



TESIS DE GRADO  
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS AL  
COMPLEJO INDUSTRIAL DE LDC ARGENTINA  
EN TIMBÚES**

Autor: Federico Cristofani

Legajo: 45032

Director de tesis:

Ingeniero Jorge Leonardo Tersoglio Ph. D. (c)

2011





## **RESUMEN**

Los procesos de recepción de granos en camiones en terminales portuarias tienen, en general, mucho para mejorar en eficiencia y en reducciones de tiempos y demoras. Recién se está empezando a avanzar hacia la persecución de mejores indicadores de desempeño en este campo, por lo menos desde el punto de vista de las empresas “servidoras”.

Este estudio analiza la aplicación de la Teoría de Colas, temática de la Investigación de Operaciones, en un complejo industrial en particular: el de LDC Argentina en Timbúes, con el objetivo de, primero, conocer los costos totales de un sistema integrado por los clientes y los servidores, y luego encontrar el punto óptimo de funcionamiento.

Este complejo forma parte del polo agroindustrial más importante del mundo, en el corredor norte de Rosario, provincia de Santa Fe. Las consecuencias de las colas generadas en épocas de cosecha gruesa por descarga ineficiente y problemas varios afectan a muchos pueblos y comunas de la zona, que sufren por la repentina superpoblación de camiones en sus caminos, rutas y autopistas, con los riesgos de seguridad que esto genera.

El proceso de recepción terrestre de los granos es bien diferente a una típica línea de producción en varios aspectos, hasta todavía continúa con operaciones bastante manuales, pero sin embargo la aplicación de conceptos de otras industrias es útil para descubrir potencialidades de mejoras, sin olvidarse de las características propias y únicas de esta industria y de este negocio.

## **ABSTRACT**

The terrestrial grain reception processes at ports may improve substantially in efficiencies and time and delay indicators. Recently, there are some signs of progress or intention of progress in this area by the suppliers of this service.

This work analyses the practical application of the queuing theory, topic of Operations Research, in a particular industrial complex: LDC Argentina Timbúes. The goal is, first, to get to know the total system costs, integrating customers and suppliers, and then to find the optimum point of operation.

This industrial complex belongs to the world's most important agro industrial hub, Rosario's North corridor, in the Argentine province of Santa Fe. The consequences of the waiting lines that appear in the main harvest season caused by inefficient unloads and other problems affect many nearby towns, who suffer the sudden overcrowding of trucks in roads and motorways, with the risks associated to this setting.

The terrestrial grain reception process is significantly different to a traditional production line in many ways, it even continues depending on manual skills; nevertheless the application of concepts from other activities is useful to discover potential improvements always taking into account the unique properties of this industry and business.

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>CAPÍTULO 2: EL PROCESO DE RECEPCIÓN DE MERCADERÍA</b> .....                     | <b>14</b> |
| 2.1 Descripción detallada del complejo y de los procesos de recepción.....         | 14        |
| 2.2 Diagrama de flujo del proceso de recepción y descarga de granos.....           | 27        |
| 2.3. Capacidades de flujo y cuello de botella del sistema: hipótesis.....          | 28        |
| 2.4 Lead time entre Calado y Descarga.....   | 31        |
| 2.5 Capacidad de almacenaje.....   | 32        |
| <b>CAPÍTULO 3: LA TEORÍA DE COLAS</b> .....  | <b>35</b> |
| 3.1 Terminología y algunos supuestos .....   | 35        |
| 3.2 Ecuación económica.....  | 37        |
| <b>CAPÍTULO 4: EL MODELO DE TEORÍA DE COLAS</b> .....                              | <b>40</b> |
| 4.1 Introducción a la modelización .....   | 40        |
| 4.2 Indicadores del sistema.....   | 41        |
| 4.3 Definición del modelo: .....   | 53        |
| 4.4 Variables de control e indicadores del modelo .....                            | 56        |
| <b>CAPÍTULO 5: COSTOS DEL SISTEMA</b> .....  | <b>66</b> |
| 5.1 Costos de la Terminal: .....   | 66        |
| 5.2 Costos de los transportistas:.....   | 67        |
| <b>CAPÍTULO 6: AUMENTOS DE CAPACIDADES Y TEORÍA DE LAS<br/>RESTRICCIONES</b> ..... | <b>68</b> |

Aplicación de la teoría de colas al complejo industrial de LDC Argentina en Timbúes

|   |           |
|---|-----------|
| 6.1 Aumento de capacidad instalada y cambios de cuello de botella .....         | 68        |
| 6.2 Capacidad desequilibrada .....  | 69        |
| <b>CAPÍTULO 7: ANÁLISIS ECONÓMICO Y PRIMERAS CONCLUSIONES: .....</b>            | <b>72</b> |
| 7.1 Costos de la Terminal .....   | 72        |
| 7.2 Costos de los transportistas en función de la capacidad de la Terminal..... | 76        |
| 7.3 Curvas de costos totales y punto óptimo del sistema .....                   | 77        |
| <b>CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES .....</b>   | <b>81</b> |
| 8.1 Recomendaciones y conclusiones finales .....                                | 81        |

# Aplicación de la teoría de colas al complejo industrial de LDC Argentina en Timbúes





## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Los complejos portuarios de empresas procesadoras y exportadoras de granos de Argentina, en general, no logran ser realmente eficientes en la recepción de los granos, particularmente en la descarga de camiones. Una de las principales razones para que la recepción de granos se sature en ciertos momentos del año es la gran estacionalidad de este negocio, que concentra el mayor movimiento en la época de la cosecha gruesa (de soja y maíz), que ocurre entre marzo y junio<sup>1</sup>. Esta estacionalidad hace que la recepción se vea desbordada y subdimensionada en los momentos críticos, mientras que en temporada “baja” haya gran capacidad ociosa.

Es probable que otra de las razones para que esto ocurra sea la falta de incentivos tangibles para que estas empresas dediquen mayores recursos en busca de un mejor funcionamiento de este circuito.

Sin embargo, una descarga de camiones eficiente puede ser una ventaja competitiva, que luego puede convertirse en una ventaja comercial. Al no ser tan evidente esta relación (eficiencia en la descarga como un diferencial para la originación de los granos), hoy estas empresas no lo tienen entre sus prioridades.

Es importante destacar una característica distintiva de este negocio: cualquiera de estos complejos industriales o puertos tiene una cantidad de proveedores muy numerosa, mucho mayor a los de cualquier otro rubro. Por ejemplo, mientras una fábrica automotriz puede tener como máximo hasta 2.000 proveedores distintos, estas empresas pueden llegar a tener 200.000 proveedores (productores agrícolas), de los cuales solamente una pequeña minoría son grandes empresas. Lógicamente, tener esta gran cantidad de proveedores, que a la vez forman un grupo muy heterogéneo en cuanto a tamaño, organización y tecnificación, hace que la coordinación con ellos sea sumamente complicada; a lo que además hay que agregarle la injerencia del factor climático.

Un aspecto a tener en cuenta es que la infraestructura de acceso a los puertos del corredor norte de Rosario colapsa en momentos de la cosecha gruesa. Esta zona, comprendida por San Lorenzo, Puerto General San Martín y Timbúes, es el mayor polo portuario del mundo: recibe, procesa y exporta el 44% de la producción agrícola nacional y el 72% de la

---

<sup>1</sup> Para el año 2010, LDC estimó para el complejo de Timbúes, recibir el 51% de la mercadería total anual concentrada en 4 meses (de marzo a junio).

producción agroindustrial (aceites y subproductos) del país<sup>2</sup>. Una de las principales razones para que el corredor norte de Rosario tenga tal dimensión es la existencia de uno de los principales núcleos productores de soja a nivel mundial a orillas del río Paraná, con suficiente calado para la carga (aunque no completa) de grandes buques graneleros y aceiteros. Esto es una ventaja logística única en el mundo. La figura 1.1 muestra la distribución geográfica de la producción de soja y se observa la gran concentración que existe en los alrededores de Rosario, Santa Fe.

---

<sup>2</sup> Datos de 2009 de la Cámara Aceitera de Rosario  
Introducción

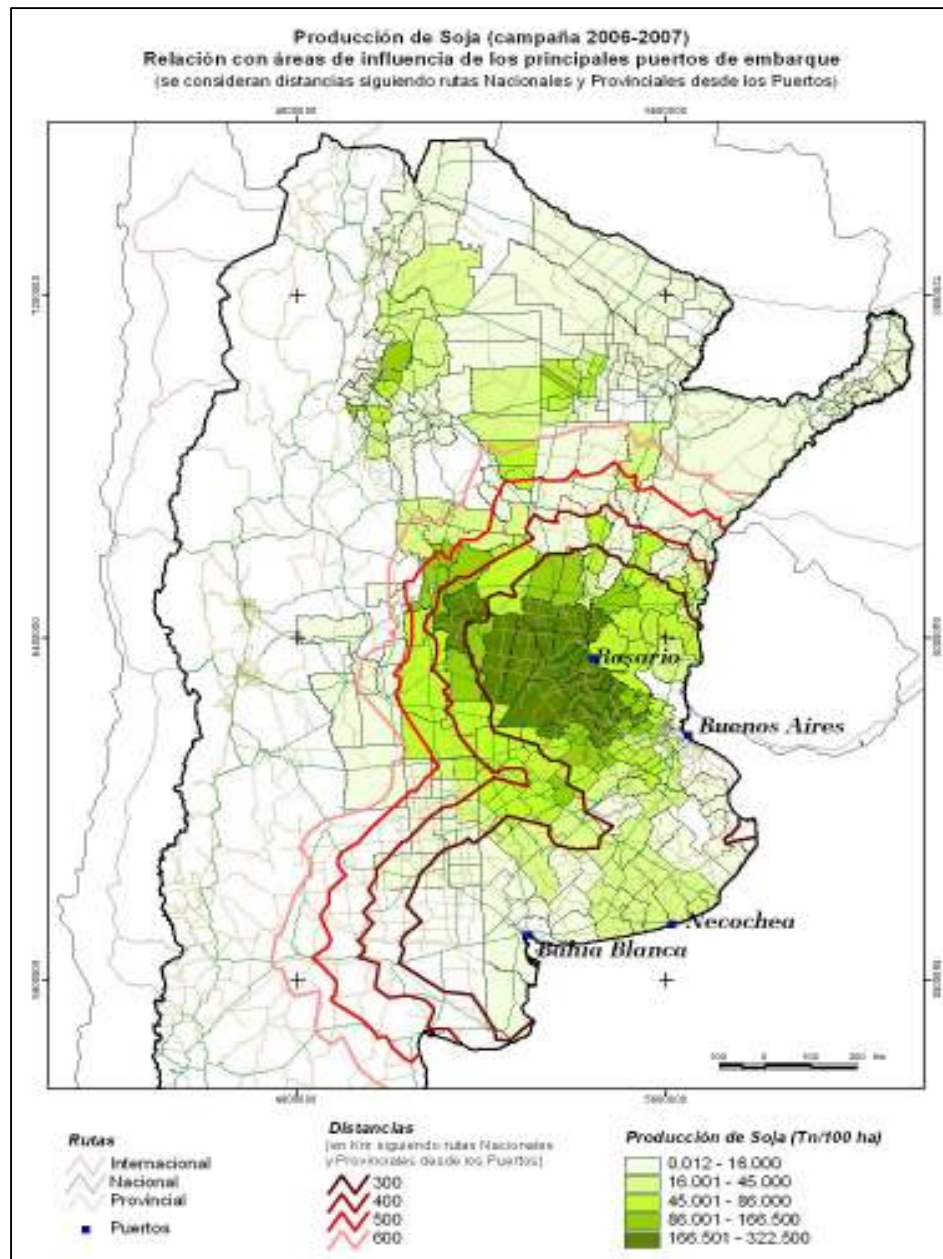


Figura 1.1. Producción de soja y distancias a los puertos de Rosario

Fuente: AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola)

Aproximadamente el 80% de los granos arriba en camiones y sólo el 20% restante en ferrocarril. Esto resulta en un ingreso promedio anual a estos puertos de 4.800 camiones/día, con un ingreso promedio en cosecha de 7.000 camiones/día<sup>3</sup>. Dado que los

<sup>3</sup> Datos de 2009. Fuente: Cámara Aceitera de Rosario

accesos a los puertos del corredor norte de Rosario no están preparados para semejante movimiento de camiones, en cosecha suele generarse un caos de tránsito en las comunas/pueblos de la zona, con largas colas en la misma autopista Rosario-Santa Fe, siendo esto sumamente peligroso.

Este trabajo busca optimizar la recepción de camiones aplicando la teoría de colas, analizando un caso en particular, que es el complejo portuario-industrial de Louis Dreyfus Commodities Argentina ubicado en Timbúes, provincia de Santa Fe. El objetivo es mejorar la calidad del servicio de recepción y hacerlo eficientemente; esto significa minimizar los tiempos de espera de los camiones al menor costo posible para el sistema.

En general, no suele medirse indicadores sobre los tiempos de demora y en el sistema de los camiones, a estos datos no se les presta atención. Empezar a medirlos y analizar posibilidad de mejoras hace que este estudio sea en parte novedoso; aunque por otro lado la información necesaria no resulte fácil de conseguir.

El circuito realizado por los camiones para descargar los granos es muy similar en todas las terminales portuarias del rubro; siempre se tienen varias etapas por donde los camiones van avanzando. Éstas son: control de cupo y documentación, calado (que es el test de calidad de la mercadería), pesaje en la balanza de bruto, descarga en plataformas volcadoras y pesaje en la balanza de tara. El sistema a analizar está comprendido por todo este circuito, donde los camiones son los clientes y los distintos puestos de trabajo son los servidores. La capacidad de almacenaje en silos y celdas es una restricción importante a tener en cuenta, mientras que el consumo de poroto de soja por parte de la planta de molienda liberará espacio permanentemente y los embarques de granos lo harán periódicamente. Se decidió modelizar este sistema mediante la teoría de colas.

El objetivo final es realizar una recomendación de plan de inversiones y una disposición óptima de los puestos de trabajo analizando los costos y beneficios del sistema en su conjunto; es decir, tanto de la empresa que provee el servicio de descarga como de los transportistas (en este caso, los clientes).

## **CAPÍTULO 2: EL PROCESO DE RECEPCIÓN DE MERCADERÍA**

### **2.1 Descripción detallada del complejo y de los procesos de recepción**

El complejo industrial de Louis Dreyfus Commodities Argentina (LDC en adelante) en Timbúes está compuesto por una planta de molienda de soja con una capacidad de 6.500 toneladas/día, de la cual se obtiene aceite crudo y harina de soja; dos terminales portuarias, una para la descarga de materia prima desde barcasas y otra para la carga de productos (que pueden ser aceite crudo de soja, harina, pellets de cáscara, poroto de soja sin procesar y cereales) en buques de exportación. El mismo posee una capacidad instalada de acopio en celdas de 80.000 toneladas de soja, 145.000 toneladas de maíz o trigo, 127.000 toneladas de harina y pellets de cáscara de soja; más 3 silos de 6.000 toneladas cada uno y 42.000 toneladas de aceite crudo de soja en 4 tanques.

Es una instalación moderna, que se puso en régimen a mediados del año 2006.

La ubicación del complejo es Av. Brigadier López 9508, Timbúes, Santa Fe, a unos 30 Km. al norte de Rosario y a unos 9 kilómetros de la ruta, con camino de ripio.

Este complejo tiene algunas particularidades respecto a otros similares de la misma industria. En primer lugar, el 100% de su recepción terrestre es a través de camiones (generalmente se tiene un porcentaje menor de la recepción de granos vía ferrocarril), lo que potencia la aplicabilidad de este estudio, que sólo abarca la recepción de granos en camiones. Además, fue diseñado teniendo en cuenta la posibilidad de ser ampliado en el largo plazo y esto se puede ver en los espacios existentes dentro de la línea productiva y en todo el layout del predio. (Ver Anexo I: Plano de planta Timbúes y Anexo II: Flow Sheet Timbúes; en ambos lo que está en amarillo se corresponde con futuras ampliaciones).

Una debilidad del complejo es el acceso vial de los camiones, ya que el camino no está pavimentado, lo cual genera problemas de tránsito, más aún en días de lluvia. Además, otra empresa del rubro se instaló recientemente muy próxima a esta planta, lo que hace que compartan el acceso, que, en época de cosecha, se encuentra desbordado por las colas de camiones esperando a ser descargados. Hoy en día se está analizando la posibilidad de pavimentar el camino, teniendo como socios en este proyecto al gobierno provincial, a la otra

empresa exportadora de granos y a una planta generadora termoeléctrica que también utiliza el camino.

Una aclaración importante, es que el presente trabajo tomará en cuenta solamente la época pico de arribos de camiones, en plena cosecha gruesa, que se extiende desde fines de marzo hasta principios de junio. Dado la alta estacionalidad en este negocio, no se trabaja todo el año igual, y los problemas importantes de demoras para los camioneros se dan solamente en esta época.

El siguiente gráfico muestra la estacionalidad del negocio. Se observa la recepción de todos los granos (soja, maíz, trigo y sorgo) en camiones y barcazas (que generalmente en este complejo representa alrededor de un 10% del total).<sup>4</sup>

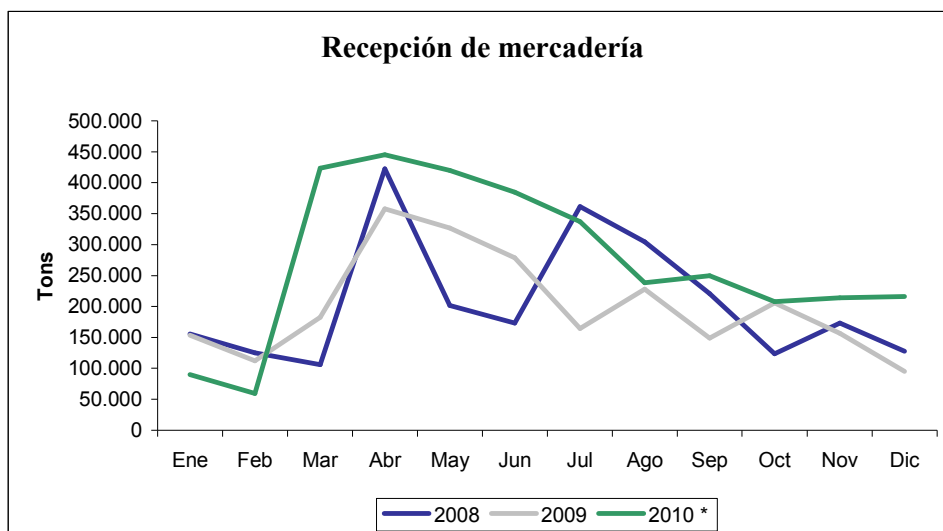


Gráfico 2.1.1. Volumen de granos recibido a la largo del año

Fuente: Elaboración propia según archivos propios de LDC

El circuito de recepción de camiones consiste en varias etapas, similar al de cualquier complejo de este tipo. A continuación se detallan todos los procesos logísticos que se realizan para recibir la mercadería proveniente de camiones y almacenarla en silos o celdas o embarcarla directamente llegado el caso.

<sup>4</sup> El año 2008 tuvo una descarga muy discontinua en los meses de marzo, mayo y junio debido a que hubo paros agropecuarios, en los cuales no hubo comercialización de granos mientras duraron. Los valores para el año 2010 son proyectados.

En primera instancia, los camiones de maíz, sorgo y trigo se estacionan en la playa externa (con una capacidad de 170 camiones), fuera del complejo industrial, aunque es exclusiva y propia de LDC. En cambio, los camiones de soja entran a la playa interna (con una capacidad de 180 camiones) ya que generalmente tienen cupo libre.<sup>5</sup> Todos los conductores se bajan de sus camiones y caminan hasta la oficina de cupo y control, donde entregan su Carta de Porte (de ahora en más CP), un documento único que tiene el Código de Trazabilidad de Granos (CTG), origen, vendedor, comprador, destino, etc. de la mercadería transportada, además de los datos del transportista, el peso bruto y tara del camión. La CP es el documento que permite identificar al camión y a la mercadería; es exigido por ley para transitar y transportar granos.

En la oficina de cupo y control, 2 operarios por turno, trabajando 4 turnos<sup>6</sup> en los meses de cosecha, revisan que el camión arribado tenga cupo para una ventana de 3 días (para el día anterior a la fecha, el día de la fecha y el día siguiente) para permitirle descargar, con excepción de la soja que en general tiene cupo libre. Si tiene cupo avanzará a la playa interna de camiones, donde esperará ser llamado para calar; si no tiene cupo, el camión no será recibido y esperará en la playa externa hasta que el entregador/cargador le tramite uno con el área comercial de la empresa, basada en oficinas en Rosario y en Buenos Aires. El cupo se corresponde con un contrato de compra de LDC Argentina. Si el camión tiene cupo asignado, y no tiene ningún problema en la configuración de la CP (que incluye la verificación del CTG en la página oficial de Internet de la AFIP<sup>7</sup>), los operarios de cupo y control ingresan la mayoría de los datos de la misma al sistema informático. Se le otorga al camión un turno para ser calado, según orden de llegada (dentro de los camiones con cupo); éste es entregado automáticamente por el sistema y aparece en el ticket de cupo.

Se le asigna una tarjeta magnética al camión, que lo acompañará durante todo el recorrido dentro del circuito. Finalmente se le entrega al camionero esta tarjeta magnética, junto con el ticket con el turno, a la vez que se le cobra un impuesto comunal para el mantenimiento de los caminos.

---

<sup>5</sup> Esto es así ya que se necesita la soja para que la planta no pare la molienda. A fines de la cosecha, la soja puede dejar de tener “cupo libre”, ya que se tiene stocks elevados y la capacidad de almacenamiento se encuentra saturada, por lo que no se puede recibir más soja que la que consume la planta (salvo que haya embarques que liberen espacio).

<sup>6</sup> Esto es 24 hs los siete días a la semana. Turnos rotativos de 12 hs.

<sup>7</sup> AFIP: Administración Federal de Ingresos Públicos



En la playa previa al calado, los camiones se ubican en filas dividiéndose según los productos (soja, maíz, trigo o sorgo) con la colaboración de un playero, que es un agente de seguridad. Luego, desde el galpón del calado los llaman por producto para ser calados (a través de altoparlantes en la playa). Una aclaración relevante para este estudio es que no se llama a los camiones por su número de turno otorgado en la oficina de cupo y control, sino que simplemente por producto. De todas formas, ese turno es útil porque sirve para que los transportistas se ordenen entre sí.

La figura 2.1.1, es un esquema de la distribución de las colas en la playa previa al calado.

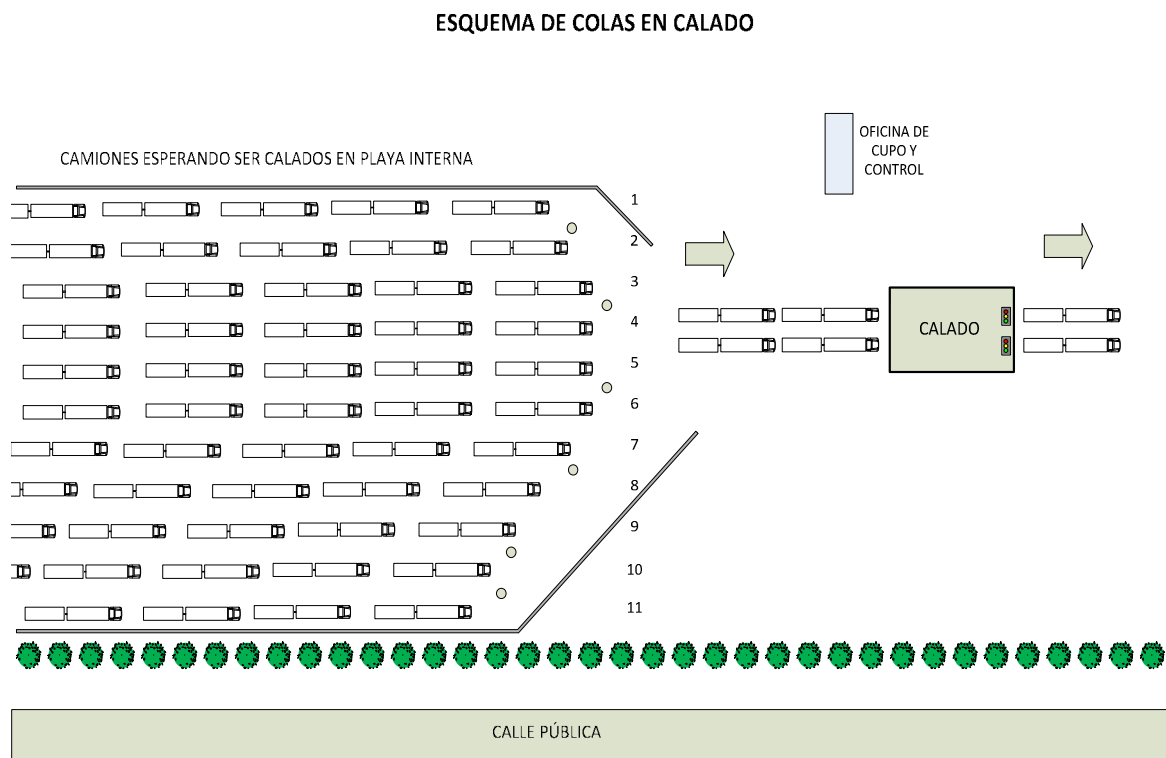


Figura 2.1.1. Esquema de la distribución de las colas de los camiones en playa Pre Calado.

Los camiones se ordenan en filas por orden de llegada (para camiones del mismo producto). Es decir, los primeros se van ubicando en la fila 1, hasta completarla; luego hacen lo propio en la fila 2 hasta completarla, y así sucesivamente. Esta distribución de las colas funciona conceptualmente como una sola fila larga y no varias filas.

A continuación, en la figura 2.1.2, se observa la distribución de camiones cuando se está calando y descargando soja.

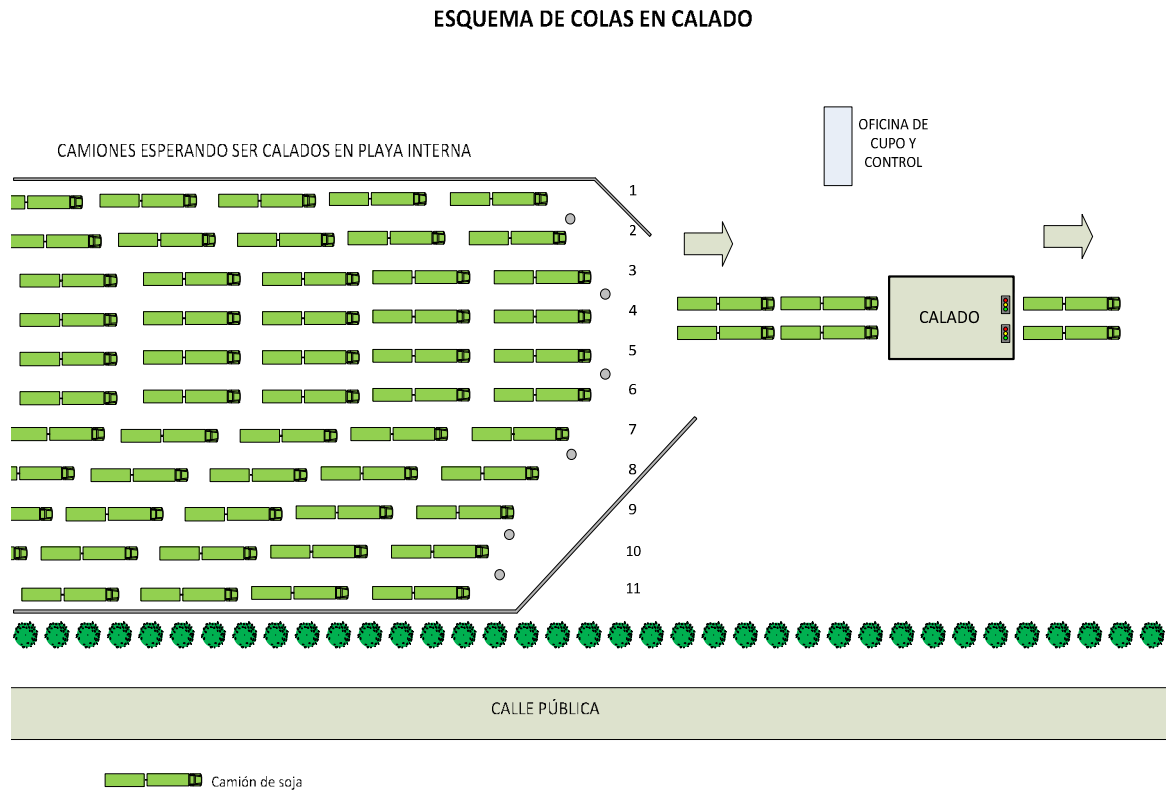


Figura 2.1.2. Esquema de la distribución de las colas de los camiones en playa Pre Calado, en el caso que se esté calando y descargando soja.

En la figura 2.1.3, se muestra la distribución de camiones cuando se está calando y descargando maíz (con sorgo y trigo es lo mismo).

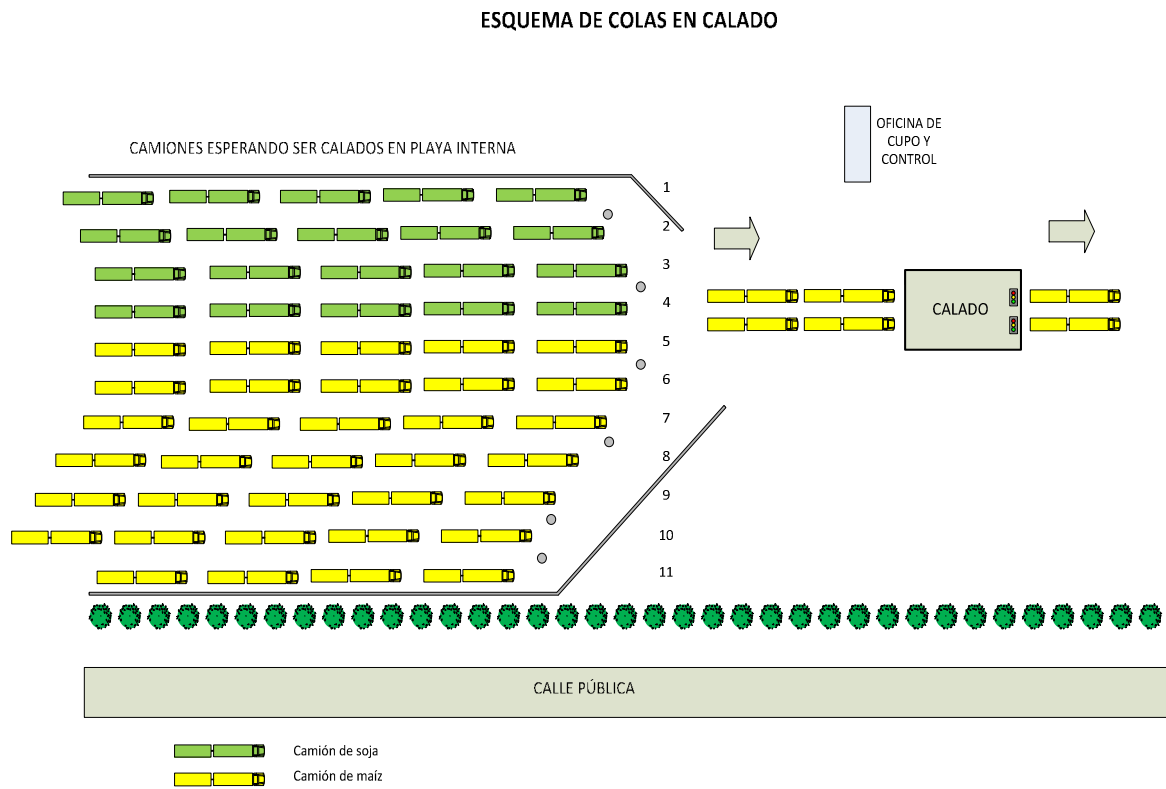


Figura 2.1.3. Esquema de la distribución de las colas de los camiones en playa Pre Calado, en el caso que se esté calando y descargando maíz.

El calado consiste en un control de calidad de la mercadería, según los estándares que fija la Cámara Arbitral de Cereales de Rosario.

Este proceso es clave para esta industria ya que termina definiendo los precios finales pagados por la mercadería comprada<sup>8</sup>. Primero, un recibidor revisa la existencia de insectos vivos sacando muestras de los camiones desde las boquillas inferiores. En el caso de que haya, debe avisarle inmediatamente a los recibidores de calada para rechazar el camión. En el caso de que la mercadería no tenga insectos, se avanza en el proceso extrayendo muestras representativas de la mercadería del chasis y acoplado (1 muestra del chasis y 2 del acoplado, aunque por norma comercial corresponden 3 y 5, respectivamente), tomando muestras de 4 niveles distintos desde el fondo hasta arriba utilizando una sonda hidráulica y neumática, que es manejada por un operario calador a través de unos controles desde una cabina. Tomando muestras de varios puntos se trata de evitar que un camión avance como conforme teniendo algún foco de mercadería fuera de estándar; pero al mismo tiempo, para agilizar y reducir tiempos de operación se terminan extrayendo menos cantidades de muestras que las estipuladas.

Un recibidor, ubicado en la cabina, revisa en un catre y en forma manual (“a visteo” según la jerga) la calidad del grano de cada muestra en lo que respecta a color, olor, materias extrañas, granos dañados, quebrados, verdes; si lo considera fuera de las condiciones estándar, deriva la muestra a otro recibidor que le hará un análisis más profundo para calcular los porcentajes de los desvíos en cada rubro. Y en todas las muestras se extrae la humedad, proteína, materia grasa y peso hectolítrico utilizando un equipo especializado. Esta instalación consiste en 2 manos de calado de camiones, lo que otorga una capacidad de diseño, según los tiempos de proceso estipulados, de 30 camiones/hora (en teoría, cada camión tarda 4 minutos en ser calado, entonces cada mano puede calar 15 camiones/hora).

Si la calidad de la mercadería está conforme (según las normas de comercialización establecidas por la Cámara Arbitral de Cereales de Rosario), el camión avanza hacia la balanza a la playa Post Calado, donde espera ser llamado para seguir avanzando en el circuito. Si la mercadería está fuera de estándar, el camionero deberá esperar, primero, al resultado del análisis manual que determina los valores de los parámetros de calidad, y segundo, a que el

---

<sup>8</sup> Al maíz y al trigo se los categorizan en grados: 1, 2 y 3: grado 1 bonifica, grado 2 no bonifica ni descuenta; grado 3 descuenta.

Para la soja, no hay grados que bonifican el precio, pero si algún rubro de calidad supera el estándar se descuenta del precio.

El sorgo tiene el mismo tratamiento que la soja.

Para todos los granos, humedad superior del estándar y presencia de chamicos se descuenta en Kgs. (mermas)

entregador (el representante del vendedor en el puerto) acepte las rebajas en el precio o mermas en Kilos, según el caso. Si no las acepta, porque no coincide con el resultado del análisis de calidad, puede pedir el arbitraje de la Cámara Arbitral de Cereales de Rosario, que manda un recibidor oficial o puede llevarse la mercadería a otro puerto. El dictamen de dicho recibidor es inapelable. En este complejo, dado que la playa post calado es muy chica (la capacidad es de sólo 40 camiones), el camión espera la definición en la playa previa al calado, es decir, físicamente retrocede en el circuito.

Una vez que se definió que el camión descargará (ya sea porque la mercadería es conforme, porque el representante del vendedor aceptó la rebaja en precio o en kilos o porque un perito oficial definió la calidad), éste espera, ordenado en filas, ser llamado por el balancero (que mediante un semáforo habilita al primer camión de la fila) para pesar en bruto, que es el peso del camión y acoplado más la carga.

Los camiones son ordenados en filas según su resultado de calidad; es decir, se agrupan camiones con calidades similares (por ejemplo para la soja se tiene las siguientes clasificaciones: conformes, con humedad superior a la de recibo, con granos verdes.)

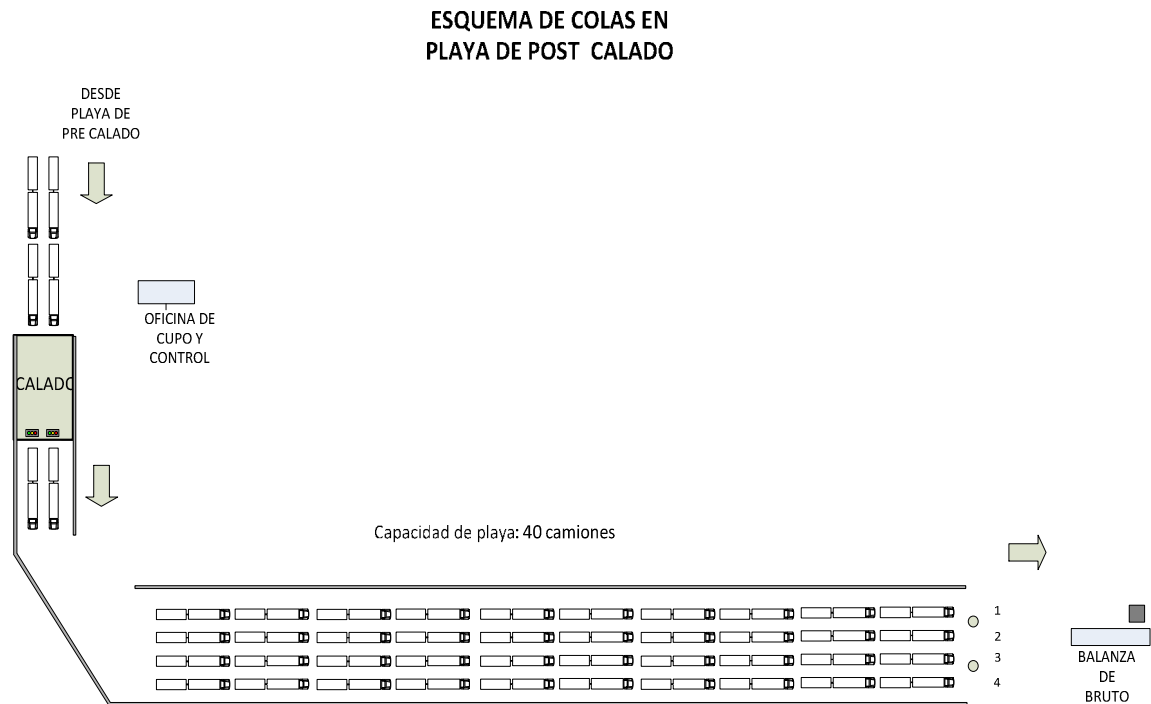


Figura 2.1.4. Esquema de la distribución de las colas de los camiones en playa Post Calado

Por ejemplo, la distribución de los camiones en esta playa según calidad, si se está descargando soja, es la siguiente:

ESQUEMA DE COLAS EN PLAYA DE POST CALADO

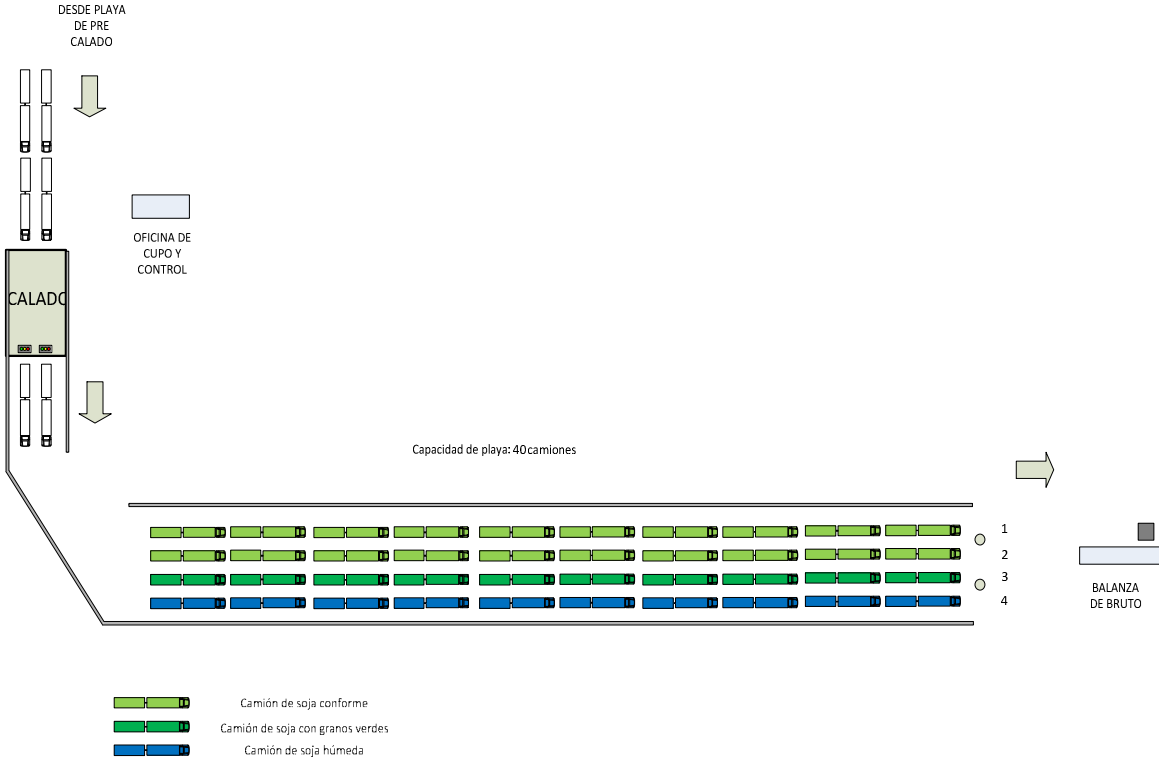


Figura 2.1.5. Esquema de la distribución de las colas de los camiones en playa Post Calado para camiones de soja

## Aplicación de la teoría de colas al complejo industrial de LDC en Timbúes

El balancero llama a la descarga a los camiones según producto y calidad (ya están ordenados así en la playa Post Calado). El camión es pesado en la balanza de bruto (certificada por un organismo público al igual que la balanza de tara), y el operario controla que no haya un faltante mayor a 300 Kgs. respecto a lo declarado en la Carta de Porte. Este control es automático en el sistema informático: en la oficina de cupo y control se le ingresaron los datos de peso bruto y tara, mientras que el sistema captura el dato del peso de la balanza al pasar la tarjeta magnética asociada al camión por un lector láser.

Si no hay problema, el camión avanza hacia las plataformas volcadoras (hay 3 y generalmente se descarga un único producto a la vez, esto evita el riesgo de mezclar y contaminar mercaderías). Ahora bien, si el camión presenta un faltante de Kgs, se le deberá avisar al entregador y el camionero deberá firmar esta diferencia haciéndose cargo de la misma. Para no demorar a los siguientes camiones ni interrumpir el flujo, los que tienen problemas de faltantes esperan ser autorizados para descargar debajo de la balanza, a un costado.

Los tiempos de pesado son reducidos, entre 1,5 y 2 minutos por camión (equivalente a entre 30 y 40 camiones/hora), por lo que con esta distribución, la balanza nunca es cuello de botella.

La descarga propiamente dicha consiste en el volcado de la mercadería por gravedad. El camión con el acoplado se estaciona sobre una plataforma de 20 m. de largo por casi 4 m. de ancho, el operario de la plataforma levanta unas calzas que traban las ruedas delanteras del camión imposibilitando su deslizamiento hacia atrás y abre las compuertas del camión y acoplado por donde empieza a caer la mercadería; luego sale de la plataforma por su seguridad. Una vez que el operario salió de la plataforma y el camionero hizo lo mismo, el operario, mediante un tablero de comando, levanta la parte delantera de la plataforma inclinándola unos 37 grados aproximadamente para volcar toda la mercadería hacia la parte trasera de la misma, donde se encuentran unos registros que dejan pasar al producto. Este cae mediante unas tolvas a unas cintas transportadoras ubicadas subterráneamente, que lo transportan hacia su silo o celda de destino, o hacia el embarque directo llegado el caso pasando por norias elevadoras.

La gran mayoría de los camiones transportadores de granos necesitan ser volcados para su descarga (es decir, levantados de tal forma que se los inclina), pero existen los “camiones tolva” que descargan por gravedad simplemente al abrir las boquillas, debido a la forma de



tolvas en chasis y acoplado. Estos camiones tienen varias ventajas: son más seguros, ya que no hay riesgo de deslizamiento y caída hacia atrás como ocurre al tener que volcar un camión; tardan menos tiempo en descargar la mercadería transportada; y la generación de polvo (que contamina al ambiente y genera una condición insalubre y peligrosa para el operario) es sensiblemente menor.

Según los propios usuarios del complejo, cada plataforma de descarga tiene una capacidad promedio de 10 camiones por hora y puede funcionar en forma ininterrumpida. Pero cuando hay un cambio del producto a descargar, se debe limpiar la plataforma, los registros y las cintas transportadoras para que un producto no contamine al siguiente, lo que demora al proceso y reduce la capacidad del servidor. Este complejo tiene 3 plataformas de descarga que alimentan 2 cintas transportadoras, por lo que tiene la posibilidad técnica de descargar 2 productos distintos simultáneamente. Cada cinta tiene una capacidad nominal de 900 ton/hora base trigo, por lo que una sola cinta puede absorber los granos de la descarga de las 3 plataformas, éstas trabajando a 10 camiones/hora, teniendo en cuenta que el promedio de la carga de un camión es de aproximadamente 29,5 toneladas.

Cada plataforma es operada por un operario a través de un tablero de control, ubicado al costado de la misma, además hay un operario auxiliar como reserva para las 3 plataformas para evitar interrupciones en su operación.

Una vez que el camión terminó de descargar, el camionero se sube nuevamente, el operario baja las calzas que traban al camión, y éste sale por el frente, dirigiéndose hacia la balanza de tara.

En la balanza de tara (de salida siempre que se trate de descargas), el proceso del pesado es muy similar al de bruto, con la excepción que no se controla la diferencia del peso tara en balanza contra lo expresado en la CP. La empresa paga los granos descargados solamente según el pesaje de su propia balanza. Al pesar en esta balanza, el ticket con los resultados de peso bruto, tara y neto se imprime automáticamente en la oficina de cupo y control.

El camión sale de la balanza hacia el último paso de la descarga: buscar su copia de la Carta de Porte, más el ticket de peso en la oficina de cupo y control. El transportista se estaciona a un costado de la oficina, se baja, entrega la tarjeta magnética que le fue entregada en su momento y recibe los papeles que le corresponde. Una vez realizado esto, el camionero terminó su circuito y sale del sistema.

## Aplicación de la teoría de colas al complejo industrial de LDC en Timbúes

Para resumir todas estas operaciones que se realizan para la descarga de cada camión en la terminal, se muestra a continuación un diagrama de flujo del proceso de recepción y descarga de granos.

2.2 Diagrama de flujo del proceso de recepción y descarga de granos

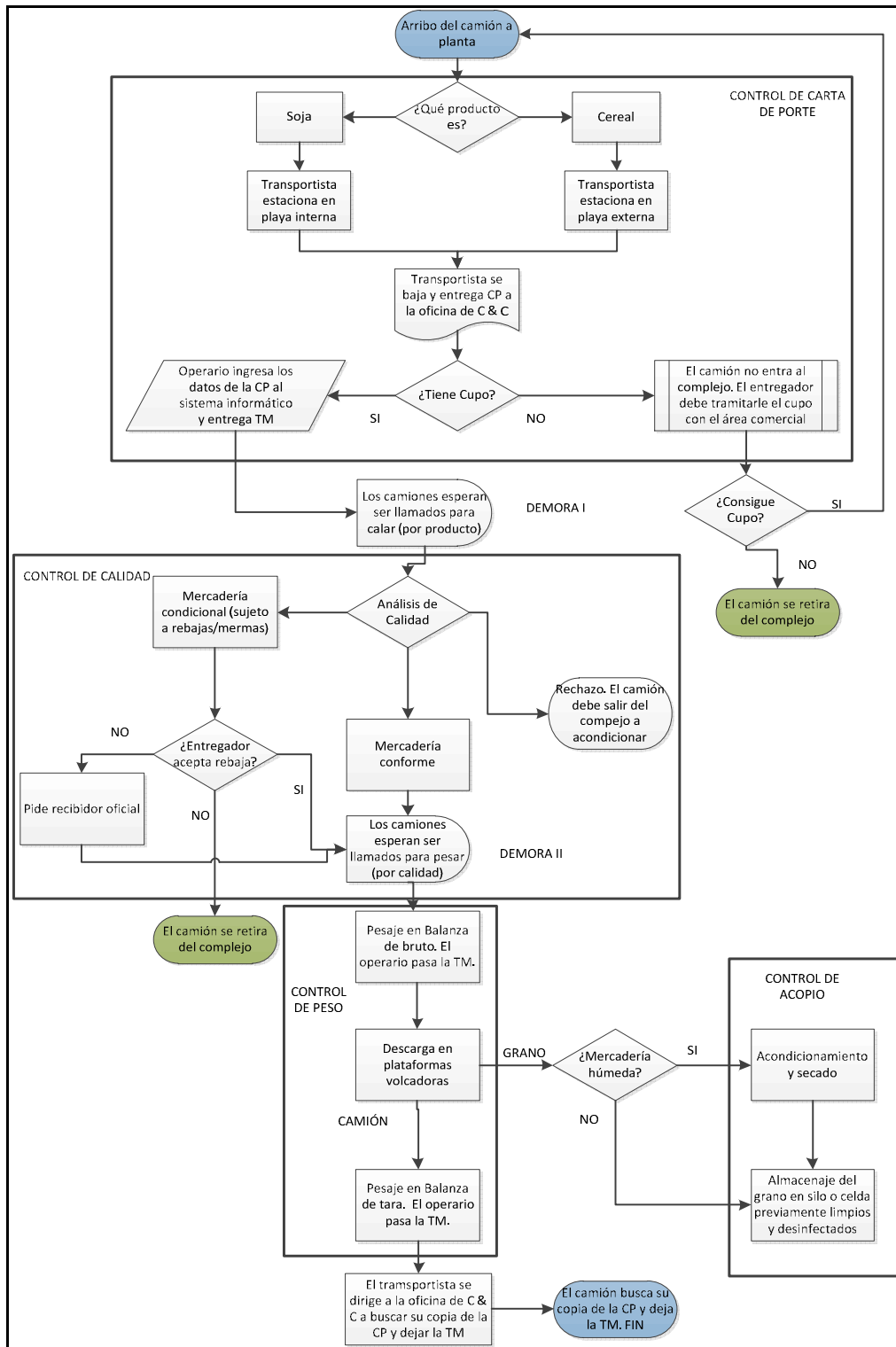


Figura 2.2. Diagrama de flujo del proceso

Fuente: Elaboración propia

### **2.3. Capacidades de flujo y cuello de botella del sistema: hipótesis**

Una hipótesis del presente estudio es que el cuello de botella del circuito de descarga de camiones es la descarga en sí misma, es decir, las plataformas volcadoras, como se suele pensar en estas instalaciones. Una razón para suponer esto es que las plataformas volcadoras son consideradas como los activos involucrados más importantes del circuito (o por lo menos en un principio lo eran) por lo que debieran estar saturados en todo momento. Asimismo, el circuito de transportes del grano posterior a la descarga (cintas transportadoras, redlers y norias) suele estar dimensionado según la capacidad máxima de descarga de las plataformas volcadoras.

Por esta razón se define generalmente la capacidad de recepción de camiones de un complejo de este tipo por la capacidad conjunta de sus plataformas volcadoras.

Según las capacidades teóricas de las instalaciones y puestos, la capacidad del calado y la de la descarga (las dos operaciones más importantes y limitantes del circuito) son prácticamente iguales, lo que favorece que el flujo sea continuo.

Al relevar la capacidad de cada puesto de trabajo (cupó y control, calado, balanza y descarga) los resultados son sorprendentes, porque rechazan la hipótesis planteada anteriormente. Actualmente, el cuello de botella es la operación del calado, debido a que, para mejorar la calidad de sus resultados y que éstos sean lo más objetivos posible, la operatoria se tornó más lenta y por ende disminuyó su capacidad de diseño (pasando de un tiempo promedio de 4 minutos/camió a 4,3 minutos/camió).

El siguiente cuadro muestra esto en números concretos.

Aplicación de la teoría de colas al complejo industrial de LDC en Timbúes

|                         |         | CAPACIDAD NOMINAL DE DISEÑO |             |               |             | CAPACIDAD REAL |             |               |             |
|-------------------------|---------|-----------------------------|-------------|---------------|-------------|----------------|-------------|---------------|-------------|
|                         |         | LDC TIMBÚES                 |             |               |             | LDC TIMBÚES    |             |               |             |
|                         |         | Calado                      | Balanza     | Descarga (PV) | CAP TOTAL   | Calado         | Balanza     | Descarga (PV) | CAP TOTAL   |
| <b>Manos</b>            |         | <b>2</b>                    | <b>1</b>    | <b>3</b>      |             | <b>2</b>       | <b>1</b>    | <b>3</b>      |             |
| Tiempo de servicio      | min/cam | 4                           | 1,6         | 6             |             | 4,3            | 1,6         | 5,7           |             |
| Cap/mano                | cam/h   | 15,0                        | 37,5        | 10            |             | 14,0           | 37,5        | 10,5          |             |
| <b>Cap total</b>        | cam/h   | <b>30,0</b>                 | <b>37,5</b> | <b>30,0</b>   | <b>30,0</b> | <b>27,9</b>    | <b>37,5</b> | <b>31,6</b>   | <b>27,9</b> |
| <b>Tiempo operativo</b> | hs      | <b>24</b>                   | <b>24</b>   | <b>24</b>     |             | <b>24</b>      | <b>24</b>   | <b>24</b>     |             |
| <b>Cap total/día</b>    | cam/día | <b>720</b>                  | <b>900</b>  | <b>720</b>    | <b>720</b>  | <b>670</b>     | <b>900</b>  | <b>758</b>    | <b>670</b>  |
| Exceso de cap           | cam/día | 0                           | 180         | 0             |             | 0              | 230         | 88            |             |

En rojo el cuello de botella

Tabla 2.3.1. Capacidades nominales y reales de los procesos.

Fuente: Elaboración propia según datos de la empresa y empíricos

No se incluyó al proceso de Cupo y Control en la tabla, ya que esta capacidad es variable casi linealmente según la cantidad de personal destinada a tal operación. No tiene restricciones de instalaciones (edilicias y de equipos) como ocurre en el calado, en el pesaje y en la descarga.

En días de lluvia el camionero debe llegar al galpón de calado con la mercadería tapada con la lona, ya que de lo contrario ésta se mojaría y perdería calidad; al mismo tiempo, debe retirarse del galpón del calado con la mercadería también tapada. Esta operación de destapar y tapar justa antes y después de ser calados, lentifica la operación, por lo que la misma pierde ritmo frente a una menor disminución en el ritmo presentado en las plataformas. (Por mayores tiempos de posicionamiento de camiones y algunos problemas menores ocasionados por la lluvia).

Por otra parte, la descarga pierde tiempo neto de operación al tener que cambiar los circuitos de las cintas según el destino deseado de la mercadería. Es decir, con cada cambio de producto (o cambio de calidad dentro de un mismo producto) se detiene la descarga entre 10 y 30 minutos, según el caso. Esto limita la capacidad de la descarga y es por eso que se busca descargar el mismo producto por el mayor tiempo posible ininterrumpidamente, para lograr mayor eficiencia de línea.

Para ver estas limitaciones de la descarga se debe revisar el *Flow sheet* de la planta (Ver anexo II). En el mismo se observa los distintos destinos posibles de la mercadería descargada. El grano se descarga desde camiones en una o dos cintas transportadoras de Proceso de recepción de mercadería

900 ton/h en base trigo, donde puede ser dirigido a la planta de limpieza y secado o hacia el foso de norias, donde se lo eleva y direcciona a uno de los siguientes destinos: celda de soja (celda 6), silo diario de producción (silo 1) o celda de cereal (celda 4).

Para poder descargar al máximo de la capacidad instalada, se deben utilizar las dos cintas transportadoras debajo de las plataformas volcadoras, dado que, si las 3 plataformas volcadoras están trabajando a su máxima capacidad, (es decir 990 ton/h) una sola cinta no alcanza para absorber este volumen. Además, hay que tener en cuenta los Pesos Específicos de los granos, ya que esto reduce la capacidad real de los circuitos según el grano al que se refiera.

Por ejemplo, para estas cintas de 900 ton/h base trigo ( $Pe = 0,8 \text{ ton/m}^3$ ) para otros granos la capacidad se reduce a:

- Soja: 810 ton/h ( $Pe = 0,72 \text{ ton/m}^3$ )
- Maíz: 840 ton/h ( $Pe = 0,75 \text{ ton/m}^3$ )

Para poder descargar según la máxima capacidad instalada, se debe buscar la mejor combinación de circuitos; esto depende de las disponibilidades de espacio, de si se está embarcando mercadería en ese momento y de la cantidad y calidad recibida de cada grano.

En cosecha, cuando la prioridad es recibir lo máximo posible, se busca utilizar la mejor combinación de circuitos para poder descargar a máximo ritmo, para lo cual se deben utilizar 2 circuitos independientes. Fuera del pico de cosecha, el objetivo es reducir el consumo energético, por lo que se prioriza utilizar un circuito a la vez y así buscar mayor eficiencia de los transportes internos de planta (menos recursos explotados a una tasa de utilización más alta).

Para el presente análisis (pico de cosecha) se debe poder descargar utilizando dos circuitos independientes, los cuales estarán alimentados por 1 y 2 plataformas volcadoras. El análisis preciso de los circuitos y su optimización es un tema que excede al presente trabajo.

En fin, teniendo en cuenta todas estas particularidades de todas las operaciones propias del complejo y los tiempos de procesos, se llega a la conclusión que el cuello de botella, en el pico de cosecha, es el calado y no la descarga. Recién una vez que la capacidad del calado supere al de la descarga, habrá que enfocarse en la descarga ya que el cuello de botella de la línea marca el ritmo del sistema.

## 2.4 Lead time entre Calado y Descarga

Este circuito de descarga tiene una restricción importante que impide un flujo continuo y estable entre procesos. Este es el Lead Time que existe entre el calado y la descarga: la segregación por calidad hace que se alteren fuertemente el orden de los camiones, así como en Pre Calado se separa por grano, en el Post Calado se segrega por calidad para cada grano. Como está explicado en la descripción de la descarga, se debe buscar descargar el mismo producto y la misma calidad durante el mayor tiempo posible para maximizar el uso de las plataformas volcadoras y de todo el circuito de transportes posterior; dado que un cambio de calidad (y más todavía un cambio de producto) genera tiempos muertos en estos equipos al tener que parar el ritmo y limpiar los circuitos.

Entonces, la forma de trabajo establecida consiste en acumular camiones con similares calidades en la playa post Calado, para luego descargar durante el mayor tiempo posible de forma ininterrumpida. Esto genera mayor productividad de las plataformas volcadoras y de los circuitos posteriores, pero desordena al flujo de camiones.

La tabla a continuación muestra las distintas posibilidades de calidad para cada uno de los granos que se reciben en esta terminal.

| Producto | Calidad                            |
|----------|------------------------------------|
| Soja     | Conforme                           |
|          | Húmedo                             |
|          | Verde                              |
|          | Fuera de estándar                  |
| Maíz     | Grado I                            |
|          | Grado II y III / Fuera de estándar |
|          | Húmedo                             |
| Trigo    | Grado I                            |
|          | Grado II y III / Fuera de estándar |
|          | Húmedo                             |
| Sorgo    | Conforme                           |
|          | Húmedo                             |
|          | Fuera de estándar                  |

Tabla 2.4.1. Tipos de calidad por grano

Fuente: Elaboración propia

## 2.5 Capacidad de almacenaje

Otra restricción de este complejo portuario es la capacidad de almacenaje. Esto puede también limitar la capacidad de recepción porque, una vez que las celdas y los silos están llenos, si no hay un embarque que libere espacio, sólo se puede recibir 210 camiones de soja por día o 6.300 ton/día, que es el consumo diario de la planta de *crushing*. Dado que la capacidad de almacenamiento es reducida, esta situación se presentaría frecuentemente en épocas de cosecha gruesa, si no existiera la posibilidad de montar silos australianos (o en su defecto silos bolsa).

El siguiente cuadro muestra la capacidad de almacenamiento instalada (sin los silos australianos), de recepción y de molienda de soja, con el resultado del tiempo de saturación.<sup>9</sup>

|                      |                |         |
|----------------------|----------------|---------|
| Cap. Recepción       | <b>670</b>     | cam/día |
| % soja               | <b>83,0%</b>   |         |
| Rec. Soja            | <b>556</b>     | cam/día |
|                      | <b>16.399</b>  | ton/día |
| Consumo planta       | <b>6.300</b>   | ton/día |
| Ingreso neto         | <b>10.099</b>  | ton/día |
| Cap almacenamiento   | <b>103.000</b> | tons    |
| Tiempo de saturación | <b>10,2</b>    | días    |

Tabla 2.5.1. Capacidades y tiempo de saturación sin silos australianos.

Fuente: Elaboración propia

Si se recibe continuamente según la capacidad máxima de recepción, en sólo 10 días se ocupa prácticamente todo el espacio físico disponible fijo (partiendo de un stock igual a cero y sin embarques de poroto de soja en ese período). El supuesto de comenzar la cosecha con una capacidad totalmente liberada se ajusta a la realidad ya que suele ocurrir que la cosecha de un año no llega a abastecer a la planta de producción hasta la cosecha siguiente.

<sup>9</sup> En la cosecha 09, desde marzo hasta junio, la soja representó el 83% de la recepción total de camiones.



Esta saturación ocurre hasta que un embarque de poroto de soja libera espacio (en general se cargan entre 20.000 y 40.000 toneladas por buque) y entonces se puede volver a recibir a máxima capacidad.

Sin embargo, en las últimas dos campañas se encontró una solución a este problema de saturación. El complejo tiene terreno disponible con aptitud y tamaño suficientes para montar hasta 6 silos australianos (que se montan y desmontan por campaña), cada uno con una capacidad de 15.000 toneladas, lo que da una capacidad adicional de 90.000 toneladas de soja (no es conveniente almacenar otro grano ya que son más sensibles a perder calidad). Esto le permite tener gran flexibilidad, ya que se montan la cantidad de silos australianos que sean necesarios para cubrir la demanda adicional en los momentos críticos.

El siguiente cuadro muestra la capacidad de almacenamiento (con los silos australianos), de recepción y de molienda de soja, con el resultado del tiempo de saturación.

|                        |                |         |
|------------------------|----------------|---------|
| Cap. Recepción         | <b>670</b>     | cam/día |
| % soja                 | <b>83,0%</b>   |         |
| Rec. Soja              | <b>556</b>     | cam/día |
|                        | <b>16.399</b>  | ton/día |
| Consumo planta         | <b>6.300</b>   | ton/día |
| Ingreso neto           | <b>10.099</b>  | ton/día |
| Cap alm. Fija          | <b>103.000</b> | tons    |
| Cap silos australianos | <b>90.000</b>  | tons    |
| Tiempo de saturación   | <b>19,1</b>    | días    |

Tabla 2.5.2. Capacidades y tiempo de saturación con silos australianos.

Fuente: Elaboración propia

Este tiempo de saturación es suficiente, ya que en el lapso de 19 días, dentro de la época de la cosecha, es muy probable el arribo de un buque para su carga. Dado que se proyecta que entre marzo y junio, se embarquen aproximadamente 100.000 toneladas de soja por mes, y cada buque en promedio carga entre 25.000 y 35.000 toneladas, se puede estimar un arribo de buque cada 10 días aproximadamente. Entonces, en este escenario no habría problema de saturación del espacio disponible para el almacenaje, hasta se tiene cierta holgura. Por

## Aplicación de la teoría de colas al complejo industrial de LDC en Timbúes

lo cual para la modelización del sistema, la capacidad de almacenaje no será tenida en cuenta como un limitante de la recepción.

Ahora bien, se podría pensar que si el promedio de embarque de soja es uno cada 10 días en esta época, la primera alternativa también es posible. Sin embargo, significaría trabajar siempre al límite de la saturación, sin olvidarse que el embarque suele no cumplir con la planificación (debido a arribos antes o después de lo planeado, lluvias que condicionan la carga, demoras en otras puertos, demoras por habilitaciones aduaneras/sanitarias, etc.).

Para el maíz, trigo y sorgo este cálculo no es relevante debido a la capacidad existente de almacenamiento destinado a los cereales (que a la vez es flexible según la necesidad) y a la vez debido a que la recepción es mucho menor (11% del total corresponde al maíz, y el 6% restante aportado por el trigo y el sorgo).

## CAPÍTULO 3: LA TEORÍA DE COLAS

La teoría de colas es el análisis matemático de las colas o líneas de espera. Existen variables de control, las cuales algunas pueden ser modificadas para lograr la optimización del sistema, e indicadores que miden la performance y eficiencia del sistema.

Las variables de control son: la configuración del sistema (cantidad de servidores, cantidad de colas, disciplina FCFS, LCFS, etc); velocidad de atención (distribución de la velocidad de servicio, factor de tráfico, automatización o mejoras); variables indirectas sobre la población (promedio de arribos, segmentación).

Los principales indicadores son: tiempo promedio de espera en la cola y en el sistema; cantidad de elementos que están en promedio en la cola y en el sistema; probabilidad de que el sistema esté parcialmente ocioso (que el cliente no tenga que esperar), probabilidad de que en el sistema haya más de  $k$  elementos, porcentaje de tiempo ocupado o saturado, probabilidad de esperar más de tantas horas.

Las colas se forman debido a un desequilibrio temporal entre la demanda y la capacidad del sistema para satisfacerla. En estos sistemas existe un *trade off* entre el tiempo de espera y el costo del servicio: a menor tiempo de espera (y por ende mejor servicio) le corresponde un mayor costo de servicio.

Hay distintas formas de optimizar colas: se pueden realizar acciones sobre el proceso de llegadas, sobre la organización del sistema (cantidad de servidores, cantidad de filas) y sobre el proceso de servicio (aumentar su capacidad, cambiar su distribución física). En los siguientes capítulos se analizan estas posibilidades.

### 3.1 Terminología y algunos supuestos

Se considera un arribo cuando un elemento o cliente llega al sistema;  $\lambda$  es la tasa de arribos (promedio de arribos por unidad de tiempo). La demora es el tiempo que el cliente (el transportista en este caso) espera ser atendido por un servidor. El elemento es atendido por los servidores, que se definen con la velocidad media de servicio,  $\mu$ . Una vez que el cliente es atendido, sale del sistema.

Un supuesto de este modelo, es que no existen llegadas masivas, lo que significa que no hay más de una llegada en un instante dado. Este supuesto no es restrictivo.

## Aplicación de la teoría de colas al complejo industrial de LDC en Timbúes

En este caso de estudio, el número de clientes presentes en el sistema no afecta a la tasa de arribos (un camión no deja de ir al puerto a descargar porque ve la playa llena de camiones) y la población de clientes (camiones) puede considerarse infinita.

“Si el número de clientes presente no afecta al proceso de llegada, entonces se le describe a éste mediante la especificación de la distribución de probabilidad que rige el tiempo entre llegadas sucesivas.” Investigación de Operaciones – Wayne Winston -4ª edición- Editorial Thompson. Pág. 1052.

Una suposición necesaria para modelizar un sistema bajo esta teoría es que la distribución de los procesos de servicio es independiente de la cantidad de clientes presentes. Esto significa que un el servidor no trabaja más rápidamente cuando hay muchos clientes presentes. Esto no se corresponde perfectamente con la realidad operativa.

Para este caso, existe más de un puesto de servicio por el que los camiones deben pasar, es decir, hay servidores en serie; aunque también hay servidores en paralelo (dentro de un mismo puesto de servicio como es la calada o la descarga). Los servidores en serie son aquellos en los que el elemento debe pasar por todos ellos para completar el servicio, ya que estos ofrecen servicios distintos. Es decir, un camión debe ser calado y debe ser descargado, no puede omitir ninguno de estos procesos. En cambio, los servidores en paralelo son idénticos entre sí, y el elemento puede ser servido por cualquiera de ellos indistintamente. Un camión puede ser calado en cualquier de las 2 manos existentes o descargar en cualquiera de las 3 plataformas volcadoras (en el caso de que se esté trabajando con un solo producto a la vez por lo que no hay riesgos de contaminación de mercaderías).

La disciplina de las líneas de espera en este complejo es una de prioridad: los camiones de soja son recibidos, en general, sin necesidad de tener un cupo previo, en la modalidad “cupo libre”, mientras que los camiones con otros productos deben tener un cupo preasignado para poder entrar al sistema.

Además, como se explicó anteriormente en este estudio, se segrega por calidad dentro de cada grano.

Dentro de estas categorías, los clientes son atendidos de acuerdo la disciplina FCFS (Primero arribado, primero atendido, según las siglas en inglés).

Se utilizará la Notación de Kendall para describir al sistema en estudio.

“La notación [...] sirve para caracterizar un sistema de líneas de espera en el cual todas las llegadas esperan en una sola cola hasta que está libre uno de los s servidores paralelos idénticos. Luego el primer cliente en la cola entra al servicio, y así sucesivamente.” Investigación de Operaciones – Wayne Winston -4ª edición- Editorial Thompson. Pag 1060.

Según esta notación, cada sistema de líneas de espera se describe mediante 6 características:

$A | B | S | K | m | Z^{10}$

Siendo:

A: Distribución del tiempo entre arribos

B: Distribución del tiempo de servicio

S: Número de estaciones de servicio

K: Capacidad del sistema

M: Número de clientes potenciales en la población

Z: Disciplina de la cola

### 3.2 Ecuación económica

Existe una ecuación económica relacionada a la teoría de colas, la misma consiste en tener en cuenta tanto el costo de los elementos (clientes) como el costo de los servidores (el costo de la empresa). El de los elementos es su costo de oportunidad por estar ociosos esperando ser atendidos, mientras que el costo del servidor es el costo total que le genera proveer el servicio (mano de obra, energía eléctrica, mantenimiento de instalaciones, amortizaciones de inversiones, etc.) Se puede diferenciar el costo, tanto de los elementos como del servidor, según estén esperando o siendo atendidos/operando.

De esta forma la ecuación económica resulta:

Costo Total Equivalente = (Costo de los elementos esperando ser atendidos + Costo de los elementos mientras son atendidos) + (Costo de los servidores en espera + Costo de los servidores operando)

El costo de los elementos, entendido como el costo de oportunidad por estar ociosos, es el mismo ya sea esperando ser atendidos o siendo atendidos; y el costo del servidor en espera

---

<sup>10</sup> Apuntes de clase Investigación de Operaciones, Modelos de líneas de espera. 2007  
La teoría de colas

y operando puede también estimarse como único. Es marginal la diferencia de este costo cuando el servidor está operando de cuando está libre: en definitiva es el costo de la energía eléctrica requerida por la plataforma volcadora y los caladores automáticos, puede considerarse despreciable frente a los costos de mano de obra, amortización y otros. La suposición de un solo costo para el servidor no es una mala aproximación.

Ambas curvas de costos que conforman la ecuación económica del sistema suelen ser inversamente proporcionales; a mayor capacidad del sistema, lógicamente mayor es el costo absoluto para el servidor, mientras que menor es el tiempo de espera y por ende menor el costo del cliente.

Es importante destacar que esta ecuación no busca el máximo beneficio de la empresa que provee el servicio sino el del sistema en su conjunto.

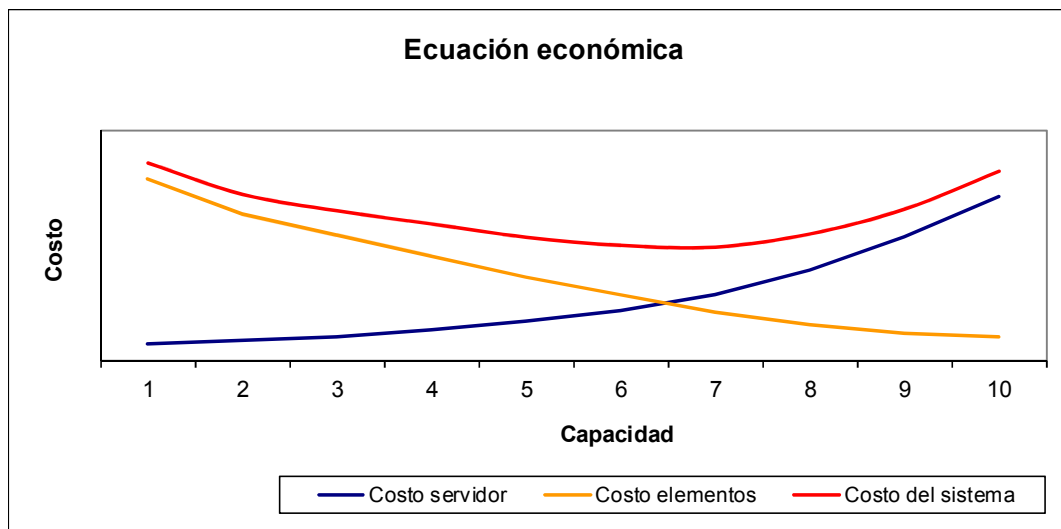


Gráfico 3.2.1. Curvas de la ecuación económica en un sistema de teoría de colas.

Caso genérico.

Fuente: Elaboración propia

El gráfico 3.2.1, un ejemplo teórico, muestra las curvas de costo del servidor, de los elementos y del sistema. En este ejemplo, el punto óptimo del sistema se da para una capacidad instalada de 6,5 unidades, donde se cruzan las curvas y por ende es el menor costo total para el sistema, representada en la curva de color rojo.

El cálculo de los costos en este caso de estudio, no es tan simple como se supone en la teoría; la curva del costo del servidor no es continua sino discreta ya que, por ejemplo, una plataforma volcadora más se traduce en una capacidad adicional de 240 camiones por día, y lo mismo ocurre con una mano de calado adicional, etc. Los aumentos de capacidad se dan de a saltos.

Solamente después de modelizar al sistema en estudio, se podrá estimar los costos de los clientes según distintas capacidades posibles.

## **CAPÍTULO 4: EL MODELO DE TEORÍA DE COLAS**

### **4.1 Introducción a la modelización**

El primer paso fue recolectar toda la información estadística de arribos, tiempos entre arribos, tiempos de servicio, demoras (tiempo de camiones haciendo cola), tiempo total en el sistema, cantidad de camiones en espera y en el sistema. Esto se hizo para los dos meses pico de la recepción, abril y mayo, durante y justo después de la cosecha gruesa (soja y maíz) en el núcleo agrícola del país.

Hoy en día no se le presta atención a esta información ni se gestiona a través de ella, debido principalmente a la tradicional falta de interés en mejorar el servicio ofrecido a los camioneros y en particular a la traba informática para conseguirla, ya que esta información no se la maneja en tiempo real.

En este capítulo se presentará todas las variables de control e indicadores del modelo de colas según su funcionamiento actual. Además, se presentarán todos los costos reales de las operaciones logísticas de recepción de camiones.

En el próximo capítulo se presentarán propuestas de mejora, modificando ciertas variables de control en busca de mejores indicadores de esperas y a la vez menores costos para la empresa y para el sistema en su conjunto.



## 4.2 Indicadores del sistema

### 4.2.1 Tiempo en el sistema: todos los productos

En primera instancia, se decidió considerar a todo el circuito de los camiones como el “sistema” a estudiar, desde que se ingresa la carta de porte hasta que es pesado, ya descargado, en la balanza de tara.

Uno de los indicadores más relevantes y significativos es cuánto tiempo están los camiones en el sistema (W, según la nomenclatura de la teoría de colas).

Los estadísticos sobre el tiempo total de los camiones en el sistema (considerando a todos los productos) son los siguientes:

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Promedio (horas)        | 8,04   |
| Moda (horas)            | 6      |
| Mediana (horas)         | 6,17   |
| Mínimo (horas)          | 0,26   |
| Máximo (horas)          | 120,86 |
| Desvío estándar (horas) | 6,92   |

$$\text{Promedio (W)} = 8,04 \text{ hs} \pm 6,92 \text{ hs}$$

Tabla 4.2.1.1. Valores estadísticos de los tiempos totales de los camiones en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

El siguiente gráfico muestra la cantidad de camiones en el sistema, para todos los productos, en función del tiempo en que están en el sistema.

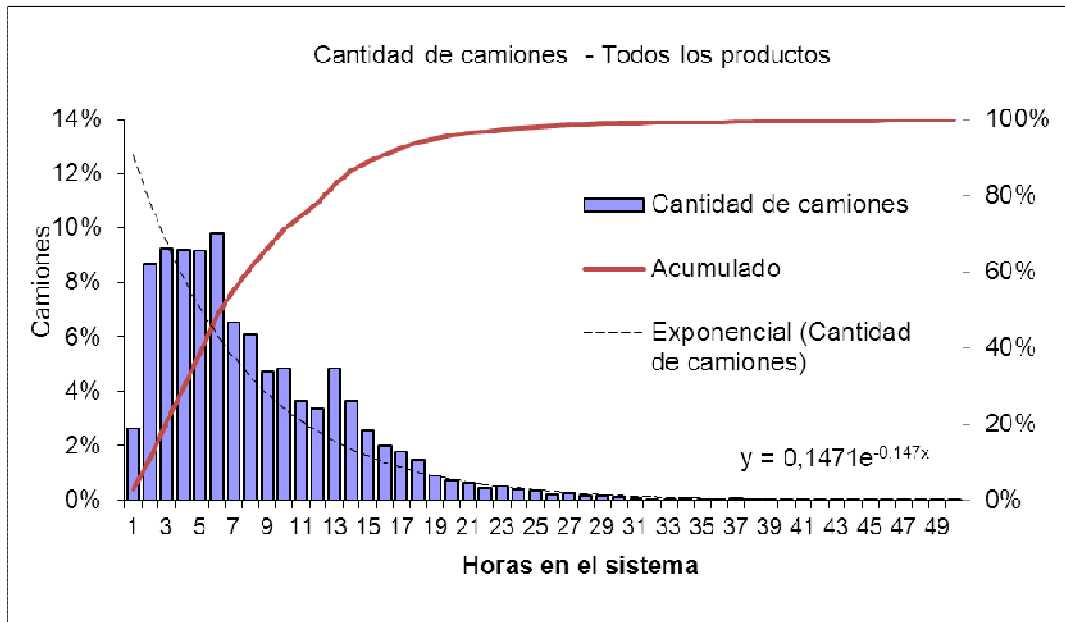


Gráfico 4.2.1.1. Proporción de camiones según las horas permanecidas en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

Uno de los datos más llamativos es que el desvío, de 6,92 hs, es muy alto (equivale al 86% del promedio); lo que significa que las demoras que sufren los clientes son considerablemente variables.

El valor promedio de tiempo en el sistema puede considerarse elevado si se tiene en cuenta que el tiempo de servicio total, sumando todos los tiempos de servicio parciales, es de 13 minutos<sup>11</sup>. Es decir que un camión, en promedio, permanece aproximadamente 8 hs en el circuito para ser servido durante sólo 13 minutos. Todo el resto del tiempo el camión está esperando ser atendido, lo que muestra la ineficiencia del sistema.

Sin embargo, hay demoras que no son imputables a una ineficiencia del sistema diseñado por la terminal para la descarga de camiones, sino a problemas propios de los clientes. Estas demoras son las que se deben a:

- problemas de cupo y/o documentación (falta de cupo o problemas en la Carta de Porte): esto debe ser solucionado por el cliente junto con el entregador en puerto.
- problemas de calidad de la mercadería: en este caso, primero la terminal evalúa su posibilidad de descargarlo (según capacidad de secado y/o mezcla), previa rebaja

<sup>11</sup> Promedios de tiempos de servicio. Calado: 4,3 minutos, balanza de bruto: 1,6 minutos, plataforma de descarga: 5,5 minutos, balanza de tara: 1,6 minutos

en el precio y luego el cliente debe aceptar estos términos comerciales o llevar la mercadería a otra terminal.

- faltantes importantes de Kilos: problema en general exclusiva de los transportistas, quienes se hacen responsables, pero con previa notificación a los entregadores.

Estas demoras están incluidas en los valores observados, siendo, con los datos actuales, imposible de separar los casos en que hubo demoras debidas a problemas de documentación, calidad o peso de los casos en toda la demora es causada por el funcionamiento normal del sistema.

Los problemas comunes o no muy graves debido a diferencias de Kilos suelen resolverse rápidamente (en menos de media hora).

Los problemas de documentación y/o cupo, pueden ser resueltos casi en forma inmediata o pueden demorar varias horas, según sea el caso.

La cantidad de camiones con problemas por mala calidad de la mercadería transportada varía sustancialmente de cosecha a cosecha. Por ejemplo, en años que responden al fenómeno climático El Niño, los granos tienden a arribar con mayor humedad, y en años que responden a La Niña, los granos tienden a arribar más secos.

Una aclaración, los camiones que estuvieron en el sistema por más de 72 hs, (0,1% de la muestra total) fueron excluidos del estudio ya que probablemente hayan tenido problemas graves de calidad, o en su defecto, con su documentación por lo que su causa de demora es ajena a la terminal.

#### **4.2.2 Tiempo en el sistema: segmentando por grano**

En el gráfico de abajo se observa el claro predominio de la soja sobre el resto de los granos en la recepción de esta terminal para la campaña 2009<sup>12</sup>, con un share del 83%. Esto se explica por un lado, por la realidad argentina, donde la soja viene desplazando cada vez más en hectáreas sembradas a los otros granos<sup>13</sup> y por otro lado porque para este complejo, al tener una planta de *crushing* de soja, el poroto se convierte en el insumo principal para la

---

<sup>12</sup> Valores para los meses de abril y mayo de 2009.

<sup>13</sup> Se estima que el 60% del área sembrada para la campaña 2010/2011 corresponde a la soja. Fuente: Infocampo.

producción de productos con mayor valor agregado (aceite crudo, harina, pellets de cáscara), mientras que el resto de los granos son exportados sin ser procesados.

En segundo lugar, aparece el maíz, que representa el 10,9% del volumen recibido; con menor volumen aparecen el sorgo y el trigo con un 3,6% y un 2,5%, respectivamente.



Gráfico 4.2.2.1. Share de cada grano en la recepción.

Fuente: Elaboración propia

A continuación observaremos los valores de tiempos en el sistema, además de otros estadísticos, para cada grano que se recibe en esta terminal.

Los estadísticos sobre el tiempo total de los camiones en el sistema, considerando sólo los camiones con soja son los siguientes:

Camiones con soja

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Promedio (horas)        | 7,45  |
| Moda (horas)            | 6     |
| Mediana (horas)         | 5,97  |
| Mínimo (horas)          | 0,26  |
| Máximo (horas)          | 97,76 |
| Desvío estándar (horas) | 5,49  |

|                                  |
|----------------------------------|
| Promedio (W) = 7,45 hs ± 5,49 hs |
|----------------------------------|

Tabla 4.2.2.1. Valores estadísticos de los tiempos totales de los camiones de soja en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

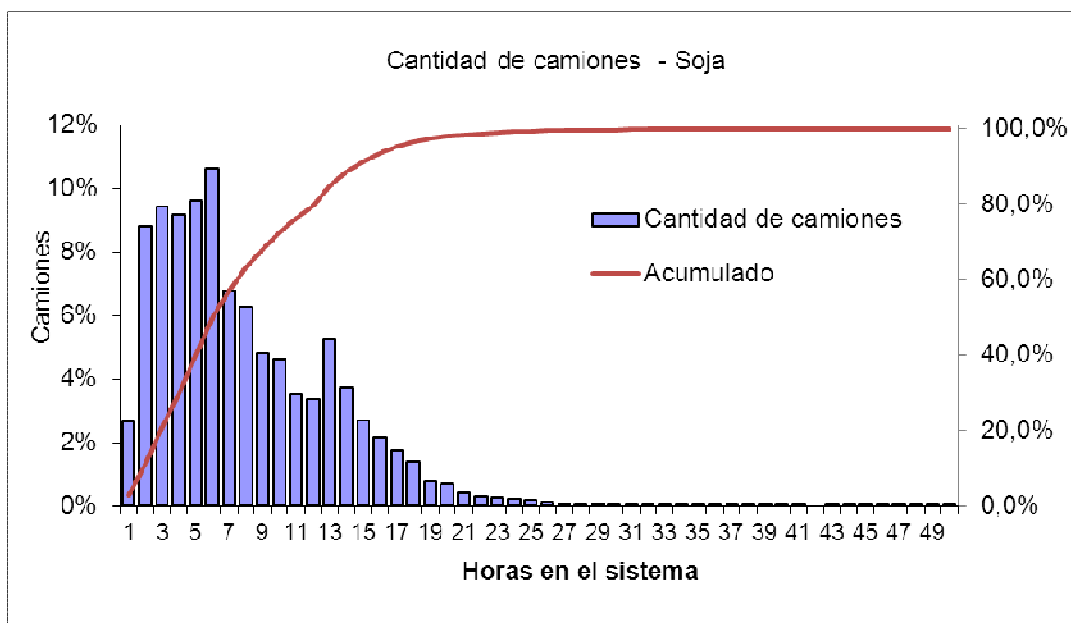


Gráfico 4.2.2.2. Proporción de camiones de soja según las horas permanecidas en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

Los estadísticos sobre el tiempo total de los camiones en el sistema, considerando sólo los camiones con maíz son los siguientes:

Camiones con maíz

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Promedio (horas)        | 10,32  |
| Moda (horas)            | 4      |
| Mediana (horas)         | 7,07   |
| Mínimo (horas)          | 0,43   |
| Máximo (horas)          | 119,50 |
| Desvío estándar (horas) | 11,01  |

|                                    |
|------------------------------------|
| Promedio (W) = 10,32 hs ± 11,01 hs |
|------------------------------------|

Tabla 4.2.2.2. Valores estadísticos de los tiempos totales de los camiones de soja en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

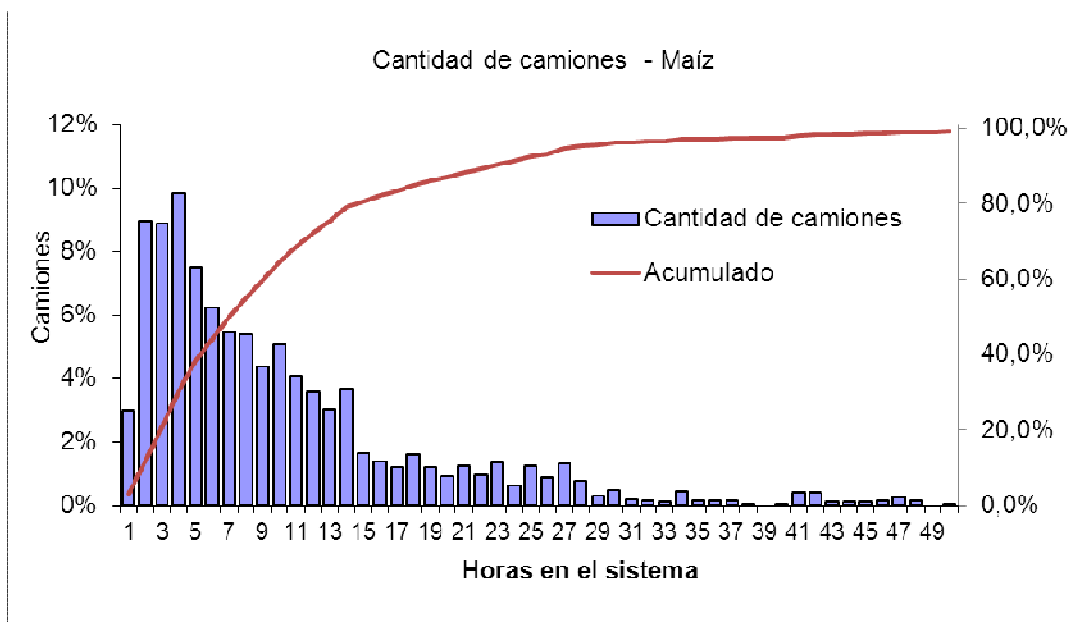


Gráfico 4.2.2.3. Proporción de camiones de maíz según las horas permanecidas en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

Los gráficos de los productos sorgo y trigo no responden a la curva esperada como sí lo hacen los de soja y maíz<sup>14</sup>. Una causa posible es que, al recibir pocos camiones de estos productos (3,6% del total son de sorgo y 2,5% de trigo, sobre una muestra de casi 20.000 camiones), sus estadísticas no son tan concluyentes.

En cambio, al analizar los tiempos de camiones con soja o maíz, al ser muchos más casos, se cumple la ley de los grandes números<sup>15</sup>.

Observando especialmente a los gráficos de los camiones con soja y maíz, como también el consolidado de todos los productos, la curva se podría corresponder a una función de distribución de probabilidades de Poisson, con un valor de máxima ocurrencia (la moda) menor al valor promedio ya que son campanas asimétricas, sesgadas a la derecha. Es perfectamente lógico y esperable que esto ocurra.

A continuación la tabla 4.2.2.3 muestra el resumen de los tiempos en el sistema por producto.

| en hs           | Soja        | Maíz         | Sorgo        | Trigo        |
|-----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Promedio</b> | <b>7,45</b> | <b>10,32</b> | <b>12,72</b> | <b>10,81</b> |
| Moda            | 6,00        | 4,00         | 4,00         | 10,00        |
| Media           | 5,97        | 7,07         | 9,17         | 8,79         |
| Max             | 97,76       | 119,50       | 120,86       | 65,09        |
| Min             | 0,26        | 0,43         | 0,80         | 0,55         |
| Desvío estándar | 5,49        | 11,01        | 12,45        | 9,34         |

Tabla 4.2.2.3. Tabla resumen de tiempo en el sistema y estadísticos por producto

Fuente: Elaboración propia

<sup>14</sup> Por esta razón la curva de tiempo en el sistema para los productos sorgo y trigo no están incluidos en esta parte del trabajo, aunque sí están en el Anexo.

<sup>15</sup> Las leyes de los grandes números explican por qué el promedio de una muestra al azar de una población de gran tamaño tenderá a estar cerca de la media de la población completa. Fuente: Wikipedia

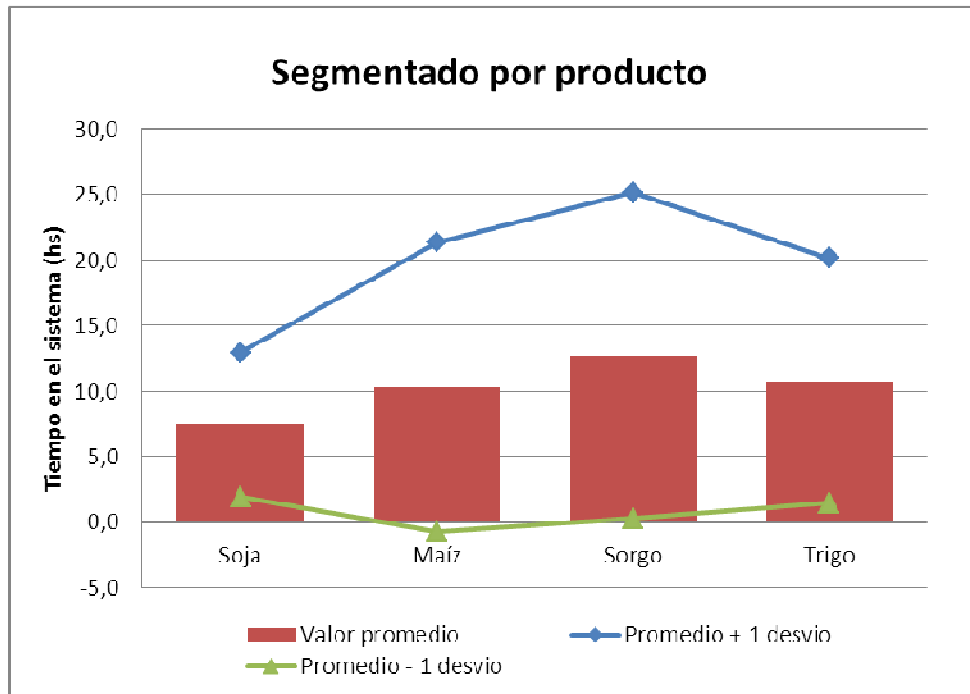


Gráfico 4.2.2.4. Gráfico resumen de los tiempos en el sistema y sus desvíos estándares por producto

Fuente: Elaboración propia

El gráfico 4.2.2.4 muestra que existen diferencias entre los valores de tiempos en el sistema, y por ende de demoras, según de qué producto se trate.

Claramente, la soja es el grano prioritario para ser servido, con menor tiempo en sistema (entre un 30% y un 40% menos que el resto de los granos) y también con un menor desvío. En resumen, los camiones con soja tardan considerablemente menos en ser descargados y el tiempo que pasan en el circuito es menos variable que el resto.

Estos resultados son coincidentes y coherentes con lo que uno puede observar en la operación diaria. La soja es el producto que más se recibe sin lugar a dudas, con menos problemas de calidad (no se define grado de calidad como sí ocurre en el maíz y el trigo al ser calados, sino que es conforme/ no conforme) y para el cual el complejo tiene mayor espacio disponible para su almacenamiento. En cosecha, la soja es descargada durante la mayor parte del día, mientras que el resto de los granos sólo son descargados pocas horas al día.



Por lo tanto, cualquier camión con soja que arribe a la terminal, tiene más probabilidades que un camión con otro grano de que en ese momento se esté descargando su mismo producto y entonces su demora sea menor, y a la vez, más estable. Hay que recordar que este complejo industrial sólo puede descargar hasta dos productos (o calidades) distintos en simultáneo.

Por otro lado, los camiones con sorgo o trigo, productos con escaso volumen, tienen un desvío muy alto porque sufren el efecto opuesto: pueden ser descargados rápidamente si al arribar la terminal, esta está próxima a descargar su producto o pueden demorar muchas horas, al tener que esperar hasta que se descargue su producto.

Esto los transportistas lo tienen bien claro, saben que un camión de soja, si no hay algún problema de calidad, peso o documentación, se descarga siempre en el día que arriban o en bastante menos de 24 horas. Mientras que los transportistas que transportan otros productos no saben cuánto tendrán que esperar para ser descargados.

Un aspecto no menor a tener en cuenta, que introduce ruido en estas mediciones, es el embarque de los granos. Como fue comentado anteriormente, la soja puede o no ser procesada antes de embarcarla, pero los otros granos son embarcados siempre sin ser sometidos a ningún proceso (salvo el secado y/o mezclado). Es más, es usual la práctica de “embarque directo”, que consiste en embarcar directamente desde su descarga, sin almacenar la mercadería. Nunca se carga un buque 100% directo, ya que los circuitos de descarga tienen menor capacidad que los de embarque, lo que demoraría al embarque, que siempre es prioritario. Sin embargo, se completa la carga con este método de embarque directo. En estos casos, el producto embarcado directamente es, por un momento, la prioridad número uno, aún por encima de la soja. Y en estos casos, la demora para estos camiones, suele ser mucho menor.

Estos resultados rechazan uno de los supuestos de la teoría de colas, que los clientes son servidos según el concepto *FIFO* (primero en entrar, primero en salir; por sus siglas en inglés). Los resultados estadísticos (y la operatoria diaria) marcan que existe un orden de prioridades. Sí se aplica la metodología *FIFO* entre camiones del mismo producto y con resultado de calidad similar.

Se confirma la idea de que existen prioridades en la descarga, y que la soja es la prioridad número uno. Aunque no es tan claro, se podría decir que el maíz es el siguiente en la lista

de prioridades ya que es el siguiente producto con menor tiempo en el sistema y por ende de demora, pero la diferencia con los valores del trigo no es sustancial ni concluyente.

El maíz es descargado, en general, todos los días en época de cosecha, unas horas al día.

Más allá de estos resultados estadísticos, hay momentos en que la prioridad la marca el embarque, y no se cumple esta prioridad “teórica”.

#### 4.2.3 Tiempo en el sistema: segmentando por etapas (todos los productos)

Esta misma información del tiempo que los camiones estuvieron en el sistema puede ser dividida en dos etapas distintas (de acuerdo a cómo los datos están registrados):

- 1) Desde que se ingresa la carta de porte hasta el pesaje de la balanza de bruto; y
- 2) desde este último hasta el pesaje en la balanza de tara. Este tiempo es en definitiva el tiempo que demora el camión en pesar cargado, descargar y pesar vacío.

En el siguiente gráfico se observa el porcentaje de camiones en el complejo en la etapa 1 en función del tiempo.

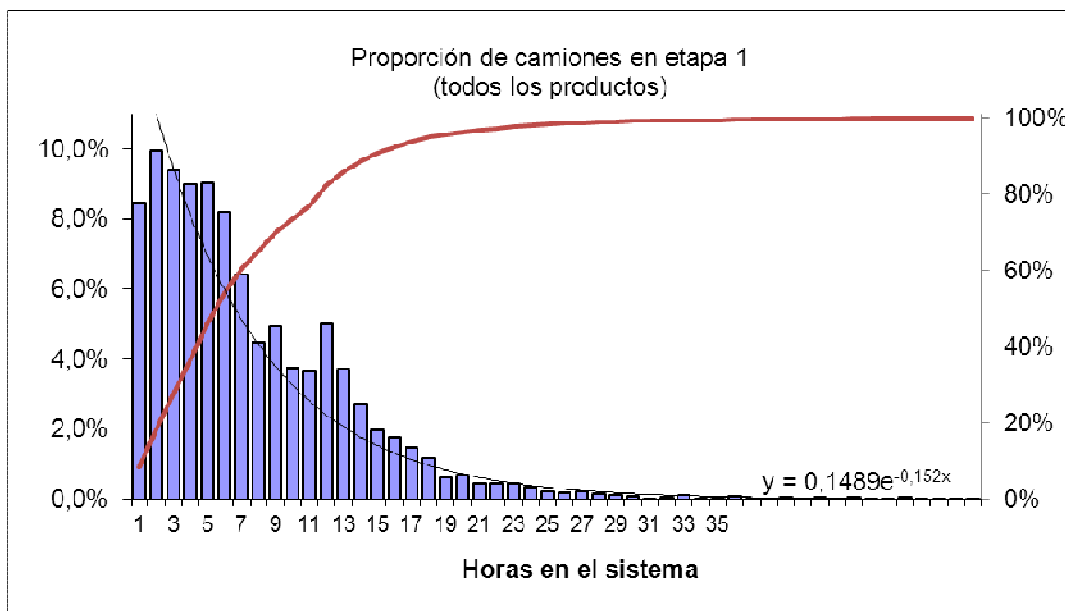


Gráfico 4.2.3.1. Proporción de camiones de todos los productos según las horas permanecidas en la etapa 1 del sistema.

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico se observa el porcentaje de camiones en el complejo en la etapa 2 (entre balanzas de bruto y de tara) en función del tiempo.

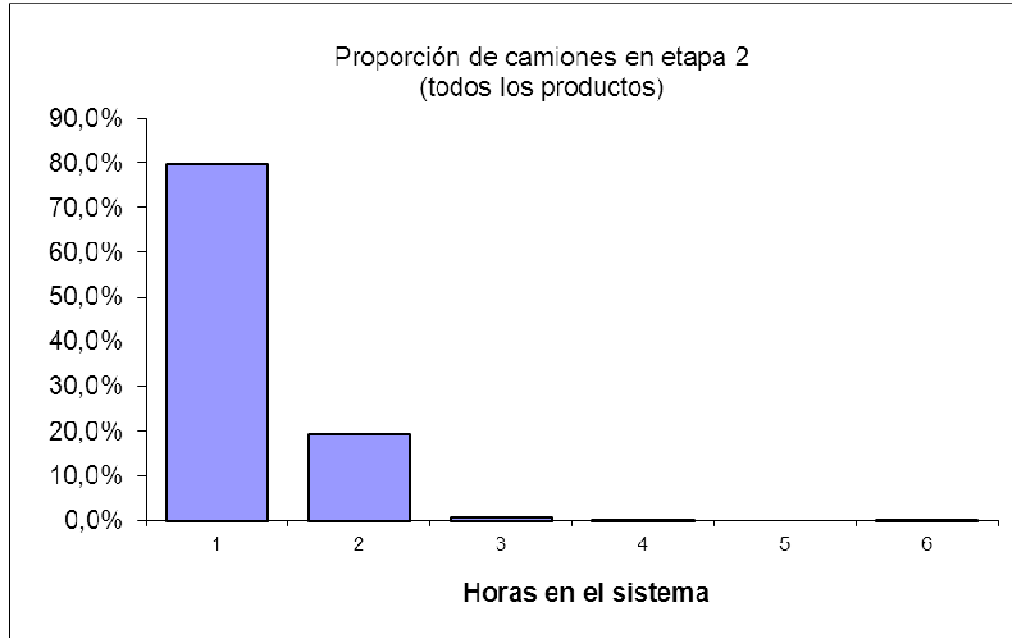


Gráfico 4.2.3.2. Proporción de camiones de todos los productos según las horas permanecidas en la etapa 2 del sistema.

Fuente: Elaboración propia

De los gráficos 4.2.3.1 y 4.2.3.2 se desprende fácilmente que la gran parte de la demora que sufren los camiones ocurre previo al calado (o justo después, pero antes de ser llamados a pesar por la balanza de bruto).

La siguiente tabla muestra los estadísticos para el tiempo en el sistema de los camiones en la etapa 1 y etapa 2:

| en hs                  | Etapa 1       | Etapa 2      |
|------------------------|---------------|--------------|
| <b>Promedio</b>        | <b>7,29</b>   | <b>0,75</b>  |
| Media                  | <b>5,47</b>   | <b>0,69</b>  |
| Máximo                 | <b>120,44</b> | <b>12,05</b> |
| Mínimo                 | <b>0,11</b>   | <b>0,12</b>  |
| Desvío std             | <b>6,90</b>   | <b>0,41</b>  |
| Desvío<br>std/promedio | <b>0,95</b>   | <b>0,55</b>  |

Tabla 4.2.3.1. Tabla resumen de tiempo y estadísticos en cada etapa para todos los productos

Fuente: Elaboración propia

Un camión tarda en promedio 7,3 horas en ser calado y llamado a la balanza de bruto, mientras que, en promedio, en menos de una hora es pesado bruto, descargado y pesado tara, incluyendo las demoras entre procesos. Es decir, que casi el 91% del tiempo que los camiones están en el complejo, están esperando a ser calados, siendo calados y esperando a ser pesados.

Asimismo, la relación desvío estándar sobre el promedio es considerablemente mayor para la etapa 1, significando que un camión tiene un tiempo en el sistema mucho más variable en la etapa 1 que en la 2.

En definitiva, el cuello de botella del complejo industrial en análisis es el calado y no las plataformas volcadoras como podría pensarse preliminarmente. Los valores y resultados se corresponden con el análisis de capacidad realizado en la primera parte del estudio.

Esta conclusión es lo suficientemente fuerte para que, de aquí en más, se enfoque el estudio en la operación del calado.

La cantidad promedio de camiones en el sistema es un dato complicado de obtener a través del sistema informático, aunque la realidad es que, durante los meses de abril y mayo de lunes a viernes las dos playas de estacionamiento del predio están colmadas prácticamente las 24 horas, y hasta ocasionalmente hay camiones en los accesos, que no cupieron en estas. Las 2 playas tienen una capacidad conjunta para 350 camiones aproximadamente. De todas formas, por cómo se definió al “sistema” no todos estos camiones se encuentran dentro del mismo. Cómo se explicó anteriormente, sólo los camiones cuyos datos ya

fueron ingresados al sistema informático forman parte del sistema en estudio, en ese proceso es que “nacen” los elementos.

Por otro lado, se puede calcular la longitud promedio de la cola y del sistema utilizando fórmulas de la teoría de colas, esto se verá junto con la determinación de la variable  $\lambda$ , la tasa de arribos al sistema.

#### 4.3 Definición del modelo:

##### 4.3.1 Notación de Kendall: $M | M | 2 | \infty | \infty$

Antes de continuar calculando las variables de control, es momento de encuadrar al sistema en estudio en un modelo de teoría de colas conocido. Ya se expuso que sólo se continuará analizando la etapa 1 del sistema, el calado, y que consiste en 2 estaciones de servicio, ambas ofrecen exactamente el mismo servicio y los camiones pasan por una u otra indistintamente.

“Si están presentes  $j \leq s$  clientes (en este caso  $s=2$ ), entonces los  $j$  clientes están en servicio, si  $j > s$  clientes están presentes, entonces los  $s$  servidores están ocupados, y  $j - s$  clientes están haciendo cola. Cualquier cliente que llegue y encuentre un servidor desocupado entra al servicio de inmediato, pero un cliente que llegue y no encuentre un servidor desocupado se une a la cola de clientes que esperan servicio.” Investigación de Operaciones – Wayne Winston -4ª edición- Editorial Thompson. Pag 1087.

Los supuestos que el sistema debe cumplir para poder ser categorizada en este modelo son los siguientes:

- Población infinita. La población de los clientes (camiones) puede considerarse así ya que realmente son muy numerosos (en la zona del corredor norte de Rosario, donde está ubicado este predio, transitan 7.000 camiones por día en cosecha) y no puede considerarse que disminuirá el arribo debido a que ya hay muchos camiones dentro del sistema.

- Una sola cola para las 2 estaciones de servicio. Esto es conceptualmente así, aunque hay una cola para cada servidor sólo para los 4 próximos clientes en ser servidos, todo el resto de la cola está constituida por varias filas que funcionalmente son como una sola cola muy larga. El funcionamiento es el siguiente: primero los clientes se van ubicando en la fila 1, hasta completarla; luego hacen lo propio en la fila 2 hasta completarla, y así sucesivamente.<sup>16</sup>
- Esta disposición es bastante inflexible debido a las posibilidades físicas dado el tamaño de los clientes (cada camión mide en promedio casi 20 metros de largo). En las figuras 2.1.1, 2.1.2 y 2.1.3 se observa esto con claridad.
- Disciplina *FIFO*. Este punto ya fue aclarado anteriormente.
- Sin limitaciones en la cola. Este supuesto puede considerarse correcto ya que la playa es grande y hay espacio para que se generen largas colas. Los camiones se estacionan en la playa formando colas de espera. Es más, el acceso desde la ruta, un camino de 9 km de largo, también puede contener camiones esperando en fila.
- La longitud de los intervalos entre arribos es una variable aleatoria continua con distribución de probabilidad exponencial negativa. Más adelante se trata este tema.
- Distribución de probabilidades de los tiempos de servicio exponencial negativa. Es una aproximación válida.
- En los procesos Markovianos, en este caso aplicables a los tiempos entre arribos y a los tiempos de servicio, son:
  - a. Estacionarios y sin memoria.
  - b. Probabilidad de un arribo en  $\Delta$ ,  $P(t_a < \Delta) = \lambda \cdot \Delta$
  - c. Intervalos suficientemente pequeños

En nuestro caso de estudio, los tiempos entre arribos y de servicio cumplen con los puntos b. y c., además de no tener memoria. Pero, por como está planteado el análisis, no son estacionarios. El estudio analiza los arribos durante 60 días como un todo y esto no está en estado estacionario. No es lo mismo la tasa de arribos un lunes que un domingo, así como tampoco es lo mismo la tasa de arribos a las 10 hs que a las 18 hs ya que los camiones suelen, en lo posible, cargar en el campo a la mañana y a la tarde noche arriban a las terminales.

---

<sup>16</sup> La teoría de colas demuestra que es más eficiente una disposición M/M/S (siendo S el número de servidores), que S sistemas M/M/1. En nuestro caso, ya la distribución es así, por lo que en este punto no hay posibilidad de mejora.

### 4.3.2 Distribución de los Tiempos Entre Arribos

Una de las hipótesis de la teoría de colas es que el tiempo entre arribos responde a una distribución de probabilidades exponencial negativa.

El siguiente gráfico muestra la proporción de tiempos entre arribos de los camiones, expresados en minutos.

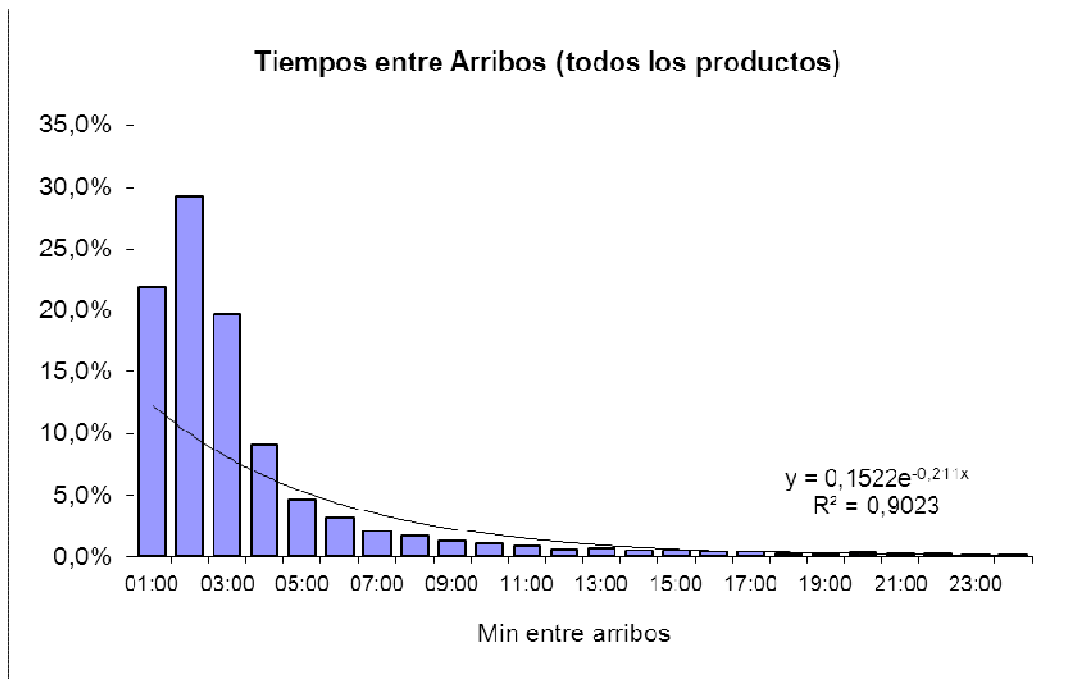


Gráfico 4.3.2.1. Tiempos entre arribos de los transportistas

Fuente: Elaboración propia

Según la planilla Excel, un de las mejores curvas que se aproxima a esta distribución es una exponencial negativa, con un valor R cuadrado de correlación de 0,9023 (un valor de 1,00 significa una correlación perfecta).

Por otro lado, si se realiza la prueba de bondad de ajuste de chi-cuadrado, el valor no es el esperado, ya que no se confirma la hipótesis de que la distribución responde a una curva exponencial negativa.

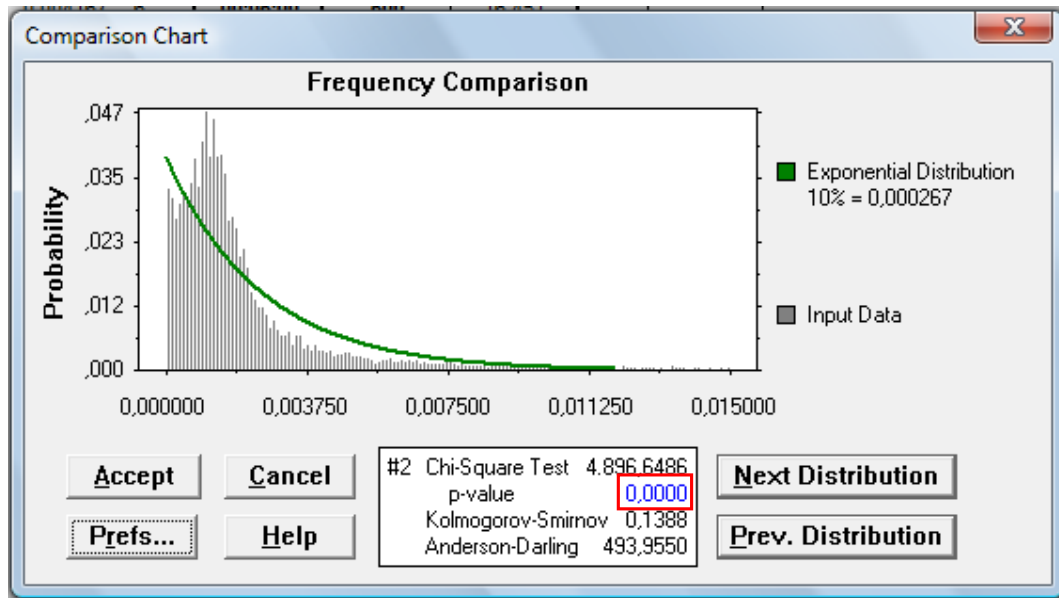


Figura 4.3.2.1. Imagen del resultado del test de bondad de ajuste de la distribución de los tiempos entre arribos.

Fuente: Elaboración propia

En este gráfico se observa el resultado de la aplicación que existe en el programa Crystal Ball para realizar tests de bondad de ajuste. El valor P, que rechaza la hipótesis nula (recuadrado en rojo en la imagen), es cero, por lo cual no se confirma la hipótesis que uno plantea.

#### 4.4 Variables de control e indicadores del modelo

##### 4.4.1 Variable de control: Tiempo de servicio ( $T_s$ )

El tiempo de servicio ( $T_s$ ), en un modelo M/M/2, se puede calcular como  $1/\mu$ , siendo  $\mu$  la tasa de servicio (en unidad de tiempo por cada elemento).

Al estudiar la estación de calado como dos servidores con una tasa de servicio ( $\mu$ ) uno se da cuenta de que no es simple definirle en un valor acotado. La operación realizada en esta estación contiene varias tareas, la mayoría de ellas manuales y que varían muy ligeramente camión a camión, según las circunstancias (por ejemplo tomar muestras adicionales si la homogeneidad de la mercadería está en duda). Por estas cualidades que tiene, es que existe



cierto desvío entre cada servicio, por más que el tiempo de servicio es medible y se puede calcular un promedio. Se tomaron poco menos de 100 muestras de caladas para calcular el promedio.

El siguiente gráfico muestra la dispersión de los datos.

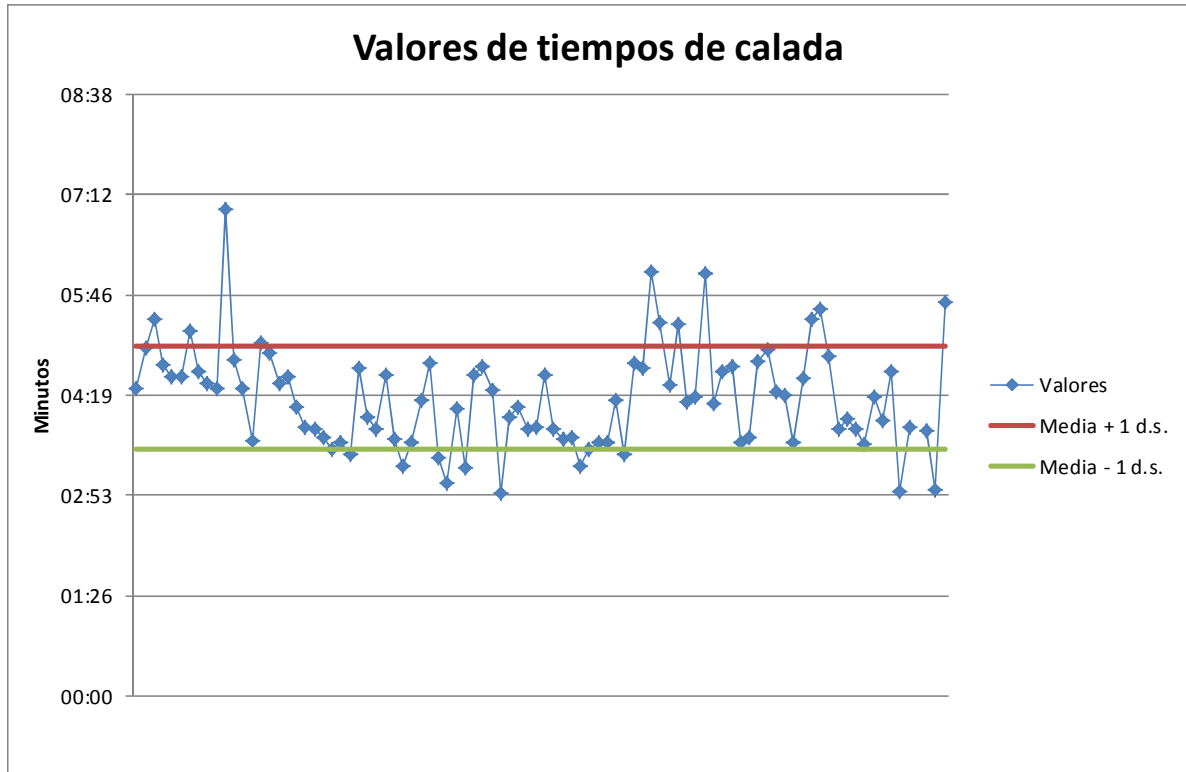


Gráfico 4.4.1.1. Valores de los tiempos de servicio del calado.

Fuente: Elaboración propia utilizando mediciones realizadas en campo

El valor promedio de la duración del tiempo de servicio es de 00:04:17<sup>17</sup>, con un desvío estándar de 00:00:44<sup>18</sup>, lo que representa un 17% del valor promedio.

Es importante destacar que la tasa de servicio tiene cierta variabilidad (si fuera un proceso totalmente automático posiblemente esta sería despreciable) ya que esto afecta directamente la definición de capacidad del complejo y en los valores de las variables de control e indicadores de la teoría de colas.

<sup>17</sup> [Unidades]: hh:mm:ss

<sup>18</sup> [Unidades]: hh:mm:ss

#### 4.4.2 Indicador: Tiempo en el sistema y Análisis de sensibilidad

Debido a estas circunstancias de tiempo de servicio y tasas de arribos variables, se decidió hacer un análisis de sensibilidad variando levemente la tasa de servicio (desde 12 camiones por hora hasta 16,5 camiones por hora, es decir, un tiempo de servicio entre 5 y 3,64 minutos por camión) y la tasa de arribos (desde 550 a 750 camiones por día) para ver qué valores de tiempo en el sistema habría.

Para calcular este valor (tiempo de permanencia) y otros indicadores, se utiliza las fórmulas del modelo  $M/M/2$ <sup>19</sup> (según la notación de Kendall) de la teoría de colas, aquí a continuación:

- i.  $P_0 = \text{Probabilidad de sistema vacío} = (1 - \rho/2) / (1 + \rho/2)$
- ii.  $L_c = \text{Longitud promedio de la cola} = P_0 \cdot (\rho^3 / (2 - \rho)^2)$
- iii.  $W_c = \text{Tiempo promedio en la cola} = L_c / \lambda$
- iv.  $W = \text{Tiempo promedio en el sistema} = W_c + 1/\mu$
- v.  $L = \text{Longitud promedio del sistema} = \lambda \cdot W = L_c + \rho$

Siendo:

- a.  $\rho = \text{factor de tráfico} = \lambda/\mu$  (menor a  $s$ , la cantidad de servidores, para que el sistema tenga solución)
- b.  $\lambda = \text{tasa de arribos, en elementos por unidad de tiempo}$
- c.  $\mu = \text{tasa de servicio, en elementos por unidad de tiempo}$

En las tablas a continuación se observan los tiempos en el sistema para diferentes tasas de arribos y de servicios.

---

<sup>19</sup> las siglas corresponden a procesos Markovianos para las distribuciones de tiempos entre arribos y del tiempo de servicio y para un sistema con 2 estaciones de servicio.

| Tasa de servicio (cam/h) |              |              |              |              |              |       | Tasa de servicio (cam/h) |              |              |              |              |             |       |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------|
| Arribos                  | 12,00        | 12,25        | 12,50        | 12,75        | 13,00        | 13,25 | Arribos                  | 13,25        | 13,50        | 13,75        | 14,00        | 14,25       | 14,50 |
| 550                      | 0,94         | 0,65         | 0,50         | 0,41         | 0,34         | 0,30  |                          |              |              |              |              |             |       |
| 575                      | <b>24,02</b> | 1,87         | 0,98         | 0,67         | 0,51         | 0,41  | 625                      | <b>2,20</b>  | 1,06         | 0,70         | 0,53         | 0,43        | 0,36  |
| 576                      | #####        | 2,02         | 1,02         | 0,69         | 0,52         | 0,42  | 626                      | <b>2,42</b>  | 1,11         | 0,72         | 0,54         | 0,43        | 0,36  |
| 577                      | -23,98       | <b>2,20</b>  | 1,06         | 0,71         | 0,53         | 0,43  | 627                      | <b>2,69</b>  | 1,16         | 0,75         | 0,55         | 0,44        | 0,37  |
| 578                      | -11,98       | <b>2,42</b>  | 1,11         | 0,73         | 0,54         | 0,43  | 628                      | <b>3,02</b>  | 1,22         | 0,77         | 0,56         | 0,45        | 0,37  |
| 579                      | -7,98        | <b>2,69</b>  | 1,16         | 0,75         | 0,55         | 0,44  | 629                      | <b>3,45</b>  | 1,28         | 0,79         | 0,58         | 0,45        | 0,38  |
| 580                      | -5,98        | <b>3,02</b>  | 1,22         | 0,77         | 0,57         | 0,45  | 630                      | <b>4,02</b>  | 1,35         | 0,82         | 0,59         | 0,46        | 0,38  |
| 581                      | -4,78        | <b>3,45</b>  | 1,28         | 0,79         | 0,58         | 0,46  | 631                      | <b>4,82</b>  | 1,43         | 0,85         | 0,60         | 0,47        | 0,39  |
| 582                      | -3,98        | <b>4,02</b>  | 1,35         | 0,82         | 0,59         | 0,46  | 632                      | <b>6,02</b>  | 1,52         | 0,88         | 0,62         | 0,48        | 0,39  |
| 583                      | -3,41        | <b>4,82</b>  | 1,43         | 0,85         | 0,61         | 0,47  | 633                      | <b>8,02</b>  | 1,62         | 0,91         | 0,63         | 0,49        | 0,40  |
| 584                      | -2,98        | <b>6,02</b>  | 1,52         | 0,88         | 0,62         | 0,48  | 634                      | <b>12,02</b> | 1,73         | 0,94         | 0,65         | 0,50        | 0,41  |
| 585                      | -2,65        | <b>8,02</b>  | 1,62         | 0,91         | 0,64         | 0,49  | 635                      | <b>24,02</b> | 1,86         | 0,98         | 0,67         | 0,51        | 0,41  |
| 586                      | -2,38        | <b>12,02</b> | 1,73         | 0,94         | 0,65         | 0,50  | 636                      | #####        | 2,02         | 1,02         | 0,69         | 0,52        | 0,42  |
| 587                      | -2,16        | <b>24,02</b> | 1,87         | 0,98         | 0,67         | 0,51  | 637                      | -23,98       | <b>2,20</b>  | 1,06         | 0,70         | 0,53        | 0,42  |
| 588                      | -1,98        | #####        | 2,02         | 1,02         | 0,69         | 0,52  | 638                      | -11,98       | <b>2,42</b>  | 1,11         | 0,72         | 0,54        | 0,43  |
| 589                      | -1,83        | -23,98       | <b>2,20</b>  | 1,06         | 0,71         | 0,53  | 639                      | -7,98        | <b>2,69</b>  | 1,16         | 0,75         | 0,55        | 0,44  |
| 590                      | -1,69        | -11,98       | <b>2,42</b>  | 1,11         | 0,73         | 0,54  | 640                      | -5,98        | <b>3,02</b>  | 1,22         | 0,77         | 0,56        | 0,45  |
| 591                      | -1,58        | -7,98        | <b>2,69</b>  | 1,16         | 0,75         | 0,55  | 641                      | -4,78        | <b>3,45</b>  | 1,28         | 0,79         | 0,58        | 0,45  |
| 592                      | -1,48        | -5,98        | <b>3,02</b>  | 1,22         | 0,77         | 0,56  | 642                      | -3,98        | <b>4,02</b>  | 1,35         | 0,82         | 0,59        | 0,46  |
| 593                      | -1,39        | -4,78        | <b>3,45</b>  | 1,28         | 0,79         | 0,58  | 643                      | -3,41        | <b>4,82</b>  | 1,43         | 0,85         | 0,60        | 0,47  |
| 594                      | -1,31        | -3,98        | <b>4,02</b>  | 1,35         | 0,82         | 0,59  | 644                      | -2,98        | <b>6,02</b>  | 1,52         | 0,88         | 0,62        | 0,48  |
| 595                      | -1,24        | -3,41        | <b>4,82</b>  | 1,43         | 0,85         | 0,60  | 645                      | -2,65        | <b>8,02</b>  | 1,62         | 0,91         | 0,63        | 0,49  |
| 596                      | -1,18        | -2,98        | <b>6,02</b>  | 1,52         | 0,88         | 0,62  | 646                      | -2,38        | <b>12,02</b> | 1,73         | 0,94         | 0,65        | 0,50  |
| 597                      | -1,12        | -2,65        | <b>8,02</b>  | 1,62         | 0,91         | 0,63  | 647                      | -2,16        | <b>24,02</b> | 1,86         | 0,98         | 0,67        | 0,51  |
| 598                      | -1,07        | -2,38        | <b>12,02</b> | 1,73         | 0,94         | 0,65  | 648                      | -1,98        | #####        | 2,02         | 1,02         | 0,68        | 0,52  |
| 599                      | -1,02        | -2,16        | <b>24,02</b> | 1,87         | 0,98         | 0,67  | 649                      | -1,83        | -23,98       | <b>2,20</b>  | 1,06         | 0,70        | 0,53  |
| 600                      | -0,98        | -1,98        | #####        | 2,02         | 1,02         | 0,69  | 650                      | -1,70        | -11,98       | <b>2,42</b>  | 1,11         | 0,72        | 0,54  |
| 601                      | -0,94        | -1,83        | -23,98       | <b>2,20</b>  | 1,06         | 0,71  | 651                      | -1,58        | -7,98        | <b>2,68</b>  | 1,16         | 0,75        | 0,55  |
| 602                      | -0,90        | -1,69        | -11,98       | <b>2,42</b>  | 1,11         | 0,73  | 652                      | -1,48        | -5,98        | <b>3,02</b>  | 1,22         | 0,77        | 0,56  |
| 603                      | -0,87        | -1,58        | -7,98        | <b>2,69</b>  | 1,16         | 0,75  | 653                      | -1,39        | -4,78        | <b>3,45</b>  | 1,28         | 0,79        | 0,58  |
| 604                      | -0,84        | -1,48        | -5,98        | <b>3,02</b>  | 1,22         | 0,77  | 654                      | -1,31        | -3,98        | <b>4,02</b>  | 1,35         | 0,82        | 0,59  |
| 605                      | -0,81        | -1,39        | -4,78        | <b>3,45</b>  | 1,28         | 0,79  | 655                      | -1,24        | -3,41        | <b>4,82</b>  | 1,43         | 0,85        | 0,60  |
| 606                      | -0,78        | -1,31        | -3,98        | <b>4,02</b>  | 1,35         | 0,82  | 656                      | -1,18        | -2,98        | <b>6,02</b>  | 1,52         | 0,88        | 0,62  |
| 607                      | -0,75        | -1,24        | -3,41        | <b>4,82</b>  | 1,43         | 0,85  | 657                      | -1,12        | -2,65        | <b>8,02</b>  | 1,62         | 0,91        | 0,63  |
| 608                      | -0,73        | -1,18        | -2,98        | <b>6,02</b>  | 1,52         | 0,88  | 658                      | -1,07        | -2,38        | <b>12,02</b> | 1,73         | 0,94        | 0,65  |
| 609                      | -0,71        | -1,12        | -2,65        | <b>8,02</b>  | 1,62         | 0,91  | 659                      | -1,02        | -2,16        | <b>24,02</b> | 1,86         | 0,98        | 0,67  |
| 610                      | -0,69        | -1,07        | -2,38        | <b>12,02</b> | 1,73         | 0,94  | 660                      | -0,98        | -1,98        | #####        | 2,02         | 1,02        | 0,68  |
| 611                      | -0,67        | -1,02        | -2,16        | <b>24,02</b> | 1,87         | 0,98  | 661                      | -0,94        | -1,83        | -23,98       | 2,20         | 1,06        | 0,70  |
| 612                      | -0,65        | -0,98        | -1,98        | #####        | 2,02         | 1,02  | 662                      | -0,90        | -1,70        | -11,98       | <b>2,42</b>  | 1,11        | 0,72  |
| 613                      | -0,63        | -0,94        | -1,83        | -23,98       | <b>2,20</b>  | 1,06  | 663                      | -0,87        | -1,58        | -7,98        | <b>2,68</b>  | 1,16        | 0,74  |
| 614                      | -0,61        | -0,90        | -1,69        | -11,98       | <b>2,42</b>  | 1,11  | 664                      | -0,84        | -1,48        | -5,98        | <b>3,02</b>  | 1,22        | 0,77  |
| 615                      | -0,60        | -0,87        | -1,58        | -7,98        | <b>2,69</b>  | 1,16  | 665                      | -0,81        | -1,39        | -4,78        | <b>3,45</b>  | 1,28        | 0,79  |
| 616                      | -0,58        | -0,84        | -1,48        | -5,98        | <b>3,02</b>  | 1,22  | 666                      | -0,78        | -1,32        | -3,98        | <b>4,02</b>  | 1,35        | 0,82  |
| 617                      | -0,57        | -0,81        | -1,39        | -4,78        | <b>3,45</b>  | 1,28  | 667                      | -0,76        | -1,24        | -3,41        | <b>4,82</b>  | 1,43        | 0,85  |
| 618                      | -0,55        | -0,78        | -1,31        | -3,98        | <b>4,02</b>  | 1,35  | 668                      | -0,73        | -1,18        | -2,98        | <b>6,02</b>  | 1,52        | 0,87  |
| 619                      | -0,54        | -0,75        | -1,24        | -3,41        | <b>4,82</b>  | 1,43  | 669                      | -0,71        | -1,12        | -2,65        | <b>8,02</b>  | 1,62        | 0,91  |
| 620                      | -0,53        | -0,73        | -1,18        | -2,98        | <b>6,02</b>  | 1,52  | 670                      | -0,69        | -1,07        | -2,38        | <b>12,02</b> | 1,73        | 0,94  |
| 621                      | -0,51        | -0,71        | -1,12        | -2,65        | <b>8,02</b>  | 1,62  | 671                      | -0,67        | -1,03        | -2,16        | <b>24,02</b> | 1,86        | 0,98  |
| 622                      | -0,50        | -0,69        | -1,07        | -2,38        | <b>12,02</b> | 1,73  | 672                      | -0,65        | -0,98        | -1,98        | #####        | 2,02        | 1,02  |
| 623                      | -0,49        | -0,67        | -1,02        | -2,16        | <b>24,02</b> | 1,87  | 673                      | -0,63        | -0,94        | -1,83        | -23,98       | 2,20        | 1,06  |
| 624                      | -0,48        | -0,65        | -0,98        | -1,98        | #####        | 2,02  | 674                      | -0,61        | -0,90        | -1,70        | -11,98       | <b>2,42</b> | 1,11  |

Tabla 4.4.2.1.a. Análisis de sensibilidad variando las tasas de servicio ( $\mu$ ) y de arribo ( $\lambda$ )

Fuente: Elaboración propia

Aplicación de la teoría de colas al complejo industrial de LDC en Timbúes

| Arribos | Tasa de servicio (cam/h) |              |              |             |       |       |
|---------|--------------------------|--------------|--------------|-------------|-------|-------|
|         | 14,25                    | 14,50        | 14,75        | 15,00       | 15,25 | 15,50 |
| 675     | <b>2,68</b>              | 1,16         | 0,74         | 0,55        | 0,44  | 0,36  |
| 676     | <b>3,02</b>              | 1,22         | 0,77         | 0,56        | 0,45  | 0,37  |
| 677     | <b>3,45</b>              | 1,28         | 0,79         | 0,58        | 0,45  | 0,38  |
| 678     | <b>4,02</b>              | 1,35         | 0,82         | 0,59        | 0,46  | 0,38  |
| 679     | <b>4,82</b>              | 1,43         | 0,84         | 0,60        | 0,47  | 0,39  |
| 680     | <b>6,02</b>              | 1,52         | 0,87         | 0,62        | 0,48  | 0,39  |
| 681     | <b>8,02</b>              | 1,62         | 0,91         | 0,63        | 0,49  | 0,40  |
| 682     | <b>12,02</b>             | 1,73         | 0,94         | 0,65        | 0,50  | 0,40  |
| 683     | <b>24,02</b>             | 1,86         | 0,98         | 0,67        | 0,51  | 0,41  |
| 684     | #####                    | 2,02         | 1,02         | 0,68        | 0,52  | 0,42  |
| 685     | -23,98                   | <b>2,20</b>  | 1,06         | 0,70        | 0,53  | 0,42  |
| 686     | -11,98                   | <b>2,42</b>  | 1,11         | 0,72        | 0,54  | 0,43  |
| 687     | -7,98                    | <b>2,68</b>  | 1,16         | 0,74        | 0,55  | 0,44  |
| 688     | -5,98                    | <b>3,02</b>  | 1,22         | 0,77        | 0,56  | 0,45  |
| 689     | -4,78                    | <b>3,45</b>  | 1,28         | 0,79        | 0,58  | 0,45  |
| 690     | -3,98                    | <b>4,02</b>  | 1,35         | 0,82        | 0,59  | 0,46  |
| 691     | -3,41                    | <b>4,82</b>  | 1,43         | 0,84        | 0,60  | 0,47  |
| 692     | -2,98                    | <b>6,02</b>  | 1,52         | 0,87        | 0,62  | 0,48  |
| 693     | -2,65                    | <b>8,02</b>  | 1,62         | 0,91        | 0,63  | 0,49  |
| 694     | -2,38                    | <b>12,02</b> | 1,73         | 0,94        | 0,65  | 0,50  |
| 695     | -2,16                    | <b>24,02</b> | 1,86         | 0,98        | 0,67  | 0,51  |
| 696     | -1,98                    | #####        | 2,02         | 1,02        | 0,68  | 0,52  |
| 697     | -1,83                    | -23,98       | <b>2,20</b>  | 1,06        | 0,70  | 0,53  |
| 698     | -1,70                    | -11,98       | <b>2,42</b>  | 1,11        | 0,72  | 0,54  |
| 699     | -1,58                    | -7,98        | <b>2,68</b>  | 1,16        | 0,74  | 0,55  |
| 700     | -1,48                    | -5,98        | <b>3,02</b>  | 1,22        | 0,77  | 0,56  |
| 701     | -1,39                    | -4,78        | <b>3,45</b>  | 1,28        | 0,79  | 0,57  |
| 702     | -1,32                    | -3,98        | <b>4,02</b>  | 1,35        | 0,82  | 0,59  |
| 703     | -1,25                    | -3,41        | <b>4,82</b>  | 1,43        | 0,84  | 0,60  |
| 704     | -1,18                    | -2,98        | <b>6,02</b>  | 1,52        | 0,87  | 0,62  |
| 705     | -1,13                    | -2,65        | <b>8,02</b>  | 1,62        | 0,91  | 0,63  |
| 706     | -1,07                    | -2,38        | <b>12,02</b> | 1,73        | 0,94  | 0,65  |
| 707     | -1,03                    | -2,16        | <b>24,02</b> | 1,86        | 0,98  | 0,67  |
| 708     | -0,98                    | -1,98        | #####        | 2,02        | 1,02  | 0,68  |
| 709     | -0,94                    | -1,83        | -23,98       | <b>2,20</b> | 1,06  | 0,70  |
| 710     | -0,91                    | -1,70        | -11,98       | <b>2,42</b> | 1,11  | 0,72  |
| 711     | -0,87                    | -1,58        | -7,98        | <b>2,68</b> | 1,16  | 0,74  |
| 712     | -0,84                    | -1,48        | -5,98        | <b>3,02</b> | 1,22  | 0,77  |
| 713     | -0,81                    | -1,39        | -4,78        | <b>3,45</b> | 1,28  | 0,79  |

| Arribos | Tasa de servicio (cam/h) |              |             |       |       |       |
|---------|--------------------------|--------------|-------------|-------|-------|-------|
|         | 15,25                    | 15,50        | 15,75       | 16,00 | 16,25 | 16,50 |
| 714     | 1,35                     | 0,82         | 0,59        | 0,46  | 0,38  | 0,32  |
| 715     | 1,43                     | 0,84         | 0,60        | 0,47  | 0,39  | 0,33  |
| 716     | 1,52                     | 0,87         | 0,62        | 0,48  | 0,39  | 0,33  |
| 717     | 1,62                     | 0,91         | 0,63        | 0,49  | 0,40  | 0,34  |
| 718     | 1,73                     | 0,94         | 0,65        | 0,50  | 0,40  | 0,34  |
| 719     | <b>1,86</b>              | 0,98         | 0,66        | 0,51  | 0,41  | 0,34  |
| 720     | <b>2,02</b>              | 1,02         | 0,68        | 0,52  | 0,42  | 0,35  |
| 721     | <b>2,20</b>              | 1,06         | 0,70        | 0,53  | 0,42  | 0,35  |
| 722     | <b>2,42</b>              | 1,11         | 0,72        | 0,54  | 0,43  | 0,36  |
| 723     | <b>2,68</b>              | 1,16         | 0,74        | 0,55  | 0,44  | 0,36  |
| 724     | <b>3,02</b>              | 1,22         | 0,77        | 0,56  | 0,44  | 0,37  |
| 725     | <b>3,45</b>              | 1,28         | 0,79        | 0,57  | 0,45  | 0,37  |
| 726     | <b>4,02</b>              | 1,35         | 0,82        | 0,59  | 0,46  | 0,38  |
| 727     | <b>4,82</b>              | 1,43         | 0,84        | 0,60  | 0,47  | 0,39  |
| 728     | <b>6,02</b>              | 1,52         | 0,87        | 0,62  | 0,48  | 0,39  |
| 729     | <b>8,02</b>              | 1,62         | 0,91        | 0,63  | 0,49  | 0,40  |
| 730     | <b>12,02</b>             | 1,73         | 0,94        | 0,65  | 0,50  | 0,40  |
| 731     | <b>24,02</b>             | <b>1,86</b>  | 0,98        | 0,66  | 0,51  | 0,41  |
| 732     | #####                    | <b>2,02</b>  | 1,02        | 0,68  | 0,52  | 0,42  |
| 733     | -23,98                   | <b>2,20</b>  | 1,06        | 0,70  | 0,53  | 0,42  |
| 734     | -11,98                   | <b>2,42</b>  | 1,11        | 0,72  | 0,54  | 0,43  |
| 735     | -7,98                    | <b>2,68</b>  | 1,16        | 0,74  | 0,55  | 0,44  |
| 736     | -5,98                    | <b>3,02</b>  | 1,22        | 0,77  | 0,56  | 0,44  |
| 737     | -4,78                    | <b>3,44</b>  | 1,28        | 0,79  | 0,57  | 0,45  |
| 738     | -3,98                    | <b>4,02</b>  | 1,35        | 0,82  | 0,59  | 0,46  |
| 739     | -3,41                    | <b>4,82</b>  | 1,43        | 0,84  | 0,60  | 0,47  |
| 740     | -2,98                    | <b>6,02</b>  | 1,52        | 0,87  | 0,62  | 0,48  |
| 741     | -2,65                    | <b>8,02</b>  | 1,62        | 0,90  | 0,63  | 0,49  |
| 742     | -2,38                    | <b>12,02</b> | 1,73        | 0,94  | 0,65  | 0,50  |
| 743     | -2,17                    | <b>24,02</b> | 1,86        | 0,98  | 0,66  | 0,51  |
| 744     | -1,98                    | #####        | <b>2,02</b> | 1,02  | 0,68  | 0,52  |
| 745     | -1,83                    | -23,98       | <b>2,20</b> | 1,06  | 0,70  | 0,53  |
| 746     | -1,70                    | -11,98       | <b>2,42</b> | 1,11  | 0,72  | 0,54  |
| 747     | -1,58                    | -7,98        | <b>2,68</b> | 1,16  | 0,74  | 0,55  |
| 748     | -1,48                    | -5,98        | <b>3,02</b> | 1,22  | 0,77  | 0,56  |
| 749     | -1,40                    | -4,78        | <b>3,44</b> | 1,28  | 0,79  | 0,57  |
| 750     | -1,32                    | -3,98        | <b>4,02</b> | 1,35  | 0,82  | 0,59  |

Tabla 4.4.2.1.b. (Continuación de la Tabla 4.4.2.1.a) Análisis de sensibilidad variando las tasas de servicio ( $\mu$ ) y de arribo ( $\lambda$ )

Fuente: Elaboración propia

La primera conclusión de este análisis de sensibilidad es que demuestra que el complejo está operando al límite de su capacidad para arribos diarios mayores a 550 camiones. Esto se ve en que, para ciertas combinaciones de rangos de tasas de servicio y tasas de arribos, no existe solución matemática del tiempo en el sistema. (Los valores negativos, que están grisados en las tablas). En esos momentos el sistema no está en estado estable. Cualquier

modelo de teoría de colas no tiene solución cuando la tasa de arribos es igual o superior a la tasa de servicio, ya que se generarían colas infinitas.

Este modelo matemático es extremadamente sensible a pequeños cambios en los valores de  $\mu$  y  $\lambda$ . Un camión más por día puede significar, según estos valores, 2, 4 o hasta 12 horas más de promedio de permanencia. O que para una dada tasa de servicio un camión más sature el sistema por completo y por ende no tenga solución matemática dado que la tasa de arribos supera a la tasa de servicio conjunta. Un aumento de menos del 2% en la tasa de servicio también hace que el sistema pase de no tener solución a tenerla y a disminuir drásticamente las horas de permanencia en el sistema.

#### **4.4.3 Otras variables de control**

##### Factor de tráfico: $\rho$

El factor de tráfico muestra rápidamente que tan saturado está el sistema, si el valor es cercano al número de servidores (en este caso 2), el sistema está trabajando cerca de su límite de capacidad y los servidores tienen muy poco tiempo ocioso; un aumento repentino en la tasa de arribos generaría, conceptualmente, colas infinitas.

En los escenarios 2 y 3, que mejor reflejan la realidad del sistema, se observa que este valor es muy próximo a 2, lo que nos dice que las estaciones de servicio se encuentran saturadas de clientes. Es lógico que esto ocurra en los meses críticos del año, ya que se tomó para estudiar el proceso cuello de botella de la recepción de camiones.

Por otro lado, este tipo de complejos se dimensionan para que puedan recibir ajustadamente la cantidad de camiones que arriban en la época de cosecha (y en esos momentos no haya capacidad ociosa), ya que el resto del año las necesidades son mucho menores y si hay capacidad ociosa del sistema (por instalaciones y por mano de obra).

##### Número de servidores

En este circuito se tiene 2 servidores, que son 2 manos de calado de camiones.

En el análisis económico a desarrollar más adelante en el estudio se abre la posibilidad de cambiar la cantidad de servidores para aumentar la capacidad del sistema y mejorar los indicadores de esperas.

### Número de colas

En este caso, puede clasificarse la disposición como una cola única que alimenta a los dos servidores y por eso decimos que el modelo es un M/M/2; si existieran dos colas, una por cada servidor, estaríamos frente a dos sistemas M/M/1 en paralelo e idénticos.

No hay posibilidades para explorar en este rubro ya que el tamaño de los camiones es una restricción importante para cambiar la disposición física de las colas.

#### **4.4.4 Definición de la tasa de arribos ( $\lambda$ ): Escenarios**

La tasa de arribo es muy variable, aún dentro del mismo período de cosecha; y como se demostró anteriormente, un pequeño cambio en la tasa de arribos significa un gran cambio en los resultados de tiempos de demora y en el sistema.

A continuación se plantean 3 escenarios: uno con los valores de arribos totales para los meses de abril y mayo; otro con el promedio de la semana con mayor arribo de camiones de la temporada y el último partiendo del valor real de tiempo promedio en el sistema (W).

Para cada escenario se calcularon los resultados de los indicadores del modelo.

Para cada escenario de las tasas de arribos, se calcularon los principales indicadores de colas, utilizando las ecuaciones matemáticas para modelos M/M/2.

Escenario 1: Promedio de todo abril y mayo

Promedio de arribos: 381 camiones/día

|             |       |       |
|-------------|-------|-------|
| $\lambda$   | 15,88 | cam/h |
| $\mu$       | 14,0  | cam/h |
| $\mu$ total | 28,00 | cam/h |
| <b>s</b>    | 2     |       |
| $\rho$      | 1,13  |       |

|           |              |
|-----------|--------------|
| <b>Po</b> | <b>0,276</b> |
| <b>Lc</b> | <b>0,5</b>   |
| <b>Wc</b> | <b>0,03</b>  |
| <b>W</b>  | <b>0,11</b>  |
| <b>L</b>  | <b>1,7</b>   |

Tabla 4.4.4.1. Variables de control e Indicadores para el escenario 1

Fuente: Elaboración propia

En este caso, los indicadores muestran que el sistema opera muy ocioso, con tiempos de demora y de colas generadas extremadamente bajos (tiempo en el sistema menor a 6 minutos, cola menor a 2 camiones, algo imposible). Con estos valores, pareciera que al sistema le sobrara excesiva capacidad para recibir esta masa de camiones.

Hay que tener en cuenta, que los sábados y domingos bajan el promedio de arribos, y los días de lluvia (y también los días siguientes a las lluvias) arriban muchos menos camiones a la terminal dado que en abril y mayo la gran mayoría de la soja y el maíz recibido acaba de ser cosechado (las lluvias frenan la cosecha en los campos).

En definitiva el valor promedio de los 2 meses plancha los valores.

Escenario 2: El promedio de la semana con mayor afluencia de arribos del 2009

Arribos: 643 camiones/día<sup>20</sup>

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| <b><math>\lambda</math></b>   | 26,79 | cam/h |
| <b><math>\mu</math></b>       | 14,0  | cam/h |
| <b><math>\mu</math> total</b> | 28,00 | cam/h |
| <b>s</b>                      | 2     |       |
| <b><math>\rho</math></b>      | 1,914 |       |

|           |              |
|-----------|--------------|
| <b>Po</b> | <b>0,022</b> |
| <b>Lc</b> | <b>20,7</b>  |
| <b>Wc</b> | <b>0,77</b>  |
| <b>W</b>  | <b>0,85</b>  |
| <b>L</b>  | <b>22,7</b>  |

Tabla 4.4.4.2. Variables de control e Indicadores para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

La semana con mayor arribo en la temporada 2009 casi satura al sistema (o por lo menos lo hizo en algunos días), lo puso al límite de su capacidad. Estos resultados de los indicadores son algo más cercanos a la realidad, comparándolos con los anteriores, pero tampoco reflejan lo que ocurre en estas colas ya que los valores de tiempo demorado y en el sistema siguen siendo muy bajos contrastados con los valores empíricos.

Los valores de largo de la cola del sistema (21 camiones) o cantidad total de elementos en el sistema (23 camiones), tampoco se corresponden con la realidad, ya que se tiene ambas playas de camiones completas permanentemente.



Escenario 3: Partiendo del valor real de tiempo promedio en el sistema

A partir del dato real de tiempo promedio en el sistema (7,29 horas, tomando el sistema solamente a la etapa 1), se puede calcular la tasa de arribos (utilizando la función buscar objetivo de la planilla Excel, que itera buscando el valor más cercano hasta que lo encuentra).

En este caso, los arribos promedio por día son 668,7 camiones.

| Variables de control |       |       |
|----------------------|-------|-------|
| $\lambda$            | 27,86 | cam/h |
| $\mu$                | 14,0  | cam/h |
| $\mu$ total          | 28,00 | cam/h |
| $s$                  | 2     |       |
| $\rho$               | 1,990 |       |

| Indicadores |       |
|-------------|-------|
| $P_0$       | 0,002 |
| $L_c$       | 201,1 |
| $W_c$       | 7,22  |
| $W$         | 7,29  |
| $L$         | 203,1 |

Tabla 4.4.4.2. Variables de control e Indicadores para el escenario 3.

Fuente: Elaboración propia

Partiendo del resultado de tiempo en el sistema, y como este valor promedio real es muy abultado, se llega a una situación cercana a la saturación ( $\rho$  cercano a  $S$ ). Este valor de arribos tan alto es posible, pero no se sostiene durante semanas.

El valor de elementos en la cola obtenido (201 camiones) se asemeja más que aceptablemente a la realidad. Aunque en los meses de cosecha gruesa, suele ocurrir que las dos playas de camiones del predio estén completas (lo que equivale a 350 camiones aproximadamente), muchos de esos camiones no ingresaron formalmente al sistema, como este está definido.

## CAPÍTULO 5: COSTOS DEL SISTEMA

### 5.1 Costos de la Terminal:

El análisis de costos se focalizará en cómo estos afectan la capacidad de recepción. Como fue expuesto anteriormente, se buscará calcular los costos para distintas capacidades; es decir, el objetivo es tener una curva de costos en función de la capacidad.

A continuación se observa los costos de recepción de la terminal para los meses de abril y mayo de 2010.

| Costos de Recepción Timbúes       | En miles de dólares estadounidenses |               |            |               |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------|------------|---------------|
|                                   | Abr-10                              |               | May-10     |               |
|                                   |                                     | %             |            | %             |
| Mano de obra total                | 164                                 | 55,4%         | 203        | 57,2%         |
| Otros                             | 4                                   | 1,4%          | 3          | 0,8%          |
| <b>Gastos generales</b>           | <b>168</b>                          | <b>56,8%</b>  | <b>206</b> | <b>58,0%</b>  |
| Gastos mantenimiento              | 5                                   | 1,7%          | 18         | 5,1%          |
| Materiales/provisionamiento       | 3                                   | 1,0%          | 1          | 0,3%          |
| Servicios externos                | 37                                  | 12,5%         | 44         | 12,4%         |
| Seguros                           | 2                                   | 0,7%          | 2          | 0,6%          |
| Otros/impuestos prov              | 7                                   | 2,4%          | 3          | 0,8%          |
| <b>Gastos fijos totales</b>       | <b>54</b>                           | <b>18,2%</b>  | <b>68</b>  | <b>19,2%</b>  |
| Fuel Oil para vapor               | 0                                   | 0,0%          | 0          | 0,0%          |
| Gas natural para vapor            | 12                                  | 4,1%          | 27         | 7,6%          |
| Energía Eléctrica                 | 52                                  | 17,6%         | 41         | 11,5%         |
| <b>Gastos variables totales</b>   | <b>64</b>                           | <b>21,6%</b>  | <b>68</b>  | <b>19,2%</b>  |
| Amortizaciones                    | 38                                  | 12,8%         | 39         | 11,0%         |
| <b>Gastos totales</b>             | <b>286</b>                          | <b>96,6%</b>  | <b>342</b> | <b>96,3%</b>  |
| Gastos administrativos            | 10                                  | 3,4%          | 13         | 3,7%          |
| <b>Gastos totales (incl. Adm)</b> | <b>296</b>                          | <b>100,0%</b> | <b>355</b> | <b>100,0%</b> |

Tabla 5.1.1. Costos totales de recepción de la Terminal.

Fuente: Elaboración propia con datos confidenciales de LDC

Es notorio que el mayor costo es el de la mano de obra, representando más del 55% de los costos totales.

Asimismo, si sumamos los costos de mano de obra, servicios externos (limpieza industrial, fumigación, seguridad), energía eléctrica y amortizaciones (marcados en rojo en el cuadro), se llega a que estas erogaciones significan más del 90% de todos los costos industriales de recepción de esta terminal.

De estos cuatro costos, el análisis abarcará dos: mano de obra y amortizaciones. Se decidió no tener en cuenta a los servicios externos porque no están directamente relacionados con la capacidad de recepción. El consumo de energía eléctrica, tampoco es relevante en la capacidad de recepción, sobre todo al tomar el calado como cuello de botella, ya que el consumo de energía eléctrica en este puesto es despreciable.

Por otro lado, la mano de obra está totalmente ligada a la capacidad de recepción; dependiendo si se trabajará 2, 3 ó 4 turnos en temporada alta resultará más o menos capacidad. Y las amortizaciones (o bien depreciaciones) dependen de los activos utilizados; por lo tanto cualquier inversión en activos fijos para aumentar la capacidad tendrá un impacto directo en estas.

## **5.2 Costos de los transportistas:**

El costo de los transportistas no es simple de calcular. Conceptualmente, este costo está definido por el costo de oportunidad por no estar moviendo mercadería; en cosecha los camiones son muy demandados por los productores que quieren llevar los granos a los puertos directamente después de cosecharlos para no tener gastos de almacenamiento.

Para calcular el costo de oportunidad habría que calcular la rentabilidad promedio que tienen los transportistas, y esto abarca precios de fletes, precios de gasoil, depreciación del camión, si el camionero es dueño o empleado, etc.

Actualmente, los camioneros cobran \$528 (aproximadamente U\$S 125) la estadía de 24 horas en la terminal (sin haber descargado)<sup>21</sup>. Esta “multa” se la cobran a los corredores o entregadores, quienes a su vez las transfieren a los productores.

---

<sup>21</sup> *Costos indicativos del Transporte de Cereales, Oleaginosas y Afines elaborado en base a Noviembre 2010 de acuerdo a la homologación del Acta realizada en la sede de CATAC el 26 de Noviembre de 2010. Valor de la Estadía: \$ 528,00*  
[http://www.catac.org.ar/tarifa/TARIFA\\_CATAC\\_2010.pdf](http://www.catac.org.ar/tarifa/TARIFA_CATAC_2010.pdf)

## CAPÍTULO 6: AUMENTOS DE CAPACIDADES Y TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES

Como fue demostrado anteriormente, el cuello de botella, según las capacidades actuales de los procesos, es el Calado. Esto limita a la “producción” (aplicando conceptos de una línea de producción) o en realidad, la recepción, a 670 camiones por día. Una vez que se aumenta la capacidad del cuello de botella, hay que analizar nuevamente la situación y descubrir el nuevo cuello de botella (que puede ser el mismo o no).

A continuación, las tablas 6.1.1 y 6.1.2 presentan las capacidades máximas según la cantidad de manos de calado y plataformas volcadoras (los dos procesos más relevantes del circuito) para el caso de tener una balanza de peso bruto y otra de tara y para el caso de dos balanzas de peso bruto y tara.

En definitiva, se calcula la capacidad total del sistema en función de dos variables (capacidades de calado y descarga), dejando una tercera fija (capacidad de las balanzas).

### 6.1 Aumento de capacidad instalada y cambios de cuello de botella

Para una balanza de peso bruto y una de tara

|                                    |   | Número de manos de Calado |     |     |     |     |
|------------------------------------|---|---------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                                    |   | 1                         | 2   | 3   | 4   | 5   |
| Cantidad de Plataformas volcadoras | 1 | 253                       | 253 | 253 | 253 | 253 |
|                                    | 2 | 335                       | 505 | 505 | 505 | 505 |
|                                    | 3 | 335                       | 670 | 758 | 758 | 758 |
|                                    | 4 | 335                       | 670 | 900 | 900 | 900 |
|                                    | 5 | 335                       | 670 | 900 | 900 | 900 |

Tabla 6.1.1. Capacidad total de la Terminal, en función de la cantidad de manos de Calado y plataformas volcadoras, expresada en camiones por día.

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 16, al aumentar en una mano las calles de calado, la capacidad pasa de los 670 camiones a 758 camiones por día, es decir un aumento de la capacidad total del 13% (cuando la capacidad del calado aumentó un 33%). En este escenario, el cuello de botella pasa a ser la descarga. No se puede aprovechar todo el aumento de capacidad en el calado porque la descarga lo restringe. Si se decidiera además agregar una

plataforma volcadora (pasando de 3 plataformas a 4), la capacidad total del complejo aumenta a 900 camiones por día, esto significa un aumento adicional del 19%, ahora limitado por la capacidad de las balanzas.

A modo de ejemplo, la tabla 6.1.2 contiene el mismo concepto que la tabla 6.1.1, aumentando una balanza de peso bruto y otra de peso tara. Esto para el caso de que se requiera aumentar drásticamente la capacidad.

|                                    |   | Manos de calado |     |      |      |      |
|------------------------------------|---|-----------------|-----|------|------|------|
|                                    |   | 636             | 1   | 2    | 3    | 4    |
| Cantidad de Plataformas Volcadoras | 1 | 253             | 253 | 253  | 253  | 253  |
|                                    | 2 | 335             | 505 | 505  | 505  | 505  |
|                                    | 3 | 335             | 670 | 758  | 758  | 758  |
|                                    | 4 | 335             | 670 | 1005 | 1011 | 1011 |
|                                    | 5 | 335             | 670 | 1005 | 1263 | 1263 |

Tabla 6.1.2. Capacidad total de la Terminal, en función de la cantidad de manos de Calado y plataformas volcadoras, expresada en camiones por día. (En este caso, se supuso 2 balanzas)

Fuente: Elaboración propia

## 6.2 Capacidad desequilibrada

Al analizar el cuello de botella de una secuencia de procesos, vale la pena recordar los conceptos presentados por Eli Goldratt en su Teoría de las Restricciones (TOC, por sus siglas en inglés). En aquella se resalta la importancia de conocer cuál es el cuello de botella de una línea de producción porque éste marca el ritmo de toda la producción.

La siguiente cita explica el concepto de capacidad desequilibrada en pos de equilibrar el flujo.

“A través de la historia los fabricantes han tratado de equilibrar la capacidad de toda una secuencia de procesos con el propósito de relacionar la capacidad con la demanda del mercado. Sin embargo, no deberían hacerlo, porque la *capacidad desequilibrada es mejor*. [..]

Por ejemplo, piense en una línea simple de procesos con varias estaciones. Una vez establecida la tasa de producción de esa línea, los trabajadores de producción intentan que la capacidad de todas las estaciones sea igual. Lo hacen adaptando las máquinas o el equipo que usan, la carga de trabajo, las habilidades y el tipo de tarea asignada, los instrumentos usados, el tiempo extra presupuestado, etcétera.

Sin embargo, desde el punto de vista de la producción sincronizada, se dice que igualar todas las capacidades es una mala decisión. Este equilibrio sólo sería posible si los tiempos de producción de todas las estaciones fueran constantes o tuvieran una distribución muy estrecha. Una variación normal en los tiempos de producción provoca que las estaciones que se encuentran corriente abajo tengan “tiempo muerto” cuando las que se encuentran corriente arriba tardan más tiempo en procesar algo. De otra parte, cuando las estaciones que están corriente arriba procesan en menos tiempo, entonces crece el inventario entre las estaciones. El efecto de variación estadística se acumula. La única forma posible de nivelar esta variación es aumentar la capacidad corriente abajo para compensar los tiempos más largos que ocurren corriente arriba. En este caso, la regla dice que la capacidad dentro de la secuencia del proceso no debe estar equilibrada con niveles iguales. En cambio, debemos tratar de equilibrar el flujo del producto a lo largo del sistema. Cuando aquél está equilibrado, la capacidad no lo está.” Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva – Chase, Jacobs, Aquilano. -10ª edición – Editorial McGraw Hill. Pág.752

Aplicando este concepto de capacidad desequilibrada y flujo equilibrado, se podría decir entonces que la disposición actual del sistema, con una capacidad mayor de descarga (corriente abajo en la secuencia) que en la calada favorece al equilibrio del flujo; ya que de esta forma, las variaciones en los tiempos de calado pueden ser absorbidas por la descarga. Es decir, los camiones que demoran más tiempo que el promedio de la operación en ser calados, luego la descarga tiene algo de capacidad “extra” para “recuperar” ese tiempo. En definitiva, la conclusión de Eli Goldratt para una secuencia de procesos, es que el de menor capacidad sea el primero en intervenir. De esta forma, no sólo los procesos posteriores pueden recuperar tiempos, sino que se reduce el inventario de producción en proceso.

Sin embargo, en nuestro caso de estudio existen ciertas diferencias por las cuales este concepto puede no tener la misma validez y consistencia.

En primer lugar, el concepto no tiene en cuenta el valor de las instalaciones requeridas para cada proceso. Por ejemplo, para una secuencia de procesos A y B, si los recursos utilizados para llevar a cabo el proceso A vale 10 veces menos que los recursos invertidos para llevar a cabo el proceso B, no tiene sentido económico que el proceso B esté por momentos ocioso, mientras que el A está siempre saturado de producción. El costo de oportunidad de tener parado al proceso B es sensiblemente mayor que el de tener parado al proceso A.

Esto es un poco lo que ocurre en nuestro circuito de camiones: el proceso del calado es el cuello de botella (siempre saturado) y hace que el proceso de descarga tenga tiempos ociosos. No explotar la máxima capacidad de la descarga no significa simplemente no utilizar al máximo posible las plataformas volcadoras ni las cintas transportadoras directamente vinculadas; existe toda una rama de circuitos de transportes internos hasta los almacenajes finales (que incluyen norias elevadoras, más cintas transportadoras, sistemas de aspiración, válvulas, etc. dimensionada para absorber la capacidad máxima de la descarga) que termina siendo subutilizada.

Es por esta razón que desde este estudio se enfatiza que no es lo más correcto que el calado sea el cuello de botella del circuito.

Además, los camiones esperando entre procesos no significan inventario de producción en proceso con los costos financieros y el riesgo de obsolescencia que trae aparejado esto, porque hasta que la mercadería no es descargada, la misma no es propia de la empresa. Uno de los objetivos buscados por Goldratt es reducir inventarios, algo que no es trasladable directamente en este análisis.

## CAPÍTULO 7: ANÁLISIS ECONÓMICO Y PRIMERAS CONCLUSIONES:

En este capítulo se analizan los costos, tanto de la terminal como de los transportistas teniendo como variable independiente a la capacidad total del sistema, y con el objetivo de encontrar el punto de capacidad óptima para el sistema, que es aquel en que el costo total del sistema es el mínimo.

### 7.1 Costos de la Terminal

Para el complejo industrial, hay dos recursos que definen la capacidad total: la mano de obra empleada y las instalaciones físicas (maquinaria, edificios). Lógicamente, la variación de la mano de obra dará saltos en la capacidad más pequeños que la variación de las instalaciones, y esto se verá en las tablas y gráficos a continuación.

#### 7.1.1 Costos de la mano de obra variando la mano de obra y la capacidad instalada

Se calculó el costo total de mano de obra para la empresa, (incluyendo cargas sociales, aguinaldo, etc.) variando la cantidad de turnos de trabajo de la mano de obra (desde 2 turnos de 8 hs, pasando por 3 turnos de 8 hs hasta 4 turnos rotativos de 12 hs) y a la vez variando la capacidad instalada, con la alternativa de una mano adicional de calado (estos casos están marcados con un asterisco en la tabla 7.1.1.1 y requieren una inversión en activos fijos). La tabla 7.1.1.1 muestra las capacidades y costos laborales resultantes para cada caso.

| Capacidad instalada | Cuello de botella | Turnos | N° de operarios | Uso de Cap Instalada (%) | Capacidad nominal | Costo total M. O.  |
|---------------------|-------------------|--------|-----------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| 670                 | Calado            | 2      | 30              | 50%                      | 335               | <b>63.676 USD</b>  |
| 670                 | Calado            | 3      | 44              | 93%                      | 622               | <b>93.253 USD</b>  |
| 670                 | Calado            | 4      | 58              | 100%                     | 670               | <b>143.710 USD</b> |
| *                   | PVs               | 2      | 34              | 50%                      | 379               | <b>84.656 USD</b>  |
| *                   | PVs               | 3      | 50              | 93%                      | 704               | <b>124.338 USD</b> |
| *                   | PVs               | 4      | 66              | 100%                     | 758               | <b>164.020 USD</b> |

Tabla 7.1.1.1. Costo mensual de la mano de obra para distintas capacidades instaladas y cantidad de turnos de trabajo.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, el gráfico 7.1.1.1 muestra los valores de los costos laborales obtenidos en la tabla 7.1.1.1 en función de distintas capacidades.



La capacidad instalada I se refiere a la actual, mientras que la capacidad instalada II se refiere al escenario con una mano adicional de calado, lo que aumenta un 13% la capacidad total, como fue demostrado anteriormente. Lógicamente, y como se observa en la tabla y en el gráfico 7.1.1.1, mayor capacidad instalada requiere mayor personal para operarla, para cada cantidad de turnos.

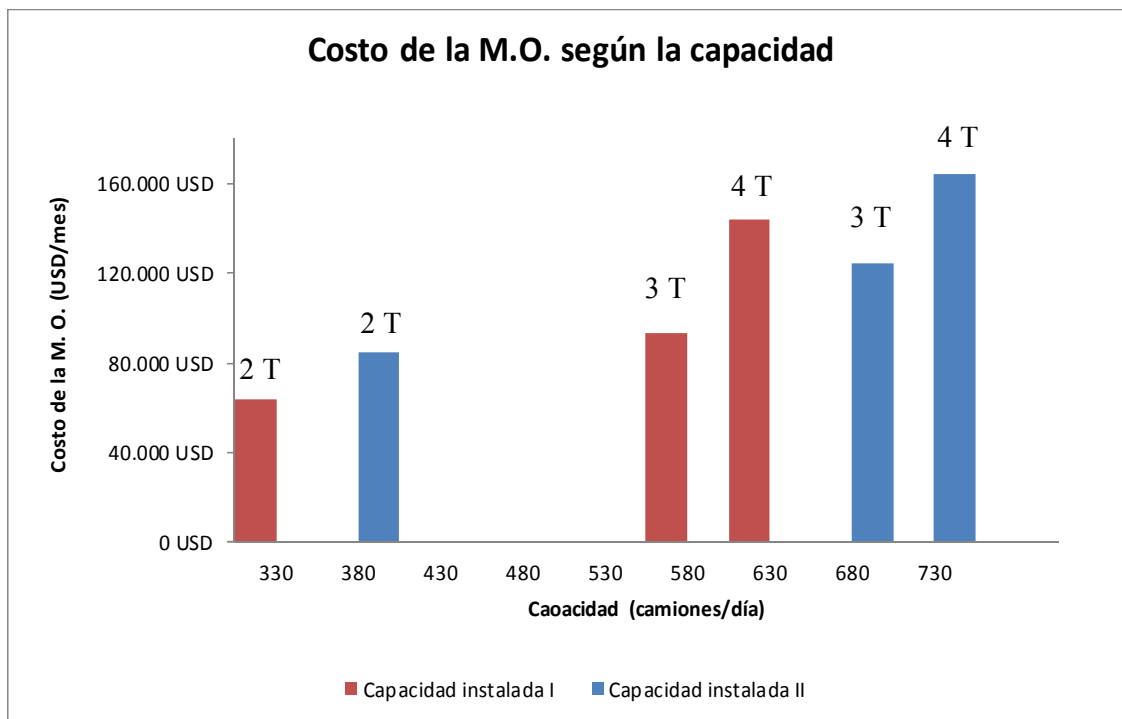


Gráfico 7.1.1.1. Costo mensual de la mano de obra en función de la capacidad

Fuente: Elaboración propia<sup>22</sup>

Una observación interesante que surge de este análisis, es que, para la empresa, el costo de mano de obra es menor trabajando en 3 turnos e invirtiendo en la mano adicional de calado, que trabajando en 4 turnos con la capacidad de hoy en día. Vale recordar que hoy la Terminal elige esta alternativa. Esto se debe a que se reduce la cantidad de personal neta operativa. En el caso de la Capacidad instalada II- 3 turnos se tiene una capacidad aproximada de 700 camiones/día con un total de 50 operarios en contraste con una capacidad aproximada de 670 camiones/día y 58 operarios para la situación actual

<sup>22</sup> Referencias:

2T: 2 turnos ; 3T: 3 turnos ; 4T: 4 turnos

Análisis económico y primeras conclusiones

## Aplicación de la teoría de colas al complejo industrial de LDC en Timbúes

(Capacidad instalada I- 4 turnos en la tabla y el gráfico 7.1.1.1), lo que termina siendo más caro para una menor capacidad.

Este caso de que aumenta la capacidad y disminuye el costo es un claro ejemplo de una economía de escala.

### 7.1.2 Costos de amortizaciones

Un aumento de la capacidad instalada sólo puede ser alcanzada mediante inversiones que incrementen la capacidad del cuello de botella de las operaciones, que, como se expuso, es el calado. Las inversiones requeridas para sumar una mano adicional en la calada de camiones son, en grandes números, las siguientes:

En dólares estadounidenses

| Inversión mano adicional en Calado                                       | Valor             | Años de Amort. | Amort. Anual     | Amort. Mensual  |
|--|-------------------|----------------|------------------|-----------------|
| Obra civil (hormigón de base, calle, cabina elevada de recibidores, etc) | \$ 286.000        | 20             | \$ 14.300        | \$ 1.192        |
| Calador automático   | \$ 50.000         | 10             | \$ 5.000         | \$ 417          |
| Equipos humidímetros   | \$ 45.000         | 5              | \$ 9.000         | \$ 750          |
| Materiales / herramientas varias de operación                            | \$ 2.500          | 5              | \$ 500           | \$ 42           |
| <b>Total</b>   | <b>\$ 383.500</b> |                | <b>\$ 28.800</b> | <b>\$ 2.400</b> |

Tabla 7.1.2.1. Inversiones requeridas para aumentar en una mano el galpón de calada.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos provistos por LDC. Valores de 2010.

Si se avanzara con estas inversiones, cambiaría el cuello de botella y pasaría a ser la descarga. Como se explicó en el capítulo anterior, hay razones para dimensionar el circuito de esta forma.

Si se intentara aumentar nuevamente la capacidad, habría que invertir en las plataformas volcadoras, pero veremos más adelante que no hay razón para seguir aumentando la capacidad de la terminal.

### 7.1.3 Costos totales de la terminal

Si tomamos la mano de obra y amortizaciones concentramos alrededor del 70% de los costos totales, mientras que si les sumamos servicios externos y energía eléctrica llegamos al más del 90% de los costos totales. Y justamente la mano de obra es el rubro que más varía al aumentar la capacidad; por lo tanto, para simplificar los cálculos, se toman sólo los valores de mano de obra y amortizaciones para la deducción del costo total de la terminal en función de la capacidad.

En el gráfico a continuación se muestran los costos totales del complejo industrial, es decir, de los servidores para distintas capacidades de recepción de camiones.

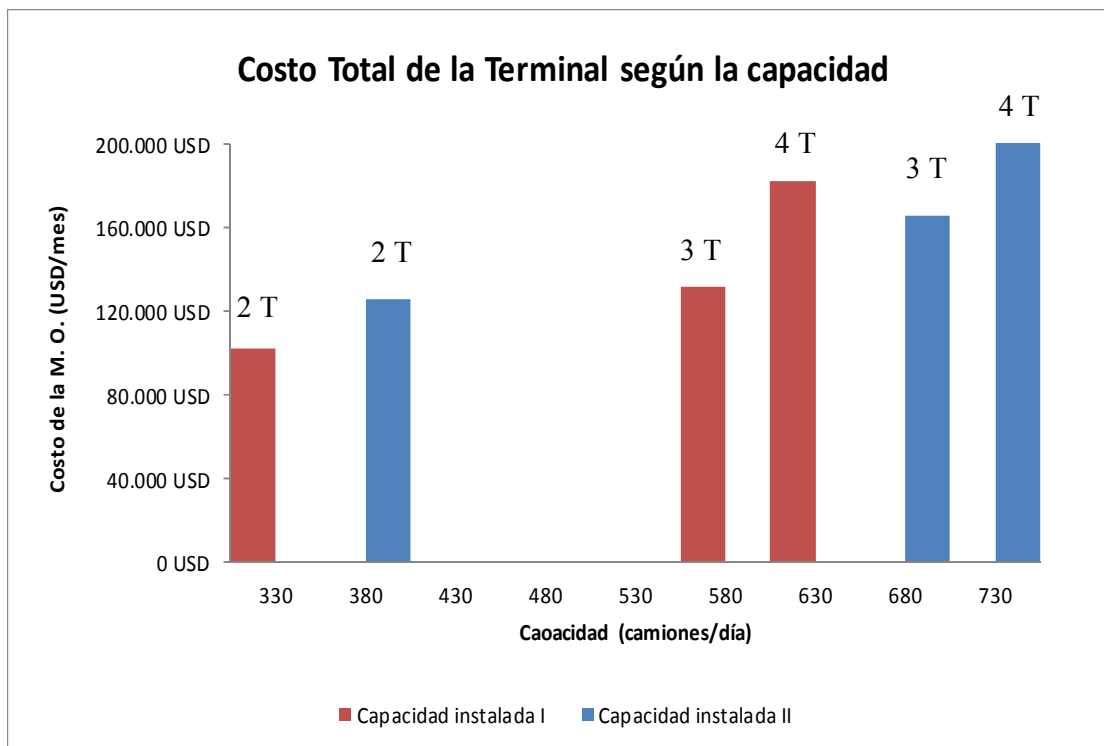


Gráfico 7.1.3.1. Costo mensual total en función de la capacidad

Fuente: Elaboración propia<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Referencias:

2T: 2 turnos ; 3T: 3 turnos ; 4T: 4 turnos

## 7.2 Costos de los transportistas en función de la capacidad de la Terminal

Ahora bien, teniendo los costos de la terminal en función de la capacidad, necesitamos determinar los costos de los transportistas también en función de la capacidad para conocer los costos totales del sistema en su conjunto.

Los costos de los transportistas disminuyen a medida que aumenta la capacidad debido a que una mayor capacidad genera menores demoras y por ende menores tiempos en el sistema.

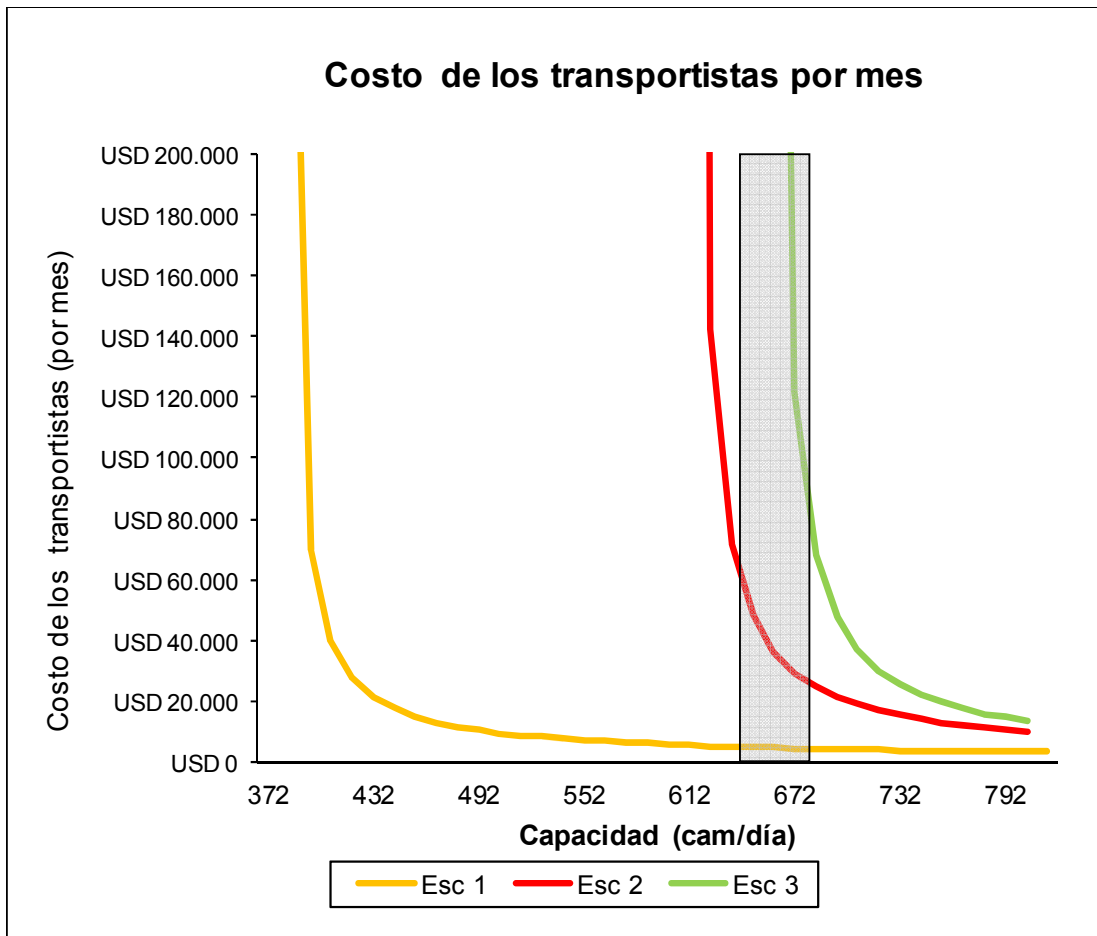


Gráfico 7.2.1. Costo mensual de los transportistas en función de la capacidad.

Fuente: Elaboración propia

En este punto volvemos al planteo de los 3 escenarios que determinan la tasa de arribos a la terminal. En función de qué escenario plantear las conclusiones y recomendaciones son bien distintas.

El costo de los transportistas es calculado según el tiempo estimado de permanencia en el sistema para cada capacidad; lógicamente para capacidades reducidas, el tiempo aumenta significativamente y por ende el costo del transportista también lo hace. Este costo, como fue explicado anteriormente, es el costo de oportunidad del cliente, que en este caso tiene un valor fijado y actualizado por el CATAC<sup>24</sup>.

La barra gris muestra la capacidad actual de la terminal; si se tiene en cuenta el escenario 1 (de mínima), los costos de los transportistas son bajos y no debe pensarse en la opción de aumentar la capacidad. Sin embargo, en los escenarios 2 y 3, los costos de los transportistas son significativos, debido a la saturación del sistema para estas tasas de arribos.

### **7.3 Curvas de costos totales y punto óptimo del sistema**

En el gráfico a continuación se observan las 3 curvas de costos. La curva de costos propios de la terminal tiene saltos que se corresponden con aumentos de la cantidad de turnos y una declinación que responde a un aumento de la capacidad instalada (que baja los costos de mano de obra al requerirse menos turnos). La curva de costos de los transportistas ya fue explicada y la curva de color negro es la suma de las dos anteriores.

---

<sup>24</sup> Confederación Argentina del Transporte Automotor de Cargas  
Análisis económico y primeras conclusiones

**Escenario 1**

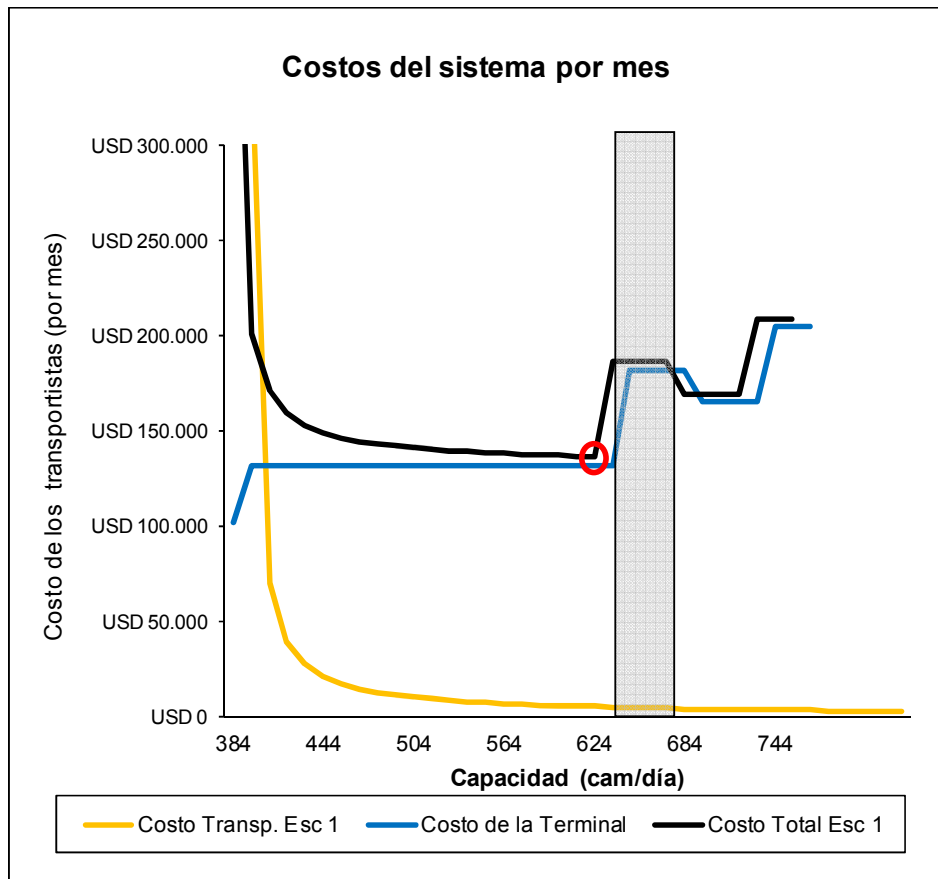


Gráfico 7.3.1. Costos totales del sistema para el escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

El círculo rojo marca el punto de funcionamiento óptimo del sistema, que es, para este caso, cuando la capacidad del sistema es de 630 camiones por día aproximadamente.

Si se tiene en cuenta este escenario, no hace falta que el complejo industrial aumente su capacidad instalada, es más, tiene capacidad ociosa por lo que podría disminuir la carga de trabajo pasando de 4 turnos a 3 turnos de trabajo. Este ahorro propio en el costo de la mano de obra no se ve contrastado por un aumento igual o mayor del costo de los transportistas por lo que sería también más eficiente para todo el sistema en su conjunto.

**Escenario 2**

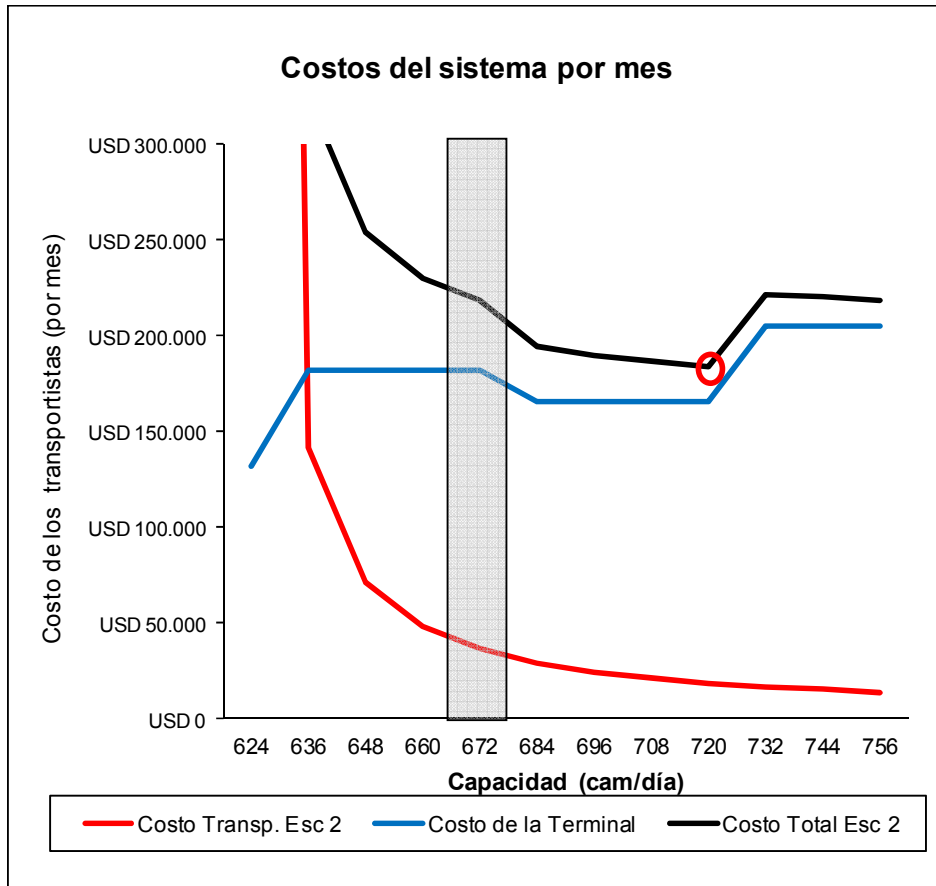


Gráfico 7.3.2. Costos totales del sistema para el escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

En este caso, la tasa de arribos y la capacidad actual hace que los costos de los transportistas sean significativos (aunque siguen siendo sensiblemente menores a los costos de la terminal) y que se requiera de una inversión en activos fijos para lograr el punto de funcionamiento óptimo del sistema como un conjunto.

Adicionalmente, el aumento de capacidad que este gráfico sugiere (pasar de los 670 camiones diarios a 720) tiene un ahorro en los costos directos de mano de obra por requerir un turno menos. Aunque por otro lado conlleva una inversión inicial que no llega a ser recuperada por este ahorro en la mano de obra, según los estándares de recupero de inversiones de esta compañía, similares a los de cualquier empresa de similar tamaño.

**Escenario 3**

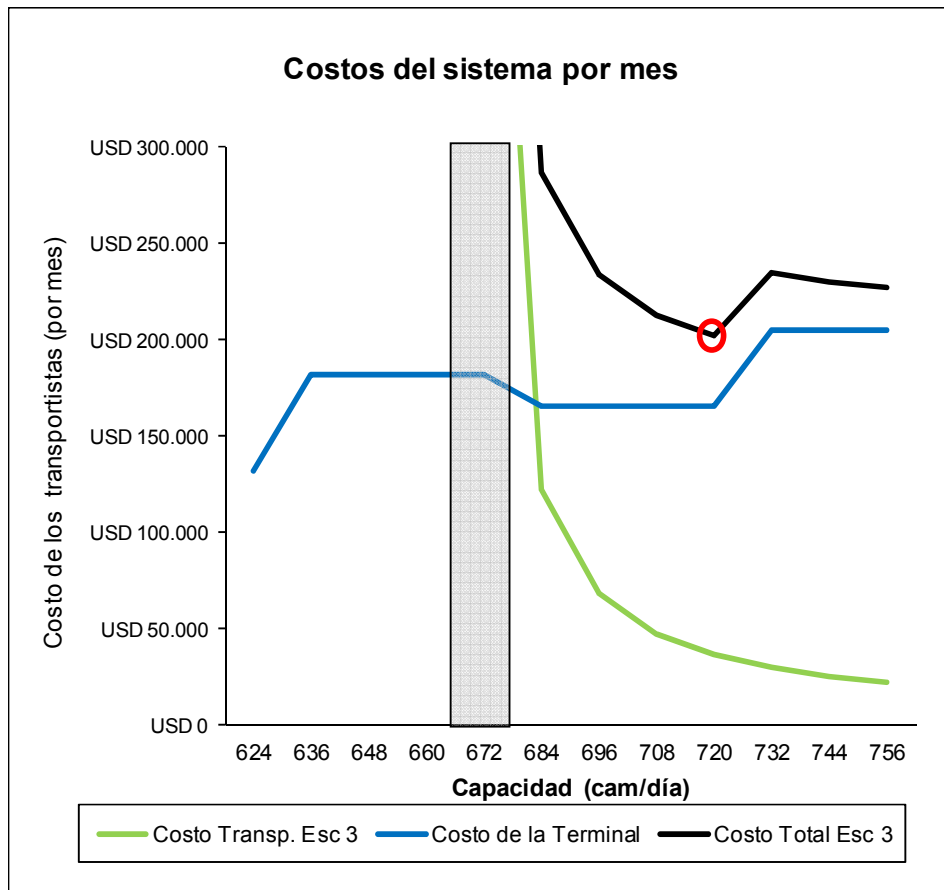


Gráfico 7.3.3. Costos totales del sistema para el escenario 3.

Fuente: Elaboración propia

Este caso es similar al anterior, pero el hecho de que la saturación de la capacidad sea muy marcada eleva notoriamente los costos de los transportistas, a tal nivel, que, con la capacidad instalada actual, estos divergen hacia el infinito dada su característica exponencial.

El punto óptimo de funcionamiento del sistema es el mismo que en el caso anterior, idealmente el sistema debería tener una capacidad de recepción de 720 camiones diarios. De todas formas, aunque el punto es el mismo, los valores de costos de los transportistas son mayores, lógicamente debido a que mayor tasa de arribos generará mayores tiempos en el sistema y por ende mayores costos.



## CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

### 8.1 Recomendaciones y conclusiones finales

Una causa importante y estructural del circuito que genera demoras y tiempos de permanencia en el sistema altos es el Lead Time entre el Calado y la Descarga. Esta demora es generada por el hecho de agrupar productos con calidades similares para descargarlos de a lotes. Una solución ideal para disminuir fuertemente estos tiempos de demora sería que los vendedores (productores agrícolas y acopiadores) expresen ellos mismos y anticipadamente la calidad de los granos a enviar al puerto. De esta manera, la terminal podría planificar la descarga según una secuencia preestablecida de productos y calidades. Y le correspondería notificar a los vendedores los días y horarios disponibles para la descarga de cada grano y calidad.

Esta idea no es viable en la práctica, debido a la idiosincrasia del negocio en el mercado argentino. Los vendedores de los granos nunca anticiparían que a su mercadería haya que aplicarle rebajas o descuentos afectando directamente su rentabilidad. Asimismo, las terminales tampoco aceptarían pagar según calidades o pesos definidos fuera de ellas.

Sin embargo, podría llegar a ser posible adoptar una política de cupos más restrictiva, planificada y ordenada en función de lograr mayor eficiencia interna y menores demoras. Hoy en día, existen los cupos, otorgados por el área comercial a los clientes, pero no siempre son respetados. En primer lugar, la mayoría del tiempo, la soja tiene cupo libre por lo que no se lo controla. En segundo lugar, los transportistas con otros productos que arriban a la terminal sin cupo, terminan siendo descargados para evitar los problemas que varios transportistas pueden generar si se les explica que no tienen cupo para descargar (como piquetes/ paros/ manifestaciones agresivas dentro de la playa). Se debería respetar los cupos y favorecer claramente a los transportistas y clientes que cumplen con estos, a la vez que se podría multar a los clientes que no los respetan. Puede ocurrir que esto sea percibido como una falta de flexibilidad de la terminal. Sin embargo, una buena y acertada planificación de la recepción es necesaria para lograr mayores eficiencias.

Hace falta una planificación más ajustada de los cupos; por ejemplo que en un día no haya cupos para más de 2 productos distintos. Esta idea se conoce en la teoría de colas como la segmentación de los arribos, y requeriría de un esfuerzo conjunto del sector de logística de

planta y de los comerciales que compran en el mercado interno (mesa FAS, en la jerga de la industria).

Luego, en una segunda instancia, más avanzada, se podría incorporar el concepto de turno dentro del cupo, es decir, incluir en el cupo el turno correspondiente de descarga: madrugada, mañana, tarde o noche.

En otros mercados, algo de esto ya ocurre. Por ejemplo, en Paraguay hay contratos en que se paga por la calidad en origen; esto significa por la calidad resultante realizada en origen por una empresa de control contratada. De todas formas, luego se corrobora la calidad en destino. Si se realiza un control de calidad en origen, se podría planificar los cupos para la descarga a partir de esta información.<sup>25</sup>

Otro ejemplo llamativo, es la operatoria de descarga de camiones en Alemania. Los transportistas tienen turno de descarga, y este incluye día y hora: todos lo cumplen haciendo que las demoras sean mínimas y que la capacidad de las playas de camiones del complejo sean muy inferiores a las de nuestro país. Una muestra de esto es la planta de LDC en Alemania, cuya capacidad de playa de camiones es un quinto la recepción diaria, mientras que en el complejo de LDC en Timbúes esta relación es más de la mitad y en el complejo de LDC en General Lagos es uno a uno.

De acuerdo a lo visto en el capítulo anterior, no hay una solución concluyente ni categórica a la vista. Como se demostró, según el escenario que uno se imagine, la solución es diferente. Esos escenarios de tasas de arribos planteados responden a arribos durante la cosecha 2009, por lo que sería más correcto, en lugar de utilizar directamente información histórica de un solo período, realiza un análisis y proyectar la demanda hacia delante. Con el resultado de esta proyección, se puede aplicar los conceptos aquí explicados y desarrollados y analizar en qué situación se está y si es conveniente aumentar la capacidad instalada, cambiar la cantidad de turnos de trabajo, etc. En este rubro, hay un potencial de mejora en la planificación de la recepción, ya que no se le dedica los esfuerzos suficientes. Esta planificación no es algo tan simple como aparenta a simple vista, ya que existen varios factores que la afectan y varían cosecha a cosecha: tipo de semilla más utilizada (de ciclos largos o cortos), régimen de lluvias, tendencias de acopios en campos propios mediante silos bolsa, humedad de los granos, etc. Esta planificación es útil para el

---

<sup>25</sup> Fuente: Visita a Paraguay con la empresa.

dimensionamiento del complejo, y reduciría el pago de horas extras al personal por recepciones mayores a las previstas.

Por otro lado, se necesita de un sistema informático más ajustado a estas necesidades y que pueda capturar los datos de tiempos de permanencia y demoras de los camiones en el circuito en forma online; y que esta información pueda ser utilizada para gestionar la operatoria diaria. Asimismo, este sistema debería poder diferenciar los casos de camiones que se demoran por causas ajenas a la terminal (problemas de cupo, documentación, calidad o peso) de los camiones que no presentan problemas y sin embargo también sufren demoras.

Como recomendación final y por todo lo expuesto en este estudio, es evidente la potencialidad de mejoras en la recepción de camiones que una terminal de almacenaje y embarque como la aquí descripta tiene. Es relevante y fundamental recordar, que la economía de nuestro país estuvo, está y estará dependiendo para su desarrollo sostenible del comportamiento de su sector agroalimentario y en ese contexto, las exportaciones de granos y de productos derivados de la soja continuarán siendo uno de los pilares de nuestra economía. Todo lo que se pueda hacer para mejorar la eficiencia (abaratando sus costos) en los pasos que integran el llenado de las bodegas de los buques graneleros que llegan a nuestros puertos representará mayor beneficio para las actividades agroindustriales y agrícolas, y la posibilidad de generar mayores ingresos para todos los habitantes de nuestro país.