



PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**REDISEÑO DEL PROCESO DE EXPEDICIÓN EN
PLANTA TERMINADORA DE ALAMBRES**

Autores:

Leonardo Hugo Luján

50.070

Docente Guía del Proyecto:

Ing. María Daniela Codesal

2013

Resumen Ejecutivo

En el siguiente proyecto se realizó un análisis del proceso de despacho de una planta terminadora de alambres, buscando rediseñarlo para disminuir las pérdidas económicas generadas por la utilización de **horas extra** y las penalidades cobradas por el exceso de **horas demoradas** en el proceso de expedición.

Como consecuencia del mismo se estudió el impacto operativo, económico y financiero de la implementación de tres mejoras obteniendo los siguientes resultados para 3 años de evaluación:

- **Reducción del 43% de las horas demoradas mensuales.**
- **Reducción del 25% de las horas extra mensuales.**

Sea para comprender más en profundo la problemática como para la determinación de las consecuencias de la aplicación de las mejoras se construyó un modelo de simulación del proceso mediante un software especialmente diseñado, otorgando una precisión promedio del **5%**. La razón principal de esta elección radica en la complejidad del problema estudiado, de características estocásticas y cuyas reacciones son difícilmente cuantificables de manera analítica. Dentro de esa complejidad es que se desea encontrar un patrón de comportamiento del sistema con el fin de interpretar las variables críticas del mismo, analizar su sensibilidad y a partir de este estudio, volcado específicamente al proyecto, poder evaluar distintas mejoras propuestas. Se aplicó la metodología básica para la construcción de un modelo de este estilo, incluyendo: Modelo Conceptual, Modelo de Datos, Modelo Operacional, Verificación y Validación, garantizando cada afirmación mediante el respaldo de herramientas estadísticas.

Abstract

This project was conducted to study and redesign the dispatch process of a finishing steel- wire factory. The purpose of the analysis was to reduce the economic losses generated by two key factors: extra-hours and delay penalties applied to the trucks that enter the system.

As a result of the project, have been identified three improvements. The economic, financial and operative consequences, with a 3 years assessment period, are:

- **43% less hours delayed.**
- **25% less extra-hours.**

The process' complexity and its stochastic characteristics make the issue very difficult to be solved. A simulation model has been developed (using a specific software) in order to understand the complexity of the system and to quantify the impact of any proposed improvement, with a **5%** average precision. This model allowed to comprehend the system operation pattern, its critical variables and to analyze the process sensibility. The used methodology for building the model was based on: a conceptual model, a data model, an operational model, verification and validation and, at the same time, using statistic tools in order to support the project results.

Agradecimientos

En primer lugar agradezco a mis familiares y amigos, sin cuyo sustento no hubiera podido realizarme como persona y por lo tanto como estudiante y futuro ingeniero.

Quisiera reealizar una especial mención a Cristian Kotowski y al Ing. Alejandro P. Kechichian, quienes han tenido una excelente disposición y me han acompañado a lo largo de los primeros pasos de mi carrera profesional.

Al Ing. Ivan Vilaboa y a la Ing. M.Daniela Codesal, quienes supieron guiarme durante la elaboración del proyecto.

INDICE

1	INTRODUCCION: EL CASO Y LA EMPRESA	1
1.1	La empresa	1
1.2	Procesamiento de Alambrón	3
1.2.1	Descarga de Alambrón	4
1.2.2	Granallado y Decapado Químico	4
1.2.3	Recubrimientos	4
1.2.4	Trefilación Seca	4
1.2.5	Trefilación Húmeda	5
1.2.6	Patentado y Galvanizado	5
1.2.7	Cordonado y TTBR	6
1.2.8	Trenzado	6
1.2.9	Acondicionado	6
1.2.10	Aceitado	6
1.2.11	Expedición	6
1.3	El caso	7
2	SIMULACIÓN: ¿POR QUÉ?	10
3	EL PUNTO DE PARTIDA: MODELO CONCEPTUAL	11
3.1	Entidades	11
3.2	Atributos	13
3.3	Variables de Control	13
3.4	Función objetivo	14
3.5	Variables aleatorias	14
3.6	Parámetros	16
3.7	Lógicas y Relaciones – Descripción del Proceso	16
4	MODELO DE DATOS	20
4.1	Variables Aleatorias	20
4.1.1	Tipo de pedido	20
4.1.2	Tasa de llegada de camiones	21
4.1.3	Tiempo de servicio de la balanza	36
4.1.4	Tiempo de servicio de la oficina de expedición	38
4.1.5	Ocurrencia de lluvias	39
4.1.6	Ocurrencia de distorsión en el pesaje	39
4.1.7	Tiempo de preparación del camión	39

4.1.8	Tiempo de carga de producto.....	39
4.1.9	Tiempo de revisión de la oficina de expedición.....	39
4.1.10	Tiempo de documentación de la oficina de tráfico	40
4.2	Parámetros.....	41
5	MODELO OPERACIONAL.....	44
5.1	Etapas de desarrollo	44
5.1.1	Plan de experimentación	44
5.2	Desarrollo del Prototipo	45
5.2.1	Etapa 1.....	46
5.2.2	Etapa 2.....	46
5.2.3	Etapa 3.....	46
5.2.4	Etapa 4.....	47
5.3	Verificación.....	49
5.4	Cantidad de Corridas.....	49
5.5	Validación	51
5.5.1	Horas de Demora.....	51
5.5.2	Horas Extra.....	53
6	PROPUESTAS DE MEJORA Y EXPERIMENTACIÓN.....	55
6.1	Propuesta 0: Alineamiento de indicadores	55
6.2	Propuestas de mejoras operativas.....	55
6.2.1	Cerramientos en bocas de carga 2 y 3 (1)	56
6.2.2	Tratamientos de diferencias (2).....	56
6.2.3	Sistema de gestión visual (3).....	56
6.2.4	Matriz de evaluación de mejoras –análisis económico-financiero preliminar	59
6.2.5	3 Mejoras conjuntas	60
7	ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO Y EVALUACIÓN	61
7.1	Puntos de partida.....	61
7.2	Evaluación del proyecto	62
7.2.1	Indicadores de Evaluación	63
8	CONCLUSIONES.....	65
9	Bibliografía.....	66
10	ANEXOS.....	67

1 INTRODUCCION: EL CASO Y LA EMPRESA

1.1 La empresa

El siguiente proyecto consistirá en rediseñar el proceso de despacho en una planta terminadora de alambres. Antes de especificar y ahondar en la formulación del problema, es oportuno realizar una breve descripción de la empresa en la que tendrá lugar el estudio.

La organización es líder en el mercado argentino en la producción de aceros no planos. En su totalidad cuenta con 2700 empleados (Reporte 2011) y 5 plantas distribuidas de la siguiente manera:

- Villa Constitución – Sta. Fe: es la principal planta de la empresa, ya que en ella se realiza la reducción y laminación, cuyos productos abastecen a las restantes. Productos: Palanquillas, Alambrón, Barras, etc.

- San Nicolás – Bs. As. : se dedica a la producción de barras, ángulos y perfiles.

- Rosario – Sta. Fe: realiza barras, ángulos, perfiles y actividades de corte y doblado.

- San Luis: elabora mallas y clavos.

- Tablada – Bs. As. : dedicada a la terminación de alambres, al enderezado de barras y desde 2010 es la sede corporativa.

La principal fuente de ingresos de Acindar proviene del Mercado Interno (83,7 %), mientras que los tres principales sectores que abastece son: Construcción (56,3 %), Industria (31,1%) y el Agro (12,6 %).

En lo que respecta al negocio de alambres, el agro (tejidos), la metalurgia (producción de clavos, bulones, etc.) y la industria (ej.: fabricación de colchones) son los clientes que concentran mayor producción.

En la planta de Tablada, ubicada en el partido de La Matanza y con aproximadamente 400 empleados, se realizan las operaciones de transformación del alambrón¹ (**materia prima**) mediante distintos procesamientos, ofreciendo al mercado una cartera de productos muy variada: tejidos (romboidal y cuadrangular), alambres en rollo, pretensados, galvanizados, etc..

Se presenta a continuación un diagrama e proceso esquemático y una breve descripción del mismo:

¹ Es un alambre de diámetro mayor al comercializado. El material proviene en camiones de los trenes laminadores de la compañía ubicados en la provincia de Santa Fé.

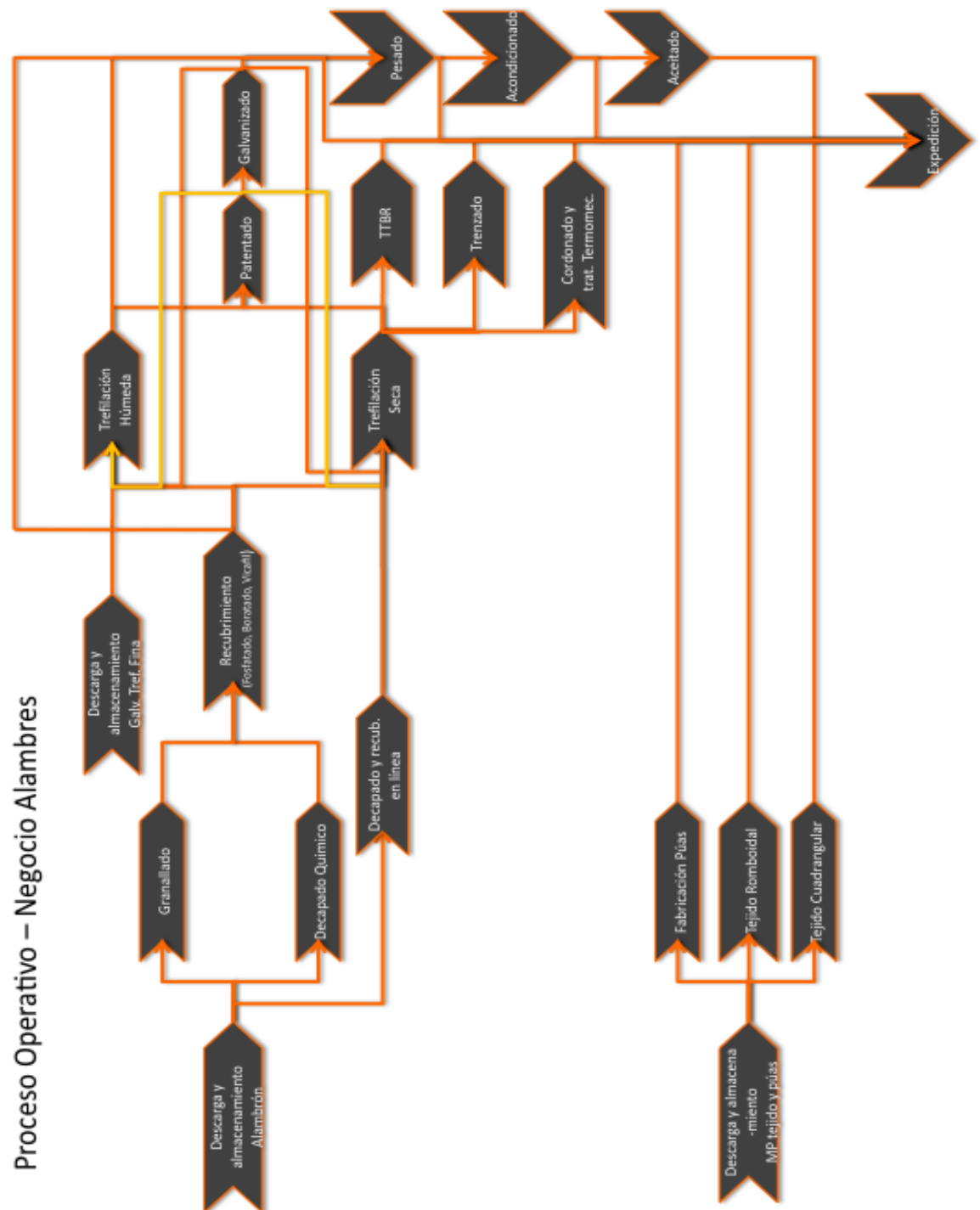


ILUSTRACIÓN 1-1 DIAGRAMA DE PROCESO DEL NEOGOCIO ALAMBRES

Como se puede observar, la operación se divide en dos ramas:

• **Tejidos y Púas (“Terminación”)**: Se descarga y almacena de los camiones la materia prima proveniente de Villa Constitución (Rollos de alambre galvanizado) y luego se procesan formando tres tipos de producto: Alambre de Púas, Tejido Romboidal y Tejido Cuadrangular.

- Púas: La fabricación de este producto se basa en fabricar la púa al enroscar un alambre alrededor de otro, denominado “base” cada determinada distancia, según los requerimientos del producto. Al obtener la cantidad de vueltas necesarias, se corta dejando las puntas filosas, cumpliendo con las funciones requeridas para este material
- Tejido Romboidal: El tejido romboidal se produce mediante maquinas tejedoras que, según la configuración y especificación del producto (Ancho y dimensiones de rombos) entrecruzan los hilos de alambre para formar el tejido. El mismo se envuelve y enrolla al final de la máquina hasta alcanzar los 25 metros que conforman el lote.
- Tejido Cuadrangular: la descripción de la operación es similar al caso del romboidal, solo que la trama del producto es rectangular.

Los mismos pasan a ser almacenados para su posterior despacho. El acondicionado se realiza en los mismos sectores.

• **Procesamiento de Alambrón**

1.2 Procesamiento de Alambrón

Se describen a continuación en forma genérica los procesos más significativos.

1.2.1 Descarga de Alambrón

Los rollos de alambrón se descargan de los camiones mediante autoelevadores dotados de un espolón (lanza) y se almacenan en el depósito de materia prima acorde a su diámetro y tipo de acero.



ILUSTRACIÓN 1-2 ROLLO DE ALAMBRÓN

1.2.2 Granallado y Decapado Químico

En estas operaciones se extrae el laminillo (óxido) del alambrón, ya sea mediante bombardeo mediante partículas (Granalla) o por medio de baños en ácido clorhídrico (Químico). La determinación de un método o el otro depende del tipo de alambrón a tratar y su uso posterior. Como se observa, no toda la materia prima pasa por estos procesos, ya que existen trefiladoras que integran la extracción del laminillo en su operación.

1.2.3 Recubrimientos

El alambrón ingresa a una pileta de Fosfato de Cinc donde se realiza el recubrimiento del mismo (para mejorar la adherencia del jabón durante las operaciones de Trefilado y aumentar la vida útil de las trefilas) y posteriormente a una de agua fría para eliminar restos de Fosfatos no adheridos al metal.

El último baño que recibe es el de Bórax; este componente actúa para neutralizar el Fosfato y como mordiente del jabón utilizado en el proceso de trefilación. Finalmente el alambrón ingresa al Horno de Secado dejándolo listo para el proceso posterior (Trefilado). Últimamente se está reemplazando el Borax y el Fosfato con un nuevo producto, Vicafil. Además de actuar como portalubricantes, estos recubrimientos permiten proteger al Alambrón que se destina para venta.

1.2.4 Trefilación Seca

El proceso consiste en reducir el diámetro del alambrón (o del alambre en el caso de ser material para retrefilado) hasta obtener el diámetro requerido. El alambrón en rollos es transportado mediante autoelevadores y es cargado en los devanadores (o perchas). Según el diámetro, se habla de trefilación gruesa, mediana o fina. Estas perchas son en general dobles, lo que permite dejar un segundo rollo en espera. Mediante el soldado eléctrico de la cola de uno con la punta del otro, se consigue no interrumpir el proceso y completar siempre las bobinas o rollos a la salida de la máquina.

En este proceso los rollos de alambón o alambre son devanadas y forzadas a pasar por una trefila de acero calibrada de alta dureza donde se reduce su diámetro en frío, aumentando la longitud. Como se comentó el operador de la máquina debe realizar la soldadura entre la cola del rollo que se está devanando y la punta del siguiente rollo para evitar el enhebrado de la máquina en cada cambio de rollo.

1.2.5 Trefilación Húmeda

Este proceso aplica en general a diámetros finos de alambre ($< 2 \text{ mm}$) y el principio es el mismo al de la trefilación seca. La trefiladoras poseen una serie de tambores que son accionados por una cadena de transmisión mecánica accionada mediante un motor único y que generan el tiro necesario para hacer pasar el alambre por las trefilas sin romper el alambre teniendo en cuenta que no hay ningún pulmón intermedio entre pasada y pasada. Todo este sistema de tambores y trefilas se encuentra sumergido en una emulsión acuosa lubricante que es refrigerada mediante un intercambiador. Por lo tanto este lubricante no actúa solo como tal sino como refrigerante de los tambores, el alambre y las trefilas.

Una vez que el alambre llega a su diámetro final y sale de la emulsión, puede ser bobinado en rollo o en carretel para lo que se posee un sofisticado sistema de sincronización mediante regulación electrónica y un pulmón de alambre a los efectos de evitar el corte del material. Posteriormente es acondicionado.

1.2.6 Patentado y Galvanizado

1.2.6.1 Patentado

En este proceso el alambre ingresa a un horno de austenización con el objeto de modificar su estructura metalográfica obteniéndose las propiedades físicas requeridas según norma. Se trata de un horno de calentamiento por Gas Natural con control de Combustión y de Relación Aire Gas, de varias zonas y control de presión interna del horno. Los alambres pasan longitudinalmente y por combinación de su diámetro, las temperaturas de las distintas zonas, la velocidad y dada la longitud del horno, se consigue un determinado proceso de calentamiento. A la salida del Horno de Austenización el alambre se enfría súbitamente o "al aire" o "al Plomo". En este segundo caso ingresa en una batea de Plomo fundido, y a su salida se retiene el Plomo mediante una cama de arena. Para aquellos alambres que saltan el galvanizado, luego de la limpieza química (ver Enjuague), ingresan en la Batea de Fosfato de Zinc y pasan por un nuevo enjuague; posteriormente entran en la batea de Bórax y en el segundo horno de secado para ser finalmente bobinados.

1.2.6.2 Enjuague

Para todas las combinaciones de procesos, ya sea posteriormente galvanizado o no o no haya sido patentado, los alambres pasan por una Batea de Desengrase Electrolítico, un enjuague, una batea de Solución de Ácido Clorhídrico y un enjuague.

1.2.6.3 Galvanizado

El alambre proveniente de la limpieza química, patentado o no entra en una batea de Cloruro de Amonio (o flux) calentada mediante una serpentina de vapor. El flux actúa como mordiente para el proceso de cincado posterior. El alambre recubierto de flux y secado ingresa en la Batea de Zinc fundido; luego emerge del Zinc y se efectúa el "wipping" en carbonilla; posteriormente es enfriado con chorros de agua para ser finalmente acondicionado.

1.2.7 Cordonado y TTBR

El Cordonado consiste en el trenzado de un conjunto de alambres con un cierto sentido de giro y un paso determinado. El cordón obtenido es tratado a una cierta temperatura y bajo una cierta carga mecánica de tracción, proceso que se llama de tratamiento termomecánico. El proceso de cordonado también es denominado alternativamente como de "toronado". El producto obtenido es el cordón pretensado de 7 alambres, que se dispone en bobinas sunchadas a una cuna o tacos listas para ser almacenadas.

El tratamiento termomecánico de baja relajación (TTBR) tiene la finalidad de obtener un producto que no pierda la tensión a lo largo del tiempo. El tratamiento es similar al del cordonado y se dispone en bobinas de alambre enrollado de 2,3 m de diámetro y 20 cm de profundidad.

1.2.8 Trenzado

El proceso de trenzado consiste en el retorcimiento de dos o tres alambres con un cierto giro y paso y un posterior distensionado, por calentamiento y posterior enfriamiento. Una vez trenzado pasa por un Horno de Gas Natural varias veces, que lo calienta hasta una temperatura de unos 350 °C a los efectos de efectuar el tratamiento térmico de distensionado. A la salida del horno, es enfriado en agua proveniente del circuito cerrado para ser dispuesto en bobinas y ser acondicionado. Una variante que se agrega a este proceso es el fraccionado de bobinas (que han sufrido cortes) en unidades de peso menor.

1.2.9 Acondicionado

En esta operación se reciben los productos provenientes de los anteriores procesos para ser fraccionados, compactados, acondicionados y/o encarretados en unidades de menor peso según las especificaciones determinadas.

1.2.10 Aceitado

Para determinado tipo de productos, se da un recubrimiento en aceite que se realiza mediante el sumergimiento del material en una cuba por un tiempo aproximado de 3 minutos. En el caso de los materiales cuyo destino final será ser cromados por el cliente, se utiliza un baño de aceite específico.

1.2.11 Expedición

Al arribar el plan de carga del transporte (previamente ingresado por la cabina de Tráfico coordinada por el sector Logística), se constata si es posible cumplir con la misma y en qué orden serán ubicados los productos. De acuerdo a esta diagramación, se recogen los materiales con los autoelevadores de los depósitos (a la vez se registra el movimiento en el sistema mediante EDI) y se disponen en el transporte.

La primera característica emergente es la gran variedad de categorías de productos como de productos individuales en sí (aproximadamente unos 900 códigos) y sus respectivas unidades de carga también disímiles. Por otro lado, el peso de cada material hacen que la única forma de poder trasladarlos sea mediante autoelevadores, cobrando este transporte una función vital en el área productiva, utilizándose para las tareas de carga y descarga de máquina. Es precisamente por este motivo que se cuenta con un plantel de 8 equipos netamente abocados a asistir al sector productivo por el que responden. Es en esta lógica que los productos se disponen en depósitos próximos a los procesos de los que derivan, descentralizando en su totalidad el almacenamiento de los mismos.

1.3 El caso

Una vez realizada descriptas las características de la planta en la que se radica el proyecto, se puede comprender con mayor amplitud la problemática que se presenta en el proceso de despacho. Actualmente la operación registra demora en el 40% de las cargas realizadas. Dicha demora se contabiliza una vez que se excede el camión excede las 4 horas de permanencia, desde que se le realiza el ingreso hasta que se retira luego del pesaje final. Si bien el costo de transporte es a cargo del cliente, el exceso se penaliza con una multa proporcional al mismo y que la empresa debe abonar. Esta situación le genera a la compañía pérdidas significativas (aproximadamente **\$40.000 / mes**). A su vez, relacionada a esta problemática², se agregan los costos generados (**un 33% mayores a los de las horas demoradas**) por las horas extra del personal. Por este motivo se hace necesario un rediseño del proceso entero en busca de optimizar los recursos (mano de obra y equipos) del sector y evaluar financieramente oportunidades de mejora e inversiones asociadas a las mismas. La operación actual se realiza en 2 turnos (Lunes a Viernes: 06-14-22 y Sabados 06-14), con un equipo (para 3 de las 4 semanas del mes) de 3 choferes y 3 consolidadores de carga.

El índice elevado de casos con demora ha sido un problema recurrente del sector en los últimos 5 años, correspondidos con un crecimiento significativo de la producción de la planta. Si bien se han logrado reducciones (hasta llegar a niveles de demora de un 25%) mediante programas de mejora 6-Sigma, no llegaron a mantenerse y se registraron de manera temporaria tanto que en el último año se vio nuevamente una caída al valor del 40%. La multiplicidad de variables puestas en juego dificultan un análisis de criticidad sin el soporte de un modelo que permita, como se ha mencionado anteriormente, representar el funcionamiento del proceso y de este modo individualizar las variables significativas y evaluar los resultados de posibles alternativas, que se desligarán de la aplicación concreta de los principios y herramientas de gestión de la ingeniería industrial (5S, por sólo nombrar alguna).

² Si se reduce el tiempo operativo de carga, se logrará reducir sea las horas demoradas como las horas extra necesarias para cumplir con los despachos programados.

Para comprender mejor el contexto del problema, se presenta el siguiente análisis de Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas:

Fortalezas	Debilidades	Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad ante llegada repentina de camiones. • Experiencia en el sector. • Disponibilidad de equipos sustitutos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de identificación de materiales bloqueados en depósitos • Método de recepción induce a reiterar recorridos. • Descentralización de depósitos respecto a bocas de carga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboración con áreas de programación de envíos. • Comercialización en SKU standard. • Mayor coordinación del sector de planificación de stocks. • Nuevas vías y modos de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variabilidad creciente de códigos y productos. • Retraso de liberación de créditos. • Acumulaciones de stock debido a disfuncionalidades Ventas-Producción.

Teniendo una visión más amplia y a la vez profundizando aún más sobre la problemática, es necesario analizar cuál es la tipología de la operación y su distribución a lo largo de tiempo de modo de tomar una referencia y punto de partida de análisis. Se muestra a continuación una línea de tiempo con la cantidad de camiones despachados mensualmente a lo largo del último año:

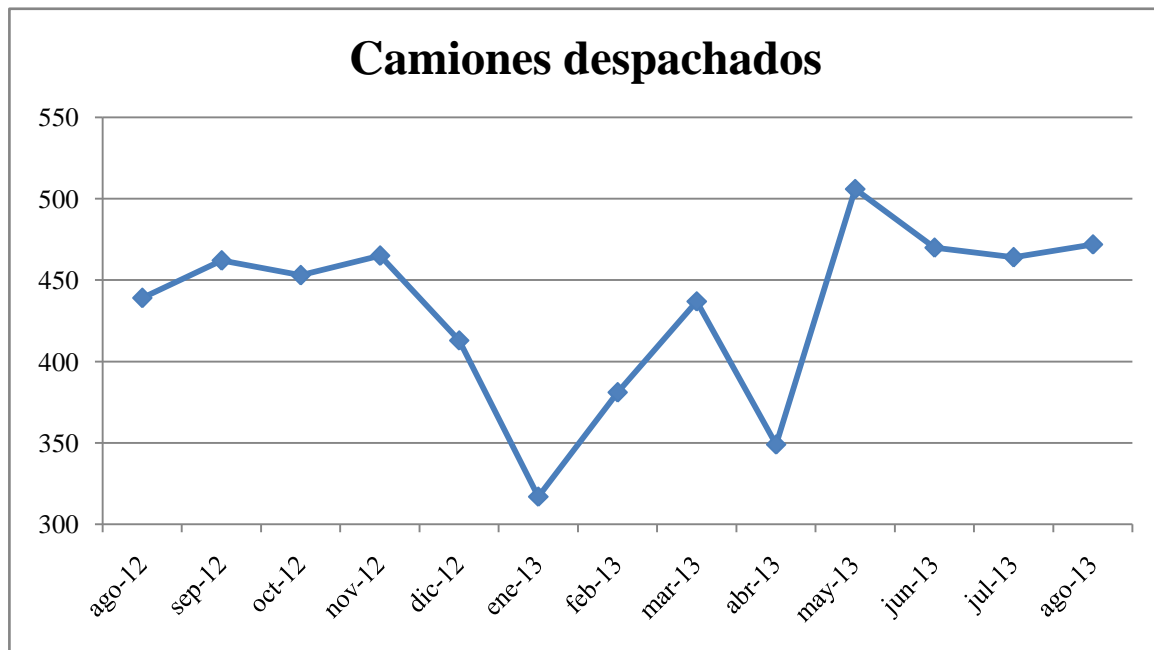


ILUSTRACIÓN 1-3 CAMIONES DESPACHADOS MENSUALMENTE

Como puede observarse, en los meses de enero y febrero (y diciembre en menor medida), la actividad del sector sufre una baja considerable (aproximadamente del 30% para el mes de enero). Por otro

lado, si se tiene en cuenta que en abril del año corriente la actividad total de la planta se vio afectada por una inundación (por esto se explica el incremento de actividad en mayo), se puede confirmar una estabilidad de la operación. Por este motivo, el sistema se modelizará representando las condiciones mensuales y estables de operación.

2 SIMULACIÓN: ¿POR QUÉ?

El proceso de expedición en análisis está caracterizado por su estocasticidad, es decir por “una sucesión de variables aleatorias que evolucionan según el estado o la evolución de otras variables, aleatorias o no, entre ellas el tiempo, que interfieren, y que pueden estar correlacionadas, o no”³. La cantidad de camiones y su tasa de arribos, los productos y cantidades a cargar y las tasas de atención de las distintas operaciones del proceso, por su característica aleatoria afectan a un proceso cuya respuesta difícilmente puede estimarse con precisión de manera determinista.

La complejidad es la propiedad emergente del problema estudiado, pero dentro de la misma es que se desea encontrar un patrón de comportamiento del sistema con el fin de interpretar las variables críticas del mismo, analizar su sensibilidad y a partir de este estudio, volcado específicamente al proyecto, poder evaluar distintas mejoras propuestas.

La vía que mejor permite estudiar este tipo de problemáticas es la simulación, entendiendo por la misma la representación de un modelo virtual que represente el comportamiento del sistema real fehacientemente (según criterios de validación). Dentro de los distintos tipos de simulación, el proceso de despacho se corresponde a una sucesión de eventos discretos (arribo de camiones, carga de productos, disponibilidad de autoelevadores, etc.) que modifican el estado del sistema. Bajo este enfoque se realizó, en equipo con colegas, un proyecto de modelización y construcción de un simulador dentro de la materia homónima. El principal inconveniente que surge en la aplicación del mismo al caso en estudio es que las simplificaciones realizadas debido al nivel de profundidad requerido por la cátedra y tiempo de desarrollo imposibilitaron su validación con el sistema real. La situación presenta una importante oportunidad de inversión debido a los niveles de pérdidas en los incurre la operación, dando una favorable relación costo/beneficio. Por otro lado, al estar trabajando en la jefatura de área, el acceso a la información y la calidad de la misma constituyen otro punto a favor de la realización del análisis.

Con el siguiente proyecto se busca brindarle a la empresa una solución integral al problema definido, desde la recepción del transporte hasta la finalización de la operación de despacho, accionando sobre los procedimientos operativos, recursos, lay-out y distribución de bocas de carga y depósitos y ubicación de las distintas oficinas de atención a lo largo del proceso. Si bien el aporte esperado encaja dentro de una óptica económico-financiera, se deberá considerar la viabilidad de las modificaciones operativas propuestas, logrando su aceptación por parte de los actores intervinientes, principalmente la jefatura y los empleados representados por el sindicato (UOM y Camioneros). Y, en esta línea, será la participación de los dos actores la que enriquece las mejoras propuestas.

³ Clase Introductoria del curso de Simulación en ITBA.

3 EL PUNTO DE PARTIDA: MODELO CONCEPTUAL

El modelo conceptual es el primer paso del desarrollo del simulador, donde se definen las entidades, proceso, recursos, funciones objetivo, variables de control, plan de cuadros, variables aleatorias y no aleatorias, sus relaciones y las lógicas y decisiones que definen al proyecto.

3.1 Entidades

- Productos: Son los productos terminados que salen de los depósitos y se cargan en los camiones:
 - Alambres en Rollo (Depósito Expedición): incluyen resorteros, crudos, aceitados y aceitados finos.
 - Alambre fino en cunas (Depósito Heredia)
 - Alambre fino en cunas de 4 (Depósito Heredia)
 - Alambre Galvanizado (Depósito Cablería)
 - Alambre Galv. Bobinado (Depósito Cablería)
 - Alambre Fino en Rollo (Depósito Finos)
 - Alambre para Clavos en Spyder (Depósito Heredia)
 - Alambre para Clavos en Bobina (Depósito Heredia)
 - Alambre para Grampas en cuna (Depósito Heredia)
 - Alambre para Lana en Spyder (Depósito Expedición)
 - Alambre para Soldadura en Spyder (Depósito Expedición)
 - Alambre para Enfardar en Spyder (Depósito Expedición)
 - Alambre Colchonero en Spyder (Depósito Cablería)
 - Alambre Crudo en Stretch (Depósito Cablería)
 - Alambre Crudo en Spyder (Depósito Cablería)
 - Alambrón Venta (Depósito Cablería)
 - Cordon Pretensado – Mercado Local (Depósito Cordon)
 - Púas (Depósito Heredia)
 - Trenzas (Depósito Trenza)
 - Trenzas Fraccionadas (Deposito Trenzas Fraccionadas)
 - Tejido Romboidal (Depósito Tejido Romboidal)
 - Tejido Cuadrangular (Depósito Tejido Cuadrangular)

Se presenta a continuación un listado de las playas identificadas y las categorías de productos que contienen así como la unidad de carga de los mismos:

Depósito	Playa	Material
EXPEDICIÓN	A1	Diam. >= 3,75 mm
	A2	1,7mm < Diam. < 3,75 mm
	A(Racks)	Alambre Resortero: 227 / CI - CII - 228 - P/Deformar - Medio Carbono
	B (Racks)	Galvanizado Retrefilado - Alambre para enfardar
	C(SPY)	SPY: Apto Cromar, P/Malla Soldada, Crudo Soldadura
	D (Racks)	Crudo y Bulonero
CORDON	A	Rollo Especial, Gestion Comercial y Mercado Local
	B	Exportación a Brasil
	C	Envainado
TRENZA	A (Racks)	Trenza Grande
	B (Racks)	Trenza Fraccionada
TTBR	A (Racks)	TTBR
FINOS	A (Racks)	Galvanizado Retrefilado
TEJIDOS	A	Tejido Romboidal
	B	Tejido Cuadrangular
	C	Romboidal minero
EX CABLERÍA	A	Alambrón Venta
	B	Patentado, Recocido-Decapado
	C	Galvanizados
	D (Racks)	Bobinado Alta Resistencia
	E	Productos p/grampa-p/malla, Patentado venta, Recocido Comercial
	F	Alambres en Spyder: p/colchón, crudo y p/lana
	G1(Racks)	Fasones
	G2	
	H1(Racks)	Alambres crudos c/strech
EX HEREDIA	A(Racks)	Alambre para puas
	B(Racks)	Pallets Rolos de alambre Recocido / Vainas-Cunas de Carreales y Bobinas de trefilado fino
	B(Piso)	
	B(CunaTubular Acero)	
EX HEREDIA	C	Alambre fino en tachos
	D	Postes-Encarretado-Alambres p/clavos en Spyder

TABLA 3-1 DEPÓSITOS, PLAYAS Y MATERIALES

- Camiones: Serán abastecidos en las distintas bocas de carga según el producto a almacenar. Se debe distinguir entre los camiones destinados al despacho en la planta de alambres de aquellos que ingresan y se dirigen hacia otras actividades logísticas del predio (CD de Aceros Largos, Descarga de Materia Prima, etc..)
- Autoelevadores: Se encargan de transportar los productos desde los depósitos hasta las bocas de expedición. La cantidad disponible, su capacidad para cada producto y el plan de carga indicarán la cantidad de viajes que realizará para cargar un camión.

3.2 Atributos

- Tipo de camión: se determinará según la cantidad de tipos de producto a despachar. Podrá ser Monoproducto, Biprodueto, Triproducto o Cuatriproducto.
- Código de carga: se le asigna un código de carga de acuerdo a una distribución de probabilidad determinada de acuerdo al tipo de camión. Este código definirá los siguientes atributos:
 - o Productos a cargar
 - o Lotes por producto a cargar
 - o Bocas de carga de los productos determinados⁴
 - o Viajes a realizar por boca de carga: se calculan de acuerdo a la cantidad de lotes a despachar por cada boca y la *transportabilidad*⁵ de los mismos. Se utilizaron dos tipos de atributos: unos que se irán reduciendo hasta 0 a medida que se complete la carga y otros que representan el valor inicial de los primeros.
- Tiempo de ingreso (hr)
- Presencia de diferencia

3.3 Variables de Control

Al plantear la simulación como primer paso para comprender el problema, se plantean posibles variables de control a analizar en el desarrollo del proyecto:

- Cantidad de choferes/autoelevadores: Los autoelevadores son recursos pertenecientes a la compañía, por ende puede controlarse esta cantidad decidiendo comprar o deshacerse de estos equipos. Para operarlos se necesitará de mano de obra calificada, por ende la cantidad de choferes coincidirá con la cantidad de autoelevadores (por turno) con espolón⁶.
- Cantidad de líderes de carga: para la operación se requiere de un líder de carga que escanea los productos a despachar en el plan correspondiente.

⁴Se denomina al lugar donde se realiza la operación. Son tres en total y están ubicadas a distancias de entre 100 y 200 m.

⁵Cantidad de lotes transportados por viaje.

⁶Lanza utilizada para cargar la mayor parte de los productos.

- Distribución de las playas: Es una variable de control de tipo cualitativo, que asume variantes de acuerdo a la estrategia de localización de los productos en las playas y que tendrá impacto en las distancias recorridas.
- Tiempo de carga y búsqueda de producto en almacén y posterior ubicación en camión: son los tiempos que se demoran en localizar un producto, recogerlo con el equipo, escanearlo y depositarlo en el transporte.
- Métodos de organización del trabajo: como la distribución de playas, se trata de una variable de control en la que se ensayarán distintas alternativas de métodos de proceso.
- Capacidades de playas de carga

3.4 Función objetivo

$$\text{Min } H_{\text{demora}} + H_{\text{extra}} \quad (3.1)$$

El objetivo del proyecto es llegar a una minimización de los costos implicados en la expedición de productos. Ahora bien, para no perder la representatividad del modelo y facilitar la validación del mismo, se optó por analizar con el simulador únicamente las horas de demora de los camiones y horas extra del personal, mientras que la evaluación económico-financiera a realizar a posteriori tendrá en cuenta las inversiones y costos operativos correspondientes, entre los que se destacan ya de partida:

1. El **costo de la demora**, el cual está representado por el exceso de tiempo pasadas las 4 horas desde el ingreso del camión a la playa de expedición. Este costo estará afectado por la cantidad de autoelevadores con los que se cuente y por su capacidad de carga, ya que ambas variables afectan al tiempo de servicio, y por ende, al tiempo total de permanencia.
2. El **costo del combustible** consumido por los autoelevadores. De acuerdo a la cantidad de elevadores que se elija, el costo total del combustible variará. Además, el consumo de combustible por el autoelevador dependerá de la capacidad de carga del autoelevador, siendo mayor el consumo, a mayor capacidad de carga.
3. Por último, cada autoelevador tiene asignado un chofer, lo cual representa un **costo de mano de obra** o salario pagados a los mismos. De esta manera, este costo variará proporcionalmente con la cantidad de autoelevadores. A su vez, existe un **costo de mantenimiento** del equipo que deberá ser considerado.

3.5 Variables aleatorias

Tipo de pedido: El pedido puede estar compuesto por distintos productos, así como también distintas cantidades de cada uno. Se deberá analizar en el correspondiente modelo de datos el patrón de comportamiento de los mismos, ya que dependiendo del destino se da lugar a cargas compartidas frecuentes (un tipo de producto con el otro), monoproducto, etc.

Tasa de llegada de camiones: la tasa de llegada de los camiones o un tiempo equivalente entre arribos es otra variable aleatoria. De acuerdo a la tasa de servicio de la oficina de tráfico y a la disponibilidad en la playa de expedición, se formará una cola en el sistema o no. Dado que la atención en la oficina de tráfico y en la balanza se comparten con otra actividad logística dentro del predio, sería necesario distinguir entre: **tasa de llegada de camiones total** y **tasa de llegada de camiones a planta alambres**. Al dificultarse la obtención de datos sobre los arribos al predio en su totalidad, se optará por incluir dentro del tiempo de servicio de la balanza de entrada la probabilidad de que se produzca una espera

debida a que la instalación esté siendo utilizada por un camión que no haya sido destinado a la planta de alambres.

Tasa de salida de camiones externos a planta de alambres: por lo dicho en el párrafo anterior, al ser compartido el proceso de pesaje es necesario conocer la tasa de salida de aquellos transportes que no han sido cargados por la planta de alambres y que comparten el recurso de pesaje. Se asumirá la misma simplificación y esta componente se contemplará en el tiempo de servicio de la balanza de salida.

Tiempo de servicio de oficina de tráfico: En esta operación se incluyen la identificación del camionero, la autorización de ingreso, la entrega del plan de carga (ver lógicas y relaciones) y el pesado inicial. La atención es de a un camión a la vez. **Al registrarse el ingreso cuando esta etapa se concluye, no será tomada en cuenta en el análisis.**

Tiempo de servicio de la balanza: Esta operación se realiza en el momento que ingresa el camión y luego de ser cargado, cuando el camión se dirige hacia la salida, realizando un pesaje final antes de salir. El pesaje del camión sirve para controlar la mercadería que se está llevando, cuyo peso no debe diferir en el 3/1000 a la declarada. El tiempo que cada camión tarda en la balanza es aleatorio ya que cada caso es particular, y los imprevistos o inconvenientes ocurren frecuentemente. Dado que la mayoría de los mismos ocurren en el pesaje de salida, se deberán considerar por separado a la hora de evaluar dicho tiempo.

Tiempo de servicio de la oficina de expedición: Es el tiempo que se tarda en recibir el plan de carga del chofer, asignarle la boca e indicarle la preparación a realizar en el transporte.

Ocurrencia de lluvias: el fenómeno limita la capacidad de las bocas de carga y el tiempo de preparación del transporte, que debe cubrir los productos transportados aún para desplazarse entre bocas de carga.

Ocurrencia de distorsión en el pesaje: representa la probabilidad de que la operación final tenga una desviación (respecto al plan de carga) mayor al 0,3 %.

Tiempo de carga de producto (min): Es el tiempo que tarda el autoelevador tanto para retirar el producto de la estantería como para ubicarlo en el camión. El tiempo de carga total está dado por la suma de este tiempo más el de los viajes de los autoelevadores. A la hora de analizar en detalle este punto deberá dividirse en:

- Tiempo de Picking: tiempo de búsqueda y retiro desde estantería de un producto en el depósito.
- Tiempo de escaneado por lote.
- Tiempo de estiba: tiempo de guardado del producto en la estantería.
- Tiempo de carga en camión: se refiere a la actividad de ubicar el producto en el transporte de manera correcta y ordenada.

Tiempo de revisión de diferencias: se hace referencia al tiempo que se requiere para checkear la distorsión en el pesaje y sus causas.

Tiempo de documentación: es el tiempo demorado en preparar la documentación de salida del camión.

3.6 Parámetros⁷

- Distancia entre bocas de expedición, depósitos y oficinas de expedición (m)
- Velocidad de recorrido de camiones (km/h)
- Velocidad de recorrido de autoelevadores (km/h)
- Consumo de combustible de los equipos (litros/km): Depende de la capacidad del autoelevador.
- Capacidad de los autoelevadores por tipo de producto: cada artículo, por sus características físicas y de forma, podrán ser cargado en mayor o menor cantidad en un autoelevador. Estas capacidades son conocidas y deben ser fijadas en el modelo.
- Capacidad de la playa de expedición: cantidad máxima de camiones que podrán aguardar a ser atendidos en la playa de expedición.
- Capacidad de la playa en las bocas: cantidad máxima de camiones que podrán aguardar en la playa de espera correspondiente a cada una de las bocas de expedición.
- Capacidad de la playa de salida: cantidad máxima de camiones que podrán aguardar a ser atendidos para el pesaje final en la balanza ubicada en la salida.
- Tiempo máximo de demora: representa la demora a partir de la que se comienza a computar la penalidad.
- Hora de corte: La hora a partir de la que no se aceptan más ingresos a la planta.
- Tiempo perdido por cambio de equipo: es el tiempo que se demora en buscar el autoelevador con uña necesario para determinados tipos de producto.
- Pérdidas de tiempo por descanso y cambio de turno: son los tiempos muertos por descansos y cambios de turno.

3.7 Lógicas y Relaciones – Descripción del Proceso

En primer lugar, es necesario distinguir en qué es lo ocurre antes de que se produzco el arribo del camión. El día anterior, el sector de Logística programa y comunica los envíos a ser realizados en 4 ventanas horarias:

- 6 a 10 (Primer Turno)
- 10 a 14 (Primer Turno)
- 14 a 18 (Segundo Turno)
- 18 a 22 (Segundo Turno)

Al llegar el camión, el conductor se estaciona en la playa de estacionamiento exterior (Capacidad Ilimitada) y se dirige a la oficina de tráfico, donde se anuncia. Si se excediese la hora de corte, no se le permite el acceso a planta. En caso contrario, se lo atiende (TS_{traf}), se registra su ingreso ($T_{ingreso}$) y se le entrega el plan de carga, el cual incluye la cantidad de productos que se tienen que cargar y por lo tanto

⁷ Se pueden repetir parte de las variables de control, que también podrán pasar a ser parámetros.

definirá las Bocas de Carga, los depósitos de los que extraerlos y la capacidad de transporte del autoelevador del mismo⁸.

Al salir de la oficina de tráfico, el conductor se dirige hacia la balanza donde será determinada su tara⁹. Se recuerda que dicha balanza está compartida por otros sectores a la playa de expedición (se registra su tiempo de arribo, T_{aexp}) y aguarda a ser atendido por la oficina homónima ($T_{espexp1}$). En la misma se le asigna la Boca de Carga correspondiente (BC_i) y un equipo compuesto por un chofer de autoelevador y un líder de carga, encargado de registrar en sistema los despachos de material. Cada camión tendrá que realizar a priori una determinada carga por boca, que quedará expresada en la cantidad de viajes a realizar (ver atributos del camión). Siempre y cuando la boca esté disponible, se comenzará la carga por aquella que tenga mayor cantidad de viajes a realizar (se denominará **principal**). En el caso de que ésta se encuentre ocupada (al límite de su capacidad) y el camión tenga carga pendiente en alguna o ambas de las restantes bocas, se destinará a aquella que esté libre¹⁰. En el caso de que todas estas estén saturadas, el transporte deberá aguardar en la playa de espera de la **principal**. Llegada la situación en que una de las bocas represente menos del 20% de la totalidad de viajes del plan, esos productos podrán directamente ser entregados en la boca donde se inicia la carga. Cada depósito de producto terminado se encuentra a distintas distancias de las diferentes bocas de descarga. Esto también afecta a los tiempos de operación.

En el momento en que sale de la playa de expedición, se determina el tiempo T_{lexp} . Ahora bien, el transportista abandona la oficina sólo si dispone de un equipo para realizar la carga, por lo que se define también un segundo tiempo de espera en la oficina de expedición ($T_{espexp2}$) si todos los planteles se encuentran ocupados. De allí se traslada hacia la boca de carga (T_{aBCi}), que en caso de encontrarse ocupada cuenta con una playa de espera de capacidad máxima para 5 camiones donde se determina la espera (T_{espBCi}). El proceso de carga se modela de acuerdo al número de viajes que realiza el autoelevador (N_{viaj}), las distancias recorridas (que determina el consumo de combustible) y los tiempos de carga. También será necesario tener en cuenta un cambio de equipo en el caso que deba cargarse algún producto mediante uña. En ese caso este recurso será retenido hasta que finalice la operación en la boca de carga, incluyendo también un tiempo perdido por el cambio de autoelevador. Cuando se da fin a la misma, si se verifica que no restan más productos por despachar en otras bocas, se registra el tiempo último en el que libera la boca (T_{LBCi}) y si se registra que dicho tiempo se encuentra fuera de turno, deberá realizarse el cómputo de las horas extra del personal. Si restan productos que cargar, se ruteará al camión siguiendo la lógica descrita anteriormente. Caso contrario, la pareja de carga vuelve a la oficina de expedición mientras que el camión se traslada hacia una Balanza (T_{aBal}) común para las 3 bocas, donde existe una playa de capacidad máxima para 8 camiones y puede darse una demora (T_{espBal}). Una vez realizado el pesaje (determinado por TS_{Bal}), si el error respecto a la carga estipulada excede el 3/1000, debe retornar hacia la oficina de expedición y ser revisado por el jefe de despacho. Si no se presenta este inconveniente, el camión sigue hacia la oficina de tráfico para donde se le entrega la documentación de salida. En el caso en el que el tiempo total de permanencia (T_{total}) exceda las 4 horas, se genera el costo de demora mencionado anteriormente.

El siguiente diagrama de bloques ilustra la lógica del proceso para los camiones y un plano de la planta con las ubicaciones de bocas de carga, playas de camiones y oficinas:

⁸No es lo mismo transportar 1 tn de Alambre que de Tejido, por ejemplo.

⁹Peso del camión sin carga.

¹⁰Priorizando aquella que tenga la mayor cantidad de viajes a realizar.

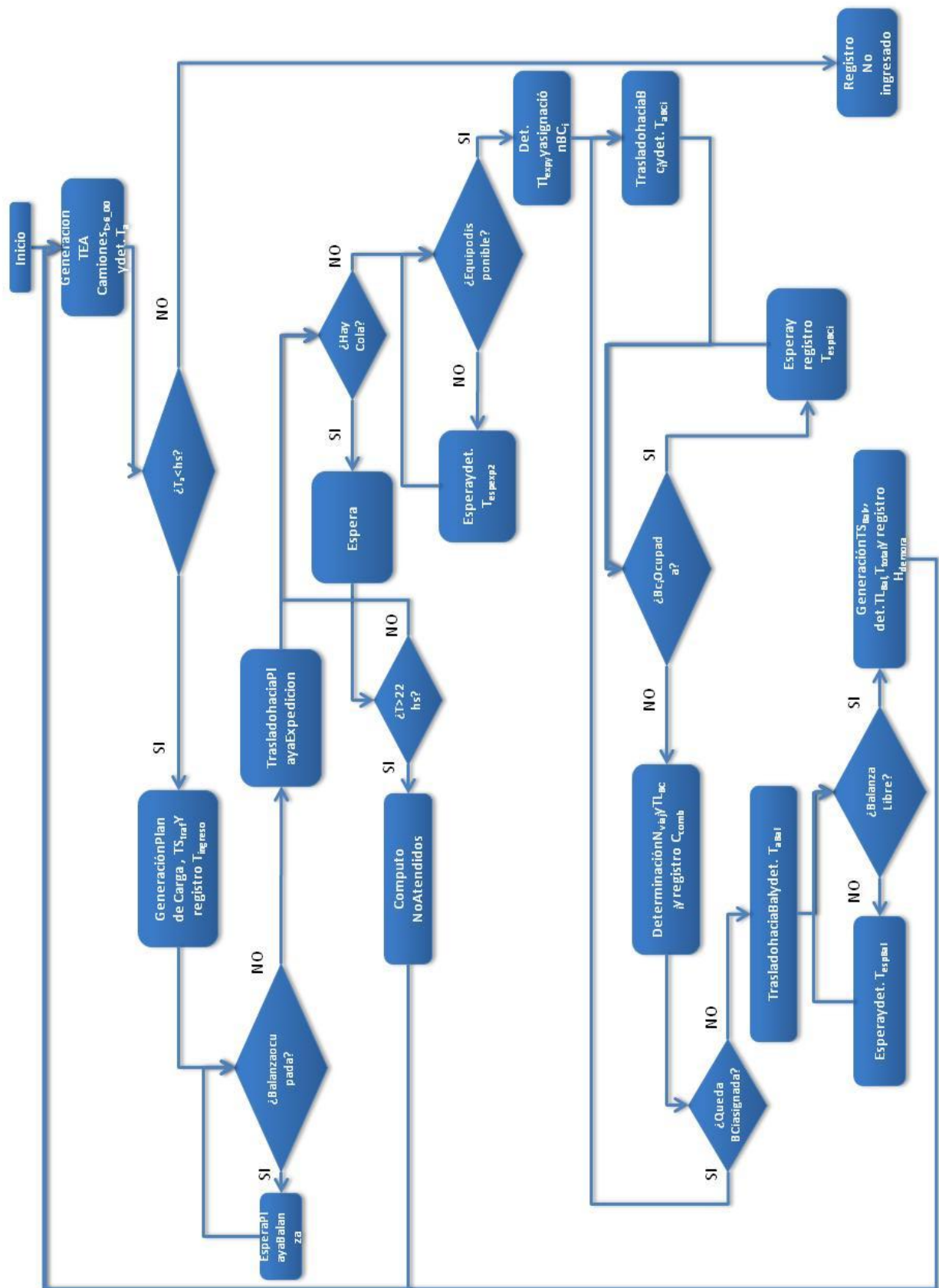


ILUSTRACIÓN 3-1 DIAGRAMA DE BLOQUES

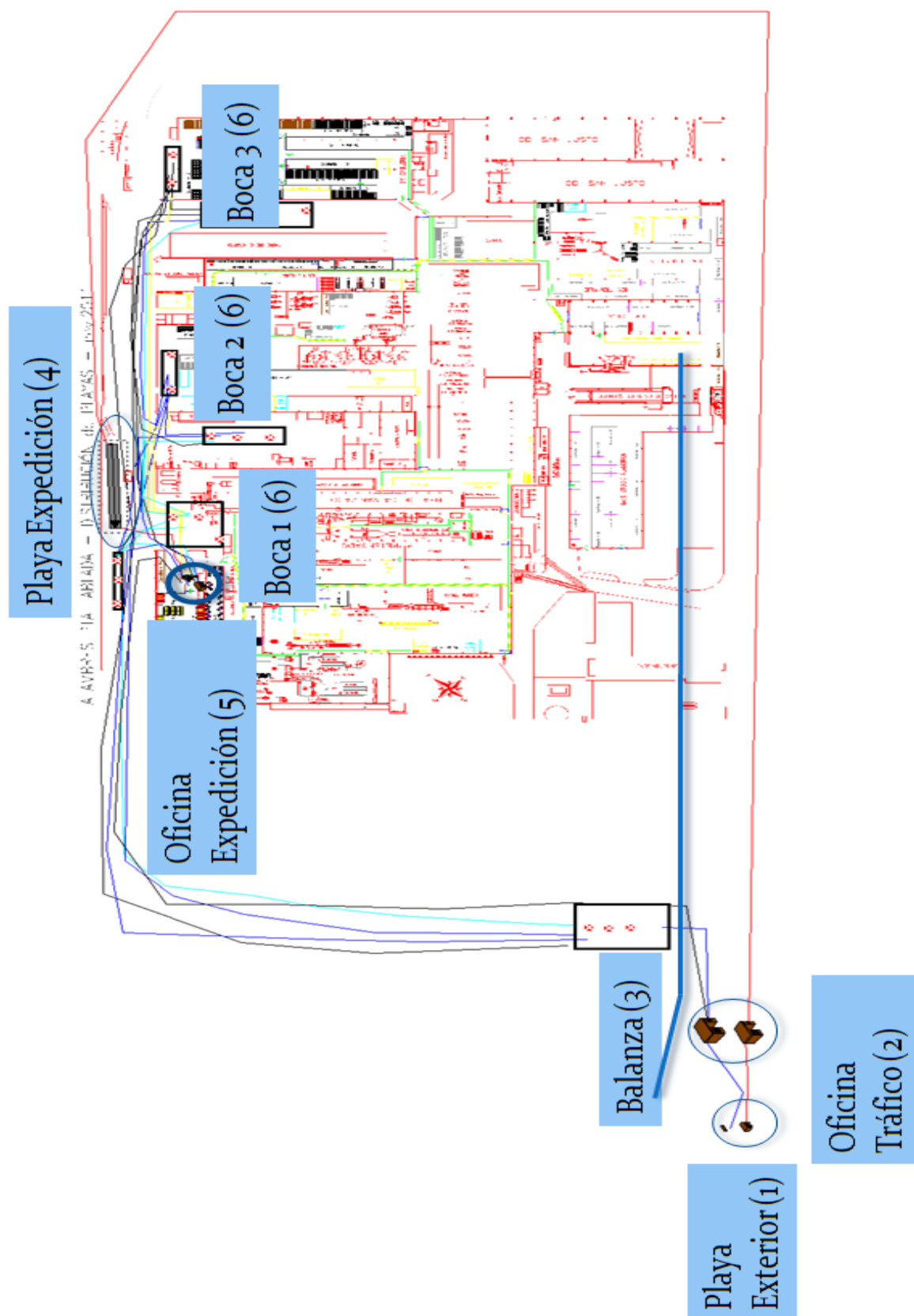


ILUSTRACIÓN 3-2 PLANO DE PLANTA

4 MODELO DE DATOS

Las variables utilizadas como input del modelo de simulación pueden ser de carácter aleatorio o de carácter determinista. Las primeras deben ser generadas por muestras artificiales de acuerdo a la distribución presentada, mientras que las segundas (parámetros) se fijan constituyendo los límites del modelo. De acuerdo a esta clasificación se analizarán por separado cada una de las mismas.

4.1 Variables Aleatorias

4.1.1 Tipo de pedido

Para estudiar el comportamiento de los productos despachados por camión y la cantidad correspondiente de los mismos, lo primero que se hizo fue subdividir a los materiales en 40 grupos según sus características, unidad de almacenamiento y transporte y su ubicación. Una vez realizado este análisis y tomando referencia de 4 meses aislados del año, se pasó a notar la siguiente configuración de las cargas según la diversidad de mercadería transportada:

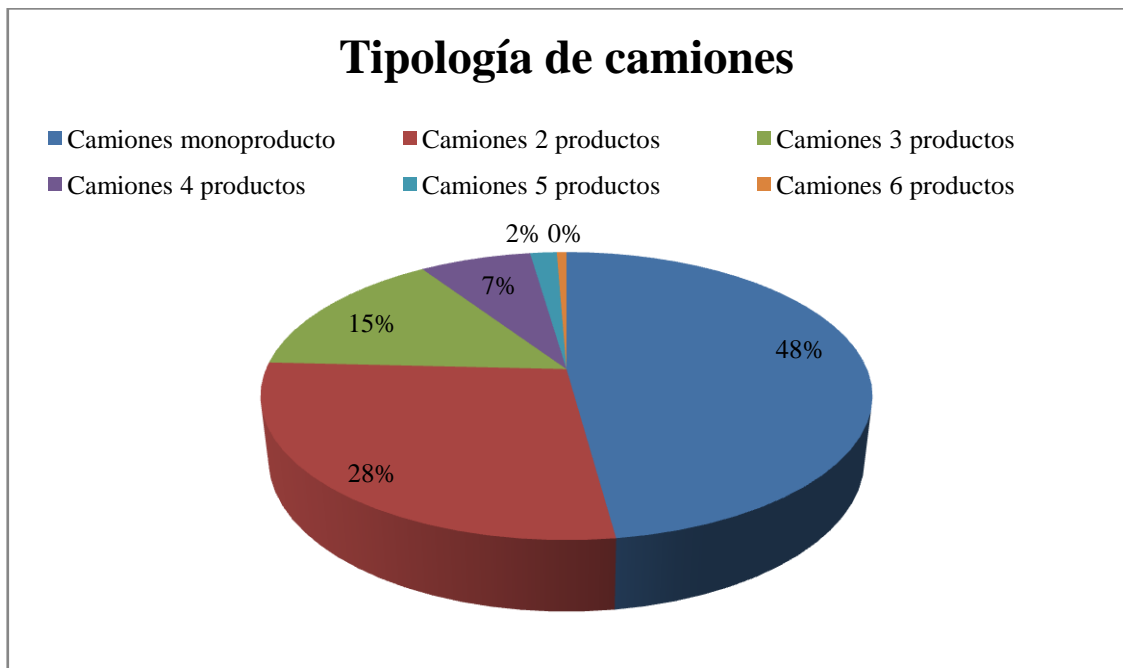


ILUSTRACIÓN 4-1 TIPO DE CAMIONES INGRESADOS

Teniendo en cuenta la escasa ocurrencia de pedidos con más de 4 productos, para simplificar el análisis se procedió a estudiar las probabilidades discretas asociadas en cada tipología de carga. A priori, debe destacarse cuál es la posibilidad de que el camión cargue qué cantidad de productos, quedando determinada por la siguiente tabla:

Tipología	Probabilidad
Monoproducto	49%
2 productos	29%
3 productos	15%
4 productos	7 %

TABLA 4-1 TIPOLOGÍA DE CAMIONES Y PROBABILIDADES

Una vez conocidos dichos datos, pasa a explicarse la forma de cálculo de probabilidades para llegar a determinar la cantidad de lotes de cada producto por camión ingresado.

4.1.1.1 *Monoproducto*

Este es el caso más simple, donde el trabajo realizado consistió en determinar la probabilidad asociada a cada categoría de material¹¹. A partir de allí, se ponderó una cantidad de lotes promedio cargados según el tipo de producto en cuestión.

4.1.1.2 *2, 3 y 4 productos*

A diferencia de la situación anterior, además de calcular la probabilidad de que una categoría determinada componga el plan de carga, mediante una tabla en donde se determinaron todas las combinaciones existentes (agrupando según la cantidad de productos cargados), lotes promedio y sus probabilidades de ocurrencia. Debe tenerse en cuenta que según el mix de materiales del plan cambiarán los lotes a despachar de los mismos. Por ejemplo, si se dan las probabilidades de cargar Alambrón con Tejidos, la cantidad de lotes de cada uno no será la misma que si se combinan estos últimos con rollos de alambre.

4.1.2 *Tasa de llegada de camiones*

4.1.2.1 *Distribución mensual*

Como se dijo anteriormente, la llegada de camiones se programa en cuatro ventanas horarias. Ahora bien, analizando la distribución de las mismas a lo largo del mes, el proceso presenta una estacionalidad semanal significativa debido a que el negocio siderúrgico suele tener una concentración de ventas a fin de mes¹², generando de esta manera una acumulación de envíos a realizarse en la última semana. En el siguiente gráfico puede verse reflejada la situación recién descrita:

¹¹Cantidad de camiones producto x/Camiones totales monoproducto.

¹² Es una característica comercial.

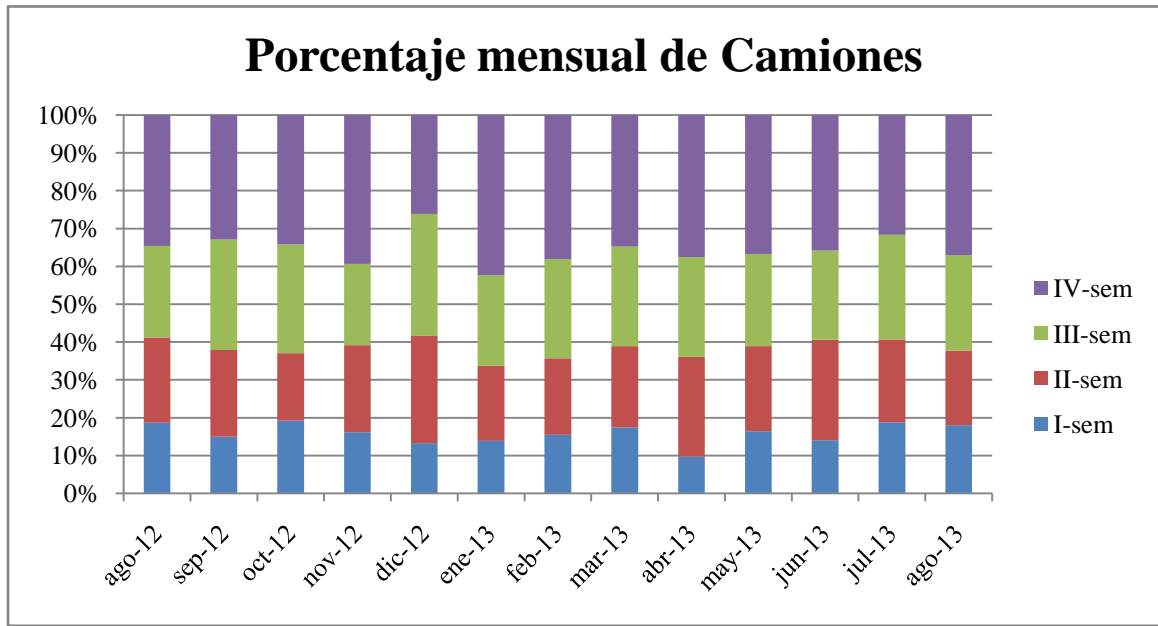


FIGURE 1 PORCENTAJE MENSUAL DE CAMIONES

Por lo tanto, la primer componente de la modelización de esta variable se radicará en definir la cantidad de camiones atendidos por semana. Como modelo predictor se planteó la siguiente formulación:

$$Y(t) = A \cdot C(t) + \varepsilon \quad (4.1)$$

Donde:

Y: Cantidad de camiones despachados

t: semana correspondiente

A: valor promedio de despachos mensuales¹³

c(t) : coeficiente de estacionalidad semanal¹⁴

e: error aleatorio

Posteriormente, con los siguientes datos de entrada:

A	465 (u)
C (I-sem)	16%
C (II-sem)	23%
C (III-sem)	26%
C (IV-sem)	35%

se obtuvo una Desviación Media Absoluta (MAD) de 11,6 (**error de 2,5%**), lo que le otorga una precisión aceptable. Para validar y completar el modelo, es necesario analizar la

¹³ Se corresponde con lo observado anteriormente, en donde se afirmó una actividad estable.

¹⁴ Calculado como promedio de las observaciones realizadas.

distribución del error aleatorio y constatar sea que se asemeje a la de una normal con media nula. Se puede observar a continuación el histograma y la prueba de ajuste mediante Kolmogorov-Smirnov (utilizando **EasyFit**):

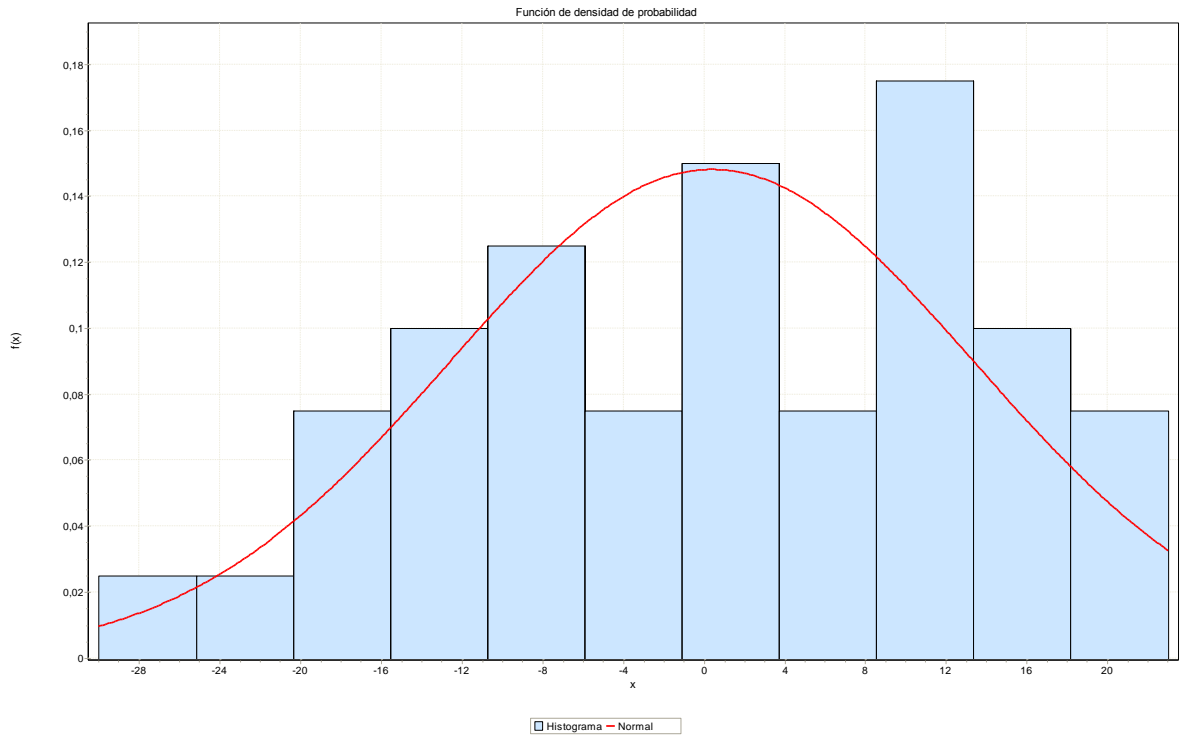


ILUSTRACIÓN 4-2 DISTRIBUCIÓN DE DENSIDAD DEL ERROR ALEATORIO

Normal ($\mu=0,4$; $\sigma=13$)					
Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	40				
Estadística	0,09618				
Valor P	0,81892				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor crítico	0,16547	0,18913	0,21012	0,23494	0,25205
Rechazar?	No	No	No	No	No

Si se considera el valor de la media aproximable a 0, puede afirmarse con un nivel de significancia del 82% que la muestra representada sigue una distribución normal de las características requeridas (no se rechaza hipótesis nula), aceptando al modelo como válido y quedando determinado por la siguiente ecuación:

$$Y(t) = 465 C(t) + \varepsilon (N(0; 13)) \quad (4.2)$$

4.1.2.2 Distribución por ventanas horarias

Habiendo introducido la estacionalidad semanal, para definir la tasa de llegadas de camiones se hace necesario analizar su distribución según las distintas ventanas horarias. Para ello, se tomaron como referencia 4 meses de actividad estable a partir de los que se construyó el siguiente gráfico:

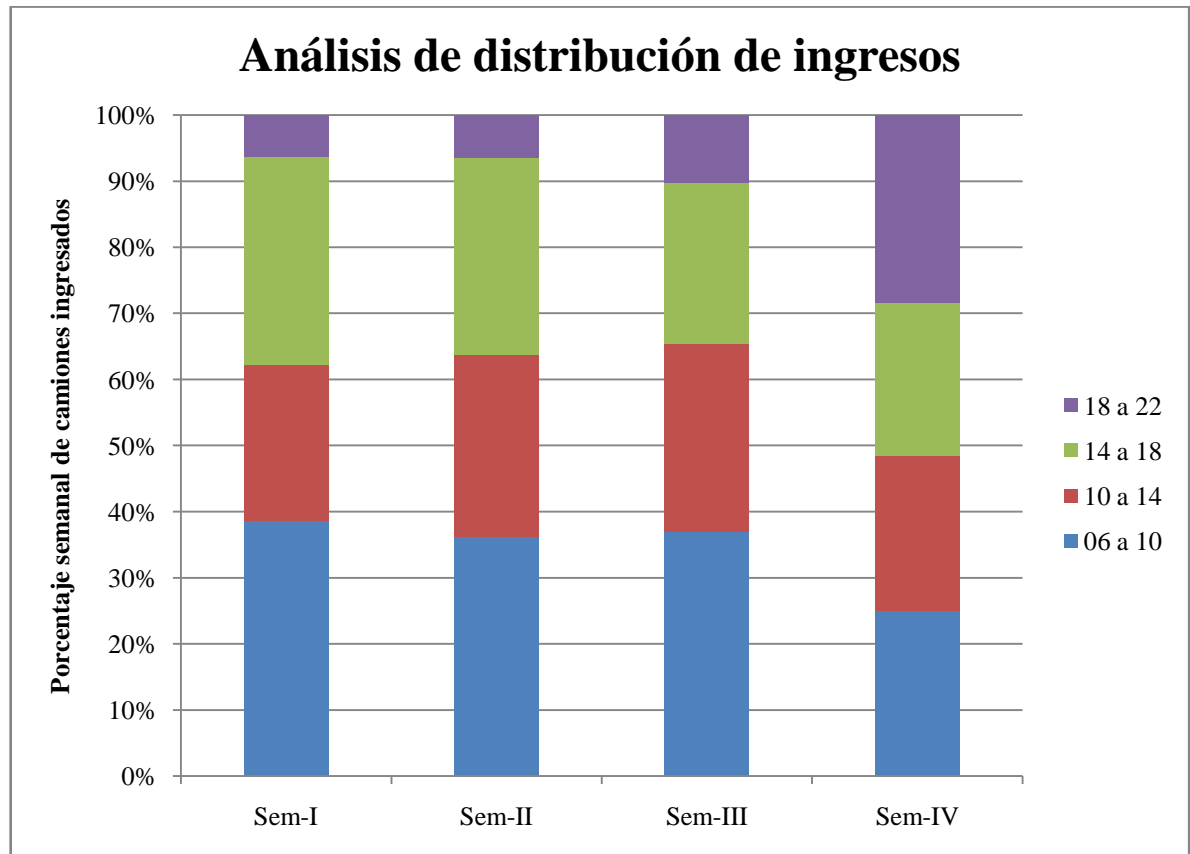


ILUSTRACIÓN 4-3 DISTRIBUCIÓN DE INGRESOS SEGÚN VENTANAS HORARIAS

La primera conclusión que se deduce es, para las primeras 3 semanas, una significativa diferencia de actividad entre los distintos horarios (la más notable la de la última ventana). No sólo eso, sino que además cada proporción de carga de cada semi-turno parece mantenerse estable (variación máxima del 4%). Esta primera observación permitiría unificar el análisis para las primeras tres semanas, asumiendo que el tiempo entre arribos por ventana será similar para los tres períodos. Se debe tener en cuenta que en condiciones normales de operación (semanas I, II y III) los días sábados se trabaja un único turno, por lo que es lógico que las ventanas horarias de 6 a 10 tengan una mayor proporción de camiones¹⁵. Para la cuarta semana se puede notar que la carga de trabajo es equilibrada por lo que sería válido partir de suponer una misma distribución de llegadas para las cuatro ventanas.

Prosiguiendo con el análisis, se observa una característica no menos importante y es que, dentro de una misma ventana horaria, los camiones arriban en dos tandas, cada una con distintos

¹⁵En condiciones normales, de los 6 días disponibles para la programación de camiones, sólo en 5 podrán llegar camiones en el turno 14 a 22.

tiempos entre arribos. Resumiendo (y suponiendo que la distribución entre días de semana es uniforme), para modelar la llegada de los camiones se tendrá en cuenta:

- Cantidad de camiones semanales totales¹⁶
- Cantidad de camiones por ventana horaria.
- Cantidad de camiones por tanda para cada ventana horaria.
- Tiempo entre arribos por tanda y ventana.
- Tiempo de inicio de segunda tanda para cada ventana horaria¹⁷.

Ahora bien, observando las características estadísticas (parámetros y distribuciones) de los tiempos entre arribos (de 1era y 2da tanda) y de los tiempos de inicio de segunda tanda para las ventanas 06 a 10(A); 10 a 14 (B) y 14 a 18 (C) se puede identificar un patrón común de comportamiento para todas las semanas, por lo que se asumirá que las distribuciones de tiempos serán similares entre sí. Distinto es el caso de la última ventana horaria, donde no puede establecerse una analogía con los restantes pero sí mismas características para la totalidad de las semanas. Se procede a continuación a especificar la determinación de cada uno de los tiempos mencionados.

- *Tiempo entre arribos primera tanda – Ventanas: A, B y C*

Al realizar el histograma correspondiente y la prueba de bondad de ajuste, surgen varias distribuciones alternativas con resultados no satisfactorios. Esto se debe probablemente a las características enteras (en minutos) de los datos de entrada y a la concentración de ocurrencias de tiempos bajos, dificultando la adaptación de una distribución continua. En otras palabras, si el 75% de los tiempos ocurren en un intervalo que va de 0 a 8 minutos, y se contabilizan solo en forma discreta los minutos, se puede deducir que el ajuste de continuidad de distribución no será efectivo. Dada esta situación y teniendo en cuenta que debe tratarse de una distribución que solo admita valores positivos, se decidió optar por una distribución **Gamma** (rankeada en el tercer puesto según criterio K-Smirnov) con parámetros: $\alpha=0,31$ $\beta=31,6$.

¹⁶Se calcula según (1).

¹⁷Si bien se realizó el análisis de distribución, dada la imposibilidad de plasmar este tiempo en el software, se terminó por definir **un horario promedio**, quedando determinados de la siguiente forma:

Turno	Horario inicio segunda tanda
A	8:00
B	11:15
C	15:30
D	20:00

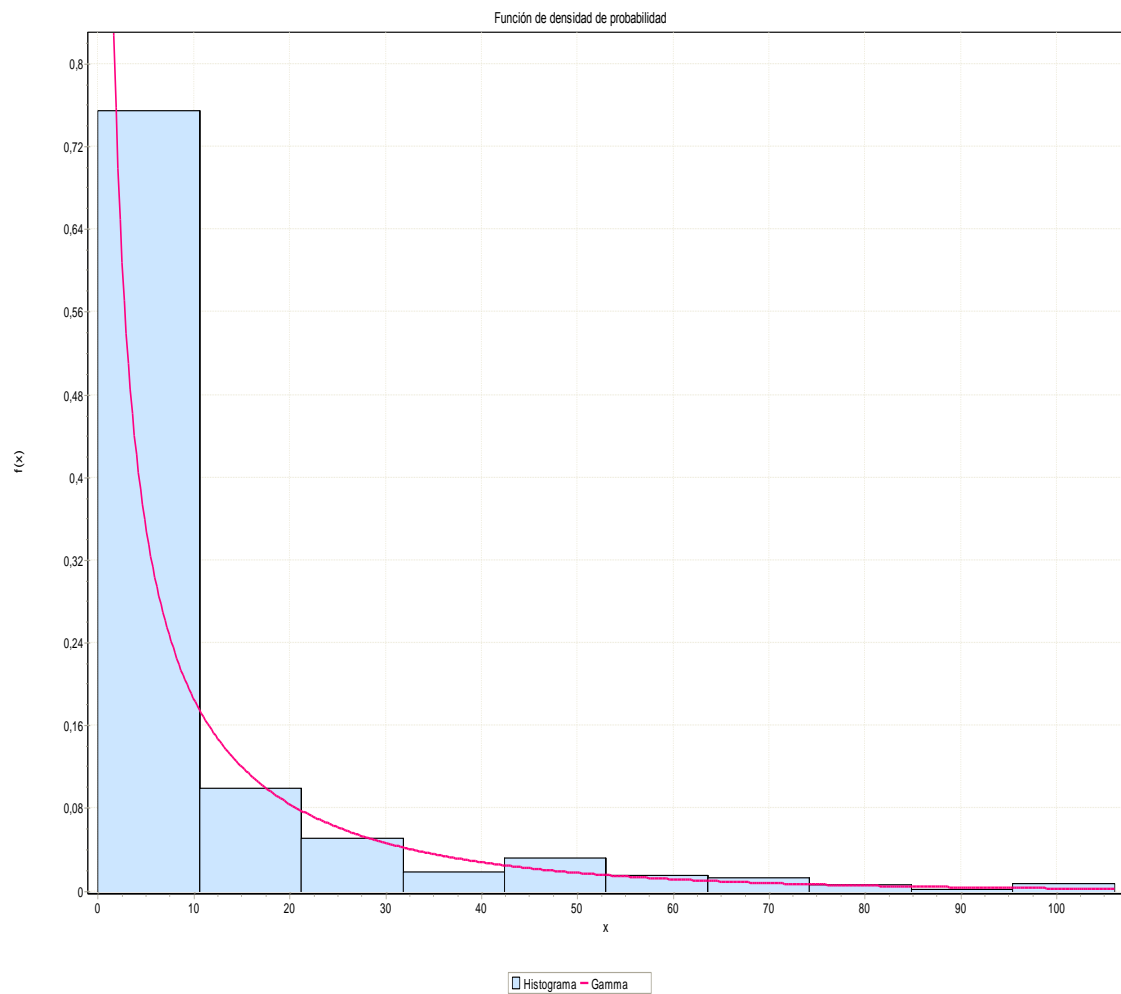


ILUSTRACIÓN 4-4 HISTOGRAMA TEA PRIMERA TANDA. VENTANAS A,B Y C

- *Tiempo entre arribos segunda tanda – Ventanas: A, B y C*

La situación se asemeja a la manifestada anteriormente y por lo tanto, bajo el mismo criterio, se optó por asumir una distribución **Exponencial** de parámetro $\lambda=0,042$ (cam/min), dado que generalmente este tipo de distribuciones reflejan fenómenos de arribos (independientes entre sí).

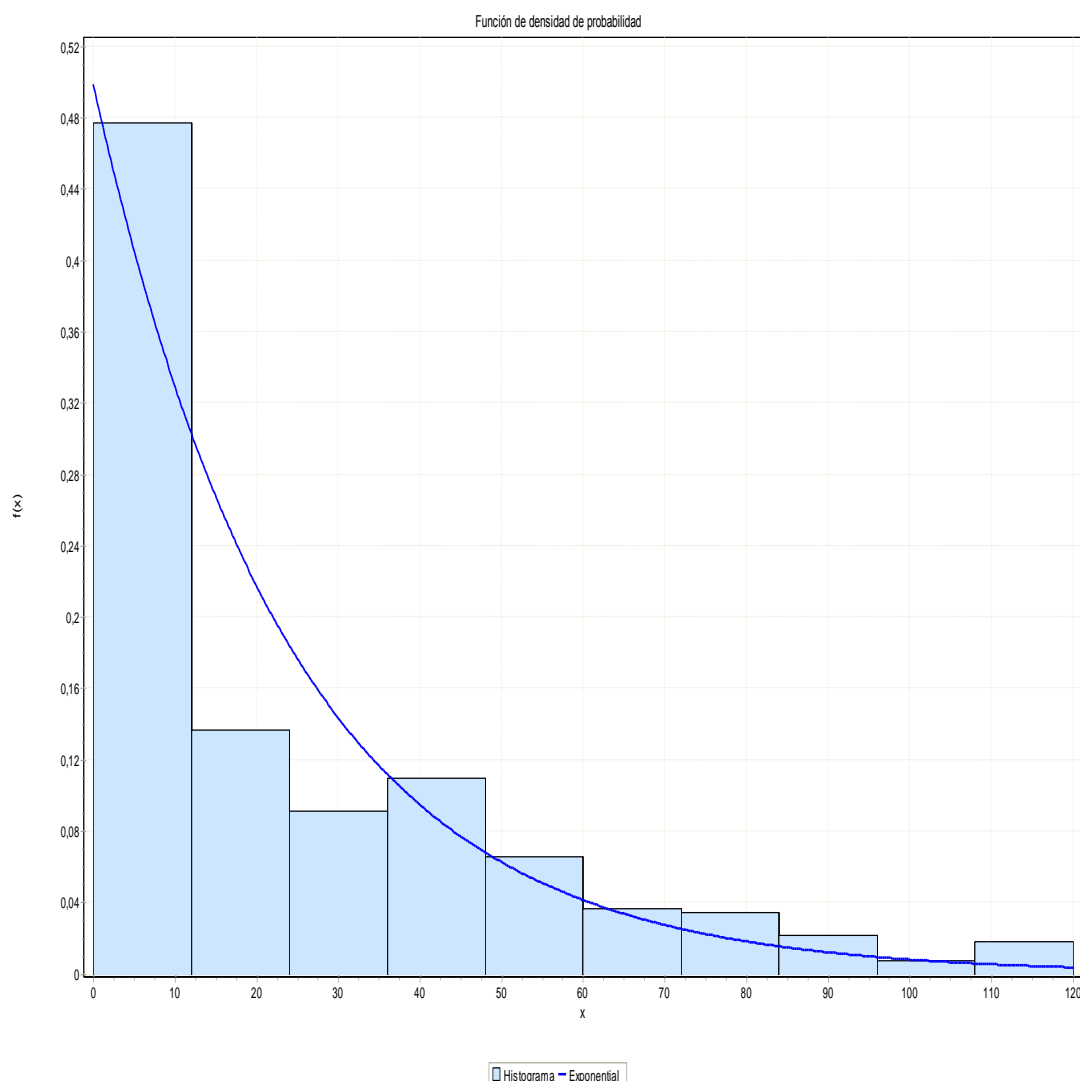


ILUSTRACIÓN 4-5 HISTOGRAMA DE TEA DE CAMIONES SEGUNDA TANDA. VENTANAS A,B Y C

- *Tiempo hasta inicio segunda tanda– Ventanas: A, B y C*

En este caso, al realizar el ajuste se obtienen resultados aceptables (Valor P de 92%) para una distribución **Weibull**, de parámetros $\alpha=1,75 - \beta=91,4$. Si bien carece de sentido estadístico (esta distribución no se aplica en casos de este tipo), su ajuste justifica la elección.

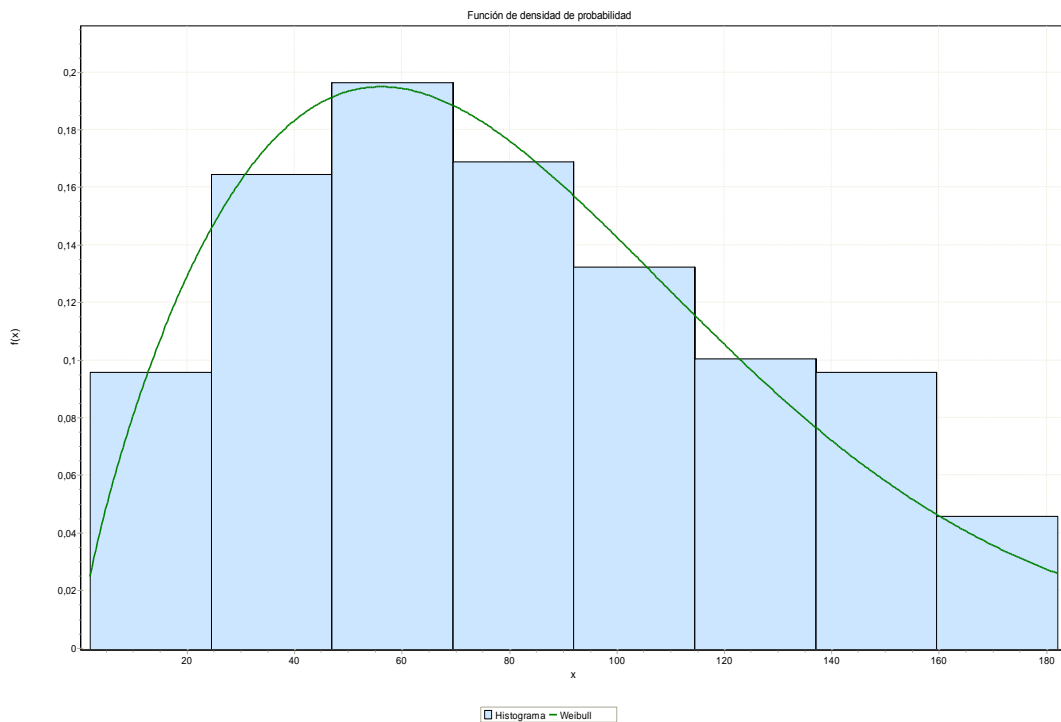


ILUSTRACIÓN 4-6 HISTOGRAMA DE TIEMPO HASTA INICIO DE SEGUNDA TANDA.
VENTANAS A,B Y C

- *Tiempo entre arribos primera tanda – Ventana: D*

Se tiene una situación similar a la descrita en los casos anteriores, donde no se encuentra una distribución que ajuste aceptablemente. Dentro de este contexto, se optó por asumir una **Exponencial** (ranking 10) de $\lambda=0,086$ (cam/min), dada la poca diferencia entre los valores de ajuste de las primeras alternativas y teniendo en cuenta lo afirmado anteriormente sobre esta tipología de función.

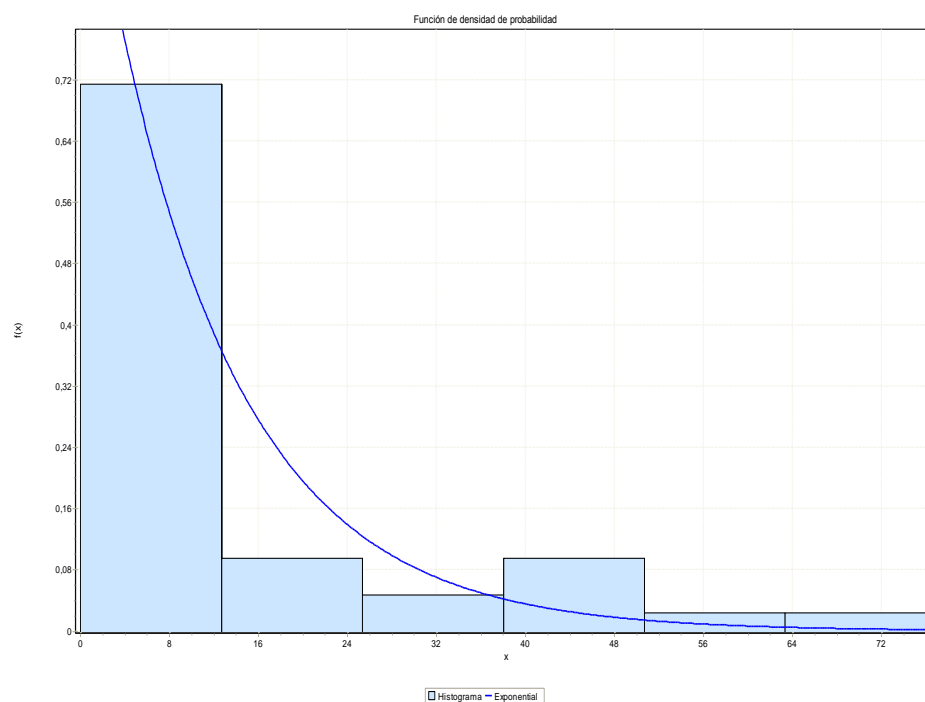


ILUSTRACIÓN 4-7 HISTOGRAMA DE TEA (TIEMPO ENTRE ARRIBOS) DE 1ERA TANDA.
VENTANA D

- *Tiempo entre arribos segunda tanda – Ventana: D*

En este caso se presenta una situación similar a la situación de “Tiempo entre arribos de la primera tanda – Ventanas A,B y C”, seleccionándose una distribución **Beta** de parámetros $\alpha_1=0,0636$ $\alpha_2=0,736$ $a=0$ $b=188$ debido a sus propiedades de ajuste.

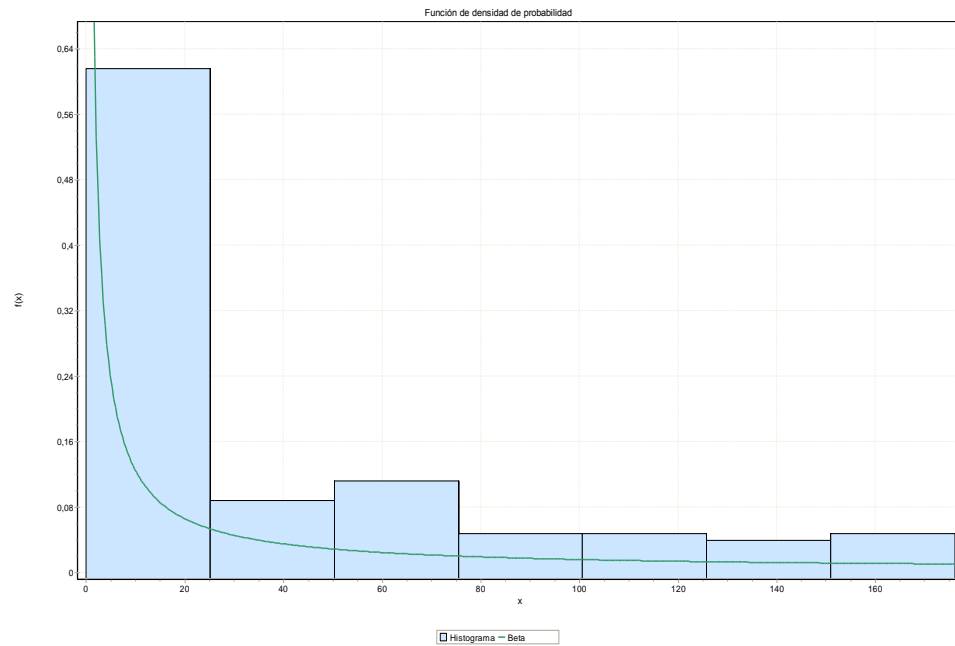


ILUSTRACIÓN 4-8 HISTOGRAMA DE TEA PARA SEGUNDA TANDA. VENTANA D

- *Tiempo hasta inicio segunda tanda– Ventana D*

Para esta variable aleatoria, los resultados de ajuste para una **Lognormal** de parámetros ($\mu=4,75$; $\sigma=0,43$) son satisfactorios (valor P de 97%) y el sentido estadístico de la elección puede encontrar justificación en la multiplicidad de factores (variables aleatorias) que influyen en la misma.

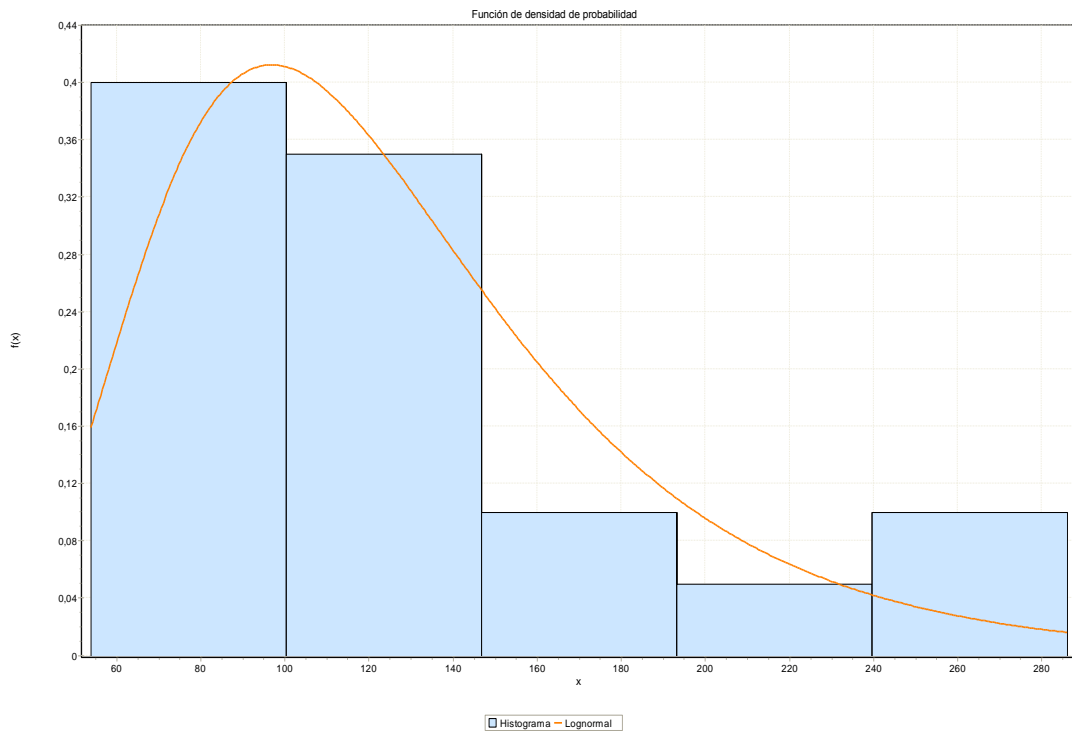


ILUSTRACIÓN 4-9 HISTOGRAMA DE TIEMPO DE INICIO SEGUNDA TANDA. VENTANA D

En lo que respecta a las proporciones de camiones por ventana horaria y la proporción por tanda, se dividirá el análisis para las primeras tres semanas y, por separado, para los turnos de la cuarta.

Análisis de proporciones de semanas para las primeras 3 semanas

El primer paso para comenzar la modelización será definir la proporción promedio de camiones para cada ventana horaria, que se expresa en el siguiente diagrama:

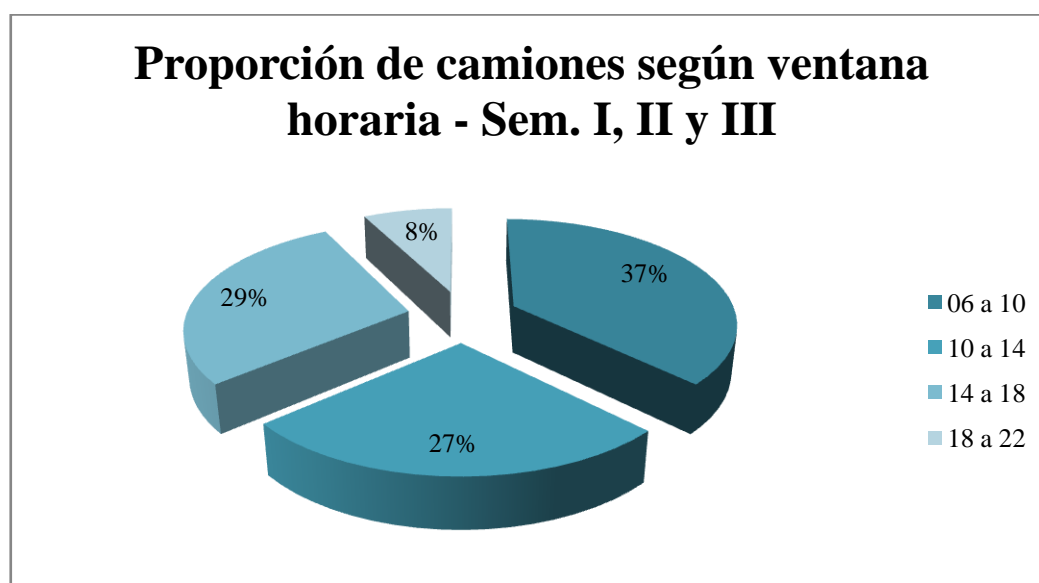


ILUSTRACIÓN 4-10 PROPORCIÓN DE CAMIONES PROMEDIO SEGÚN VENTANA HORARIA. PRIMERAS 3 SEMANAS.

En el siguiente cuadro, puede observarse además como varía la proporción de camiones entre tandas según ventana horaria:

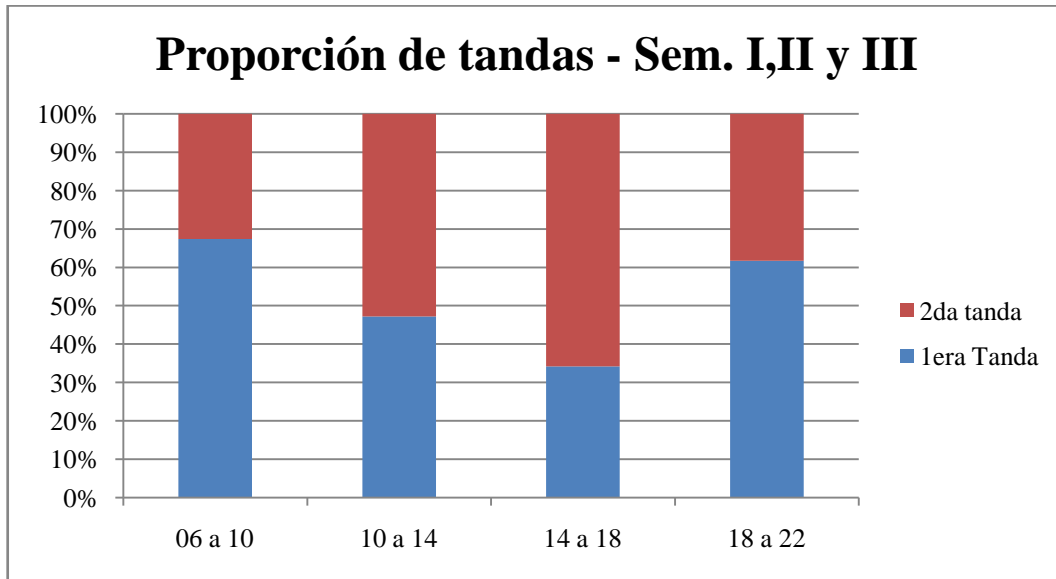


ILUSTRACIÓN 4-11 PROPORCIÓN DE CAMIONES SEGUN TANDA DE LLEGADA.

Se separará por lo tanto el análisis según ventana horaria definiendo tiempo entre arribos por tanda y tiempo de inicio de segunda tanda. Para definir la cantidad de camiones por tanda y para las **primeras tres semanas** se utilizará el siguiente modelo:

$$Y(s; v; t) = Y_{sem}(s) * C1(v) * C2(v; t) + \varepsilon \quad (4.3)$$

Donde,

Y= Cantidad de camiones por ventana y tanda

Ysem= Cantidad de camiones según semana (ver (1))

C1= Proporción de camiones por ventana.

C2 = Proporción de camiones según ventana y tanda.

s : Semana correspondiente

v : Ventana horaria correspondiente.

t : Tanda correspondiente.

Se utilizarán los siguientes valores de coeficientes:

	C1	C2(1era tanda)	C2(2da tanda)
06 a 10	37%	67%	33%
10 a 14	27%	47%	53%
14 a 18	29%	34%	66%
18 a 22	8%	62%	38%

TABLA 4-2 COEFICIENTES DE LLEGADAS PARA LAS PRIMERAS 3 SEMANAS

Análisis de proporciones de semanas para la cuarta semana

Siguiendo la lógica descrita para el caso anterior se tendrán las siguientes proporciones de camiones según ventana y tanda:

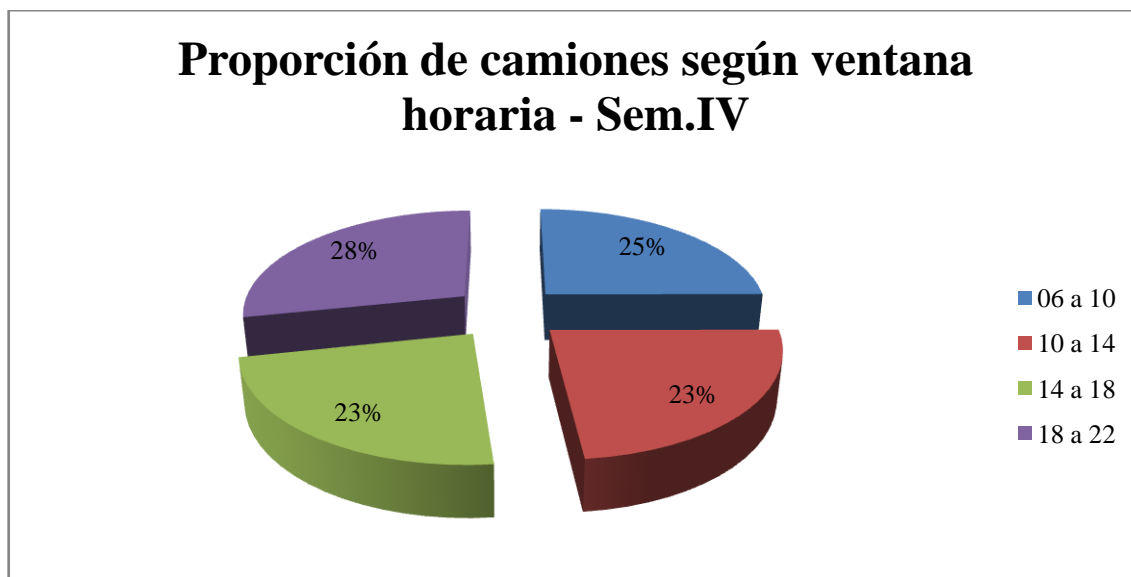


ILUSTRACIÓN 4-12 PROPORCIÓN DE CAMIONES SEGÚN VENTANA HORARIA. SEMANA IV

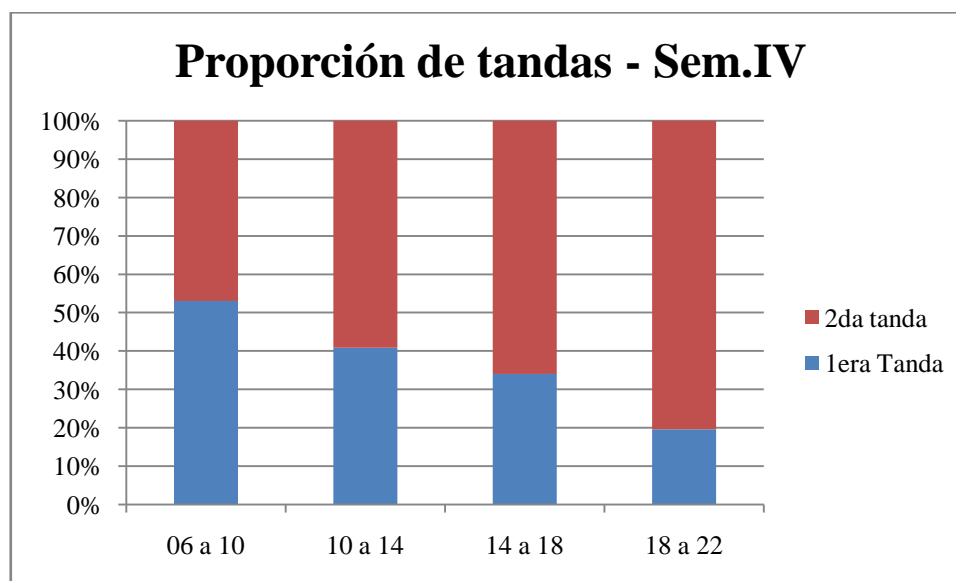


ILUSTRACIÓN 4-13 PROPORCIÓN DE TANDAS. SEMANA IV

Se puede observar en este caso como la carga de camiones que arriban en la 2da tanda se incrementa en la última ventana, debido a las exigencias de cumplimiento de planes que se acentúan a fin de mes.

Análogamente al caso anterior, pero para modelizar la cantidad de camiones de la **cuarta semana**, se planteará:

$$Y(v; t) = Y_{sem}(4) * C1(v) * C2(v; t) + \varepsilon \quad (4.4)$$

Donde,

Y = Cantidad de camiones por ventana y tanda

Y_{sem} = Cantidad de camiones según semana (ver (1)), evaluado en la cuarta.

$C1$ = Proporción de camiones por ventana.

$C2$ = Proporción de camiones según ventana y tanda.

v : Ventana horaria correspondiente.

t : Tanda correspondiente.

Se utilizarán los siguientes valores de coeficientes:

	C1	C2(1era tanda)	C2(2da tanda)
06 a 10	25%	53%	47%
10 a 14	23%	41%	59%
14 a 18	23%	34%	66%
18 a 22	28%	20%	80%

TABLA 4-3 COEFICIENTES DE LLEGADAS PARA LA CUARTA SEMANA

4.1.3 Tiempo de servicio de la balanza

Luego de ser cargados, los camiones pasan de la boca de expedición hasta la balanza donde son pesados para luego retirarse del predio de la empresa. La información para realizar el modelo de datos de la presente variable se recopiló de los sistemas de la empresa para todos los camiones que fueron cargados en el mes de marzo de 2013.

Histograma

Una vez obtenida la información de los tiempos de pesaje en **minutos**, se procedió a realizar el histograma correspondiente a esos datos. La tabla de frecuencias y el gráfico se presentan a continuación.

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>
0,00	2
15,00	43
30,00	94
45,00	82
60,00	44
75,00	37
90,00	20
105,00	14
120,00	6
135,00	5
150,00	5
165,00	0
180,00	3
195,00	1
210,00	1
225,00	0
240,00	0
255,00	1
270,00	1
y mayor...	0

TABLA 4-4 FRECUENCIAS DE LLEGADAS DE CAMIONES

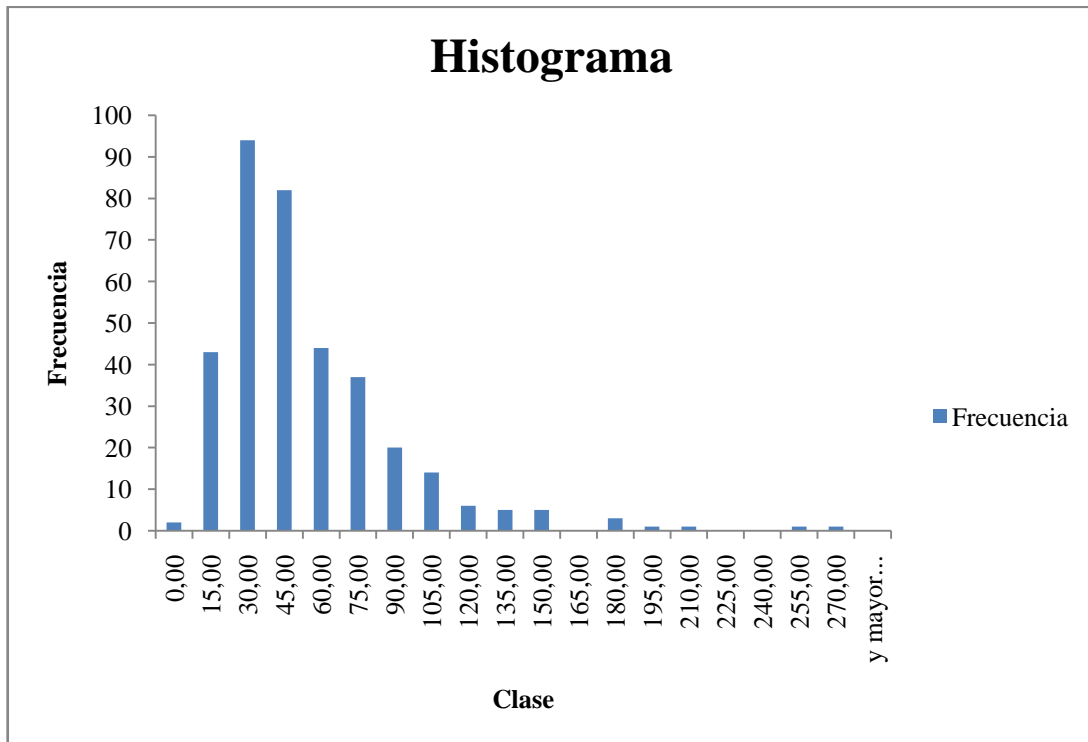


GRÁFICO 1: HISTOGRAMA DE LAS FRECUENCIAS DE TIEMPOS DE PESAJE DE CAMIONES.

Dada la forma de la campana que presentan los datos en el histograma, se comenzó a pensar en una serie de distribuciones de probabilidad que se ajusten correctamente. Se pensó en asignarle a la variable x (tiempo de pesaje de camiones) la distribución Lognormal, donde la $y = \ln(x)$ tiene distribución Normal.

Prueba de Bondad de Ajuste a la distribución Lognormal

Hipótesis nula: Los tiempos de pesaje de los camiones se ajusta a una distribución Lognormal, con parámetros $m=3,69$ y $D= 0,742$ (Derivados de una media de 49,83 minutos y un desvío estándar de 36,69 minutos).

Cuando se calcularon las frecuencias esperadas para los grupos utilizados en el histograma original, algunas tenían valores menores a 5, lo cual no se ajusta a las condiciones de validez estadística. En consecuencia, se redujo la cantidad de grupos para obtener todos valores de frecuencias esperadas mayores a 5. Se obtuvo:

Grupos	Frecuencia Real	Frecuencia Esperada	$(Fr-Fe)^2/Fe$
15	45	49,09	0,34
30	94	105,59	1,27
45	82	74,69	0,72
60	44	45,16	0,03
75	37	27,02	3,68
90	20	16,50	0,74
105	14	10,34	1,29
120	6	6,66	0,07
135	5	6,63	0,40
165	5	7,95	1,09
165 o mas	7	9,97	0,89

TABLA 4-5 FRECUENCIAS ESPERADAS Y DIFERENCIAS

Con esta información se obtuvo:

Chi cuadrado observado
9,64

Con un nivel de significación del 5%, 2 parámetros estimados(P) y 11 grupos de frecuencia (K), se calculan los grados de libertad $v = P-K-1=11$. Con lo cual:

Chi cuadrado Crítico
15,5

Por ende no se puede rechazar la hipótesis nula y por lo que se podría utilizar la distribución Lognormal.

4.1.4 Tiempo de servicio de la oficina de expedición

Como se dijo anteriormente, se trata del tiempo requerido para recibir el plan de carga, definir como deberá ser preparado el transporte y asignar la boca de carga correspondiente. Debido a que se trata de una tarea manual, se estimará una distribución **Normal** de parámetros ($\mu=5$; $\sigma=1$) min¹⁸.

¹⁸En minutos.

4.1.5 Ocurrencia de lluvias

Para el área metropolitana, la ocurrencia media de lluvias anual puede estimarse en un 28%. Al modelizar un mes standard, se realizó la simplificación de no considerar los distintos meses con sus respectivas y disímiles probabilidades.

4.1.6 Ocurrencia de distorsión en el pesaje

El fenómeno de distorsión en el pesaje está fuertemente relacionado con la presencia de tejidos en las cargas. Esto se debe básicamente a que los mismos se pasan al sistema mediante un peso teórico, sin ser efectivamente pesados. Se trata en total de 5 tipos de productos, que de encontrarse en el plan de carga a dichos camiones se les atribuye una probabilidad de tener diferencias de un **48%**.

4.1.7 Tiempo de preparación del camión

Es el tiempo requerido por el transportista para adecuar el camión a las características de carga. Dado que cada camión y transportistas poseen distintas estructuras y maneras de proceder, esta variable puede aproximarse a una distribución **Normal** de parámetros ($\mu=12$; $\sigma=2$) – en minutos-.

En el caso de lluvia, el transportista deberá colocar una lona para proteger la carga cada vez que egrese de una boca. Este tiempo se aproxima a una distribución **Normal** de parámetros **$N(\mu=5; \sigma=1)$ min.**

4.1.8 Tiempo de carga de producto

Esta variable tiene la característica, como se ha dicho, de estar dividida en dos. Se procederá a realizar la modelización para cada uno de los tiempos mencionados.

4.1.8.1 *Tiempo de carga desde depósito y posterior escaneado*

La operación de escaneado se realiza en el momento en que el autoelevador retira la mercadería desde la estantería o playa correspondiente. Es necesario tener en cuenta los casos en los que el producto retirado se encuentra no apto para ser despachado y que será reacomodado en el depósito. Resumiendo, se tendrá:

- Tiempo de Picking: **$N(\mu=2; \sigma=0.2)$ min / viaje.**
- Probabilidad de ocurrencia de anomalías: **10 %**.¹⁹
- Tiempo de escaneado por lote: **8 seg.**
- Tiempo de estiba: **1 min/viaje.**

4.1.8.2 *Tiempo de carga en camión*

Este tiempo en cambio sí que no presenta complicaciones y puede definirse como:

- Tiempo de carga en camión: **$N(\mu=1.25; \sigma=0.2)$ min / viaje**

4.1.9 Tiempo de revisión de la oficina de expedición

¹⁹Es la proporción de materiales en control de calidad que no han sido apartadas.

Debido a que el rastreo de la distorsión puede deberse a distintos motivos este tiempo presenta una dispersión considerable, siendo su distribución semejante a una **Normal** de **$N(\mu=30; \sigma=10)$ min.**

4.1.10 Tiempo de documentación de la oficina de tráfico

En este caso la distribución puede asemejarse a una **Normal** de **$N(\mu=3; \sigma=1)$ min.**

4.2 Parámetros

En cuanto se refiere a los parámetros, la forma de determinación de cada uno de ellos fue la siguiente:

Capacidad de carga por tipo de producto: De acuerdo a las especificaciones de los equipos y la tipología de cada producto²⁰ se obtienen las siguientes relaciones:

Capacidad de carga por tipo de producto (unidades/viaje)		Capacidad de Autoelevadores	Elemento de Transporte
Tipo de Producto	Alambres Rollo (Resorteros, Crudos y Buloneros)	5	Espolón
	Tejido Romboidal	1	Espolón
	Alambres Galvanizado	6	Espolón
	Tejido Púas	1	Uña
	Tejido Cuadrangular	1	Uña
	Alambre en Spyder	3	Espolón
	Alambrón Venta	1	Espolón
	Alambre Crudo Strecht	2	Espolón
	Alambre en cuna	3	Uña
	Alambre en cuna de 4	4	Uña
	Cordón	1	Uña
	Trenza	3	Espolón
	Trenza fraccionada	9	Espolón
	Fasones	1	Uña
	Tachos	4	Uña

TABLA 4-6 CAPACIDAD DE CARGA SEGÚN PRODUCTO

Distancias entre ingreso, oficina de expedición, bocas de carga, etc. (m): Quedan determinadas por el software mismo al utilizar el plano en escala.

²⁰Se aclara que parte de las 40 categorías individualizadas se agrupan al poseer características comunes de transportabilidad.

Velocidad promedio de recorrido(km/h): Para camiones la velocidad de circulación está limitada por condiciones de seguridad operativa.

Velocidad de autoelevador(km/h)

Velocidad de líder de carga

Tiempo máximo de demora (h): Se fija por política negociada entre la empresa y los clientes.

Hora de corte: La hora a partir de la que no se aceptan más ingresos a la planta.

Pérdidas de tiempo por descanso y cambio de turno²¹

- Pérdida por descanso: los operarios cuentan con un descanso de **45 minutos**. Para el primer turno se da a partir de las 12:00 mientras que para el segundo a las 17:00.
- Cambio de turno: se pierden 10 minutos a partir de las 14:00.

Descripción	Pérdida	Hora de inicio
Descanso 06 a 14	45 min	12:00
Descanso 14 a 22	45 min	17:00
Cambio turno	10 min	14:00

TABLA 4-7 VALORES DE CAMBIOS DE TURNO Y PERDIDAS POR DESCANSO

²¹En el caso de que se encuentren cargando un camión, finalizarán la carga y luego se dispondrá a realizar el descanso correspondiente.

Tabla resumen de parámetros

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Consumo combustible	Según tabla especificada.	Km/l	Consumo de combustible por km recorrido.
Capacidad de carga por tipo de producto	Según tabla especificada.	Unidades/viaje	Define la cantidad de unidades que puede cargar el autoelevador por cada viaje entre depósito y camión.
Velocidad de recorrido	6	Km/h	Velocidad promedio de circulación.
Velocidad de autoelevadores	7	Km/h	Velocidad promedio de circulación.
Velocidad de líder de carga	2	Km/h	
Distancias entre ingreso, oficina expedición, bocas de carga, etc.	Según lay-out.	Metros.	
Tiempo máximo de demora	4:00:00	Horas	Es el límite horario a partir del que se comienza a computar el exceso de demora.
Capacidad Boca de Carga 1	3	Camiones	Es la capacidad límite de la boca de carga.
Capacidad Boca de Carga 2	2/1	Camiones	Es la capacidad límite de la boca de carga. Con lluvia se reduce a 1.
Capacidad Boca de Carga 3	2/1	Camiones	Es la capacidad límite de la boca de carga. Con lluvia se reduce a 1.
Capacidad Playa de Expedición	8	Camiones	Es la capacidad límite de la playa de la oficina de expedición.
Capacidad Playa de Espera en Bocas	5	Camiones	Es la capacidad límite de la playa de cada una de las bocas de carga.
Capacidad Playa de Espera en Balanza	8	Camiones	Es la capacidad límite de la playa de espera para ser atendidos en la balanza.
Hora de corte ingreso	00:00	Hora	Es a la hora en que no se permite el ingreso de ningún otro camión a la planta.
<u>Tiempo perdido por cambio de equipo</u>	2	Minutos	Es el tiempo empleado para buscar y recoger el equipo con uña.
<u>Pérdidas por descansos y cambios de turno</u>	Ver tabla		Son los tiempos muertos por descansos y cambios de turno.

TABLA 4-8 TABLA RESUMEN DE PARÁMETROS

5 MODELO OPERACIONAL

5.1 Etapas de desarrollo

El proyecto se realiza en 4 pasos. La primera etapa consiste en modelar el ingreso de los transportes. Como se dijo, se dividió en 8 tipologías de llegadas (2 tandas por semi-turno), cada una con un tasa de arribos asociada y una cantidad fija de ocurrencias (ver modelo de datos). En esta instancia se define del tiempo de ingreso del camión (T_{ingreso}), el tipo de camión, los productos que contiene y los lotes de cada uno de los mismos. Al mismo tiempo se simula si el día en cuestión es de lluvia o no (mediante el uso de variable auxiliar “LLUVIA”).

En la segunda fase se modela la atención en la oficina de expedición (TS_{exp}) determinada por la correspondiente espera de la liberación de los recursos. Se calculan los viajes a realizar por cada boca y según el tipo de plan se asigna la primera boca de carga (BC_i) a la que el transporte deberá dirigirse. Para ello, es necesario tomar en cuenta el estado de carga de las bocas (libres u ocupadas), que dependerá a su vez de las capacidades de las mismas y su afectación por la situación de lluvia o no.

En el paso sucesivo se describe la operación de carga propiamente dicha del camión, demorando el tiempo necesario para realizarla, computando el consumo de combustible de autoelevadores y el tiempo de liberación del camión de la boca de carga (TL_{BCi}). En el caso de que ésta fuera la última, se liberan a su vez los recursos empleados, es decir la pareja de carga, y se computan las horas extra cuando así se requiera (entre 22 y 06 Lunes a Viernes, 14 a 24 Sábados y a todo horario los Domingos).

La cuarta y última etapa consiste en modelar la operación de pesaje (TS_{Bal}), documentación y eventual diferencia, registrándose posteriormente en este caso el tiempo de egreso del camión (T_{egreso}), que habilita el cálculo del exceso de demora sumándose a un acumulado (T_{acumdem}).

5.1.1 Plan de experimentación

El plan de experimentación va a consistir en correr el modelo modificando las distintas variables de control y comparar los resultados de cada simulación. Tal como se ha afirmado anteriormente, se tendrá un análisis separado para cada semana dada la estacionalidad intramensual identificada.

De acuerdo a los valores que tomen las distintas variables de control se afectará a las funciones objetivo.

$$H_{\text{demoratotal}} = H_{\text{demora1}} + H_{\text{demora2}} + H_{\text{demora3}} + H_{\text{demora4}} \quad (5.1)$$

$$H_{\text{extratotal}} = H_{\text{extra1}} + H_{\text{extra2}} + H_{\text{extra3}} + H_{\text{extra4}} \quad (5.2)$$

Además de analizar dichas variables, se analizarán los tiempos de ejecución de cada proceso, la demora total promedio, la cantidad de camiones demorados, cantidad de camiones atendidos, cantidad de camiones con diferencias. De esta manera se podrá realizar un seguimiento de la simulación más preciso, observando cuál es el comportamiento de los distintos elementos del sistema. Por otro lado, habilita a hacer recomendaciones para futuros estudios y de esta manera integrar la solución propuesta con el funcionamiento general de la planta.

5.2 Desarrollo del Prototipo

El prototipo fue desarrollado en el Software ProModel dada su versatilidad en el manejo de movimientos y recorridos en lay-outs, que permite reflejar simplemente las distancias y velocidades. La elección del software implica llevar a las funciones y herramientas del programa las lógicas presentadas anteriormente. Dicho esto y antes de profundizar sobre las etapas de codificación, merecen ser descriptos los elementos principales del prototipo. Básicamente se tienen:

- Locations: Son los espacios en donde se generan los procesos y decisiones del modelo. En el caso ejemplo son:
 - Oficinas de Servicio (Tráfico -Ingreso y Egreso-, Expedición y Balanza-Ingreso y Egreso-)
 - Playas (Exterior, Expedición, Espera Boca de Carga, Espera Balanza)
 - Bocas de Carga
- Entidades: Se trabajó con una sola entidad, el camión que se desplaza dentro de la planta.
- Recursos:
 - Autoelevador con espolón
 - Líder de carga
 - Autoelevador con uña

En el caso de los autoelevadores con espolón, y los líderes de carga, son tomados (en la Oficina de Expedición) y liberados (En la BC_i²² correspondiente una vez finalizada la carga) por las entidades. Para el autoelevador con uña, la entidad lo tomará únicamente en el caso que sea necesario, reteniéndolo hasta el final de la operación en dicha boca. A todos los recursos se les asignarán los descansos determinados.

- Caminos: Indican las rutas de desplazamiento tanto de las entidades como de los autoelevadores. (Entre las locaciones definidas).
- Atributos: se definieron para la única entidad utilizada, los camiones.
- Variables: Están compuestas por los parámetros, variables de control y nuevas variables para agilizar los cálculos y permitir lógicas (Tiempos de carga_{ij} –por producto (i) y por boca (j), Camiones en BC_i, estado BC_i, Capacidad BC_i, Hora ultimo egreso, Dia ultimo egreso, Horasextra diarias, entre otras) y mejorar el análisis (Demorados, Demora). Tanto parámetros como variables de control se expresaron como fueron definidas en el modelo conceptual.
- Arribos: El software asigna a las entidades la tasa de arribos que permite la modificación de las ocurrencias para ensayar las distintas semanas.

²²Boca de carga 1, 2 o 3.

5.2.1 Etapa 1

Como se dijo anteriormente, una vez definida la totalidad de los elementos se comenzó a programar el sector de ingreso a la planta. El mismo cuenta con la Playa Exterior y la Oficina de Tráfico. En esta última locación se determina el tiempo de ingreso (T_i - atributo) del camión a la planta y además se define el Tipo de Camión (Tipodecamión – atributo) de acuerdo a la distribución asociada (Tipodecamión – userdistribution). De acuerdo a la tipología, se define el Código de Carga (Codigodecarga_i – userdistribution)²³. Con la información del Código de Carga y nuevamente la tipología de camión pasan a determinarse mediante una matriz los productos a cargar, lotes por producto y bocas correspondiente a cada uno de los mismos. Una vez realizado el ingreso, se lo dirige por el camino asignado (función ROUTE).

5.2.2 Etapa 2

En esta etapa se dan las relaciones más complejas del modelo dado que la Oficina de Expedición es el nodo de encuentro de los recursos con las entidades. Es el punto donde confluyen los equipos, que son tomados (función GET) por el camión que está siendo atendido en ese momento. Al arribar a la oficina de expedición, todas las entidades deben aguardar (WAIT) un tiempo de procesamiento de la oficina misma. A partir de allí, se calculan los atributos de viajes por boca de carga (mediante lotes y matriz de *transportabilidad* de productos) y se lo direcciona (según la lógica descripta, mediante sentencias IF) hacia la Boca de Carga correspondiente con su equipo asignado.

5.2.3 Etapa 3

La tercer parte del desarrollo consiste en modelizar el proceso de carga del camión. Se parte desde la playa de espera de cada boca de carga, que el camión abandona una vez que se libera la boca de carga correspondiente (mediante el uso de funciones WAIT UNTIL y las variables de capacidad de las bocas de carga). Al ingresar a la boca, se incrementa en 1 unidad la cantidad de camiones en la misma. Pasando a representar a la operación de carga propiamente dicha, se realizó una iteración de los viajes efectuados por el autoelevador asignado mediante los atributos ViajesBC_i(con valor inicial según el tipo de pedido, que representa la carga total) y hasta que la misma alcanzara el valor 0, teniendo en cuenta si es necesario o no el uso del autoelevador con uña (mediante función GET). Por cada iteración se acumula un tiempo de carga de camión (dado por la distancia entre boca y depósito – matriz de distancias según producto- ,la velocidad del autoelevador, y el tiempo de carga por producto) y la cantidad de viajes realizados. Con esos valores se pasa a conformar los acumuladores de consumo de combustible y se determina el tiempo total de permanencia del camión en la boca. Finalizado dicho tiempo, se verifica cual es el estado de las cargas pendientes (nuevamente mediante atributo ViajesBC_i) y en el caso de que se hayan completado, se liberan los recursos (sentencia FREE ALL), y se dirige el camión hacia la playa espera de la balanza. De quedar cargas pendientes se ruteará al camión hacia la boca correspondiente, previamente habiendo liberado al autoelevador de uña solo si así se requiere.

²³El subíndice i representa la distribución de probabilidad de acuerdo a la tipología de transporte, es decir si es Mono, Bi, Tri o Cuatriproducto.

5.2.4 Etapa 4

En la última fase de la modelización, partiendo de la playa de espera la entidad accede a la Balanza de egreso una vez que esta se libera. A partir de allí, aguarda a que se efectúe el pesaje y una vez finalizado, de acuerdo a la presencia o no de productos con peso teórico se aplica la probabilidad de diferencias (DistDIF – userdistribution). De ser positivo, el transporte se ruteará hacia la oficina de expedición (atendido con prioridad) donde esperará el tiempo de revisión y será nuevamente pesado. Tanto en esta situación como cuando no se registre diferencia alguna, el transporte se dirige hacia la oficina de tráfico donde aguardará el tiempo de documentación después del que, en el caso se superen las 4 horas, se computa el exceso y se actualiza el acumulador de horas demoradas..

Se presenta a continuación la disposición del plano de planta con las locaciones, caminos, entidades y recursos definidos:

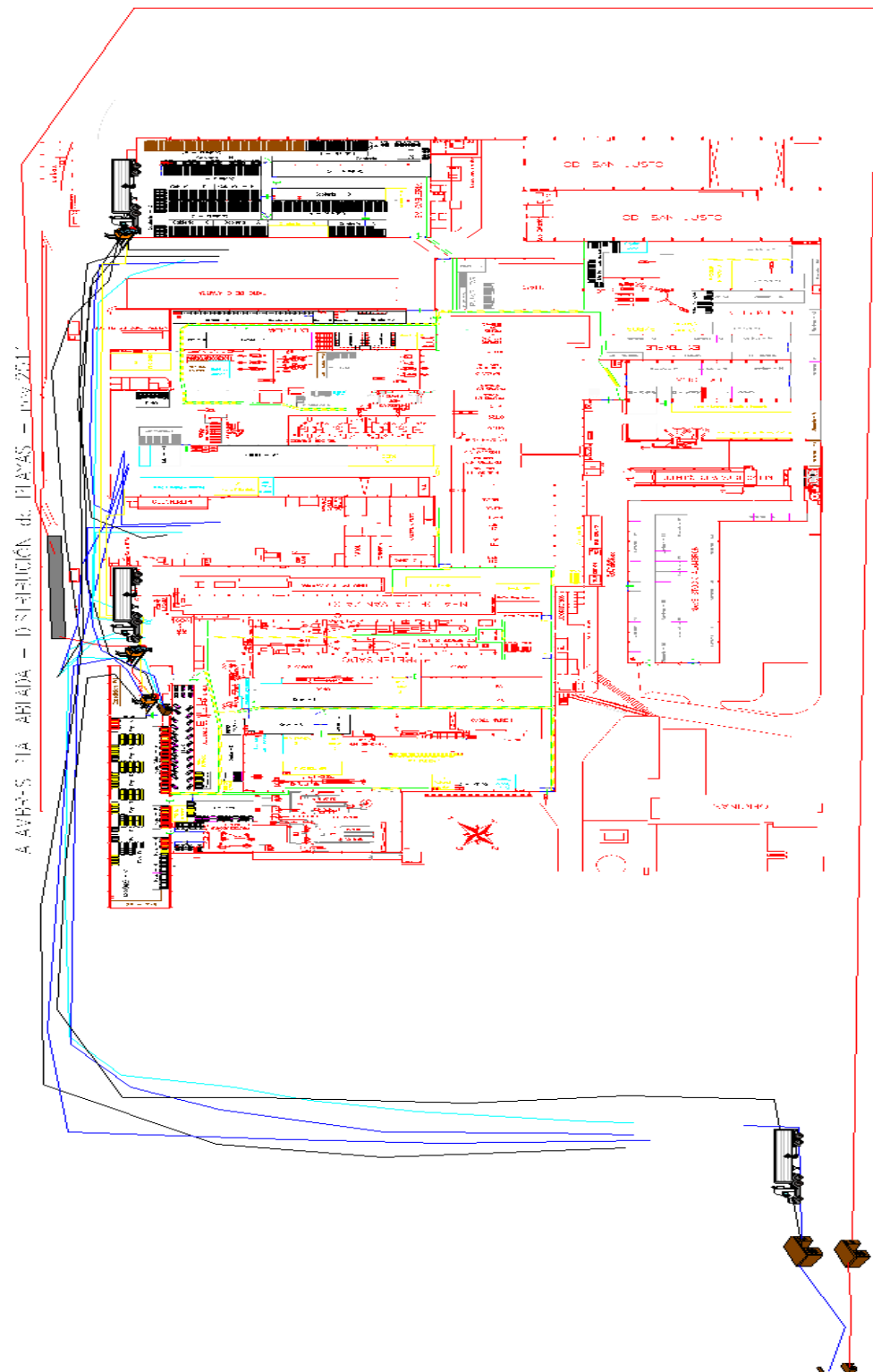


ILUSTRACIÓN 5-1 PLANO DE PLANTA. LOCACIONES, RECORRIDOS, ENTIDADES Y
RECURSOS

5.3 Verificación

El punto de partida para la verificación del sistema fue establecido en la cuarta semana, exigiendo por completo al modelo y definiendo un plantel (real) 3 choferes de autoelevadores y 3 líderes de carga. A su vez, debido a la imposibilidad de incluir la variación aleatoria de los camiones mensuales totales (y de esta manera influir en el valor de la cantidad de camiones por semana), se tomó un valor de 478 camiones mensuales despachados (media + 1 desvío). A partir de estos inputs, a medida que se avanzaba en la configuración de las etapas, se realizaron corridas de prueba cerciorándose del funcionamiento correcto del sistema. Para esto se utilizaron variables auxiliares (mostrar1, mostrar2, etc.) que reflejaran en contadores visibles los datos a corroborar (cantidad de camiones en playa, excesos de demora, tiempos de ingreso, tiempos de carga, etc.).

En líneas generales, se buscó ir de menor a mayor, es decir, simplificando al máximo el resto del sistema aguas abajo para que cada formulación de una sentencia específica desarrollada sea la debida. De hecho, se decidió trabajar inicialmente con pocos tipos de pedido e ir verificando etapa por etapa. Ya definido y corroborado el sistema entero en régimen, se pasaron a definir los casos extremos de corte horario observando que a partir de los mismos se reflejara lo planteado conceptualmente.

Con el modelo funcionando para el input definido como punto de partida, se analizó el comportamiento horas demoradas, el tiempo de carga del camión (carga estricta – tiempo de permanencia en boca de carga), demora global promedio, cantidad de camiones demorados y se observó que disminuían a medida que se incrementaba la cantidad de recursos o bajaba la cantidad de camiones ingresados. Se observó una tendencia decreciente en ambos casos, reflejando de este modo la respuesta esperada.

5.4 Cantidad de Corridas

Una vez determinado el modelo en el simulador, se pasó a realizar una serie de corridas de prueba para comenzar a delimitar su precisión. La metodología utilizada es de tipo iterativo, tomando de base la siguiente fundamentación estadística:

- Por el Teorema Central del Límite, puede afirmarse que para una Distribución Muestral de Medias de una población, sea cual fuere su distribución, es Normal con parámetros:
 - $\mu_m = \mu$, donde μ_m es la media muestral y μ la media de la población subyacente.
 - $\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$, donde σ_m es el desvío muestral, σ el poblacional y N el tamaño de la muestra.
- Por inferencia estadística, siendo \bar{I} el promedio de una muestra y S su desvío estándar, $1-\alpha$ el intervalo de confianza seleccionado, puede afirmarse que:

$$\bar{I} - HW < \mu < \bar{I} + HW \quad (5.3)$$

Donde HW se denomina HalfWidth y está definido:

$$HW^{24} = t_{v;1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (5.4)$$

Se concluye por lo tanto, que la precisión del modelo dependerá directamente de la cantidad de corridas realizadas y de su desvío. Con la conjunción de estos factores, definiendo a priori un nivel de precisión (expresado como porcentaje de la media), se obtendrá mediante un procedimiento iterativo (ya que el desvío se modifica al cambiar N) la cantidad de corridas necesarias para garantizar dicho intervalo de confianza.

Como consecuencia, se decidió efectuar 100 corridas iniciales para cada una de las semanas, teniendo en cuenta ya la situación real de operación. Ésta presenta una particularidad para la primera semana, donde una pareja de carga se emplea para cumplir con tareas mensuales de control de stocks, orden general, controles de calidad y servicios varios y por lo tanto no está disponible para realizar tareas de despacho.

Al tener dos outputs, la cantidad de corridas se realizó para ambos obteniendo los siguientes resultados:

	Horas Demoradas	Horas Extra
Error de precisión	6,5%	3%
Cantidad de corridas	600	600

Para los mismos, se partió del supuesto de tomar la misma cantidad de corridas para los dos indicadores, de modo de poder reducir la cantidad de simulaciones a realizar para la validación y experimentación de escenarios. Con este criterio, se centró el análisis en definir el nivel de precisión de las horas demoradas. Partiendo con un valor inicial del 5%, se obtuvieron valores de corridas cercanos al 1000, poniendo al límite la capacidad del software para realizar las mismas. Por este motivo se concluyó en un nivel de error de precisión del 6,5%²⁵ con un menor número de corridas de modo de no comprometer al programa. Con igual *n*, para las Horas Extras se obtuvo una precisión del 3%.

²⁴En el caso que se desconozca el desvío de la población se toma la distribución T de student, donde v son los grados de libertad. Si el desvío de la población es conocido, se reemplaza el fractil de la T de Student por el de la distribución Normal tomando $1 - \frac{\alpha}{2}$.

²⁵ Se define aceptable dada la complejidad del problema y el impacto económico reducido del mismo (respecto a otras operaciones y sectores de la planta).

5.5 Validación

A la hora de validar el simulador, se realizó el análisis por separado para las dos funciones objetivo mencionadas²⁶, utilizando como herramienta estadística el intervalo de confianza y test de hipótesis. En este último caso pueden tomarse dos caminos:

- a) Testear si el modelo no ajusta con una probabilidad de error de tipo α y aceptar indirectamente que lo hace en el caso de que no se demuestre lo contrario. Esto equivale a plantear (H_0 : Hipótesis nula – H_1 : Hipótesis alternativa):
 - H_0) El modelo ajusta
 - H_1) el modelo no ajusta
- b) Testear cual es la probabilidad de error de ajuste del modelo (β), planteando:
 - H_0) El modelo no ajusta
 - H_1) El modelo ajusta

5.5.1 Horas de Demora

La característica principal de este caso fue la imposibilidad de aseverar el comportamiento estable de una población de parámetros conocidos. Esto se debe particularmente a la presencia de una reducción al 50% de los valores de horas demoradas a partir de los primeros meses de operación estable de 2013 (descartando los meses afectados por la inundación, Abril-Mayo), que marcan un cambio drástico en la tendencia de los mismos que no puede ser pasado por alto. Por este motivo, se decidió tomar una muestra de 5 valores (Junio-Julio-Agosto-Septiembre-Octubre) representativos y a realizar un ensayo de comparación de dos medias para determinar la validez del simulador.

Los tipos de ensayo de comparación de medias que se realizarán partirán de la base de estimar el estadístico

$$\delta = \mu_2 - \mu_1, \quad (5.5)$$

donde el subíndice 1 representa al resultado del simulador y el subíndice 2 a la población real.

El estimador utilizado será

$$\hat{\delta} = \bar{X}_2 - \bar{X}_1 \quad (5.6)$$

donde X representa la media de la muestra.

Con grados de libertad (donde n es tamaño de la muestra)

$$v_1 = n_1 - 1 \quad (5.7)$$

$$v_2 = n_2 - 1 \quad (5.7)$$

Para todos los ensayos se considerarán desvíos desconocidos, por lo que deberá en primer lugar definirse si $\sigma_1 = \sigma_2$. Para ello se planteará:

$$H_0) \sigma_1 = \sigma_2$$

$$\alpha = 0,05$$

²⁶ Se efectuó un análisis de correlación entre las variables, con un resultado pobre de un coeficiente $R^2 = 0,09$ que no permite identificar una dependencia entre las mismas.

siendo la condición de rechazo (C.R.),

$$\frac{S_{mayor}^2}{S_{menor}^2} \geq F_{v(num);v(den);1-\alpha/2} \quad (5.8)$$

Donde F es la distribución de Fisher-Snedecor. Si no se rechaza la hipótesis nula se considerarán iguales los desvíos.

En el caso de que sean **iguales**, el estimador de la varianza ($\hat{D}^2(\hat{\delta})$) se definirá como:

$$\hat{D}^2(\hat{\delta}) = S^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \quad (5.9)$$

$$S^2 = \frac{v_1 S_1^2 + v_2 S_2^2}{v_1 + v_2} \quad (5.10)$$

$$v = v_1 + v_2 \quad (5.11)$$

En el caso de desvíos **desiguales**,

$$\hat{D}^2(\hat{\delta}) = \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \quad (5.12)$$

$$v = \frac{\left[\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right]^2}{\left[\frac{1}{v_1} \left(\frac{S_1^2}{n_1} \right)^2 + \frac{1}{v_2} \left(\frac{S_2^2}{n_2} \right)^2 \right]} \quad (5.13)$$

Los ensayos a realizar serán 3 en su totalidad:

1. **Test de hipótesis de aceptación indirecta – tipo a)- con diferencia nula**, donde, siendo α la probabilidad de error, se tiene:
 - $H_0) \delta = 0$
 - $H_1) \delta \neq 0$
 - $\hat{\delta}_{c2} = t_{v;1-\alpha/2} \cdot \hat{D}(\hat{\delta}) \quad (5.14)$
 - $\hat{\delta}_{c1} = - t_{v;1-\alpha/2} \cdot \hat{D}(\hat{\delta}) \quad (5.15)$
 - C.Rechazo: $(\hat{\delta}_{c2} < \hat{\delta}) \cup (\hat{\delta}_{c1} > \hat{\delta}) \quad (5.16)$
2. **Test de hipótesis de aceptación directa – tipo b)- con diferencia nula**, donde, siendo la probabilidad de error β , se tiene:
 - $H_0) \delta \neq 0$
 - $H_1) \delta = 0$
 - $\hat{\delta}_{c2} = t_{v;0,5+\beta/2} \cdot \hat{D}(\hat{\delta}) \quad (5.17)$
 - $\hat{\delta}_{c1} = - t_{v;0,5+\beta/2} \cdot \hat{D}(\hat{\delta}) \quad (5.18)$
 - C.Rechazo: $(\hat{\delta}_{c1} < \hat{\delta} < \hat{\delta}_{c2}) \quad (5.19)$
3. **Test de hipótesis de aceptación directa – tipo b)- con diferencia absoluta admitida δ_0** , donde, siendo la probabilidad de error β , se tiene:
 - $H_0) \delta \geq \delta_0$

- $H_1) \delta < \delta_0$
- $\hat{\delta}_{c2} = \delta_0 + t'_{v,\beta} \cdot \hat{D}(\hat{\delta})$ (5.20)
- C.Rechazo: $(\hat{\delta} < \hat{\delta}_{c1})$ (5.21)

Donde t' es una distribución particular que resulta de concentrar las dos colas de la t de student en la franja de valores positiva-por tomar absolutos- (tendrán el doble de probabilidad los valores por la simetría de la distribución respecto del 0).

Los inputs del mismo se introdujeron de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- Plantel de 3 líderes y 3 choferes, a excepción de la primer semana, con 2 y 2.
- 478 camiones despachados mensualmente²⁷.

Se muestran a continuación los resultados obtenidos:

Estimador	Simulador (1)	Real (2)
\bar{X}	296	305
S	126	32

Con los mismos, se realizaron los ensayos mencionados, llegando a las siguientes conclusiones:

- **Test 1:** tomando un α de 5%, no puede afirmarse que exista una diferencia significativa entre las dos medias estudiadas por lo que tiene sentido ensayar la certeza del simulador.
- **Test 2:** se puede afirmar con un nivel de confianza $(1-\alpha)$ del 56% que la diferencia entre las medias es nula. Si bien dicho valor resulta significativamente bajo, se recuerda que se está desafiando al modelo a que tenga una diferencia nula, es decir tomando una tolerancia nula. Estas justificaciones encuentran sustento en el siguiente ensayo.
- **Test 3:** tomando una tolerancia de diferencia absoluta de un valor cercano al 2,5%²⁸ de la media, el nivel de confianza aumenta al 90%.

5.5.2 Horas Extra

Como lo ocurrido con las horas de demora, para esta variable también se presentaron distintas anomalías en los valores reales para el año 2012-2013²⁹ (licencias médicas por ejemplo, vacaciones, etc.), pudiendo identificar un patrón estable para 10 meses (Julio-Agosto-Septiembre-Octubre de 2012-2013 y Abril-Mayo 2012) y que se utilizaron como muestra de la población real.

²⁷El motivo de no introducir la aleatoriedad es meramente práctico –se debería realizar a mano corrida por corrida-, apoyado por la característica de que el desvío standard del error aleatorio es del orden del 6% en el 95% de los casos.

²⁸Se recuerda que la precisión del simulador se estimó aceptable en un nivel del 6,5%.

²⁹También se observó una variación significativa entre valores de 2012 y 2013.

Con los mismos inputs que para el caso anterior, se obtuvieron los siguientes resultados:

Estimador	Simulador (1)	Real (2)
\bar{X}	290	298
S	53	57

Partiendo de iguales supuestos y realizando idénticos ensayos, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- **Test 1:** tomando un α de **5%**, no puede afirmarse que exista una diferencia significativa entre las dos medias estudiadas por lo que tiene sentido ensayar la certeza del simulador.
- **Test 2:** se puede afirmar con un nivel de confianza $(1-\alpha)$ del **88%** que la diferencia entre las medias es nula, siendo este valor evidencia de una validación certera.
- **Test 3:** tomando una tolerancia de diferencia absoluta de un valor cercano al 2%³⁰ de la media, el nivel de confianza aumenta al **98%**, afirmando la certeza del simulador.

³⁰Se recuerda que la precisión del simulador se estimó aceptable en un nivel del 6,5%.

6 PROPUESTAS DE MEJORA Y EXPERIMENTACIÓN

Una vez validado el modelo, se cuenta con una herramienta fundamental para poder cuantificar el impacto de alternativas y propuestas que pueden sugerirse. Y es precisamente esta la utilidad del mismo, analizar la respuesta del sistema de acuerdo a las distintos valores que asumen las variables de control identificadas.

6.1 Propuesta 0: Alineamiento de indicadores

Uno de los principios fundamentales de la gestión de procesos es alinear los indicadores que se utilizan con los resultados económicos de las variables. Por este motivo se propone modificar el indicador actual utilizado (% de camiones demorados al mes) por directamente contar las horas demoradas mensualmente, qué es la variable que realmente tiene incidencia en las penalizaciones por demora. Si bien casos extremos debido a variabilidades no corregibles pueden afectar el resultado mensual (con el actual indicador estos efectos no se contabilizan), si no entran dentro de la variabilidad natural del proceso podrán desligarse de la consideración del indicador, identificándolos como outliers.

6.2 Propuestas de mejoras operativas

Luego de analizar indicadores, estudiar el comportamiento del sistema e indagar con los responsables y operarios del área acerca de las problemáticas más frecuentes, se definieron 3 alternativas de mejora sea para reducir tanto las horas demoradas como las horas extra. Las mismas no involucran incremento de plantel, dado que al realizar la experimentación con una pareja adicional por turno, el ahorro generado por la reducción de las dos variables críticas no llega a contrarrestar el costo fijo agregado.

6.2.1 Cerramientos en bocas de carga 2 y 3 (1)

Una de las principales problemáticas evidenciadas radica en que en los días de lluvia las capacidades de las bocas de carga 2 y 3 se ven reducidas a la mitad, pudiendo alojar únicamente un camión a la vez. Esto influye directamente en el tiempo de permanencia del camión en la planta como a la vez en la ineficiencia de utilización del personal (que ya está asignado a ese camión y debe aguardar a que se libere la boca), sobre todo si se tiene en cuenta que en dichas bocas se realiza el 60% de las cargas. Por este motivo es que se propone realizar dos cerramientos en las bocas de carga mencionadas, de modo de reducir el impacto en los tiempos operativos de las condiciones climáticas. Los mismos se realizan mediante estructuras metálicas retlacadas con cubierta de chapa parabólica, alojando un volumen de: Largo: 30 m – Ancho: 15 m y Altura: 8 m.

6.2.2 Tratamientos de diferencias (2)

Como se explicitó anteriormente, existen 5 categorías de productos cuyo peso está determinado de forma teórica, incrementando las probabilidades de que se registren diferencias de pesaje a la salida del transporte, impactando directamente en las horas demoradas. De hecho, realizando un estudio estadístico sobre estos se casos (para el mes de Agosto) se encontró que:

- El **20%** de los camiones que egresan de la planta registran diferencia de pesaje superior al 0,3%.
- En el **85%** de los casos manifestados de camiones con diferencia de peso la misma se debe a la presencia de productos con peso teórico.
- Aproximadamente el **10%** del total de las horas penalizadas se debían únicamente al tiempo adicionado en la demora por la revisión del transporte.

Indagando acerca de las posibles razones de este desfasaje, se identificó una desactualización de los valores de peso declarado en el sistema para cada tipo de producto o hasta casos en los que se determinaron sin un correcto procedimiento estadístico de muestreo. Si bien estas diferencias tienen un alcance global dentro de los sectores de la planta (no sólo afecta al despacho, sino también a diferencias con clientes), se define necesario llevar adelante con el personal de Control de Calidad y Tecnología procesos de redefinición de pesos de los productos en cuestión, que incluyen básicamente muestreo e inferencia estadística, para una vez determinado el valor de cada producto en cuestión volcarlo al sistema ERP. Es por este motivo que esta mejora no conlleva inversión alguna, ya que se trata de una tarea a realizar por el personal del sector mencionado con recursos disponibles para tal fin.

6.2.3 Sistema de gestión visual (3)

La actual organización del proceso asigna una pareja de carga por camión y exclusivamente para éste. Con este criterio, cada tiempo que el camión se encuentra en espera (siempre y cuando esté estrictamente cargando y no en otra secuencia del proceso de despacho) el personal está siendo inutilizado. No sólo, sino que además debe retornar desde las bocas hacia la oficina de expedición para tomar un transporte con el que posteriormente vuelva a dirigirse hacia la zona de carga. Las razones de esta organización radican en que:

- No existe forma de que el personal sepa, en forma remota, qué camión se necesita cargar y en qué boca debe hacerse³¹.
- Es necesario indicarle al transportista la boca a la que debe dirigirse y darle instrucciones acerca de la preparación del camión (número de cunas a armar). Esta actividad la realiza el líder de carga al recibir al transporte.

Al observar estas causas, se plantea colocar 3 tableros indicadores (uno por boca de carga) que manifiesten el orden de prioridad de carga, indicando tiempo de ingreso y localización del transporte al que dirigirse. La actualización de los estados la brindará el transportista, que al arribar a la boca ingresará el plan de carga a una lectora de códigos de barra (una ubicada en cada boca). Automáticamente figurará en los 3 tableros, como se dijo, la ubicación del transporte y la prioridad de carga, dada por el tiempo en el que ingresó. Es decir, el tablero presenta la información rankeada según este campo. Se muestra a continuación una ilustración representativa del mismo:

HORA ACTUAL 08:37			
Código del Transporte	Estado del Transporte	Boca de Carga	Hora de ingreso
5138790	En espera de pareja	1	06:37
5138793	En espera de pareja	2	06:48
5138798	En espera de pareja	1	07:31
5138803	En espera de pareja	3	08:01
Seleccionar Transporte y actualizar estado			

ILUSTRACIÓN 6-1 REPRESENTACION DE TABLERO INDICADOR

El personal, que al finalizar la carga se encontrará en alguna de las 3 bocas, dará de baja en el sistema el transporte que ha sido completado y observará el tablero para saber qué transporte atender. Una vez que arriba al lugar de carga, indicará en el sistema (acción realizada en el tablero) que dicho transporte ya se encuentra cargando. Acto seguido el mismo desaparecerá del listado hasta que no deba cargar nuevamente en otra boca.

A su vez, se coloca en el ingreso una consola de auto-atención que, dotada de una lectora de barra y recogiendo la información de los estados de las bocas de carga, dirija al transporte (mediante las lógicas actuales de ruteo) a la boca correspondiente y le dé las indicaciones de

³¹Colocar una pareja por boca conllevaría una mayor ineficiencia productiva.

preparación según el tipo y cantidad de productos a cargar³². Se presenta a continuación una imagen representativa de dicha consola:



ILUSTRACIÓN 6-2 CONSOLA DE AUTOATENCIÓN³³

³²Se trata de compilar una planilla con los líderes de carga con los números de cunas según el tipo y cantidad de productos. Igualmente, en caso de falla del sistema, el líder de carga podrá hacer correcciones cuando se dirija a realizar el despacho.

³³ <http://www.designlab.cl/images/portfolio/19.jpg>

6.2.4 Matriz de evaluación de mejoras –análisis económico-financiero preliminar

Utilizando el simulador para cada propuesta mencionada, se obtuvieron resultados estimados acerca del impacto económico de cada una para contrastarlas con la inversión que necesitan para su implementación. De esta manera se puede interpretar y analizar la relación riesgo/beneficio y clasificarlas en una matriz de evaluación de mejoras, en la que el eje vertical representa el valor actual estimado a los primeros dos años de implementación de cada una³⁴, mientras que en el eje horizontal la inversión requerida.

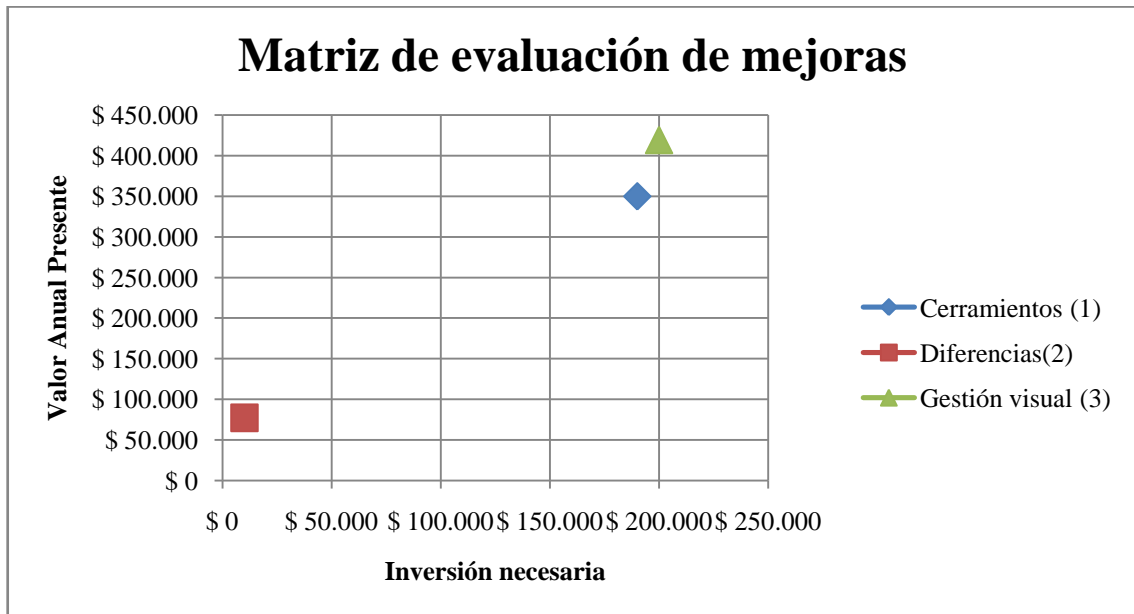


ILUSTRACIÓN 6-3 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE MEJORAS

Se puede observar que tanto los cerramientos como el sistema de gestión visual conllevan un mayor ahorro (impacto) pero requieren de una considerable inversión, mientras que en el caso de las diferencias la inversión es casi nula pero el impacto casi 4 veces menor. En todos los casos puede afirmarse (siempre de modo preliminar e inexacto) que el valor actual neto es mayor que cero para las tres alternativas. Es precisamente por este motivo que se realizará el estudio del simulador mediante las tres mejoras en su conjunto.

³⁴Al tener igual vida útil de proyecto, tratarse de una estimación preliminar y de igual ahorro para todos los meses, no se requiere del un valor anual equivalente para comparar las mejoras. Se toma una tasa de descuento anual del 15%, que es la utilizada por la empresa para la evaluación de proyectos operativos (con capitalización mensual).

6.2.5 3 Mejoras conjuntas

Al correr el simulador realizando las tres mejoras se obtuvieron los siguientes resultados:

Estimador	Horas Demoradas	Horas Extra
\bar{X}	173	224
S	87	51
Precisión	7,5%	3,5%

Con estos valores, es necesario constatar estadísticamente que efectivamente se trata de una mejora corroborando que sean muestras pertenecientes a una población distinta a la que representa a las variables en la situación real y actual. Para ello, se realizó un test de hipótesis del tipo **1)-a-** (ver *Validación*), solo que en este caso se buscará demostrar directamente que se trata de medias distintas. Las conclusiones de dichos ensayos revelan:

- **Horas Extra:** Se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza $(1-\alpha)$ del **99,7%**, concluyendo que efectivamente se ha producido una mejora.
- **Horas Demoradas:** Se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza $(1-\alpha)$ del **99,9%**, concluyendo que efectivamente las muestras difieren.

Una vez realizados los test, puede por lo tanto definirse:

- Reducción del **43%** de las **horas demoradas**.
- Reducción del **25%** de las **horas extra**.

Estos resultados operativos agregarán valor solo si mediante un estudio económico-financiero se justifica las inversiones que requieren para realizarse.

7 ANÁLISIS ECO-FINANCIERO Y EVALUACIÓN

Luego de haber efectuado un análisis preliminar, en esta sección se ajustaron los cálculos para poder evaluar de forma más precisa al proyecto de rediseño, mediante un análisis económico-financiero.

7.1 Puntos de partida

En particular se consideraron los siguientes supuestos:

- El período de evaluación del proyecto es de **3 años**, siendo un período razonable para analizar una mejora operativa de las características propuestas.
- Se utilizará una tasa de descuento anual del **15%** (con capitalización mensual), que es la que utiliza la compañía.
- Las mejoras se implementarán iniciado el mes de Marzo, estipulando únicamente un 60% del ahorro total posible en el primer mes de operación debido a dificultades previstas al inicio de la puesta en marcha del proyecto.
- A excepción de los meses de Enero y Febrero, con particularidades, el resto de la operación se considerará estable. Para dichos meses, al presentar valores reales muy distintos del restante de los meses (por lo que no fue posible tomar la validación realizada), se decidió aplicar la reducción porcentual identificada (43% para horas demoradas y 25% para horas extras) a los valores reales registrados y así estimar un resultado económico para los mismos.
- Se considerará una amortización de 10 años para los cerramientos y de 5 años para el sistema de gestión visual. Estos valores generan un ingreso por ahorro en impuesto a las ganancias.
- Las inversiones no pueden transferirse al finalizar el proyecto, por lo que su valor residual es nulo.
- El financiamiento se realizará totalmente con aportes de capital.
- El costo de mantenimiento de las inversiones se considera despreciable.

7.2 Evaluación del proyecto

Al construir el cuadro de flujos de fondo del proyecto pueden apreciarse los resultados en los siguientes gráficos:

- **Flujo de Fondos del Proyecto**³⁵: se puede notar la fuerte inversión en el instante 0 y la estabilidad asumida en el ahorro generado, a excepción de los meses Enero y Febrero del primer, segundo y tercer año.

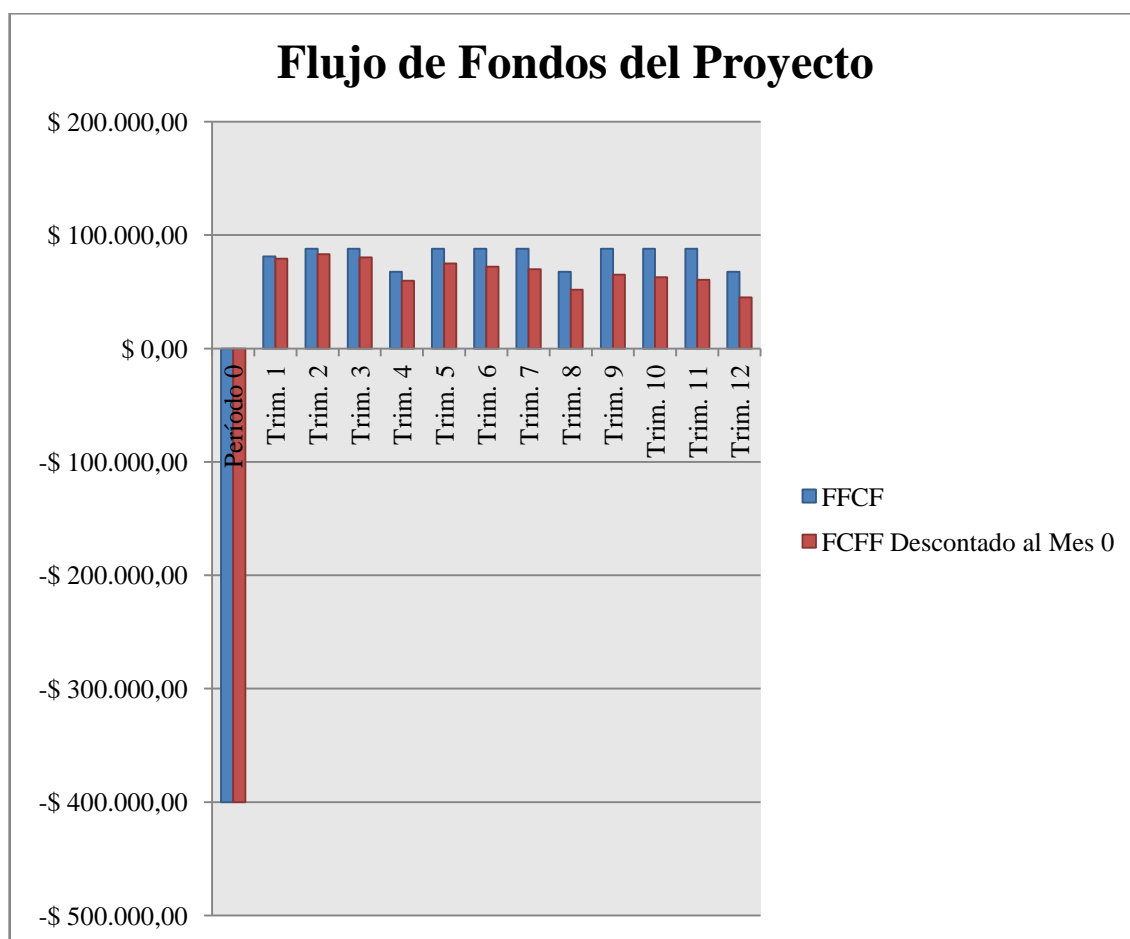


ILUSTRACIÓN 7-1 FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO

³⁵ Puede observarse su composición detallada en el Anexo.

- **Evolución de Flujos de Fondo Acumulados:** se puede apreciar como el proyecto recupera (en valores no descontados al mes inicial) la inversión inicialmente realizada.

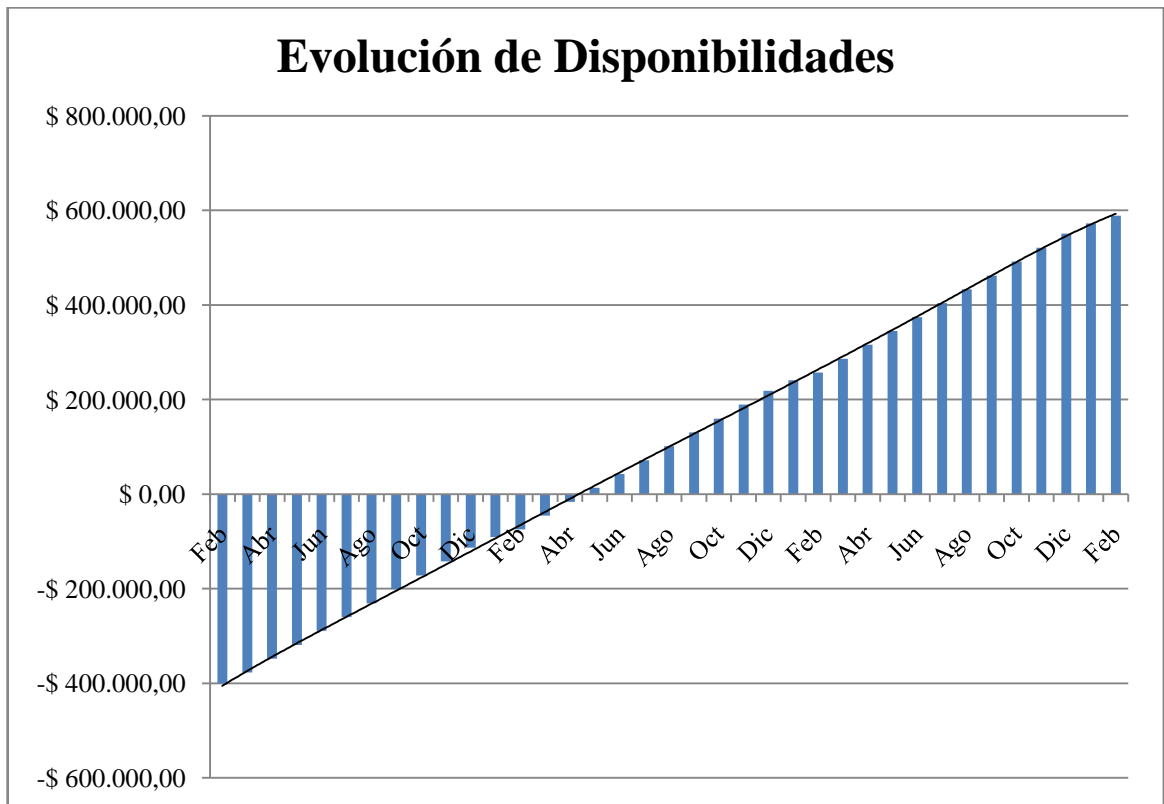


ILUSTRACIÓN 7-2 EVOLUCION DE FLUJOS DE FONDO ACUMULADOS

7.2.1 Indicadores de Evaluación

7.2.1.1 Valor Actual Neto

Una vez calculados los flujos de fondo en moneda corriente de cada año de duración del proyecto, estos fueron descontados para conocer su valor presente. Se obtuvo:

VAN = 404.700 \$

Dado que el VAN es mayor que cero, puede decirse que la realización del proyecto es financieramente conveniente. Un Valor Actual Neto demuestra que un proyecto brindará beneficios mayores que sus costos e inversiones, a través sus operaciones propias y la financiación tomada. También puede desprenderse como conclusión que resulta de mayor utilidad invertir en este proyecto que en otra opción de similar riesgo (Costo de Oportunidad).

7.2.1.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

El criterio de la TIR expresa el rendimiento para el cual los ingresos financieros generados por el proyecto igualan a los costos e inversiones requeridas para llevarlo a cabo. Es decir que si el costo del capital para un proyecto tiene el valor indicado por su TIR, es indiferente invertir en él que en una propuesta de similar riesgo. Para este proyecto se ha encontrado:

TIR = 103 %

El criterio tomado para evaluar un proyecto de esta manera es que $TIR > \text{Tasa de Descuento}$, donde en este caso se trata de un valor casi 7 veces mayor, concluyendo de manera satisfactoria para la realización del proyecto.

7.2.1.3 Período de repago

Es el tiempo en el cual se recupera la inversión inicial hecha. Es decir, en cuánto tiempo el proyecto pasa a generar flujos de fondo positivos. En general se calcula realizando una aproximación lineal entre los dos períodos entre los cuales los flujos cambian de signo. Existen dos formas o criterios para analizarlo.

1. **Período de Repago Simple**: tiene en cuenta los flujos de fondo a moneda corriente. En el caso de este proyecto, se ha estimado en alrededor de **15,5 meses**, es decir en un tercio del período de evaluación.
2. **Período de Repago Descontado**: se hace sobre los flujos de fondo descontados a valor presente. Se ha calculado en alrededor **16 meses**.

Ambos indicadores confirman la pronta recuperación del dinero invertido, en casi un tercio del período de evaluación total del proyecto.

Por todo lo analizado anteriormente, se concluye por lo tanto que el proyecto tiene una solidez económico-financiera que justifica ampliamente las inversiones necesarias para llevarlo a cabo.

8 CONCLUSIONES

A lo largo de la realización del proyecto puede identificarse una construcción progresiva, avanzando desde el desconocimiento cuasi total del problema hasta llegar a identificar 3 oportunidades de mejora claves para impactar en el funcionamiento del mismo:

- **Cerramientos en bocas de carga 1 y 2**
- **Tratamientos de diferencias de pesaje**
- **Sistemas de gestión visual**

Al haber elaborado un simulador que permita identificar y cuantificar los impactos las mismas (con un error de precisión del **5%** aproximadamente), en términos operativos pudo concluirse:

- **Reducción del 43% de las horas demoradas mensuales.**
- **Reducción del 25% de las horas extra mensuales.**

Dichos valores permiten una evaluación sumamente positiva de las implementaciones, debido a que se verifican directamente en los dos indicadores de gestión fundamentales del área y obteniendo resultados radicalmente distintos a los actuales (en las horas demoradas se trata de una reducción casi a la mitad).

Se realizó además un análisis económico-financiero del proyecto para realmente constatar que el balance entre las inversiones realizadas y los ahorros generados pueda justificarlas y darle sustento a las mejoras propuestas. Los resultados (Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Período de Repago), como se ha visto, avalaron sólidamente la implementación de las mismas.

El punto de partida, identificado con la definición del problema y sus límites, fue seguido de una interpretación y diagramación conceptual del problema, entendiendo su funcionamiento, sus variables y sus elementos. Estos dos aspectos fueron fundamentales para desarrollar las dos claves de resolución del problema, el entendimiento del sistema –determinación de mejoras- y el desarrollo del simulador -evaluación del impacto de las mismas-, que evolucionaron en paralelo. Cada paso realizado contó con un respaldo estadístico y matemático, demostrando sólidamente las afirmaciones realizadas. Las herramientas utilizadas permitieron la elaboración del Modelo de Datos (análisis estadísticos), el Modelo Operacional (análisis estadísticos y programación) y la Validación del modelo (análisis estadísticos nuevamente).

Si bien el desarrollo teórico ha sido fundamental para ir delineando un conocimiento cada vez más acertado del sistema, es necesario atribuirle merecida importancia a la experiencia del autor dentro del área de trabajo, enriquecida por testimonios del personal más experimentado (en todo nivel jerárquico) como también de la observación propia. Siguiendo con esta línea de pensamiento, y **habiendo fehacientemente demostrado operativa, económica y financieramente la conveniencia de la aplicación de las conclusiones del proyecto**, es necesario recordar que la implementación de la mejora organizacional tendrá el debido impacto siempre y cuando los operarios puedan incorporarla. Un punto clave para el desarrollo será incluirlo de modo más intenso al personal, escuchando nuevas ideas y/o reclamos sobre la implementación de la nueva metodología.

9 Bibliografía

- *DISCRETE-EVENT System Simulation (5th Edition)* por J.Banks “et al”. New Jersey:Prentice Hall, 2009. 640 p.
- BANKS, Jerry. *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice*. New Jersey: Wiley, 1998. 864p.
- GARCÍA, Roberto Mariano. *Inferencia estadística y diseño de experimentos*. Buenos Aires: EUDEBA, 2004. 736 p.
- RENDER, Barry y HAZER, Jay. *Principios de administración de operaciones*. 7^a ed. México D.F.: Practice Hall Hispanoamérica, 2009. 752 p.
- BANKS, Jerry y GIBSON, Randall R. The ABC's of Simulation Practice. *Analytics*. (13):16-21, Primavera 2009.

10 ANEXOS

10.1 Flujo de Fondos del Proyecto-Trimestral

Item	Período 0	Trim-1	Trim-2	Trim-3	Trim-4	Trim-5	Trim-6	Trim-7	Trim-8	Trim-9	Trim-10	Trim-11	Trim-12
Ingresos													
.Ahorro Horas Demoradas		\$ 43.377	\$ 47.321	\$ 47.321	\$ 42.589	\$ 47.321	\$ 47.321	\$ 47.321	\$ 42.589	\$ 47.321	\$ 47.321	\$ 47.321	\$ 42.589
.Ahorro Horas Extra		\$ 32.630	\$ 35.596	\$ 35.596	\$ 19.934	\$ 35.596	\$ 35.596	\$ 35.596	\$ 19.934	\$ 35.596	\$ 35.596	\$ 35.596	\$ 19.934
.Ahorro IG		\$ 5.163	\$ 5.163	\$ 5.163	\$ 5.163	\$ 5.163	\$ 5.163	\$ 5.163	\$ 5.163	\$ 5.163	\$ 5.163	\$ 5.163	\$ 5.163
Total Ingresos		\$ 81.170	\$ 88.079	\$ 88.079	\$ 67.685	\$ 88.079	\$ 88.079	\$ 88.079	\$ 67.685	\$ 88.079	\$ 88.079	\$ 88.079	\$ 67.685
Egresos													
.Inversión Cerramientos	\$ 190.000												
.Egresos no previstos por muestreo de productos de peso teórico	\$ 10.000												
.Inversión sistemas de control visual	\$ 200.000												
Total Egresos	\$ 400.000												
FFCF	-\$ 400.000	\$ 81.170	\$ 88.079	\$ 88.079	\$ 67.685	\$ 88.079	\$ 88.079	\$ 88.079	\$ 67.685	\$ 88.079	\$ 88.079	\$ 88.079	\$ 67.685
FCFF Descontado al Mes 0	-\$ 400.000	\$ 79.226	\$ 83.100	\$ 80.247	\$ 59.685	\$ 74.831	\$ 72.261	\$ 69.780	\$ 51.900	\$ 65.070	\$ 62.836	\$ 60.678	\$ 45.130

ILUSTRACIÓN 10-1 FLUJO DE FONDO TRIMESTRAL