una vez el camión descarga y sale del chancador, pasa por un sistema de 2 *assign* donde el primero modifica el atributo de los camiones que han descargado para actualizar el estado de estos. El segundo observa el porcentaje de combustible que presenta el camión viendo si este es suficiente capaz de realizar un nuevo ciclo de carga de material. De ser así, este vuelve a ingresar al *assign* que toma la decisión de cual pique será el nuevo destino del camión. En el caso contrario, solo para los camiones eléctricos hace que este entre a la sala de carga de batería para que este pueda salir con una carga del 100% volviendo a ingresar al sistema.

En las diferentes iteraciones de los camiones diésel, logró apreciar que estos presentan la capacidad de trabajar ininterrumpidamente entre las pausas sin problemas con el estanque lleno de combustible, recargando solo en las pausas programadas para no entorpecer y dinamizar el sistema. Por esto se eliminó el *assign* el cual determinaba si el combustible era suficiente para realizar otro ciclo.

6.3) Carga de baterías

Al momento de terminar la construcción del modelo y comprobar que su funcionamiento fuera correcto, se hizo una modificación en el sistema para los camiones eléctricos. Este cambio consta de una sala de 6x6x10 metros la cual es usada para el almacenamiento y cambio de baterías, donde los camiones entran al momento que el porcentaje de su batería no sea suficiente para realizar un ciclo de transporte y poder hacer cambio de esta.

La construcción de este sector es netamente para las simulaciones con camiones eléctricos, ya que para los camiones diésel la carga de combustible se realizará durante las pausas por cambios de turno y colación de los trabajadores. Esto genera un gasto extra en preparación para el caso de los camiones eléctricos, lo cual debe ser considerado ya que influye fuertemente en la inversión inicial y la factibilidad económica.

Las iteraciones realizadas para los camiones eléctricos llevan la cuenta de la cantidad de cargas de baterías calculando el porcentaje de batería que estos gastaban en cada ciclo que cumplían, descontando el porcentaje correspondiente mediante un *assign* que modificaba su atributo que representaba el porcentaje de batería restante en cada camión. Con esto, otro *assign* ubicado justo a la salida del chancador evaluaba si este porcentaje restante de batería era suficiente para realizar un nuevo ciclo, de no ser así el camión entraba a cargar su batería a la sala antes mencionada y así volver a modificar su atributo volviendo a tener un 100% de carga de batería y volver al sistema.

6.4) Cantidad de diésel cargado

Para la simulación de los camiones diésel

Se calculo la cantidad de diésel que gastaba un camión en un turno mediante la distancia promedio que este recorría dentro del turno tomando en consideración su rendimiento en kilometraje para poder tener una cantidad exacta de diésel usado por camión en un turno. Con esto solo se contabilizo el número de pausas del sistema por día y trimestre para tener el costo de diésel en los respectivos intervalos de tiempo.

Con esto queda terminado el proceso de construcción del modelo junto con la implementación de datos iniciales en este mismo, posterior a esto se comenzó el proceso de correr el modelo con los diferentes cambios antes mencionados: camiones eléctricos, camiones diésel y numero de camiones.

Para ambos tipos de camiones se fue registrando la producción diaria del chancador y para el caso de los camiones eléctricos, la cantidad de baterías usadas; mientras que para el diésel fue el número de ciclos cumplidos dentro del sistema. El registro diario se hizo para los primeros 3 meses de producción del sistema, luego se extrapolo a una producción anual y para los 15 años de estudio. Esto se hizo porque el software Jaamsim no tiene una forma sencilla para la extracción de datos de su sistema, por lo que fue necesario correr y pausar constantemente el software para obtener dichos datos. La imposibilidad de extraer los datos directo a Excel o una tabla para poder llevar un registro de los 15 años obligó a emplear esta forma poco usual de obtener los datos y extrapolarlos para poder lograr este estudio.

6.5) Calculo de VAC

Una vez obtenidos los datos de las diferentes iteraciones dentro de la simulación se prosiguió a ordenar estos datos en diferentes tablas diferenciadas tanto en los camiones eléctricos como los camiones diésel con el diferente número de camiones usados en cada iteración y cada tipo de camión. donde fueron registrados los siguientes datos:

- El tonelaje de material trasladado de los piques al chancador el cual se utilizó para el cálculo de los ingresos para cada iteración.
- La cantidad de cargas de baterías registradas en el caso de los camiones eléctricos para el cálculo de costos anuales en combustible para este tipo de camiones
- La cantidad de diésel consumido por los camiones para el cálculo de costos anuales en combustible para este tipo de camiones

También se realizó el cálculo de inversiones iniciales para cada iteración contemplando el costo de la cantidad de camiones implementados junto con el costo de preparación asociado a cada tipo de camión. En el caso de los camiones diésel se consideró el camión aljibe para transportar diésel a los camiones junto con el gasto de combustible asociado a este camión aljibe, mientras que para los camiones eléctricos se consideró la construcción de la sala para carga de baterías junto con la conexión eléctrica desde la superficie mediante un cable necesaria para cargar las baterías.

Teniendo todo lo anterior en consideración dentro de la tabla se realizó un flujo de caja para cada iteración para poder obtener sus respectivos valores anuales, a los cuales se le descontó la inversión inicial asociada a cada iteración para la obtención del valor actual de costos (VAC), así se puede realizar una comparación cuantitativa.

7) Resultados y Discusiones

Los resultados y análisis se centran solo en la producción y combustible utilizado en el proceso, además de la comparación económica de estos mediante un VAC entre los diferentes números de camiones usados y los 2 tipos de camiones a estudiar. Dicho esto, los resultados obtenidos de cada simulación son los siguientes:

7.1) Resultados camiones eléctricos

Los resultados de este tipo de camiones se centran en la cantidad de baterías que estos usan tanto diaria como trimestralmente, obteniendo un registro de esto de forma manual desde las simulaciones del software Jaamsim que se pueden apreciar a continuación:

7.1.1) Simulación 6 camiones

A continuación, se presenta la tabla 3 con el resumen de los valores obtenidos en la simulación del modelo construido con 6 camiones diésel. El Anexo I presenta una tabla más detallada con los datos obtenidos para mayor claridad.

Tabla 3: Resultados simulación 6 camiones eléctricos

Parámetros	Valores
Producción Diaria	25.03 Kton
Producción trimestral	2.252 Mton
Producción anual	9.13 Mton
Producción total	137 Mton
*VAC	96.6 MUSD
Inversión	22.2 MUSD

**Carga Baterías Diarias	57 uni
Carga Baterías trimestrales	5127 uni
Carga Baterías anuales	20491 uni
Carga Baterías totales	307583 uni
Costos anual carga de baterías	3.47 MSUD

*: Forma de cálculo explicada en inciso 6.5

** : Forma de cálculo explicada en inciso 6.3

7.1.2) Simulación 7 camiones

A continuación, se presenta la tabla 4 con los valores obtenidos en la simulación del modelo construido con 6 camiones diésel. En el Anexo J presenta una tabla más detallada con los datos obtenidos en Jaamsim para mejor entendimiento.

Tabla 4: Resultados simulación 7 camiones eléctricos

Parámetros	Valores
Producción Diaria	25.2 Kton
Producción trimestral	2.27 Mton
Producción anual	9.18 Mton
Producción total	137.7 Mton

VAC	127.7 MUSD
Inversión	25.2 MUSD
Carga Baterías Diarias	57 uni 5161 uni
Carga Baterías trimestrales	20672 uni
Carga Baterías anuales	309710 uni
Carga Baterías totales	3.49 MUSD
Costos anual carga de baterías	

7.1.3) Simulación 8 camiones

A continuación, se presenta la tabla 5 con el resumen de los valores obtenidos en la simulación del modelo construido con 6 camiones diésel. En el Anexo K presenta una tabla más detallada con los datos obtenidos en Jaamsim para mayor claridad.

Tabla 5: Resultados simulación 8 camiones eléctricos

Parámetros	Valores
Producción Diaria	25.3 Kton
Producción trimestral	2.28 Mton
Producción anual	9.2 Mton
Producción total	138 Mton
VAC	130.5 MUSD
Inversión	28.2 MUSD

Carga Baterías Diarias	58 uni
Carga Baterías trimestrales	5200 uni
Carga Baterías anuales	20691 uni
Carga Baterías totales	310195 uni
Costos anual carga de baterías	3.51 MUSD

7.1.4) Simulación 9 camiones

A continuación, se presenta la tabla 6 con el resumen de los valores obtenidos en la simulación del modelo construido con 6 camiones diésel. En el Anexo L presenta una tabla más detallada con los datos obtenidos en Jaamsim para mayor claridad.

Tabla 6: Resultados simulación 9 camiones eléctricos

Parámetros	Valores
Producción Diaria	25.5 Kton
Producción trimestral	2.29 Mton
Producción anual	9.3 Mton
Producción total	139.5 Mton
VAC	209.3 MUSD
Inversión	31.2 MUSD

Carga Baterías Diarias	58 uni
Carga Baterías trimestrales	5245 uni
Carga Baterías anuales	21702 uni
Carga Baterías totales	325987 uni
Costos anual carga de baterías	3.55 MUSD

7.2) Resultados camiones diésel

7.2.1) Simulación 6 camiones

A continuación, se presenta la tabla 7 con el resumen de los valores obtenidos en la simulación del modelo construido con 6 camiones diésel. En el Anexo M presenta una tabla más detallada con los datos obtenidos en Jaamsim para mayor claridad.

Tabla 7: Resultados simulación 6 camiones diésel

Parámetros	Valores
Producción Diaria	31.2 Kton
Producción trimestral	2.81 Mton
Producción anual	11.38 Mton
Producción total	170.7 Mton

VAC	2271 MUSD
Inversión	18.1 MUSD
*Costo anual diésel	7.39 MUSD

*: Forma de cálculo explicada en inciso 6.4

7.2.2) Simulación 7 camiones

A continuación, se presenta la tabla 8 con el resumen de los valores obtenidos en la simulación del modelo construido con 6 camiones diésel. En el Anexo N presenta una tabla más detallada con los datos obtenidos en Jaamsim para mayor claridad.

Tabla 8: Resultados simulación 7 camiones diésel

Parámetros	Valores
Producción Diaria	31.4 Kton
Producción trimestral	2.8 Mton
Producción anual	11.46 Mton
Producción total	171.9 Mton
VAC	2301 MUSD
Inversión	21.1 MUSD
Costo anual diésel	5.75 MUSD

7.2.3) Simulación 8 camiones

A continuación, se presenta la tabla 9 con el resumen de los valores obtenidos en la simulación del modelo construido con 6 camiones diésel. En el Anexo O presenta una tabla más detallada con los datos obtenidos en Jaamsim para mayor claridad.

Tabla 9: Resultados simulación 8 camiones diésel

Parámetros	Valores
Producción Diaria	31.6 Kton
Producción trimestral	2.84 Mton
Producción anual	11.52 Mton
Producción total	172.8 Mton
VAC	2323 MUSD
Inversión	24.1 MUSD
Costo anual diésel	6.57 MUSD

7.2.4) Simulación 9 camiones

A continuación, se presenta la tabla 10 con el resumen de los valores obtenidos en la simulación del modelo construido con 6 camiones diésel. En el Anexo P presenta una tabla más detallada con los datos obtenidos en Jaamsim para mayor claridad.

Tabla 10: Resultados simulación 9 camiones diésel

Parámetros	Valores
Producción Diaria	3.18 Kton

Producción trimestral	2.86 Mton
Producción anual	11.58 Mton
Producción total	173.7 Mton
VAC	2345 MUSD
Inversión	27.1 MUSD
Costo anual diésel	7.39 MUSD

Se realizó un análisis de estos resultados obtenidos mediante los cálculos correspondientes para realizar un VAC, los cuales consistieron en: el precio asumido del cobre de 3 dólares por libra, una eficiencia del 70% y una ley promedio de mineral igual a 0.9%. Esto para obtener el valor de los ingresos obtenidos en la operación.

También se tuvieron en consideración las diferentes inversiones iniciales, con los respectivos gastos en implementaciones correspondientes a cada caso de los modelos de simulación.

Tenemos que los resultados de los camiones diésel son notoriamente mejores en rendimiento y eficiencia con respecto a los camiones eléctricos, pudiendo producir en cada caso una cantidad significativamente mayor de material transportado, lo que se refleja en una mejor rentabilidad en la implementación de los camiones diésel. Esto genera que al momento de tener que cumplir con una producción diaria dada por la planificación minera sería necesario una flota de equipos diésel menor a una con camiones que trabajan con electricidad.

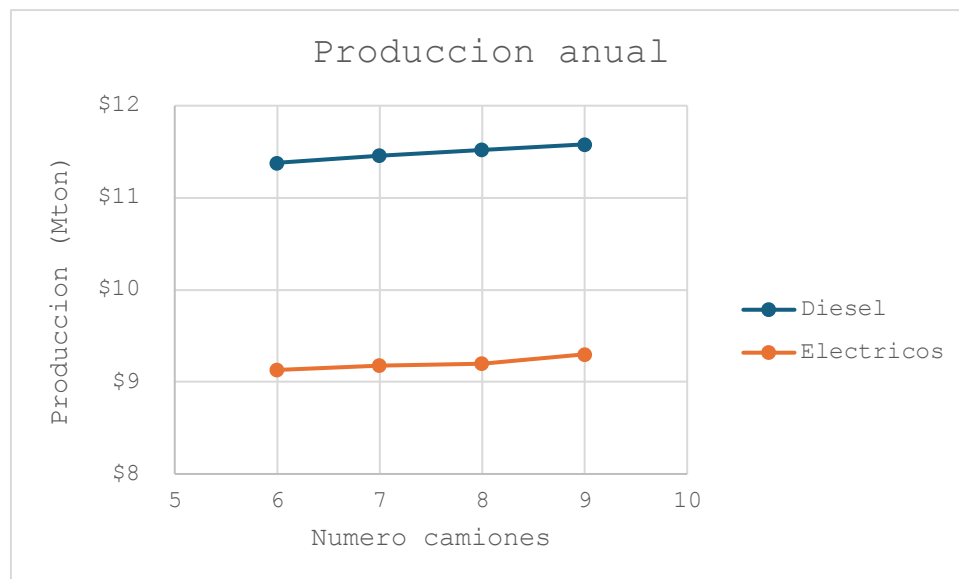


Figura 38: Grafico producción anual de camiones diésel vs eléctricos

Se tiene una diferencia en la producción aun teniendo camiones de similares características, aunque una diferencia de 10 toneladas de capacidad que influye en la producción total que generan los camiones es un factor determinante al momento de la diferencia de factibilidad económica (VAC).

Esta diferencia que se aprecia se debe además a las pausas en el trabajo de los camiones eléctricos al momento de tener que cargar sus baterías, lo que entorpece y hace una diferencia de tiempo efectivo que se ve reflejado en dichas producciones. Estas pausas no se presentan en el caso de los camiones diésel debido a como se mencionó anteriormente, a estos se los recarga el combustible durante las pausas por cambios de turno y colación.

Se presenta en la “Figura 39” un gráfico que expone la diferencia entre los costos anuales asociados a los combustibles de los distintos tipos de camiones, que consideran el gasto por carga de batería en el caso de los camiones eléctricos y los gastos de diésel para los camiones convencionales.

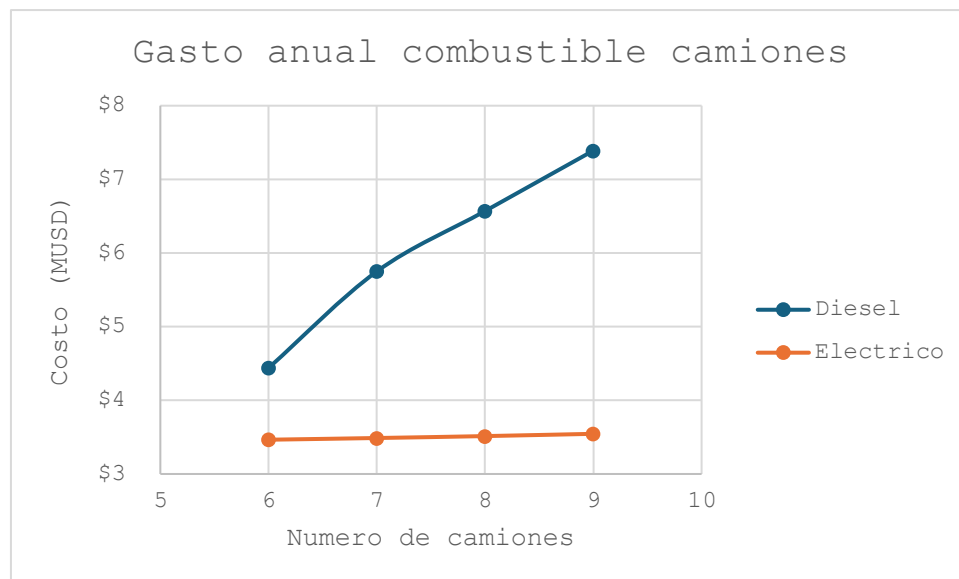


Figura 39: Grafico gasto anual de combustible de camiones diésel vs eléctricos

Se puede apreciar que el gasto anual de la carga de las baterías es mucho menor al gasto de diésel, lo que les da una ventaja a los camiones eléctricos. Pero esta ventaja se ve opacada por la inversión inicial y baja producción, ya que esta no lo logra solventar el déficit financiero que genera esta baja producción varias veces mencionada.

7.3) Análisis comparativo de producciones

Como pudimos observar, los camiones diésel presentaban los resultados más favorables en la producción, esto podría ser por 2 cosas; su operación y logístico en el sistema o la diferencia en la capacidades. Esta última debido a que al momento de realizar el estudio se presenta una diferencia de 10 toneladas favorable para los camiones diésel por la disponibilidad de equipos eléctricos, donde el utilizado para este estudio es el que presenta mayor capacidad.

Para esto, se aislaron las opciones considerando solo el número de viajes que realizaban los camiones en los diferentes sistemas y realizando una prueba z para medias de 2 muestras, y así ver si se puede despreciar la diferencia de estas muestras, donde estas muestras corresponden al promedio de vueltas.

	6 Cam Diesel	6 Cam Electrico
Media	624,168539	625,8764045
Varianza (con	426,187	165,541
Observacione	89	89
Diferencia hip	0	
z	-0,66234998	
P(Z<=z) una cc	0,25387348	
Valor crítico d	1,64485363	
Valor crítico d	0,50774696	
Valor crítico d	1,95996398	

Figura 40: Prueba z para medias de 2 muestras

Una vez realizada la prueba tenemos que el valor P que corresponde a la probabilidad de encontrar un valor igual o mas extremo que el observado. Como este valor es mayor a 0.05 que es el nivel de significancia del 95% podemos concluir que no hay evidencia de que las muestras son distintas, por lo que se considera que los 2 tipos de camiones realizan la misma cantidad de vueltas.

Posterior a esto se igualaron las producciones de ambos tipos de camiones para poder realizar una comparación económica entre ambos mediante un nuevo cálculo de VAC, pero ahora con producciones iguales. La única diferencia radicaría solo en el impacto de los costos Capex y Opex, donde los costos Capex corresponden a las inversiones iniciales como los camiones y para el caso de los camiones eléctricos se agregarían las inversiones de la instalación eléctrica y la construcción de la sala de carga de batería. Mientras que los costos Opex serían los costos operativos deducidos anualmente, los cuales serían el costo de diésel para los camiones convencionales y el costo de carga de baterías para los eléctricos.

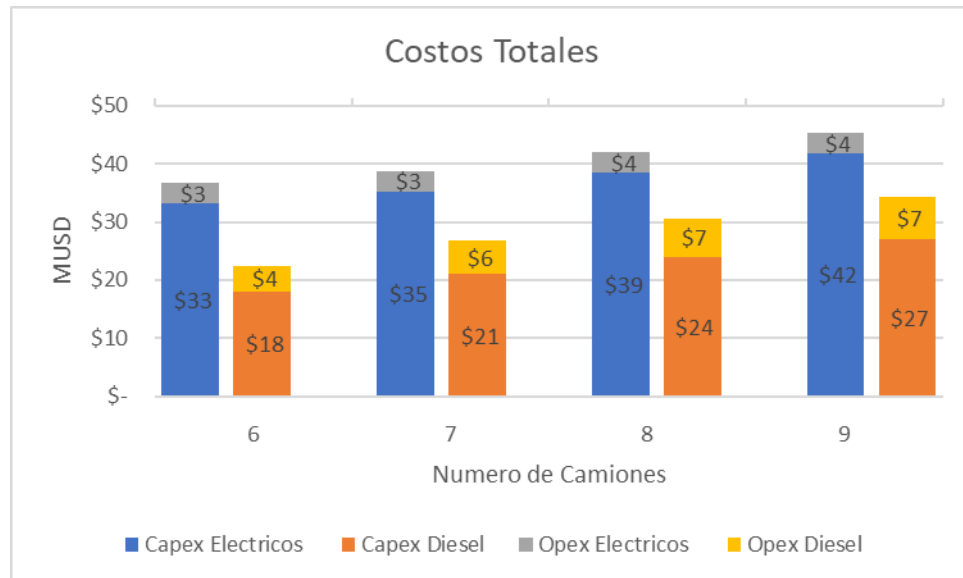


Figura 41: Grafico costos totales

Podemos observar en la Figura 41 que los camiones diésel presentan menor costos Capex, mientras que los camiones eléctricos presentan menores costos Opex, ahora al igualar las producciones veremos como se comportan los valores de VAC. Con esto podemos tener una comparación más clara y profunda en igualdad de condiciones y un estudio más completo.

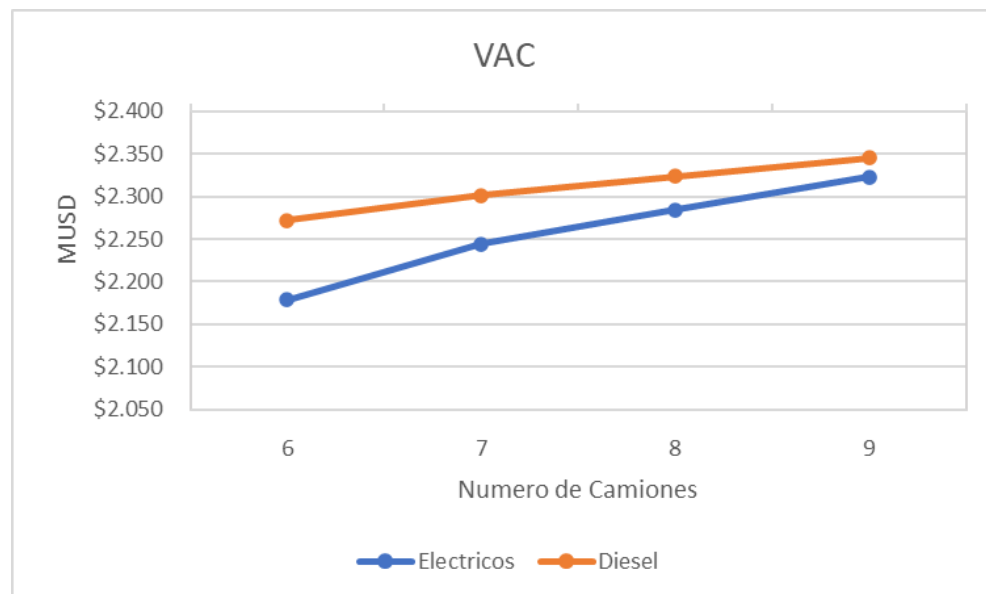


Figura 42: VAC con producciones iguales

Como podemos observar en la figura 42, con producciones iguales los camiones diesel presentan mayor valor de VAC en todos los escenarios de 6 a 9 camiones, por lo que estos serían la opción económicamente factible.

8) Conclusión

En base a los resultados y discusiones que se presentaron en el inciso anterior, tenemos que los camiones diésel presentan una mayor factibilidad económica representada en sus valores obtenidos en el VAC. Esta diferencia de VAC de casi 100 veces mayor se debe a los ingresos obtenidos con la implementación de camiones diésel, debido su mayor producción de material en el mismo intervalo de tiempo.

Se demostró gracias a la prueba z para medias de 2 muestras que se realizó que esta diferencia de producción se debió a la diferencia de capacidad de los camiones diésel frente a los eléctricos a su mayor capacidad efectiva de 10 toneladas por las limitaciones de factibilidad técnica al no haber camiones eléctricos de mayor dimension. Sabiendo así que en la operación y logística en el sistema ambos tipos de camiones tienen el mismo desempeño, por lo que la diferencia entre estos seria solo económica.

Se tuvieron en consideración para el cálculo del VAC los diferentes gastos asociados (Capex y Opex) a cada tipo de camiones como: la sala extra de carga de baterías, las baterías y sistema de alimentación eléctrica, proveniente de una conexión eléctrica desde al superficie mediante un cable para poder cargar dichas baterías que viene desde fuera de la mina para el caso de los camiones eléctricos y el uso de un camión aljibe con su respectivo gasto de combustibles para los camiones diésel junto con la inversión necesaria para las distintas alimentaciones de los camiones con valores diferentes para cada modelo. Esto generó que la inversión inicial de los camiones eléctricos fuera mayor que la de los camiones diésel, lo que género que al momento del cálculo del VAC el valor obtenido sea mucho menor, ya que la inversión inicial es un factor con alta sensibilidad con respecto al VAC.

Se obtuvo que los camiones eléctricos presentan un menor costo anual en electricidad para cargar las baterías con respecto a los costos por diésel, además de presentar una baja variación en costos anuales que generan una mayor estabilidad de estos costos con mayor número de camiones. Este factor es muy importante al momento de la explotación minera ya que es un factor determinante al momento de la planificación minera y análisis de factibilidad de faenas. Pero esto no es suficiente para compensar su alta inversión inicial y bajos ingresos asociados a su déficit en producción contra los camiones diésel, presentando una peor factibilidad económica.

Esto puede frenar la implementación de electromovilidad dentro de la minería, ya que podemos apreciar este ahorro en combustible que pudiera llegar a ser de alto impacto para la futura minería, ya que este genera un ahorro en uno de los puntos más influyentes como el gasto en combustible. También cabe destacar que si por otras razones fuera necesario ampliar la subestación eléctrica podría ser más rentable la implementación de camiones eléctricos,

Por consecuencia, tenemos que en la actualidad la implementación de camiones diésel es más viable económicamente para procesos mineros de similares características al de este estudio, obteniendo una mejor proyección económica observada en el VAC respecto a los camiones eléctricos.

9) Bibliografía

[1] Hartman, H. L., & Mutmanský, J. M. (2002). Introductory Mining Engineering (pp. 213-215). John Wiley & Sons.

[2] Komatsu Ltd. (2021). Innovations in Mining Equipment and Services (pp. 45-48). Komatsu Mining Corp.

- [3] Caterpillar Inc. (2020). Mining Technology: Autonomous & Automated Equipment (pp. 89-92). Caterpillar Global Mining.
- [4] Hustrulid, W., & Kuchta, M. (1995). Open Pit Mine Planning and Design (pp. 317-320). CRC Press.
- [5] Runge, I. C. (1998). Mining Economics and Strategy (pp. 101-105). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- [6] Banks, J., Carson II, J. S., & Nelson, B. L. (1996). "Discrete-event system simulation".
- [7] Palma J (2023). Simulación de Procesos Mineros, Apuntes de Curso. Universidad de Concepción.
- [8] Averill M. Law y W. David Kelton (1991). "Simulation Modeling and Analysis".
- [9] Cristóbal Ortiz, 2018. Tesis: Desarrollo de un modelo de simulación como herramienta para el análisis de capacidad y planificación operacional los bronce. Universidad de Chile, Chile.
- [10] Immersive technology (2021). Immersive-Technologies-Provides-Autonomous-Training-Solution-for-Rio-Tintos-Gudai-Darri-Mine_SP.
- [11] Dr. Anne Charland, Martin P, Adrienne R, Mr. Martin B, Sophie B. (2018). Eleonor operation NI 43-101 Technical Report.
- [12] Arena software. (s/f) Rockwell Automation. (Recuperado el 20 de mayo de 2024) en <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/software/arena-simulation/buying-options.html>.
- [13] ProModel software. (s/f) ProModel Corporation. (Recuperado el 20 de mayo de 2024) en: <https://www.promodel.com/products/ProModel>.
- [14] Jaamsim software- (s/f) Jaamsim. (Recuperado el 20 de mayo de 2024) en: <https://jaamsim.com/downloads.html>
- [15] Jaamsim user manual, Software Version: 2021-04. (Recuperado el 20 de mayo de 2024) en: <https://jaamsim.com/docs/JaamSim%20User%20Manual%202021-04.pdf>
- [16] Sandvik. TH663i Camion Subterráneo. Sandvik Rock Technology. (Recuperado el 20 de mayo de 2024) en: <https://www.rocktechnology.sandvik/es-la/productos/equipo/camiones/th663i-cami%C3%B3n-subterr%C3%A1neo/>

[17] Sandvik. TH550B Camión Subterráneo. Sandvik Rock Technology. (Recuperado el 20 de mayo del 2024), de <https://www.rocktechnology.sandvik/es-la/productos/equipo/camiones/th550bcamion-el-actrico-a-bater-ADa-para-operaciones-subterraneas/>

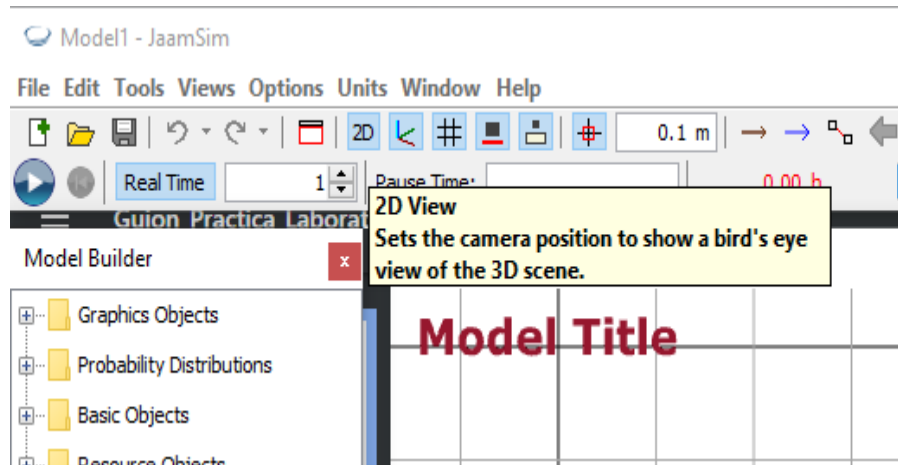
[18] Rocktechnology sandvik (2024). Camiones subterraneos. TH550B technical specifications English.

[19] Rocktechnology sandvik (2024). Camiones subterraneos. TH663i specification sheet English.

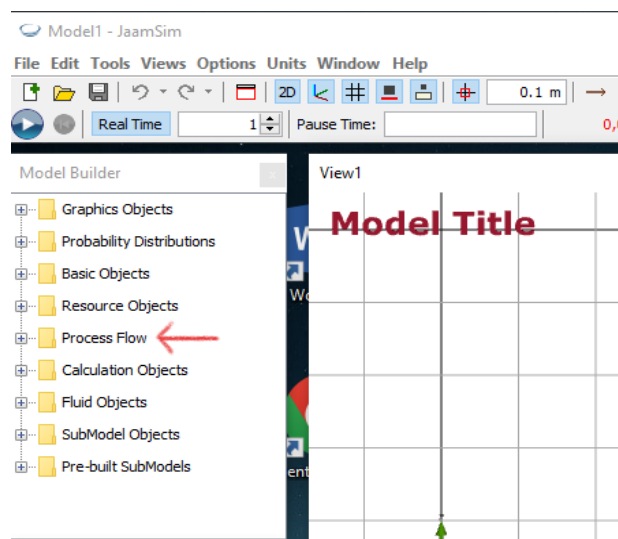
10) Anexos

9.1) Anexo A: tutorial Jaamsim

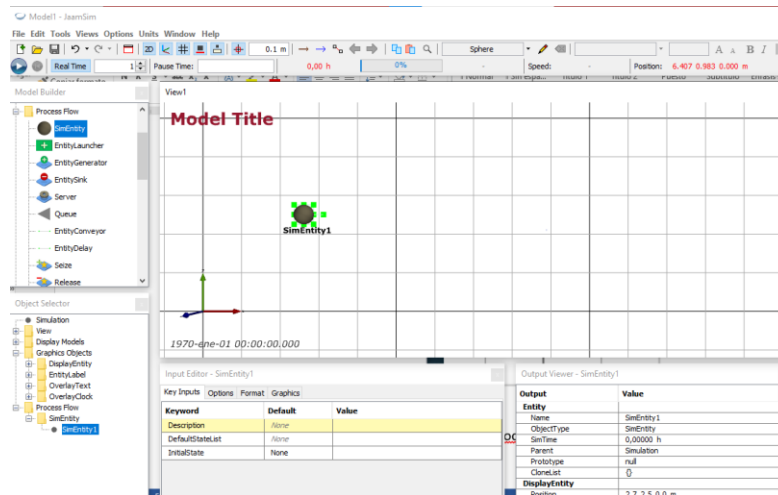
Seleccionar la opción de 2D en la barra de herramientas en la parte superior del programa.



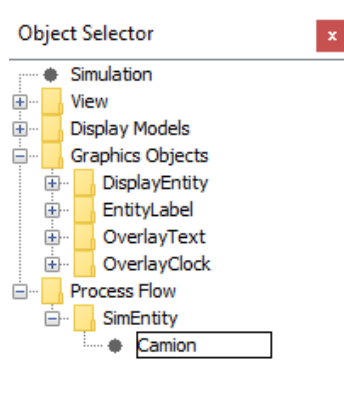
Luego, expandir la carpeta “*Process Flow*” ubicada en la ventana lateral “*Model Builder*”, en ella se encontrarán las entidades principales para realizar la construcción de modelamientos de diversos procesos.



Arrastrar la entidad “*Sim Entity*” de la carpeta “*Model Builder*” a la ventana principal.



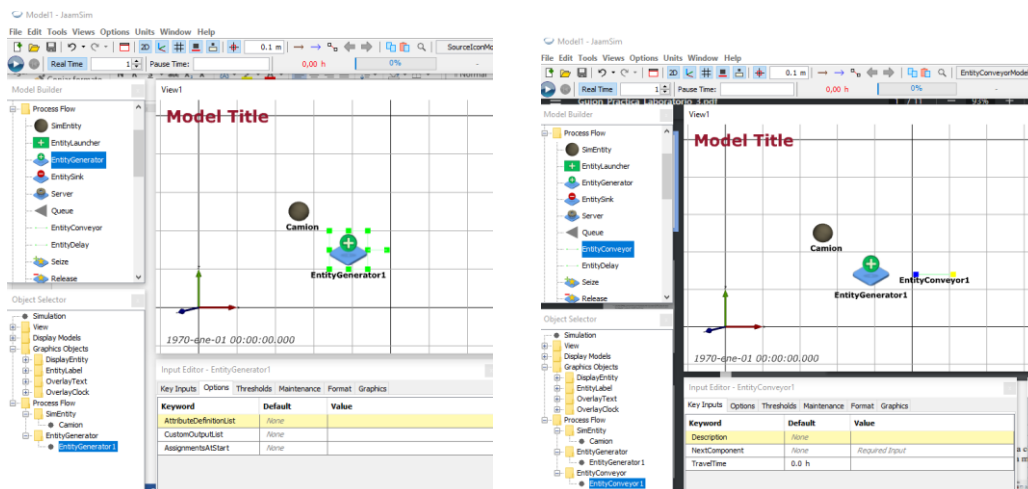
En la ventana “*Object Selector*” podremos observar la entidad que acabamos de crear, aquí aparecerán todas las entidades que iremos creando. Ahora procedemos a cambiar el nombre de esta entidad a “Camion” Haciendo 3 clics en ella.



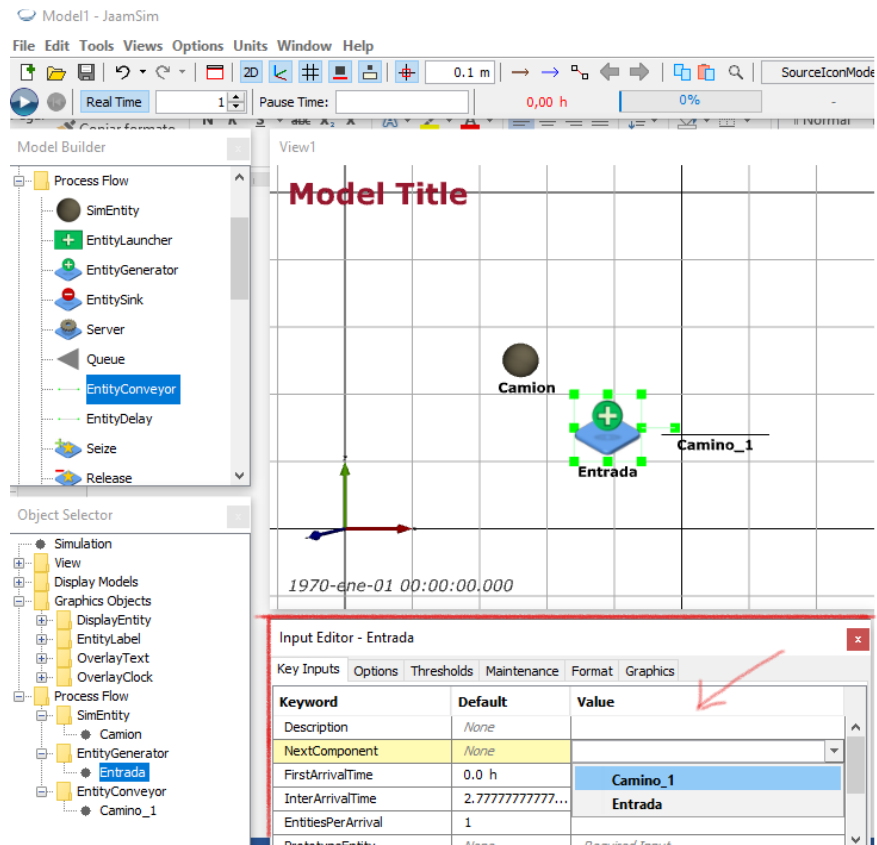
Ahora vamos a la pestaña “*Options*” en la ventana “*Input Editor*” ubicada en la parte inferior del programa y en la casilla “*AttributeDefinitionsList*” escribimos “PB 1” para crear un atributo para la entidad “Camion” que tendrá como valor inicial 1.

Input Editor - Camion		
Key Inputs	Options	Format
Keyword	Default	Value
AttributeDefinitionList	None	{ PB 1 }
CustomOutputList	None	

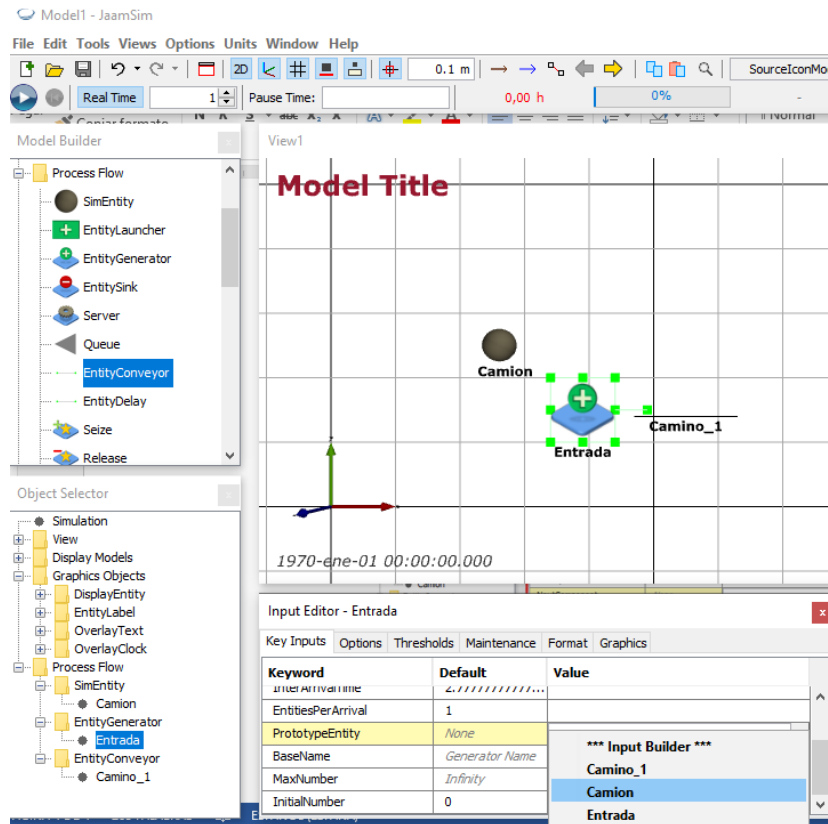
Arrastramos ahora la entidad “*Entity Generator*” a nuestra ventana principal, después hacemos lo mismo con la entidad “*Entity Conveyor*” y cambiamos sus nombres por “*Entrada*” y “*Camino_1*” respectivamente.



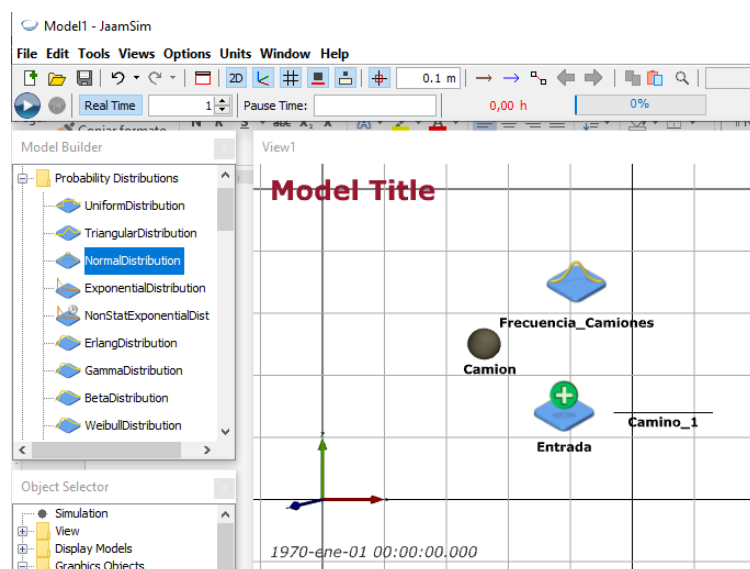
Seleccionamos “*Entity Generator*”, vamos a la pestaña “*key Inputs*” en la ventana “*Input Builder*” en la parte inferior del programa y después en la parte de “*Next Component*” seleccionamos “*Camino_1*”.



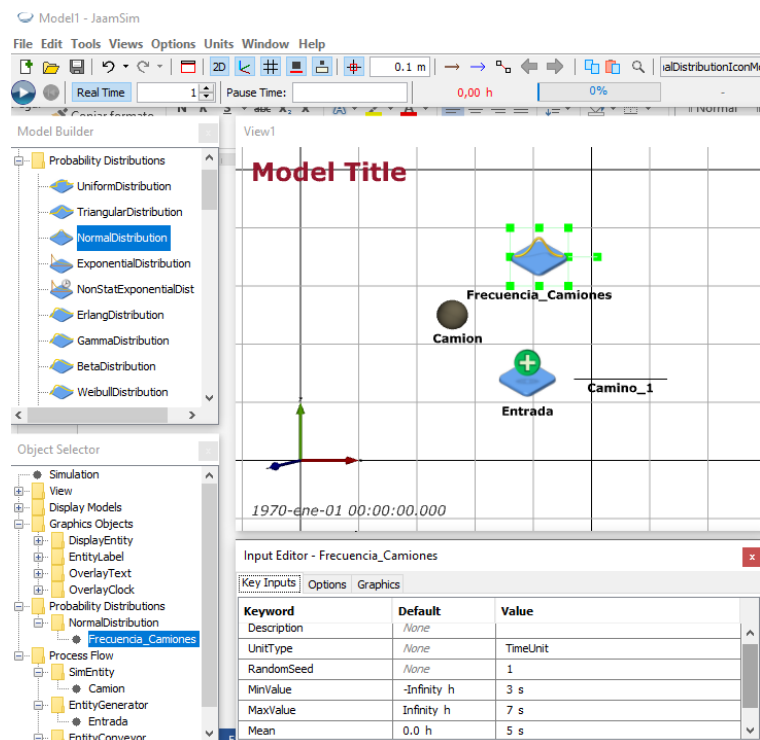
En la misma pestaña, en “PrototypeEntity” seleccionaremos “Camion”.



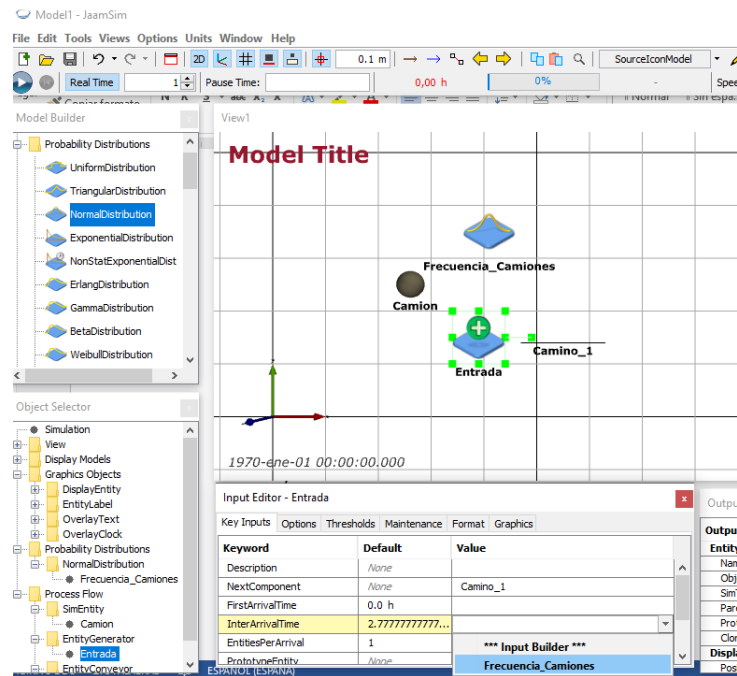
En la ventana “*Model Builder*” iremos a la carpeta “*Probability Distributions*” y arrastraremos a “*NormalDistribution*” hacia la ventana principal y cambiaremos su nombre a “*Frecuencia_Camiones*”.



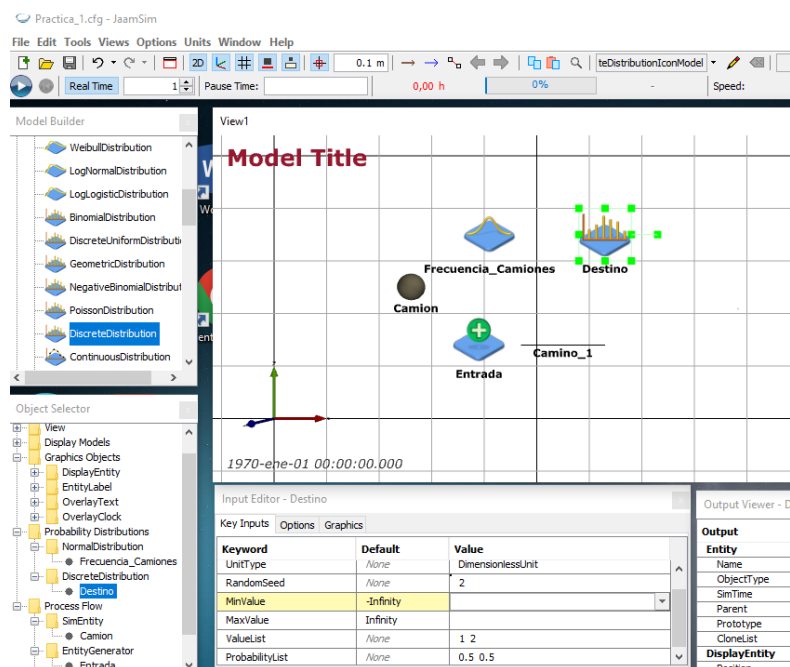
Hacemos clic en “*Frecuencia_Camiones*” y vamos a la pestaña “*key Inputs*” en la ventana “*Input Builder*”, seleccionamos la opción de “*TimeUnit*” en la parte de “*UnitType*” y el resto con los datos de la siguiente imagen:



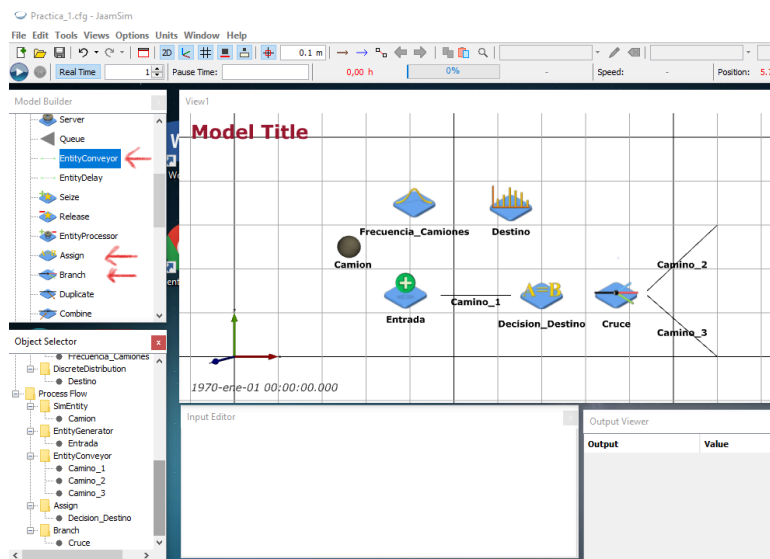
Luego volvemos a seleccionar “*Entrada*” y modificamos en la parte de “*InterArrivalTime*” y seleccionamos la opción “*Frecuencia_Camiones*”.



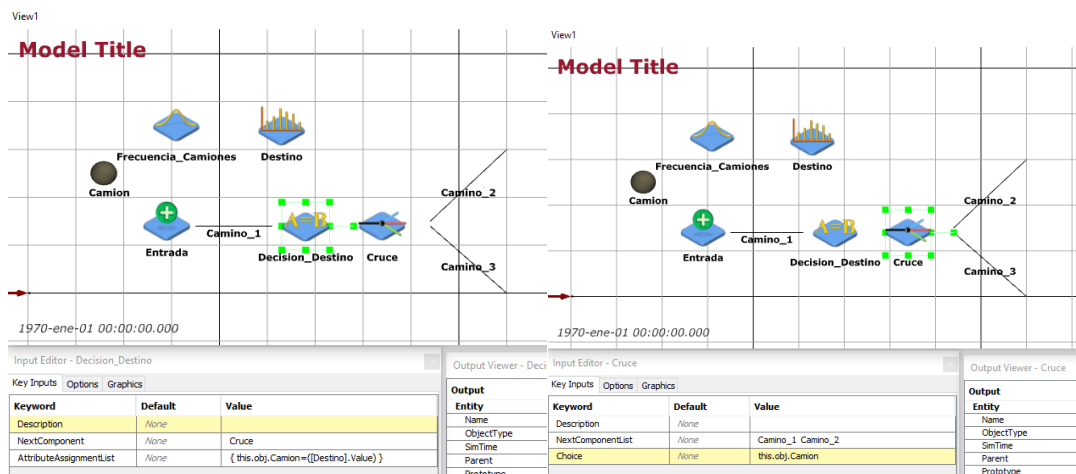
Usaremos una “DiscreteDistribution” arrastrándola desde la ventana “Model Builder”, modificaremos esta misma en la pestaña “Key Inputs” donde escogeremos “DimensionLessUnit” en “UnitType”, en “1 2” en “ValueList” y “0.5 0.5” en “ProbabilityList” dejando “RandomSeed” en 2 que esta por defecto.



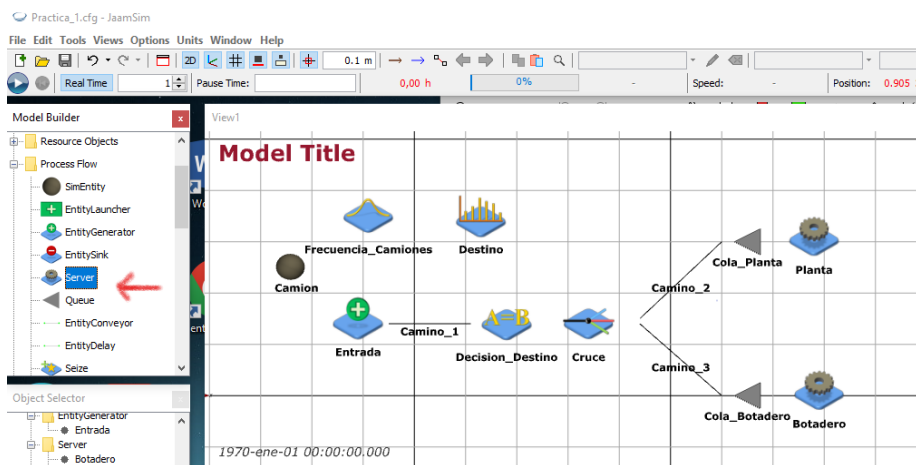
Arrastramos desde la carpeta “Process Flow” la HHH “Assign” y “Branch” a las cuales nombraremos “Decision_Destino” y “Cruce” respectivamente. Luego arrastramos de la misma carpeta 2 “EntityConveyor” las cuales nombraremos como “Camino_2” y “Camino_3”.



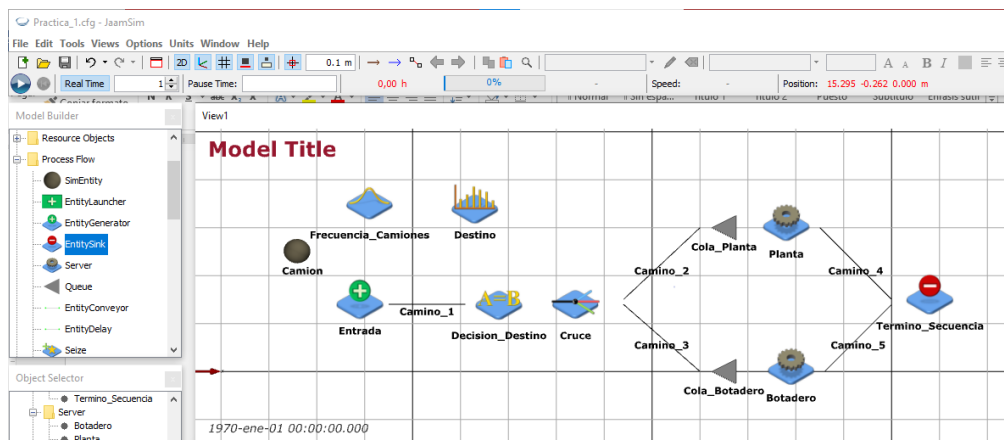
Luego volvemos a seleccionar “Decision_Destino” donde escogemos “Cruce” como “NextComponent” y en “AttributeAssignmentList” utilizaremos en código “{this.obj.PB=([Destino].Value)}”. Mientras que para “Cruce” seleccionaremos como “NextComponent” a “Camino_2” y “Camino_3”, en la casilla de “Choice” usaremos el código “{This.obj.PB}”.



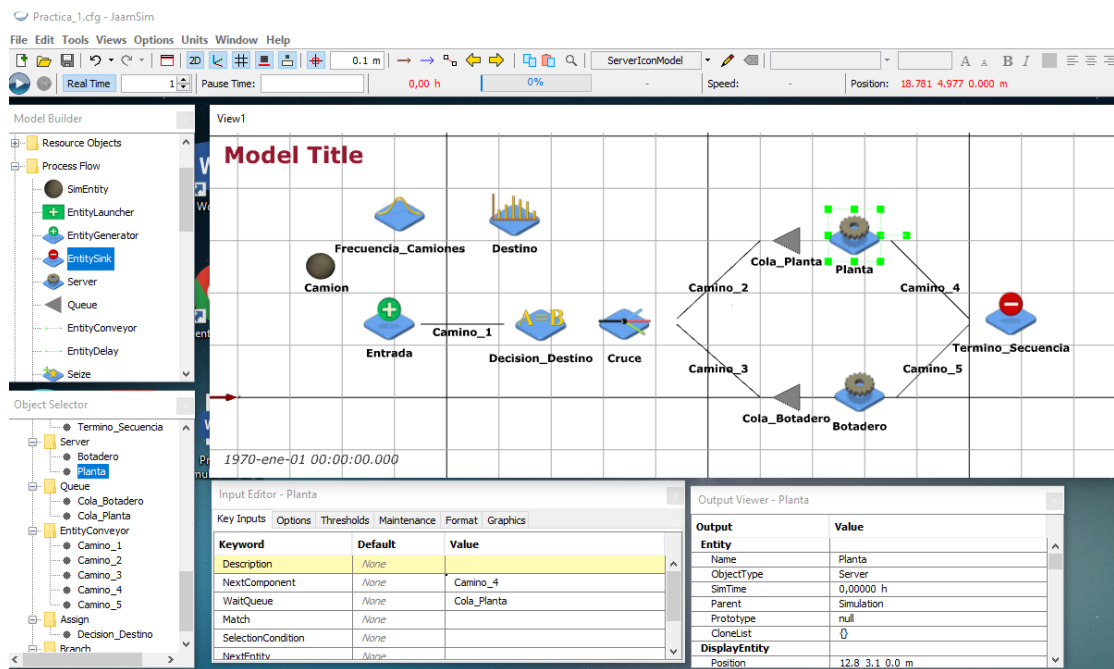
Arrastramos desde “*Process Flow*” 2 “*Server*” que nombraremos “*Planta*” y “*Botadero*”, 2 “*Queue*” que nombraremos “*Cola_Planta*” y “*Cola_Botadero*”. Ubicaremos uno de cada uno de estos al final de “*Camino_2*” y “*Camino_3*”. En estos caminos seleccionaremos su cola correspondiente como “*NextComponent*” y en “*TravelTime*” pondremos “2 s” en la pestaña “*Key Inputs*”.



Ahora creamos 2 “*EntityConveyor*” a continuación de los server *Planta* y *Botadero* que nombraremos “*Camino_4*” y *Camino_5*” los cuales se juntaran y en su unión arrastramos de “*Process Flow*” la HHH “*EntitySink*” que nombraremos “*Termino_Secuencia*”.



Para Finalizar el modelo seleccionamos “Planta” y “Botadero” para escoger “Camino_4” y “Camino_5” como “NextComponent” respectivamente, sus colas correspondientes en la casilla “WaitQueue” y “ServiceTime” de 5 s. Para “Camino_4” y “Camino_5” seleccionamos “Termino_Secuencia” como “NextComponent” y 2 s de “TravelTime” para ambos.



Con esto ya tenemos terminado nuestro modelo el cual ya podemos guardar y observar su funcionamiento haciendo clic el icono de “Run” en la barra de tareas ubicada en la parte superior derecha.

9.2) Anexo B: Código de programación elección entre parte superior o inferior en nivel de producción para destino del camión

Para elección parte superior o inferior

```
{this.obj.Pique=((((([Pex41].Capacity-
[Pex41].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(31)(2))+([Pex42].Capacity-
[Pex42].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(32)(2))+([Pex43].Capacity-
[Pex43].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(33)(2))+([Pex44].Capacity-
[Pex44].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(34)(2))+([Pex45].Capacity-
```

```
[Pex45].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(35)(2)))<=((([Pex46].Capacity-
[Pex46].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(36)(2))+((([Pex47].Capacity-
[Pex47].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(37)(2))+((([Pex48].Capacity-
[Pex48].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(38)(2))+((([Pex49].Capacity-
[Pex49].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(39)(2))+((([Pex410].Capacity-
[Pex410].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(40)(2))))?1:2) }
```

9.3) Anexo C: Código programación elección de punto de extracción en parte superior

```
{this.obj.Pique=((((([Pex41].Capacity-
[Pex41].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(31)(2))<=((([Pex42].Capacity-
[Pex42].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(32)(2)))&&((((([Pex41].Capacity-
[Pex41].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(31)(2))<=((([Pex43].Capacity-
[Pex43].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(33)(2)))&&((((([Pex41].Capacity-
[Pex41].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(31)(2))<=((([Pex44].Capacity-
[Pex44].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(34)(2)))&&((((([Pex41].Capacity-
[Pex41].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(31)(2))<=((([Pex45].Capacity-
[Pex45].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(35)(2))))?1:((((([Pex42].Capacity-
[Pex42].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(32)(2))<=((([Pex43].Capacity-
[Pex43].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(33)(2)))&&((((([Pex42].Capacity-
[Pex42].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(32)(2))<=((([Pex44].Capacity-
[Pex44].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(34)(2)))&&((((([Pex42].Capacity-
[Pex42].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(32)(2))<=((([Pex45].Capacity-
[Pex45].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(35)(2))))?2:((((([Pex43].Capacity-
[Pex43].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(33)(2))<=((([Pex44].Capacity-
[Pex44].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(34)(2)))&&((((([Pex43].Capacity-
[Pex43].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(33)(2))<=((([Pex45].Capacity-
[Pex45].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(35)(2))))?3:((((([Pex44].Capacity-
[Pex44].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(34)(2))<=((([Pex45].Capacity-
[Pex45].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(35)(2))))?4:5)) }
```

9.4) Anexo D: Código programación elección de punto de extracción en parte inferior

```
{this.obj.Pique=(((([Pex46].Capacity-[Pex46].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(36)(2))<=(([Pex47].Capacity-[Pex47].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(37)(2)))&&(((([Pex46].Capacity-[Pex46].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(36)(2))<=(([Pex48].Capacity-[Pex48].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(38)(2)))&&(((([Pex46].Capacity-[Pex46].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(36)(2))<=(([Pex49].Capacity-[Pex49].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(39)(2)))&&(((([Pex46].Capacity-[Pex46].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(36)(2))<=(([Pex410].Capacity-[Pex410].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(40)(2))))?6:(((([Pex47].Capacity-[Pex47].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(37)(2))<=(([Pex48].Capacity-[Pex48].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(38)(2)))&&(((([Pex47].Capacity-[Pex47].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(37)(2))<=(([Pex49].Capacity-[Pex49].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(39)(2)))&&(((([Pex47].Capacity-[Pex47].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(37)(2))<=(([Pex410].Capacity-[Pex410].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(40)(2))))?7:(((([Pex48].Capacity-[Pex48].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(38)(2))<=(([Pex49].Capacity-[Pex49].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(39)(2)))&&(((([Pex48].Capacity-[Pex48].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(38)(2))<=(([Pex410].Capacity-[Pex410].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(40)(2))))?8:(((([Pex49].Capacity-[Pex49].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(39)(2))<=(([Pex410].Capacity-[Pex410].UnitsInUse)/[FileToMatrix1].Value(40)(2))))?9:10) }
```

9.4) Anexo E: Código decisión entrada a puntos de extracción

```
{ this.obj.LHD4=(this.obj.Pique==1)?1:((this.obj.Pique==6)?2:0) }
```

Se realiza de la misma forma para los demás pares de puntos de extracción que coinciden con los cruzados de producción (2-7, 3-8, 4-9 y 5-10)

9.5) Anexo F: Código elección entre sección 1, 2 y zona B en nivel de transporte intermedio para destino del camión

```
{this.obj.Camion=(((([Pique_1].UnitsInUse-  
([Cola_Pique01].QueueLength*40))+([Pique_2].UnitsInUse-  
([Cola_Pique02].QueueLength*40))+([Pique_3].UnitsInUse-  
([Cola_Pique03].QueueLength*40))+([Pique_4].UnitsInUse-  
([Cola_Pique04].QueueLength*40))+([Pique_5].UnitsInUse-  
([Cola_Pique05].QueueLength*40))+([Pique_6].UnitsInUse-  
([Cola_Pique06].QueueLength*40)))>=([Pique_7].UnitsInUse-  
([Cola_Pique07].QueueLength*40))+([Pique_8].UnitsInUse-  
([Cola_Pique08].QueueLength*40))+([Pique_9].UnitsInUse-  
([Cola_Pique09].QueueLength*40))+([Pique_10].UnitsInUse-  
([Cola_Pique10].QueueLength*40))+([Pique_11].UnitsInUse-  
([Cola_Pique11].QueueLength*40))+([Pique_12].UnitsInUse-  
([Cola_Pique12].QueueLength*40))))?(((([Pique_1].UnitsInUse-  
([Cola_Pique01].QueueLength*40))+([Pique_2].UnitsInUse-  
([Cola_Pique02].QueueLength*40))+([Pique_3].UnitsInUse-  
([Cola_Pique03].QueueLength*40)))>=([Pique_4].UnitsInUse-  
([Cola_Pique04].QueueLength*40))+([Pique_5].UnitsInUse-  
([Cola_Pique05].QueueLength*40))+([Pique_6].UnitsInUse-  
([Cola_Pique06].QueueLength*40))))?0:1):2) }
```

9.6) Anexo G: Código elección entre sección 3 y 4 para destino del camión

```
{this.obj.Camion=([Pique_10].UnitsInUse-  
([Cola_Pique10].QueueLength*40))+([Pique_11].UnitsInUse-
```

```

([Cola_Pique11].QueueLength*40))+([Pique_12].UnitsInUse-
([Cola_Pique12].QueueLength*40)))>=((([Pique_7].UnitsInUse-
([Cola_Pique07].QueueLength*40))+([Pique_8].UnitsInUse-
([Cola_Pique08].QueueLength*40))+([Pique_9].UnitsInUse-
([Cola_Pique09].QueueLength*40)))) }

```

9.7) Anexo H: código elección entre piques de la zona determinada

Elección para determinar si entra al primer pique.

```

{this.obj.Camion=((([Pique_3].UnitsInUse-
[Cola_Pique03].QueueLength*40))>=([Pique_2].UnitsInUse-
[Cola_Pique02].QueueLength*40))&&(([Pique_3].UnitsInUse-
[Cola_Pique03].QueueLength*40))>=([Pique_1].UnitsInUse-
[Cola_Pique01].QueueLength*40)))?1:0 }

```

Elección para determinar si entra al segundo o tercer pique.

```

{this.obj.Camion=((([Pique_2].UnitsInUse-
[Cola_Pique02].QueueLength*40))>=([Pique_1].UnitsInUse-
[Cola_Pique01].QueueLength*40)))*(1-this.obj.Cargado))?1:0 }

```

Se realiza las mismas elecciones para las demás ternas de piques (4-5-6, 7-8-9, 10-11-12)

```

{this.obj.Camion=((([Pique_2].UnitsInUse-
[Cola_Pique02].QueueLength*40))>=([Pique_1].UnitsInUse-
[Cola_Pique01].QueueLength*40)))*(1-this.obj.Cargado))?1:0 }

```

9.8) Anexo I: Resultados simulación 6 camiones eléctricos y su flujo de caja

Dia	Producción	N° Cargas
1	24120	54
2	49600	112
3	74040	168
4	99560	227
5	124160	283
6	1496520	342
7	175040	400
8	199520	455
9	225000	515
10	249400	570
11	275000	629
12	299480	684
13	324840	743
14	350360	802
15	374720	857
16	400240	913
17	424600	971
18	450120	1026
19	474600	1083
20	499920	1140
21	525440	1199
22	549880	1254
23	575320	1313
24	599640	1367
25	625160	1427
26	649680	1481
27	675080	1541
28	700560	1597

29	724960	1655
30	750480	1709
31	774840	1768
32	800320	1825
33	824960	1880
34	850240	1937
35	875880	1997
36	900360	2051
37	925760	2111
38	950200	2165
39	975680	2225
40	1000240	2279
41	1025520	2338
42	1050960	2395
43	1075200	2451
44	1100720	2508
45	1125080	2565
46	1150600	2621
47	1175160	2678
48	1200560	2735
49	1226120	2793
50	1250440	2848
51	1275880	2908
52	1300400	2962
53	1325880	3021
54	1350480	3076
55	1375840	3134
56	1401400	3191
57	1425800	3247
58	1451320	3305
59	1475760	3360
60	1501320	3419
61	1525800	3474

62	1551160	3533
63	1576560	3591
64	1601000	3646
65	1626480	3704
66	1650960	3760
67	1676400	3818
68	1700880	3873
69	1726240	3932
70	1751760	3988
71	1776120	4045
72	1801720	4101
73	1826120	4159
74	1851560	4216
75	1876080	4272
76	1901520	4330
77	1927040	4387
78	1951400	4444
79	1976960	4501
80	2001400	4558
81	2026880	4615
82	2051440	4670
83	2076800	4729
84	2102320	4786
85	2126760	4840
86	2152320	4900
87	2176720	4954
88	2202320	5014
89	2226880	5068
90	2252240	5127

Año	0	1	2	3	4	5	6
Producción		\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000

Ingresos		\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628
Costos	\$ 20.792	\$ 3.465.333	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167
Inversión Equipos	\$ 18.000.000	}	-	-	-	-	-
Inversión CAPEX	\$ 4.200.000	-	-	-	-	-	-
Inversión total	\$ 1.522.200.000	-	-	-	-	-	-
inversión preparacion	\$ 1.500.000.000						
Flujo de caja		\$ 1.145.349.705	\$ 768.579.244	\$ 391.808.783	\$ 15.038.321	\$ 361.732.140	\$ 738.502.601
VNA	\$1.618.763.875,34						
VA	\$ 1.040						
VAC	\$ 96.563.875						

Año	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Producción	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000	\$ 9.130.000
Ingresos	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628	\$ 380.315.628
Costos	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167
Inversión Equipos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión CAPEX	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión total	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

inversión preparación									
Flujo de caja	\$ 1.115.27 3.063	\$ 1.492.04 3.524	\$ 1.868.81 3.985	\$ 2.245.58 4.447	\$ 2.622.35 4.908	\$ 2.999.12 5.369	\$ 3.375.89 5.831	\$ 3.752.66 6.292	\$ 4.129.43 6.753
VNA									
VA									
VAC									

9.9) Anexo J: Resultados simulación 7 camiones eléctricos y su flujo de caja

Día	Producción	N° Cargas
1	24280	53
2	49840	112
3	74360	168
4	99960	227
5	124640	283
6	150120	344
7	175720	402
8	200240	459
9	225880	519
10	250480	573
11	276160	633
12	300880	688
13	326520	747
14	352200	805
15	376720	861
16	402440	920
17	427000	975
18	452640	1035
19	477360	1090

20	502880	1148
21	528520	1208
22	553120	1264
23	578720	1321
24	603280	1376
25	628920	1435
26	653680	1492
27	679200	1551
28	704800	1608
29	729360	1665
30	755040	1722
31	779680	1778
32	805240	1837
33	829920	1893
34	855320	1952
35	880960	2008
36	905440	2064
37	931120	2124
38	955680	2179
39	981240	2238
40	1006000	2294
41	1031560	2352
42	1057160	2441
43	1081760	2466
44	1107320	2526
45	1131880	2581
46	1157440	2638
47	1182200	2694
48	1207600	2753
49	1233240	2812
50	1257840	2868
51	1283440	2926
52	1308040	2982

53	1333720	3041
54	1358400	3096
55	13838800	3155
56	1409520	3212
57	1434200	3269
58	1459840	3328
59	1484400	3385
60	1510000	3443
61	1534720	3498
62	1560280	3556
63	1585880	3615
64	1610440	3670
65	1636120	3730
66	1660760	3786
67	1686440	3843
68	1711120	3899
69	1736520	3957
70	1762240	4017
71	1786800	4073
72	1812520	4130
73	1837080	4186
74	1862800	4245
75	1887520	4301
76	1913080	4360
77	1938640	4417
78	1963160	4473
79	1988760	4532
80	2013320	4587
81	2039000	4646
82	2063800	4703
83	2089240	4760
84	2114920	4819
85	2139520	4875

86	2165120	4932
87	2189600	4987
88	2215240	5047
89	2239920	5103
90	2265320	5161

Año	0	1	2	3	4	5	6
Producción		\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000
Ingresos		\$ 382.398.40 8	\$ 382.398.40 8	\$ 382.398.40 8	\$ 382.398.40 8	\$ 382.398.40 8	\$ 382.398.40 8
Costos	\$ 20.930	\$ 3.488.333	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167
Inversión Equipos	\$ 21.000.000	}	-	-	-	-	-
Inversión CAPEX	\$ 4.200.000	-	-	-	-	-	-
Inversión total	\$ 1.525.200.000	-	-	-	-	-	-
inversión preparacio n	\$ 1.500.000.000						
Flujo de caja		\$ - 1.146.289. 925	\$ - 767.436.68 4	\$ - 388.583.44 3	\$ - 9.730.201	\$ 369.123.04 0	\$ 747.976.28 1
VNA	\$1.652.919.02 0,65						
VA	\$ 1.047						
VAC	\$ 127.719.021						

Año	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Producción	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000	\$ 9.180.000
Ingresos	\$ 382.398.408	\$ 382.398.408	\$ 382.398.408	\$ 382.398.408	\$ 382.398.408	\$ 382.398.408	\$ 382.398.408	\$ 382.398.408	\$ 382.398.408
Costos	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167
Inversión Equipos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión CAPEX	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión total	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
inversión preparacion									
Flujo de caja	\$ 1.126.829.523	\$ 1.505.682.764	\$ 1.884.536.005	\$ 2.263.389.247	\$ 2.642.242.488	\$ 3.021.095.729	\$ 3.399.948.971	\$ 3.778.802.212	\$ 4.157.655.453
VNA									
VA									
VAC									

9.10) Anexo K: Resultados simulación 8 camiones eléctricos y su flujo de caja

Dia	Producción	N° Cargas
1	24360	54
2	50040	112
3	74960	168

4	100680	228
5	125520	284
6	151240	344
7	177000	402
8	201760	458
9	227480	521
10	252240	578
11	277960	634
12	302800	690
13	328560	752
14	354280	810
15	379000	866
16	404840	925
17	429560	982
18	455360	1041
19	480200	1097
20	505840	1156
21	531560	1214
22	556320	1271
23	582160	1329
24	606960	1385
25	632720	1445
26	657640	1501
27	683240	1560
28	708920	1618
29	733600	1676
30	759360	1734
31	784120	1790
32	809800	1848
33	834680	1905
34	860240	1965
35	885920	2023
36	910640	2079

37	936360	2137
38	961040	2193
39	986720	2255
40	1011640	2311
41	1037200	2367
42	1063000	2428
43	1087720	2484
44	1113400	2542
45	1138160	2598
46	1163840	2658
47	1188680	2713
48	1214280	2773
49	1239960	2831
50	1264720	2887
51	1290440	2948
52	1315160	3004
53	1341040	3062
54	1365920	3118
55	1391520	3178
56	1417280	3237
57	1442000	3293
58	1467800	3352
59	1492600	3409
60	1518400	3466
61	1543240	3522
62	1568840	3583
63	1594560	3641
64	1619320	3698
65	1645040	3757
66	1669840	3813
67	1695480	3872
68	1720320	3927
69	1745920	3988

70	1771600	4046
71	1796240	4102
72	1822040	4161
73	1846760	4218
74	1872640	4276
75	1897480	4333
76	1923120	4390
77	1948960	4452
78	1973640	4508
79	1999400	4565
80	2024200	4621
81	2049920	4680
82	2074800	4738
83	2100400	4796
84	2126160	4855
85	2150800	4911
86	2176560	4969
87	2201360	5025
88	2227040	5058
89	2251880	5141
90	2277520	5200

Año	0	1	2	3	4	5	6
Producción		\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000
Ingresos		\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520
Costos	\$ 21.088	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667
Inversión Equipos	\$ 24.000.000	}	-	-	-	-	-
Inversión CAPEX	\$ 4.200.000	-	-	-	-	-	-

Inversión total	\$ 1.528.200.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
inversión preparacion	\$ 1.500.000.000						
Flujo de caja		\$ 1.148.483.147	\$ 768.766.293	\$ 389.049.440	\$ 9.332.587	\$ 370.384.267	\$ 750.101.120
VNA	\$1.658.649.659,90						
VA	\$ 1.054						
VAC	\$ 130.449.660						

Año	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Producción	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000	\$ 9.200.000
Ingresos	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520	\$ 383.231.520
Costos	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667	\$ 3.514.667
Inversión Equipos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión CAPEX	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión total	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
inversión preparacion									
Flujo de caja	\$ 1.129.817.973	\$ 1.509.534.827	\$ 1.889.251.680	\$ 2.268.968.533	\$ 2.648.685.387	\$ 3.028.402.240	\$ 3.408.119.093	\$ 3.787.835.947	\$ 4.167.552.800

VNA									
VA									
VAC									

9.11) Anexo L: Resultados simulación 9 camiones eléctricos y su flujo de caja

Dia	Producción	N° Cargas
1	24600	54
2	50480	114
3	75400	171
4	101280	228
5	126320	288
6	152120	346
7	178040	405
8	202920	463
9	228840	523
10	253760	581
11	279680	639
12	304760	695
13	330600	756
14	356480	815
15	381400	872
16	407320	931
17	432440	989
18	458400	1049
19	483480	1104
20	509200	1164
21	535040	1224
22	559960	1280
23	585920	1340

24	610800	1397
25	636680	1456
26	661720	1512
27	687520	1574
28	713440	1631
29	738360	1688
30	764200	1748
31	789200	1805
32	815040	1864
33	840040	1921
34	864840	1980
35	891720	2039
36	916640	2095
37	942560	2156
38	967440	2213
39	993400	2274
40	1018400	2328
41	1044080	2388
42	1069920	2447
43	1094800	2503
44	1120720	2564
45	1145600	2620
46	1171480	2680
47	1196600	2735
48	1222360	2796
49	1248200	2855
50	1273120	2911
51	1299000	2972
52	1323920	3028
53	1349800	3089
54	1374840	3144
55	1400680	3204
56	1426600	3262

57	1451440	3321
58	1477400	3378
59	1502360	3439
60	1528280	3495
61	1553360	3552
62	1579280	3612
63	1605080	3673
64	1630040	3729
65	1655920	3790
66	1680800	3845
67	1706640	3906
68	1731680	3962
69	1757400	4021
70	1783320	4079
71	1808320	4136
72	1834360	4197
73	1859200	4252
74	1885000	4314
75	1910080	4368
76	1935800	4431
77	1961840	4487
78	1986640	4547
79	2012640	4603
80	2037680	4662
81	2063480	4719
82	2088520	4777
83	2114320	4836
84	2140160	4898
85	2165040	4953
86	2191040	5013
87	2216080	5069
88	2241960	5130
89	2267040	5186

90	2292680	5245
----	---------	------

Año	0	1	2	3	4	5	6
Producción		\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000
Ingresos		\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080
Costos	\$ 21.271	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167	\$ 3.545.167
Inversión Equipos	\$ 27.000.000	}	-	-	-	-	-
Inversión CAPEX	\$ 4.200.000	-	-	-	-	-	-
Inversión total	\$ 1.531.200.000	-	-	-	-	-	-
inversión preparacio n	\$ 1.500.000.000						
Flujo de caja		\$ - 1.147.348.087	\$ - 763.496.173	\$ - 379.644.260	\$ 4.207.653	\$ 388.059.567	\$ 771.911.480
VNA	\$1.740.494.300						
VA	\$ 1.064						
VAC	\$209.294.300						

Año	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Producción	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000	\$ 9.300.000
Ingresos	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080	\$ 387.397.080

	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	3.545.16	3.545.16	3.545.16	3.545.16	3.545.16	3.545.16	3.545.16	3.545.16	3.545.16
Costos	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Inversión Equipos	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversión CAPEX	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inversión total	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
inversión preparac ion									
Flujo de caja	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	1.155.76	1.539.61	1.923.46	2.307.31	2.691.17	3.075.02	3.458.87	3.842.72	4.226.57
	3.393	5.307	7.220	9.133	1.047	2.960	4.873	6.787	8.700
VNA									
VA									
VAC									

9.12) Anexo M: Resultados simulación 6 camiones diésel y su flujo de caja

Dia	Producción	N° Estanques llenados
1	30200	3
2	61900	3
3	92350	4
4	124250	3
5	154800	4
6	186450	3
7	218250	3
8	248750	4
9	280600	3

10	311200	4
11	342950	3
12	373550	4
13	405100	3
14	436950	4
15	467400	3
16	499250	3
17	529700	4
18	561600	3
19	592250	4
20	623900	3
21	655700	4
22	686000	3
23	717850	3
24	748250	4
25	780000	3
26	810600	4
27	842150	3
28	874000	4
29	904400	3
30	936200	3
31	966700	4
32	998500	3
33	1029100	4
34	1060800	3
35	1092700	4
36	1123100	3
37	1154900	3
38	1185200	4
39	1216900	3
40	1247450	4
41	1279050	3
42	1310850	4

43	1341250	3
44	1373050	3
45	1403500	4
46	1435250	3
47	1465850	4
48	1497350	3
49	1529150	4
50	1559550	3
51	1591400	3
52	1621800	4
53	1653550	3
54	1684000	4
55	1715550	3
56	1747350	4
57	1777800	3
58	1809550	3
59	1840000	4
60	1871900	3
61	1902500	4
62	1934150	3
63	1965900	4
64	1996350	3
65	2028100	3
66	2058550	4
67	2090300	3
68	2126800	4
69	2152550	3
70	2184400	4
71	2214850	3
72	2246600	3
73	2277000	4
74	2308800	3
75	2339450	4

76	2371000	3
77	2402900	4
78	2433250	3
79	2465150	3
80	2495500	4
81	2527250	3
82	2557800	4
83	2589400	3
84	2621200	4
85	2651550	3
86	2683350	3
87	2713700	4
88	2745550	3
89	2776200	4
90	2807750	3

Año	0	1	2	3	4	5	6
Producción		\$ 11.380.000	\$ 11.380.000	\$ 11.380.000	\$ 11.380.000	\$ 11.380.000	\$ 11.380.000
Ingresos		\$ 474.040.728	\$ 474.040.728	\$ 474.040.728	\$ 474.040.728	\$ 474.040.728	\$ 474.040.728
Costos		\$ 4.440.000	\$ 4.440.000	\$ 4.440.000	\$ 4.440.000	\$ 4.440.000	\$ 4.440.000
Inversión Equipos	\$ 18.000.000	}	-	-	-	-	-
Inversión CAPEX	\$ 100.000	-	-	-	-	-	-
Inversión total	\$ 1.518.100.000	-	-	-	-	-	-
inversión preparacion	\$ 1.500.000.000						

Flujo de caja		\$ - 1.048.499. 272	\$ - 578.898.54 4	\$ - 109.297.81 6	\$ 360.302.91 2	\$ 829.903.64 0	\$ 1.299.504. 368
VNA	\$3.789.822.87 0,54						
VA	\$ -						
VAC	\$2.271.722.87 0,54						

Año	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Producción	\$ 11.380.0 00	\$ 11.380.0 00	\$ 11.380.0 00	\$ 11.380.0 00	\$ 11.380.0 00	\$ 11.380.0 00	\$ 11.380.0 00	\$ 11.380.0 00	\$ 11.380.0 00
Ingresos	\$ 474.040. 728	\$ 474.040. 728	\$ 474.040. 728	\$ 474.040. 728	\$ 474.040. 728	\$ 474.040. 728	\$ 474.040. 728	\$ 474.040. 728	\$ 474.040. 728
Costos	\$ 4.440.00 0	\$ 4.440.00 0	\$ 4.440.00 0	\$ 4.440.00 0	\$ 4.440.00 0	\$ 4.440.00 0	\$ 4.440.00 0	\$ 4.440.00 0	\$ 4.440.00 0
Inversión Equipos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión CAPEX	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión total	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
inversión preparacion									
Flujo de caja	\$ 1.769.10 5.096	\$ 2.238.70 5.824	\$ 2.708.30 6.552	\$ 3.177.90 7.280	\$ 3.647.50 8.008	\$ 4.117.10 8.736	\$ 4.586.70 9.464	\$ 5.056.31 0.192	\$ 5.525.91 0.920
VNA									
VA									
VAC									

9.13) Anexo N: Resultados simulación 7 camiones diésel y su flujo de caja

Dia	Producción	N° Estanques llenados
1	30300	3
2	62250	3
3	92850	4
4	124850	3
5	155750	4
6	187550	3
7	219550	3
8	250250	4
9	282200	3
10	312850	4
11	344850	3
12	375650	4
13	407450	3
14	439450	4
15	470100	3
16	502050	3
17	532750	4
18	564750	3
19	595600	4
20	627400	3
21	659350	4
22	689900	3
23	721900	3
24	752550	4
25	784500	3
26	815300	4
27	847100	3
28	879100	4

29	909750	3
30	941750	3
31	972350	4
32	1004350	3
33	1035150	4
34	1066950	3
35	1098950	4
36	1129550	3
37	1161500	3
38	1192100	4
39	1224050	3
40	1254850	4
41	1286650	3
42	1318550	4
43	1349200	3
44	1381150	3
45	1411800	4
46	1443750	3
47	1474700	4
48	1506500	3
49	1538500	4
50	1569100	3
51	1601050	3
52	1631700	4
53	1663700	3
54	1694550	4
55	1726300	3
56	1758350	4
57	1788950	3
58	1820900	3
59	1851550	4
60	1883500	3
61	1914300	4

62	1946100	3
63	1978100	4
64	2008850	3
65	2040800	3
66	2071400	4
67	2103350	3
68	2134150	4
69	2166000	3
70	2198050	4
71	2228700	3
72	2260700	3
73	2291400	4
74	2323450	3
75	2354300	4
76	2386100	3
77	2418100	4
78	2448700	3
79	2480700	3
80	2511350	4
81	2543350	3
82	2574150	4
83	2605950	3
84	2637900	4
85	2668600	3
86	2700600	3
87	2731200	4
88	2763250	3
89	2794050	4
90	2825850	3

Año	0	1	2	3	4	5	6
Producción		\$ 11.460.000	\$ 11.460.000	\$ 11.460.000	\$ 11.460.000	\$ 11.460.000	\$ 11.460.000

Ingresos		\$ 477.373.17 6	\$ 477.373.17 6	\$ 477.373.17 6	\$ 477.373.17 6	\$ 477.373.17 6	\$ 477.373.17 6
Costos		\$ 5.750.000	\$ 5.750.000	\$ 5.750.000	\$ 5.750.000	\$ 5.750.000	\$ 5.750.000
Inversión Equipos	\$ 21.000.000	}	-	-	-	-	-
Inversión CAPEX	\$ 100.000	-	-	-	-	-	-
Inversión total	\$ 1.521.100.000	-	-	-	-	-	-
inversión preparacio n	\$ 1.500.000.000						
Flujo de caja		\$ - 1.049.476. 824	\$ - 577.853.64 8	\$ - 106.230.47 2	\$ 365.392.70 4	\$ 837.015.88 0	\$ 1.308.639. 056
VNA	\$3.822.686.75 8,80						
VA	\$ -						
VAC	\$ 2.301.586.759						

Año	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Producción	\$ 11.460.0 00	\$ 11.460.0 00	\$ 11.460.0 00	\$ 11.460.0 00	\$ 11.460.0 00	\$ 11.460.0 00	\$ 11.460.0 00	\$ 11.460.0 00	\$ 11.460.0 00
Ingresos	\$ 477.373. 176	\$ 477.373. 176	\$ 477.373. 176	\$ 477.373. 176	\$ 477.373. 176	\$ 477.373. 176	\$ 477.373. 176	\$ 477.373. 176	\$ 477.373. 176
Costos	\$ 5.750.00 0	\$ 5.750.00 0	\$ 5.750.00 0	\$ 5.750.00 0	\$ 5.750.00 0	\$ 5.750.00 0	\$ 5.750.00 0	\$ 5.750.00 0	\$ 5.750.00 0
Inversión Equipos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

Inversión CAPEX	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión total	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
inversión preparacion									
Flujo de caja	\$ 1.780.262.232	\$ 2.251.885.408	\$ 2.723.508.584	\$ 3.195.131.760	\$ 3.666.754.936	\$ 4.138.378.112	\$ 4.610.001.288	\$ 5.081.624.464	\$ 5.553.247.640
VNA									
VA									
VAC									

9.14) Anexo O: Resultados simulación 8 camiones diésel y su flujo de caja

Dia	Producción	N° Estanques llenados
1	30400	3
2	62500	3
3	93300	4
4	125450	3
5	156550	4
6	188550	3
7	220700	3
8	251600	4
9	283700	3
10	314600	4
11	346700	3
12	377750	4
13	409700	3

14	441900	4
15	472650	3
16	504850	3
17	535700	4
18	567850	3
19	598850	4
20	630850	3
21	663000	4
22	693900	3
23	726000	3
24	756800	4
25	788900	3
26	819950	4
27	851950	3
28	884050	4
29	914900	3
30	947050	3
31	977900	4
32	1010100	3
33	1041150	4
34	1073100	3
35	1105250	4
36	1136100	3
37	1168250	3
38	1199050	4
39	1231150	3
40	1262250	4
41	1294200	3
42	1326300	4
43	1357150	3
44	1389250	3
45	1420050	4
46	1452200	3

47	1483200	4
48	1515100	3
49	1547300	4
50	1578150	3
51	1610300	3
52	1641200	4
53	1673300	3
54	1704350	4
55	1736350	3
56	1768450	4
57	1799350	3
58	1831500	3
59	1862350	4
60	1894450	3
61	1925500	4
62	1957450	3
63	1989550	4
64	2020400	3
65	2052500	3
66	2083300	4
67	2115400	3
68	2146400	4
69	2178350	3
70	2210550	4
71	2241350	3
72	2273450	3
73	2304300	4
74	2336500	3
75	2367550	4
76	2399450	3
77	2431600	4
78	2462450	3
79	2494550	3

80	2525400	4
81	2557550	3
82	2588600	4
83	2620550	3
84	2652650	4
85	2683450	3
86	2715650	3
87	2746450	4
88	2778650	3
89	2809700	4
90	2841650	3

Año	0	1	2	3	4	5	6
Producción		\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000
Ingresos		\$ 479.872.51 2	\$ 479.872.51 2	\$ 479.872.51 2	\$ 479.872.51 2	\$ 479.872.51 2	\$ 479.872.51 2
Costos		\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000
Inversión Equipos	\$ 24.000.000	\$ }	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión CAPEX	\$ 100.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión total	\$ 1.524.100.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
inversión preparacion	\$ 1.500.000.000						
Flujo de caja		\$ 1.050.797. 488	\$ 577.494.97 6	\$ 104.192.46 4	\$ 369.110.04 8	\$ 842.412.56 0	\$ 1.315.715. 072
VNA	\$3.847.595.62 0,90						
VA	\$ -						

VAC	\$ 2.323.495.621	\$ 11.524.469					
------------	---------------------	------------------	--	--	--	--	--

Año	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Producción	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000
Ingresos	\$ 479.872.512	\$ 479.872.512	\$ 479.872.512	\$ 479.872.512	\$ 479.872.512	\$ 479.872.512	\$ 479.872.512	\$ 479.872.512	\$ 479.872.512
Costos	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000	\$ 6.570.000
Inversión Equipos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión CAPEX	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión total	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
inversión preparacion									
Flujo de caja	\$ 1.789.017.584	\$ 2.262.320.096	\$ 2.735.622.608	\$ 3.208.925.120	\$ 3.682.227.632	\$ 4.155.530.144	\$ 4.628.832.656	\$ 5.102.135.168	\$ 5.575.437.680
VNA									
VA									
VAC									

9.15) Anexo P: Resultados simulación 9 camiones diésel y su flujo de caja

Dia	Producción	N° Estanques llenados
1	30600	3
2	62950	3
3	94050	4
4	126300	3
5	157550	4
6	189750	3
7	222100	3
8	253150	4
9	285450	3
10	316450	4
11	348700	3
12	379900	4
13	412000	3
14	444300	4
15	475400	3
16	507650	3
17	538700	4
18	571000	3
19	602250	4
20	634350	3
21	666650	4
22	697650	3
23	729900	3
24	761000	4
25	793250	3
26	824550	4
27	856600	3
28	885850	4
29	919900	3
30	952200	3

31	983200	4
32	1015450	3
33	1046700	4
34	1078800	3
35	1111150	4
36	1142150	3
37	1174400	3
38	1205500	4
39	1237800	3
40	1269100	4
41	1301200	3
42	1333550	4
43	1364550	3
44	1396800	3
45	1427800	4
46	1460100	3
47	1491350	4
48	1523500	3
49	1555850	4
50	1586950	3
51	1619250	3
52	1650250	4
53	1682550	3
54	1713750	4
55	1745900	3
56	1778250	4
57	1809300	3
58	1841550	3
59	1872600	4
60	1904850	3
61	1936050	4
62	1968250	3
63	2000550	4

64	2031600	3
65	2063850	3
66	2094850	4
67	2127100	3
68	2158300	4
69	2190350	3
70	2222600	4
71	2253600	3
72	2285850	3
73	2316850	4
74	2349150	3
75	2380350	4
76	2412450	3
77	2444700	4
78	2475700	3
79	2508000	3
80	2539000	4
81	2571300	3
82	2602500	4
83	2634600	3
84	2666900	4
85	2698000	3
86	2730400	3
87	2761450	4
88	2793700	3
89	2824950	4
90	2857100	3

Año	0	1	2	3	4	5	6
Producción		\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000

Ingresos		\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848
Costos		\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000
Inversión Equipos	\$ 27.000.000		-	-	-	-	-
Inversión CAPEX	\$ 100.000	-	-	-	-	-	-
Inversión total	\$ 1.527.100.000	-	-	-	-	-	-
inversión preparacio n	\$ 1.500.000.000						
Flujo de caja		\$ 1.052.118.152	\$ 577.136.304	\$ 102.154.456	\$ 372.827.392	\$ 847.809.240	\$ 1.322.791.088
VNA	\$3.872.504.483						
VA	\$ -						
VAC	\$ 2.345.404.483						

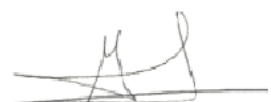
Año	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Producción	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000	\$ 11.580.000
Ingresos	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848	\$ 482.371.848
Costos	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000	\$ 7.390.000
Inversión Equipos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

Inversión CAPEX	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión total	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
inversión preparacion									
Flujo de caja	\$ 1.797.772.936	\$ 2.272.754.784	\$ 2.747.736.632	\$ 3.222.718.480	\$ 3.697.700.328	\$ 4.172.682.176	\$ 4.647.664.024	\$ 5.122.645.872	\$ 5.597.627.720
VNA									
VA									
VAC									

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN - FACULTAD DE INGENIERÍA**Departamento de Ingeniería Metalúrgica****Hoja Resumen Memoria de Título****Título: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD OPERATIVA EN LA IMPLEMENTACION DE CAMIONES ELECTRICOS VS DIÉSEL EN UN NIVEL DE TRANSPORTE INTERMEDIO MEDIANTE SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE JAAMSIM****Nombre Memorista: Vicente Antonio Garcia Cerna**

Modalidad	Proyecto	Profesor (es) Patrocinante (s)
Concepto	EXCELENTE	 Prof. Jorge Palma V.
Calificación	6.8	
Fecha	18.07.2024	
  Prof. Ramón Díaz N.		Ingeniero Supervisor: Jorge Palma
		Institución:

Comisión (Nombre y Firma)

 Prof. Roberto Fustos T.	 Prof. Roberto Gómez E.
---	--

Resumen

Se realizó la simulación de un desarrollo minero que consta de un nivel de producción y un nivel de transporte intermedio, en el cual en este último se realizan pruebas de sistemas que implementan diferentes flotas de camiones de bajo perfil tanto eléctricos como diésel. Este modelo se construyó en el software de simulación minera Jaamsim el cual mediante sus herramientas se modeló un sistema que trabaje de la forma más cercana a la realidad para mayor confiabilidad y precisión en los resultados.

Luego de la construcción y extracción de datos como producciones, gastos e inversiones, se llevó a cabo un posterior análisis de factibilidad económica entre la implementación de camiones eléctricos versus diésel. Resultando en un mejor resultado económico los camiones diésel por una notoria diferencia en remuneraciones gracias a sus características. Si bien observaron ventajas en los camiones eléctricos, estas no fueron suficientes para sobreponerse ante los camiones diésel.