

**EVALUACION DE ESCENARIOS DE MEJORA PARA EL PROCESO DE
RECEPCIÓN DE VEHICULOS DE CARGA DE CAÑA DE AZÚCAR,
UTILIZANDO LEAN MANUFACTURING Y SIMULACIÓN DISCRETA**

**DAVID STEVEN AMU MUÑOZ
ALVARO JAVIER GIRALDO TAMAYO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SEDE ZARZAL
2017**

**EVALUACION DE ESCENARIOS DE MEJORA PARA EL PROCESO DE
RECEPCIÓN DE VEHICULOS DE CARGA DE CAÑA DE AZÚCAR,
UTILIZANDO LEAN MANUFACTURING Y SIMULACIÓN DISCRETA**

**DAVID STEVEN AMU MUÑOZ
ALVARO JAVIER GIRALDO TAMAYO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de
ingeniero industrial**

**Director:
Mauricio Alejandro Buitrago Soto**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SEDE ZARZAL
2017**

Nota de aceptación.

Presidente del jurado

Jurado (1)

Jurado (2)

DEDICATORIA

A Dios, por permitirnos alcanzar este gran logro y a nuestras familias por su apoyo incondicional, ellos son el motor que nos impulsó a salir adelante, sin su apoyo tanto emocional como económico habría sido imposible culminar este paso en nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros profesores de la Universidad del Valle de la Sede Zarzal porque siempre estuvieron dispuestos a colaborarnos y a enriquecer nuestros conocimientos.

A nuestros compañeros y amigos porque gracias a ellos el camino de aprendizaje fue más ameno, tanto el aprendizaje académico como el de la vida.

Al ingenio en el que se realizó el presente estudio por brindarnos el espacio para que se llevara a cabo este estudio.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	6
INTRODUCCIÓN	11
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 Descripción del Problema:	13
1.2 Formulación del problema:	16
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo General.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3 JUSTIFICACIÓN.....	18
4 MARCO TEÓRICO.	20
4.1 Value Stream mapping:	20
4.1.1 Indicadores relevantes de un Mapa de Valor	21
4.1.2 Simbología básica de un Mapa de Valor (VSM).....	22
4.2 ¿Para qué sirve el SMED?	24
4.2.1 ¿Cómo funciona el SMED?	25
4.3 5S	25
4.3.1 ¿Qué son las 5S?.....	26
4.3.2 Objetivos específicos de la metodología 5S.....	26
4.3.3 Principios de la metodología 5S	26
4.4 Simulación con Arena:	27
4.4.1 Fundamentos de la simulación.....	27
5 ESTADO DEL ARTE	31
6 DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	36
6.1 Diagnóstico del proceso.....	36
6.2 Recolección de la información.	40
6.3 Análisis del proceso.....	42
6.3.1 Value Stream Mapping Inicial.....	42
6.3.2 Análisis de datos en Input Analyzer:	50
6.4 Desarrollo del modelo de simulación.	59
6.4.1 Calculo del tamaño de muestra.....	61
6.4.2 Elaboración de modelo escenario real.	62
6.4.3 Elaboración de modelo con mejora propuesta.	71

6.4.4	Escenario alternativo 1 (Almacén lleno).	74
6.4.5	Escenario alternativo 2 (2 Tractores).	75
7	CONCLUSIONES	79
8	RECOMENDACIONES.....	80
8.1	Futuras líneas de trabajo	80
	BIBLIOGRAFIA.....	81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Promedio de utilización de recursos (Escenario Real).....	66
Tabla 2. Tiempo de procesamiento por entidad (Escenario Real)	68
Tabla 3. Tiempo en cola (Escenario Real).....	69
Tabla 4. Levantamiento de Información vs Resultados Modelo (Real)	70
Tabla 5. Promedio de utilización de recursos (Escenario mejora).....	71
Tabla 6. Entidades que entran al sistema (Escenario mejora).....	72
Tabla 7. Tiempos de procesamiento por entidad (Escenario Mejora).....	73
Tabla 8. Tiempo en cola (Escenario mejora)	74
Tabla 9. Resultados escenario alternativo 1 (Almacén Lleno)	75
Tabla 10 Resultados escenario alternativo 2 (2 Tractores)	76
Tabla 11. Comparación Resultados.....	77

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Estructura mopdelo escenario REAL.....	64
Ilustración 2. Parametrización modelo para un día de producción (24 horas).	65

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Diagrama de Flujo de proceso abastecimiento del ingenio caso de estudio.	14
Grafica 2. Distribución porcentual de tiempos de transporte	39
Grafica 3. Tiempos de Espera en Báscula.....	43
Grafica 4. Tiempo en Báscula.....	44
Grafica 5. Tiempos de Espera en Muestreo	45
Grafica 6. Tiempo en Muestreo.....	45
Grafica 7. Tiempos de Espera en Descargue	46
Grafica 8. Tiempo en Descargue	47
Grafica 9. Tiempos de Espera en Tara	47
Grafica 10. Tiempo en Tara	48
Grafica 11. Tiempos de Espera en Calibre	49
Grafica 12. Tiempos de Espera en Calibre	49
Grafica13.Value Stream Mapping Inicial.....	52
Grafica 14. Tiempos de Espera para desenganche	55
Grafica 15. Tiempo en Volteo	55
Grafica 16 Esquema modelo de simulacion discreta	60
Grafica 17. Total vehículos que ingresan y salen del sistema (Escenario Real)....	67
Grafica 18. Número de vehículos de entrada y de salida 2	72

INTRODUCCIÓN

El azúcar constituye uno de los productos de mayor consumo en la canasta familiar obtenido primordialmente de la caña de azúcar y la remolacha, siendo la primera la responsable de tres cuartas partes de la producción total de azúcar, por ende, se considera uno de los productos agrícolas más cultivados después del maíz, en países densamente poblados del mundo entre ellos se encuentra Colombia.

Siendo este uno de los productos agrícolas mayormente cultivados en el mundo; cabe resaltar que el proceso de transformación de la caña de azúcar a un producto final (Azúcar, Papel, Alcohol Carburante, entre otros) se impone como uno de los sectores económicos de mayor importancia en grandes países y especialmente Colombia.

Por esta razón, los ingenios azucareros se ven en la tarea de mejorar sus procesos de gestión, ya sea en la cosecha, el corte o el abastecimiento de este producto entre otras, dicho esto se ven motivados a utilizar herramientas más efectivas que contribuyan al desarrollo de sus procesos y al mismo tiempo optimicen recursos, sin nombrar la relación tiempo-dinero a la que estos se ven sujetos, por ende la simulación de procesos se convierte en una herramienta fundamental para el desarrollo estratégico y competitivo de este tipo de empresas ya que aporta datos y supuestos que a fin de cuentas dan una orientación sobre cómo se podría manejar adecuadamente los recursos sin incurrir en gastos económicos, ni largos tiempos de espera, sin mencionar las ventajas en las diferentes áreas ya que con una colección correcta de datos los modelos de simulación se aplican prácticamente para cualquier tipo de proceso que se quiera mejorar.

Para el caso en estudio, el flujo constante de vehículos de carga de caña juega un papel importante para el ingenio azucarero, entre más rápido sea el flujo de vehículos dentro del patio de caña, mayores valores aportarán al ingenio puesto que dichos vehículos pueden presentar largos tiempos de espera dentro del sistema lo que se convierte en una gran problemática para el ingenio. También se debe notar que entre mayor sea el tiempo de espera de la caña por los diferentes flujos entre áreas mayor será la probabilidad de que se presente pérdida de sacarosa en ésta, lo que minimiza el rendimiento del azúcar como producto final.

Por lo tanto, el presente trabajo propone la elaboración del **ValueStreamMapping** con el fin de conocer las operaciones dentro del proceso de descargue de caña que aportan valor e identificar las posibles mejoras dentro del sistema, además la elaboración de un modelo de simulación que soporte que las mejoras identificadas en el **ValueStreamMapping** sean una mejor alternativa para el proceso objeto de estudio. Inicialmente se hará una descripción de la problemática de interés, luego se definen los objetivos del proyecto; posteriormente se presentan las diferentes investigaciones que giran en torno al trabajo. Finalmente se expone el diseño metodológico el cual describe las diversas actividades encaminadas al cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

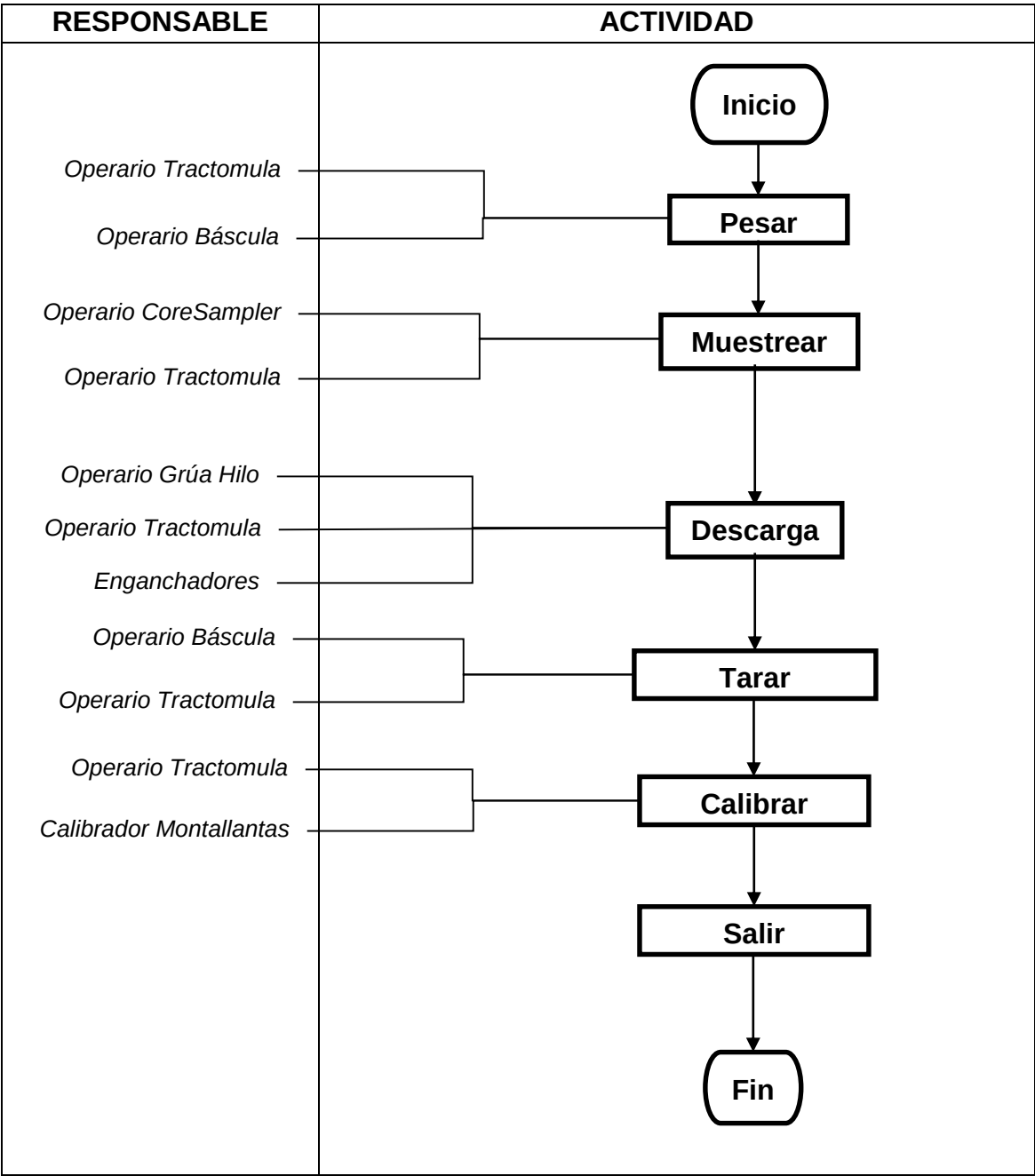
Un factor importante en las actividades de cosecha es la pérdida de tiempo de los equipos de transporte en cola, tanto en las zonas de cargue (campo) como en las zonas de descargue (fabrica). Actualmente, en la industria azucarera colombiana se estima que alrededor del 60% del promedio del tiempo que los vehículos de transporte permanecen en la zona de descargue es tiempo improductivo, mientras que en la zona de cargue se estima que este tiempo es del 50% (Amu, 2007).

Cuba, Brasil y Australia, entre otros países, han desarrollado modelos de gestión logística para el transporte de caña de azúcar ayudados con herramientas automatizadas y modelos matemáticos que les ha permitido disminuir los costos de cosecha. Estos modelos han sido desarrollados de acuerdo con las condiciones específicas de cada país y del ingenio, lo que dificulta su adopción inmediata en los ingenios colombianos. Por tanto, es esencial desarrollar investigaciones y modelos de trabajo que mejoren la eficiencia del abastecimiento de caña en las condiciones y características propias de la zona azucarera del país, y sobre todo, con una aplicación práctica. (Amu, 2010)

1.1 Descripción del Problema:

El abastecimiento de caña del ingenio en cuestión se realiza de manera similar a la mayoría de otros ingenios (como se muestra en la **Gráfica 1**), sin embargo se presenta una pérdida de tiempo en los diferentes procesos antes de descargar la caña a la hora en que los vehículos cargados ingresan al patio de almacenamiento, dicha pérdida ocasiona no sólo que se congestione el flujo del sistema sino que de una manera indirecta contribuye a que dichos vehículos pasen largos tiempos improductivos (*tiempo ocioso*) dentro del sistema lo cual no genera valor al ingenio. A continuación, en la **Gráfica 1**. Se muestra el Diagrama de flujo donde se explican los diferentes procesos que existen desde que el vehículo cargado llega a la báscula hasta que sale de nuevo al campo para ser abastecido con caña:

Gráfica 1. Diagrama de Flujo de proceso abastecimiento del ingenio caso de estudio.



Fuente: Ingenio caso de estudio, 2016

Descripción del proceso:

- ❖ El vehículo cargado ingresa al ingenio, posteriormente se dirige a la zona de pesaje.
- ❖ El vehículo se estaciona frente al laboratorio y el primer vagón cargado estará posicionado debajo del sistema que se encargará de tomar dos pruebas de la carga con el fin de calcular el rendimiento de la caña y el porcentaje de materia extraña que pueda traer dicha carga.

Después de tomar las muestras en el laboratorio seguirá el proceso de descargue en las mesas, pero si el flujo del proceso se encuentra congestionado el vehículo se verá obligado a esperar, generando unas colas en el patio de caña.

- ❖ El ingenio en cuestión cuenta con dos mesas de descarga, una de ellas es únicamente para descargar caña corta la cual proviene de corte mecanizado y la otra principalmente para caña larga que proviene de corte manual, pero también puede ser utilizada para descargar caña corta si la operación así lo requiere.
- ❖ Si el flujo del sistema se encuentra poco congestionado después de que el vehículo sale del laboratorio, un coordinador le indicará al transportador del vehículo por cuál de las mesas debe descargar la caña y él posicionará el vehículo frente a la mesa asignada, después de que el vehículo se encuentra posicionado una grúa procederá a levantar cada vagón hasta terminar de vaciar todo el equipo.
- ❖ Si por el contrario, el flujo del sistema se encuentra congestionado después de que el vehículo sale del laboratorio y se cuenta con equipo disponible para el descargue (en este caso es una tractomula adicional que permanece dentro del patio), se desenganchará el vehículo con el fin de enganchar un nuevo tren vacío para salir de nuevo hacia el campo ya que el equipo adicional se encarga del descargue. Si no se encuentra el equipo disponible el operario de la tractomula se verá obligado a esperar en cola a que el Coordinador le indique la mesa asignada para el descargue.

- ❖ Tan pronto como termine el proceso de descarga, el vehículo debe ser pesado vacío en báscula antes de salir (Tara), luego debe dirigirse hacia los monta-llantas con el fin de que el vehículo esté bien calibrado antes de salir. El vehículo vuelve al campo para ser cargado (según sea su asignación), y el ciclo comienza de nuevo.

Sin embargo, este proceso descrito anteriormente pese con contar con un flujo predeterminado para la entrada de cada vehículo se produce una gran pérdida de tiempo; dado a las colas de vehículos en espera para descargar la caña.

La espera en colas del vehículo entre cada uno de los procesos evidencia que estos pasan la mayor parte de su tiempo en las colas que se producen en el sistema y no en el proceso como tal (como se muestra en la **Tabla 1**), siendo este la causa de tiempos ociosos y pérdida de rendimiento en el proceso de abastecimiento del ingenio caso de estudio.

Tabla 1. Tiempos de espera en los procesos

Esperas	Tiempo Mínimo (min)	Tiempo Máximo (min)	Promedio (min)
Espera para Pesaje	0,46	18,58	4,01
Espera para Muestreo	0,06	5,37	1,49
Espera para Descargue	3,45	104,2	23,38
Espera Tara	0,47	14,24	5,05
Espera Calíbre	3,37	15,05	8,16
TOTAL ESPERAS PROMEDIO			42,09

Fuente: Elaboración propia, 2016

El tiempo total del proceso es de 81,26 minutos, de los cuales las esperas representan el **51,79%** del tiempo con 42,09 minutos en promedio.

1.2 Formulación del problema:

En consecuencia, con la problemática descrita en el numeral **1.1** este proyecto tiene como finalidad brindar una opción de mejora partiendo de la siguiente pregunta: *¿Cómo se puede mitigar la pérdida en el tiempo de espera de los vehículos cañeros para el proceso de descargue en un ingenio azucarero de la región?*

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta de mejoramiento que contribuya a minimizar el tiempo en la recepción de vehículos de carga de caña de azúcar en un ingenio de la región.

2.2 Objetivos Específicos

- ❖ Realizar un diagnóstico del proceso de recepción que permita identificar el comportamiento de las variables asociadas a la recepción de vehículos de carga de caña.
- ❖ Construir el **VSM** del proceso para establecer escenarios de mejoramiento.
- ❖ Construir un modelo de simulación que permita validar las mejoras establecidas mediante el **VSM**.

3 JUSTIFICACIÓN

La alta demanda y variabilidad de los precios del azúcar en el mercado, la constante alza de impuestos para empresas nacionales y la alta competitividad de otros ingenios azucareros son factores claves que influyen en el mejoramiento continuo del proceso de producción de azúcar para ingenios del país, garantiza la calidad, manutención del precio y sobre todo la rentabilidad y empleos directos e indirectos que esta industria genera para familias del país. Por esta razón es importante tomar medidas para identificar las posibles oportunidades de mejora en el proceso de fabricación de azúcar garantizando que sea eficaz.

Y más hoy, cuando los ingenios azucareros en Colombia se encuentran en la mira de la Superintendencia de Industria y Comercio ya que fueron objeto de una multa onerosa, éstos se ven obligados a desarrollar acciones y estrategias que les permitan ser eficientes y eficaces en función de obtener una mayor productividad. En el mundo, específicamente en países como Australia, Indonesia, Sudáfrica, Estados Unidos, Brasil y Cuba, diferentes autores han demostrado beneficios económicos potenciales en la disminución del costo de la tonelada de caña, reducción de los tiempos perdidos de los equipos de transporte y disminución en los tiempos de entrega desde el campo hasta la fábrica, a través de la utilización de modelos matemáticos de optimización y simulación (Higginset *al*, 2007).

En concordancia, toda oportunidad de mejora que permita a los ingenios reducir tiempos de espera, tiempos ociosos, permanencia de vehículos en patios, costos en el proceso de fabricación son factores claves que permiten una mayor competitividad y el alcance de una mayor rentabilidad frente a otros ingenios del país.

Otros estudios han demostrado que los vehículos al estar detenidos no generan valor para la organización (Amu 2008) y además en ese tiempo de espera el azúcar pierde un porcentaje significativo de sacarosa lo cual arroja pérdidas significativas para la empresa (Gonzales 2014).

Con este estudio se busca determinar los factores que más influyen en el proceso de recepción de vehículos de carga de caña, como son la pérdida de tiempo entre estaciones y determinar qué tan significativas son éstas pérdidas para posteriormente proponer una alternativa que permita minimizar las pérdidas de la compañía y aumento de la productividad.

Con base en este análisis se pretende aplicar herramientas del Lean manufacturing como lo es el Value Stream Mapping y validar las oportunidades de mejora a través de la simulación con el fin de proponer un escenario que minimice el tiempo de espera en la recepción de vehículos de carga de caña, con el objetivo de mejorar la velocidad del flujo de entrada y salida de dichos vehículos y así tener un proceso más eficiente y competitivo, además de permitir minimizar las pérdidas totales de la compañía con un oportuno abastecimiento de caña para la elaboración de los variados productos que la empresa ofrece con base en este insumo.

4 MARCO TEÓRICO.

El marco en el cual se desarrolla este trabajo se basa principalmente en las herramientas **ValueStreamMapping(VSM)** y la **Simulación en Arena® Software**, entre otras herramientas de apoyo como lo son el **SMED** y las **5's**

4.1 Value Stream mapping:

El *Valuestreammapping* o mapeo de la cadena de valor es una herramienta visual de *Lean Manufacturing* que permite identificar todas las actividades en la planeación y la fabricación de un producto, con el fin de encontrar oportunidades de mejoramiento que tengan un impacto sobre toda la cadena y no en procesos aislados.

Esta herramienta se fundamenta en la diagramación de dos mapas de la cadena de valor, uno presente y uno futuro, que harán posible documentar y visualizar el estado actual y real del proceso que se va a mejorar, y el estado posterior, ideal o que se quiere alcanzar una vez se hayan realizado las actividades de mejoramiento.

El **VSM** (Mapa de la cadena de valor) es un gráfico compuesto de íconos y símbolos simples y que describen principalmente 2 tipos de flujo: El flujo de información (*planeación*), que comprende las actividades realizadas desde que el cliente realiza la orden hasta que una orden de trabajo o producción es generada. El otro flujo es el de materiales (fabricación), en el que se tienen en cuenta todos los procesos necesarios para producir el bien, hasta que es entregado al cliente.

A cada una de las operaciones o procesos se le asignan indicadores o medidas de desempeño que permitan conocer y visualizar el estado actual del proceso y que generalmente son: tiempo de ciclo, tiempo de alistamiento y cambio de referencia, número de operadores por equipo, porcentaje de rechazos, disponibilidad del equipo, tiempo de paradas, eficiencia, entre otros.

Los mapas de valor, también conocidos como gráficas del flujo de valor VSM (ValueStreamMap), son herramientas utilizadas para conocer a profundidad los procesos, tanto dentro de la organización como en la cadena de abastecimiento. El principal objetivo por el que se desarrollan los mapas de valor consiste en que estos nos permiten identificar ampliamente las actividades que no agregan valor al proceso, del mismo modo permiten conocer el tiempo asociado a dichas actividades.

En la práctica, el mapeo de valor se ha convertido en una actividad esencial ante la formulación de planes de mejora, de tal manera que forma parte del diagnóstico del proceso (VSM actual) y de la proposición de estrategias de mejoramiento (VSM futuro).

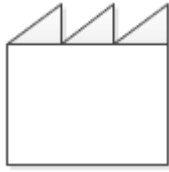
Al realizar un mapa del flujo de valor debemos responder una serie de cuestiones críticas relacionadas con las operaciones:

1. ¿Cuál es la capacidad del sistema de producción?
2. ¿Cuáles son los cuellos de botella del proceso?
3. ¿Cuál es la tasa de compra del cliente?
4. ¿Cuál es la capacidad disponible, y cuál su utilización?
5. ¿Cuáles son las restricciones del proceso? ¿Estas son internas o externas?
6. ¿Cómo podemos mejorar el proceso para cumplir con los objetivos del negocio?

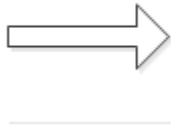
4.1.1 Indicadores relevantes de un Mapa de Valor

- ❖ **Tiempo de ciclo individual:** Es el tiempo estándar asociado a cada operación del proceso. Por ejemplo: El tiempo asociado a pintar una pieza, o el tiempo estándar asociado a empacarla.
- ❖ **Tiempo de ciclo total (Lead Time de fabricación):** Es el tiempo que duran todas las operaciones, se calcula sumando los tiempos de ciclo individuales.
- ❖ **Tiempo de previsión de las necesidades del cliente (Lead time GAP):** En este intervalo de tiempo es cuando se deben realizar las previsiones respecto a los puntos y cantidades de pedido futuras. La magnitud del GAP es directamente proporcional con los errores en las previsiones.
- ❖ **Tiempo de entrega logística (Lead Time Logistic):** Comprende el intervalo de tiempo que tarda la organización desde que se abastece de materias primas, materiales e insumos hasta que el producto terminado es distribuido al cliente.

4.1.2 Simbología básica de un Mapa de Valor (VSM)



Fuentes externas: Este símbolo representa clientes y proveedores



Flecha de traslado: Este símbolo representa el traslado de materias primas y producto terminado. De proveedor a planta o de planta a cliente.



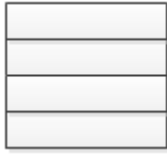
Transporte mediante camión de carga.



Operación del proceso.



Información: Pronóstico, plan de producción, programación.



Casillero de datos con indicadores del proceso.



Flecha de empuje: para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante un sistema *push*.



Flecha para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante una secuencia: "primeras entradas, primeras salidas"



Inventario: De materia prima, producto en proceso, producto terminado.



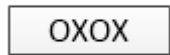
Información transmitida de forma manual.



Información transmitida de forma electrónica.



Relámpago Kaizen: Este símbolo representa los puntos dónde deben realizarse eventos de mejora enfocado en implementar la herramienta de Lean Manufacturing expresada.



Nivelación de la carga: Herramienta que se emplea para interceptar lotes de Kanbans y nivelar el volumen de la producción.



Línea de tiempo: Muestra los tiempos de ciclo de las actividades que agregan valor, y los tiempos de las actividades que no agregan valor.

4.2 ¿Para qué sirve el SMED?

El SMED sirve para **reducir el tiempo de cambio y para aumentar la fiabilidad del proceso de cambio**, lo que reduce el riesgo de defectos y averías.

La reducción del tiempo de cambio de referencia puede aprovecharse de dos maneras:

- a) Para incrementar la Productividad. Manteniendo tanto la frecuencia de cambio de las referencias como el tamaño de los lotes.
- b) Para reducir el stock en proceso. Incrementando la frecuencia de cambio de las referencias y reduciéndose el tamaño de los lotes.

Desde el punto de vista del **Lean Manufacturing** siempre interesará reducir los niveles de stock.

El incremento del OEE y Productividad quedará vinculado a lo justa que vaya nuestra capacidad para satisfacer la demanda del cliente.

4.2.1 ¿Cómo funciona el SMED?

En **1969** el padre del **SMED**, el *Dr. Shigeo Shingo*, definió sus fundamentos al conseguir reducir el tiempo de cambio de una prensa de 1000 toneladas de 4 horas a 3 minutos, de ahí surgió lo de “menos de 10 minutos”.

Aunque en la definición de **SMED** se hable de reducir los tiempos de preparación en menos de 10 minutos, esto no siempre será posible.

La realización del **SMED** sigue 7 pasos:

1. Preparación Previa
2. Analizar la actividad sobre la que se va a centrar el taller SMED.
3. Separar lo interno de lo externo.
4. Organizar actividades externas.
5. Convertir lo interno en externo.
6. Reducir los tiempos de actividades internas.
7. Realizar el seguimiento.

4.3 5S

En la medida en que la organización representa el medio que les permite a las personas que colaboran en ella alcanzar sus objetivos individuales, se constituye en un factor que incide de forma representativa en el comportamiento de los colaboradores de la organización. De manera paralela al comportamiento, el rendimiento también se encuentra estrechamente ligado a las condiciones de trabajo, de manera tal que los objetivos organizacionales, como resultado de la sumatoria de los esfuerzos individuales, se encuentran al alcance de un entorno eficiente y productivo.

4.3.1 ¿Qué son las 5S?

La metodología de las 5S se creó en Toyota, en los años 60, y agrupa una serie de actividades que se desarrollan con el objetivo de crear condiciones de trabajo que permitan la ejecución de labores de forma organizada, ordenada y limpia. Dichas condiciones se crean a través de reforzar los buenos hábitos de comportamiento e interacción social, creando un entorno de trabajo eficiente y productivo.

La metodología de las 5S es de origen japonés, y se denomina de tal manera ya que la primera letra del nombre de cada una de sus etapas es la letra esa (S).

4.3.2 Objetivos específicos de la metodología 5S

- ❖ Mejorar y mantener las condiciones de organización, orden y limpieza en el lugar de trabajo.
- ❖ A través de un entorno de trabajo ordenado y limpio, se crean condiciones de seguridad, de motivación y de eficiencia.
- ❖ Eliminar los **despilfarros** o desperdicios de la organización.
- ❖ Mejorar la calidad de la organización.

4.3.3 Principios de la metodología 5S

Esta metodología se compone de cinco principios fundamentales:

1. Clasificación u Organización: Seiri
2. Orden: Seiton
3. Limpieza: Seiso
4. Estandarización: Seiketsu
5. Disciplina: Shitsuke

4.4 Simulación con Arena:

La simulación es una de estas herramientas, que con su aplicación no solo se logra minimizar el riesgo y la incertidumbre en la toma de decisiones, sino que se minimizan los costos involucrados en la decisión mediante un mejor uso de los recursos, la disminución del tiempo utilizado y la minimización de las probabilidades de riesgo. A través del proceso de diseño de un modelo sistema real, y dirigiendo el experimento con él, se puede entender el comportamiento del sistema, lo cual permite mejorar mejores decisiones.

De acuerdo con el direccionarlo *Webster*, la simulación pretende obtener la esencia de algo sin contar con la realidad. Según *Schriber (1987)*, implica la modelación de procesos o sistemas, de tal manera que el modelo emula la respuesta de los sistemas actuales o propuestas como eventos que tienen lugar en el tiempo.

La aplicación de la simulación para buscar la esencia de un sistema implica, por lo general, el manejo de un volumen considerable de datos y la ejecución de un alto número de repeticiones del proceso, ya que se pretende lograr una adecuada historia artificial que permita tomar una decisión con un alto grado de confiabilidad; solo es factible que este manejo se haga en el computador con la ayuda de un software tal como es para este caso **Arena**.

4.4.1 Fundamentos de la simulación.

Entidad

Puede ser un objeto o persona que se mueve a través de un sistema y que causa cambios en las variables de respuesta.

Ejemplos de entidades y sistemas:

- ❖ Un cliente en un banco
- ❖ Una orden de pedido en un sistema de inventarios
- ❖ Una lámina de acero en un proceso de manufactura

Recurso:

Es un elemento estacionario que puede ocupado por una entidad. Los recursos se emplean cuando se requiere representar actividades claves del sistema que restringen el flujo de entidades.

Los recursos tienen una capacidad finita; así mismo, cuentan con una serie de estados por los cuales atraviesan a lo largo de la simulación, *ejemplo, ocupado, ocioso, inactivo o dañado*. Un recurso puede ser una persona (cajero), una maquina (tono) o, incluso, un espacio en areas de almacenamiento (zona de carga).

Funcionamiento:

Una entidad que solicita un recurso:

- ❖ Toma control (Seize) del recurso si este está disponible.
- ❖ Si no está disponible, espera en la cola asociada al recurso (Queue) hasta cuando este se desocupe para que tome el respectivo control (Seize)

Una entidad que tiene control de un recurso:

- ❖ En caso de que no requiera más la atención del recurso, puede liberarlo (Release) para darle paso a otra entidad en espera.
- ❖ Puede continuar efectuando los procesos que sean necesarios (incluso, en otros recursos) hasta terminar su ciclo en ese recurso y así liberarlo (Release).

Atributo:

Es una característica propia de cada entidad. En Arena se pueden definir tantos atributos como lo requieran el usuario para el modelamiento del sistema en estudio. Cada entidad individual tiene su propio valor de atributo esto implica que para determinar este valor, a diferencia de las variables se deben examinar la entidad que lo porta.

Los atributos se definen con un nombre, por ejemplo, peso, numero de orden, color etc., y deben tener un valor numérico que indique algo para el usuario.

Ejemplo: El atributo color puede adoptar valores de 1, 2, 3 cuando los colores son amarillo, azul y rojo, respectivamente.

Variables

Representan características del sistema, son de carácter global, es decir, su valor es el mismo en cualquier parte del modelo. Las variables pueden ser predeterminadas por el programa o definidas por el usuario; se definen con un nombre –por ejemplo, pedido- y con un valor numérico que simbolice un estado del sistema.

Sistema

Es un conjunto de elementos que se encuentran en interacción y que buscan alguna meta o metas comunes; para ello operan sobre dato o información, sobre energía, materia u organismos, con el propósito de producir como salida información, energía, materia u organismos. Un sistema es un conjunto de componentes interrelacionados que, en una forma organizada, recibe entradas y las procesa y emite las salidas para obtener una meta común.

Clases de sistemas

- ❖ Naturales y artificiales
- ❖ Determinísticos y probabilísticos
- ❖ Sociales, hombre-máquina y mecánicos
- ❖ Abiertos y cerrados.

Modelo

Es una representación de la realidad que se desarrolla con el propósito de estudiarla. En la mayoría de los análisis no es necesario considerar todos los detalles; de tal manera, el modelo no solo es un sustituto también es una simplificación de ella.

Los modelos se pueden clasificar en:

- ❖ Modelos icónicos
- ❖ Modelos analógicos
- ❖ Modelos simbólicos, estos, a su vez, incluyen:
 - Modelos determinísticos
 - Modelos estocásticos o probabilísticos
 - Modelos dinámicos
 - Modelos estadísticos

- Modelos continuos
- Modelos discretos

Los modelos tienen las siguientes características:

- ❖ Confiabilidad
- ❖ Sencillez
- ❖ Bajo costo de desarrollo y operación
- ❖ Manejabilidad
- ❖ Fácil entendimiento del modelo y de los resultados
- ❖ La relación costo-beneficio debe ser positiva

Evento

Es la ocurrencia que cambia el estado del sistema. Hay eventos internos y externos; estos se conocen también como endógenos y exógenos, respectivamente.

5 ESTADO DEL ARTE

HANSEN, A.C., BARNES, A.J.& LYNE, P.W.L	1998	An integrated approach to simulating sugar cane harvest to mill delivery systems. An ASAE meeting presentation	Han enfocado sus modelos de simulación en la reducción de tiempos de permanencia de la caña (tiempo que transcurre desde que la caña es cortada hasta que es entregada a los molinos de la fábrica).
IANNONI & MORABITO	2004	A discrete simulation analysis of a logistics supply system. Transportation Research Part E. Department of Production Engineering, Federal University of Sao Carlos, 13565-905 Sao Carlos, SP	Realizaron un análisis de simulación discreta en la logística de un sistema de abastecimiento donde se resalta que las técnicas de simulación son una herramienta eficiente para modelar sistemas complejos como lo es el caso de la caña de azúcar.
Le GAL, P.Y., MEYER, E., LYNE, P., CALVINHO	2004	Value and feasibility of alternative cane supply scheduling for a South African mill supply area. Proceedings of the South African Sugar Technologists Association	Demuestran que es posible incrementar la producción hasta en un 5% y la capacidad de transporte en 35% a través de la simulación con un mejor sistema de abastecimiento de caña en la región de Sezela en South Africa.
HANEMANN, R., & GONZALES, O.	2006	Value Stream Mapping aplicado al sector servicios	Demuestran que el Value Stream Mapping es una herramienta que permite incrementar la eficiencia y eficacia en la administración de los recursos ya que considera el flujo del proceso en su totalidad, lo grafica, lo estudia y permite identificar oportunidades de mejora.

AMÚ, L.G.	2007	Simulación de la logística de abastecimiento de caña utilizando el software CrystalBall. Cenicaña	En este trabajo se definieron y evaluaron los indicadores logísticos, se realizaron estudios de tiempos y movimientos en los patios de caña de tres ingenios, se desarrolló un modelo de simulación para el sistema de alce, transporte y recepción aplicando el software CrystalBall, y se realizó el análisis y operación de las tractomulas en distancias cortas.
GRUNOW, M., WESTINNER, R.	2007	Supply optimization for the production of raw sugar. Department of Production Management, TU Berlin, Wilmersdorfer Str. 148, 10585 Berlin, Germany	Desarrollaron un estudio en Venezuela sobre la optimización de la cadena de suministro para producción de azúcar enfocado en la disminución de los tiempos de permanencia de la caña y el suministro oportuno de esta materia prima a la fábrica.
HIGGINS, A	2007	Opportunities for value chain research in sugar industries. Agricultural systems 94	Los problemas de logística en la cadena productiva de caña de azúcar pueden ser resueltos utilizando modelación matemática, simulación o mediante la analogía de modelos realizados en otros sistemas agrícolas o forestales

AMÚ, L.G	2010	Logística de cosecha: Evaluación de tiempos y movimientos. Indicadores y Control, Revista Técnicaña No. 26	Analizan la importancia de la medición de las actividades del ciclo de transporte en la cosecha y su importancia para el cálculo de recursos necesarios: cosechadoras, corteros, alzadoras, tractores, tracto-mulas y mesas de descargue, entre otros, de tal manera que se optimice su uso y se pueda cumplir con los presupuestos de molienda acordados con calidad y costos competitivos
AMÚ, L.G.	2011	Modelo de simulación y optimización para la gestión logística del sistema de abastecimiento de caña en un ingenio sucro-alcoholero colombiano.	Presenta un modelo matemático que mediante la simulación y la optimización del sistema de abastecimiento de caña de un ingenio azucarero, asigna la cantidad de vehículos de transporte a los frentes de cosecha de forma óptima, de acuerdo con los requerimientos diarios de molienda, la capacidad y la disponibilidad operativa de los recursos, entre otros
RODRÍGUEZ, S.R.	2011	Propuesta de mejoramiento para el proceso de clasificación de una plataforma Cross Docking mediante el uso de herramientas Lean Manufacturing	Propone una mejora para el proceso de clasificación de una plataforma Cross Docking mediante el uso de herramientas Lean Manufacturing y validación a partir de la simulación

MATOS RAMIREZ, N., & GARCIA CISNEROS, E.	2012	Evaluación técnica y de explotación de los camiones en la transportación de la caña. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 21, No. 2	Se refieren a como los medios de transporte constituyen un eslabón de vital importancia en la cadena cosecha–transporte–recepción de la caña de azúcar, cualquiera de su combinación, se encarga de transportar la caña cortada por la combinada en trozos o larga en el caso del corte manual hasta el centro de recepción o basculador.
BOCANEGRA, C.C.	2013	Modelo de simulación del abastecimiento de biomasa de caña de azúcar como sistema de soporte a las decisiones de cosecha.	Presenta un modelo de simulación del sistema de abastecimiento de caña de un ingenio azucarero, que sirve como soporte para la toma de decisiones operacionales. El modelo fue implementado en el lenguaje de programación C++ utilizando el entorno de desarrollo QtCreator.
FAJARDO, E.Y	2013	Conceptualización y experimentación de un modelo de simulación para el control de abastecimiento en la cadena de la caña de azúcar	En este trabajo muestra la conceptualización de un modelo dinámico de simulación. La importancia de este modelo operacional radica en la posibilidad que brinda al administrador de la logística de cosecha de experimentar y medir el impacto de las decisiones en el proceso de abastecimiento a fábrica.

BASTIDAS,V.E., BUITRAGO, M.A., MONSALVE, F.E., QUIÑONEZ, J.A	2013	Evaluación de la aplicabilidad del Lean Manufacturing y la simulación orientada al proceso en el contexto de una empresa vallecaucana	Integran el Lean Manufacturing y la Simulación con el objetivo de obtener un escenario de mejoramiento a partir de la reducción de desperdicios.
---	------	---	--

6 DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La metodología que se utilizará para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en el proyecto, se llevara cabo en 4 etapas:

Etapas 1. Diagnóstico del proceso.

Etapas 2. Recolección de información.

Etapas 3. Construcción del mapa del proceso.

Etapas 4. Desarrollo del modelo de simulación.

6.1 Diagnóstico del proceso.

En esta etapa se identificaron las principales actividades que realiza el ingenio caso de estudio para llevar a cabo el proceso de abastecimiento de caña.

Descripción del proceso de abastecimiento:

El ingenio caso de estudio comprende 5 actividades para el proceso de abastecimiento de caña. A continuación, se describen los diferentes procesos que existen desde que el vehículo cargado de caña llega a la báscula hasta que este sale de nuevo a las suertes para ser abastecido con caña:

Llegada a Báscula (Pesaje):

- ❖ El vehículo cargado ingresa al ingenio, posteriormente se dirige a la zona de pesaje.
- ❖ El basculero (persona encargada de la báscula y pesaje de la caña) recibe del conductor, las guías de caña o tiquetes de caña, las cuenta y verifica que la cantidad de tiquetes sea igual al número de equipos a pesar.
- ❖ Luego el conductor ingresa a la plataforma el cabezote y el tráiler o vagón según sea tracto-camión o tren de vagón y se verifica que el equipo esté bien ubicado dentro de la plataforma.
- ❖ La bascula cuenta con un programa en el cual se digita el total de equipos a pesar, Frente de transporte, turno, Ficha del transportador, numero de maquina (el número del cabezote) y patio.

- ❖ Ingresa número de lote, sector, suerte y numero de equipo, se Comprueba que el indicador de peso este estable para aceptar el peso y se imprimen los resultados para la torre de control, para el transportador y para el proveedor cuando lo solicita.

Toma de muestra en el Laboratorio

Todos los vehículos deben pasar por el laboratorio después de haber sido pesados y antes de ingresar al patio. A continuación, se describe éste proceso:

- ❖ El vehículo se estaciona frente al laboratorio y el primer vagón cargado estará posicionado debajo del sistema que se encargará de tomar dos pruebas de la carga con el fin de calcular el rendimiento de la caña y el porcentaje de materia extraña que pueda traer dicha carga.

Después de tomar las muestras en el laboratorio seguirá el proceso de descargue en las mesas, pero si el flujo del proceso se encuentra congestionado el vehículo se verá obligado a esperar, generando unas colas en el patio de caña.

Descargue de caña en las mesas

- ❖ El ingenio en cuestión cuenta con dos mesas de descarga, una de ellas es únicamente para descargar caña corta la cual proviene de corte mecanizado y la otra principalmente para caña larga que proviene de corte manual, pero también puede ser utilizada para descargar caña corta si la operación así lo requiere.
- ❖ Si el flujo del sistema se encuentra poco congestionado después de que el vehículo sale del laboratorio, un coordinador le indicará al transportador del vehículo por cuál de las mesas debe descargar la caña y él posicionará el vehículo frente a la mesa asignada, después de que el vehículo se encuentra posicionado una grúa procederá a levantar cada vagón hasta terminar de vaciar todo el equipo.

- ❖ Si, por el contrario, el flujo del sistema se encuentra congestionado después de que el vehículo sale del laboratorio y se cuenta con equipo disponible para el descargue (en este caso es una tractomula adicional que permanece dentro del patio), se desenganchará el vehículo con el fin de enganchar un nuevo tren vacío para salir de nuevo hacia el campo ya que el equipo adicional se encarga del descargue. Si no se encuentra el equipo disponible el operario de la tractomula se verá obligado a esperar en cola a que el Coordinador le indique la mesa asignada para el descargue.
- ❖ Tan pronto como termine el proceso de descarga, el vehículo debe ser pesado vacío en báscula antes de salir (Tara), luego debe dirigirse hacia los monta-llantas con el fin de que el vehículo esté bien calibrado antes de salir. El vehículo vuelve al campo para ser cargado (según sea su asignación), y el ciclo comienza de nuevo.

Sin embargo, este proceso descrito anteriormente pese con contar con un flujo predeterminado para la entrada de cada vehículo se produce una gran pérdida de tiempo; dado a las colas de vehículos en espera para descargar la caña.

La estadía de los equipos en patio ocupa el tiempo más alto dentro del ciclo de abastecimiento, según estudios realizados en un Ingenio en el año 2011, la espera en patio de los equipos para ser descargados oscila entre 25 y 30% del ciclo total. En la ilustración se detalla la distribución porcentual de las etapas del ciclo del transporte. **(Fajardo, 2013)**

Grafica 2. Distribución porcentual de tiempos de transporte

% participación en los tiempos de ciclo



Fuente: Conceptualización y experimentación de un modelo de simulación para el control de abastecimiento en la cadena de la caña de azúcar. FAJARDO, 2013.

El tiempo de ciclo incluye el viaje del vehículo vacío desde el ingenio hasta el campo, los tiempos de espera y cargue de la caña en los frentes de cosecha, el viaje del vehículo cargado hasta el ingenio, la espera y el descargue en patio, este proceso tiene una duración promedio de 5,7 horas por ciclo, de las cuales el 45% son esperas.

Por esta razón la administración de la logística por medio de la simulación debe controlar las esperas en el proceso, a través de una buena gestión en los programas de transporte, la asignación de rutas y una eficiente gestión en los patios. (FAJARDO, 2013).

En este caso de estudio el descargue de la caña en las mesas es el proceso cuello de botella de la operación con un tiempo promedio de 14,34 minutos como se observa en la **Tabla 2**, ocasionando un promedio de espera de 23,38 minutos.

Tabla 2. Tiempo por procesos

Proceso	Tiempo Mínimo (min)	Tiempo Máximo (min)	Promedio (min)
Pesaje en Báscula	1,08	16,48	3,57
Muestreo	1,23	3,58	2,37
Descargue	6,51	32,18	14,34
Tara en Báscula	1,09	5,02	2,08
Calíbre	3,59	29,39	12,32

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Entre el proceso de descargue y las esperas que se ocasionan en éste acumulan 38,12 minutos que representan el 46,91% del tiempo total del ciclo, siendo ésta la operación en la que se presentan grandes pérdidas de tiempo y esto se debe a que la velocidad de las mesas de caña esta dada por la capacidad de molienda y el aumentar dicha velocidad podría tener grandes consecuencias, por ejemplo atascamientos en los molinos lo que generaría que se detuviera toda la operación, así que las mesas deben trabajar siempre a este ritmo. Como se observa en la **Tabla 2** se pueden presentar tiempos máximos hasta de 32,18 minutos, esto generalmente ocurre cuando las mesas están llenas y se debe esperar un tiempo prudente para evitar atascamientos en los molinos. Estos largos tiempos se pueden generar también cuando se presentan dificultades en los equipos, ya sea por averías en los vehículos de carga o de las mismas mesas.

El segundo proceso con el tiempo más alto es la calibración con 12,32 minutos y esto se debe a que el montallantas se encuentra fuera del patio de caña y los operarios de los vehículos deben asegurarse de que se encuentren en óptimas condiciones antes de salir hacia el campo. Se debe calibrar cada una de las llantas de los vagones y asegurarse que las luces de cada vagón funcionen correctamente y así cumplir con las normas de carretera y evitar accidentes.

6.2 Recolección de la información.

Para la elaboración del **VSM** fue necesaria la toma de tiempos de cada uno de los subprocesos, así como las esperas que se pueden presentar en cada uno de ellos. Los datos se tomaron mediante la siguiente tabla:

Tabla 3. Formato para la toma de tiempos de procesos.

No Equipo	Llegada a patio	Báscula		Muestreo		Descargue		Tara		Calibre		Observación
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	

Fuente: Ingenio caso de estudio., 2016

Cabe resaltar que estos tiempos fueron tomados durante horas específicas y en los momentos en que el ingenio permitió el ingreso.

El ingenio en cuestión proporciono una base de datos la cual no generaba buen nivel de confianza debido a que se presentaban un gran número de datos atípicos, por esta razón fue necesario aplicar un muestreo en tiempo real a través del seguimiento a los vehículos desde el momento en que ingresaban al patio hasta que salían de nuevo al campo.

La información recolectada cuenta con 50 registros de ingresos de vehículos y los tiempos en cada proceso.

Ademas fue necesario tener en cuenta la cantidad de operarios en cada proceso y los diferentes turnos que debían cumplir.

6.3 Análisis del proceso.

Una vez identificada la información importante en el descargue de caña mediante toma de datos se realizó un detallado de dicha información para la realización de un **Value Stream Mapping** que permita identificar las posibles mejoras al proceso.

Para esto se llevó el registro detallado de las actividades diarias que realiza el ingenio para el abastecimiento de caña por un periodo de tiempo, con el fin de detectar las variables más relevantes, como lo fue los tiempos de espera en cola de cada vehículo de un proceso a otro la hora en la que llega y la hora en que sale nuevamente hacia el campo.

Además se tuvo en cuenta los datos históricos que la empresa proporciono con el fin de realizar una comparación que permitiera cuantificar los porcentajes de tiempos o en su defecto la estructuración del **VSM**.

6.3.1 ValueStreamMapping Inicial

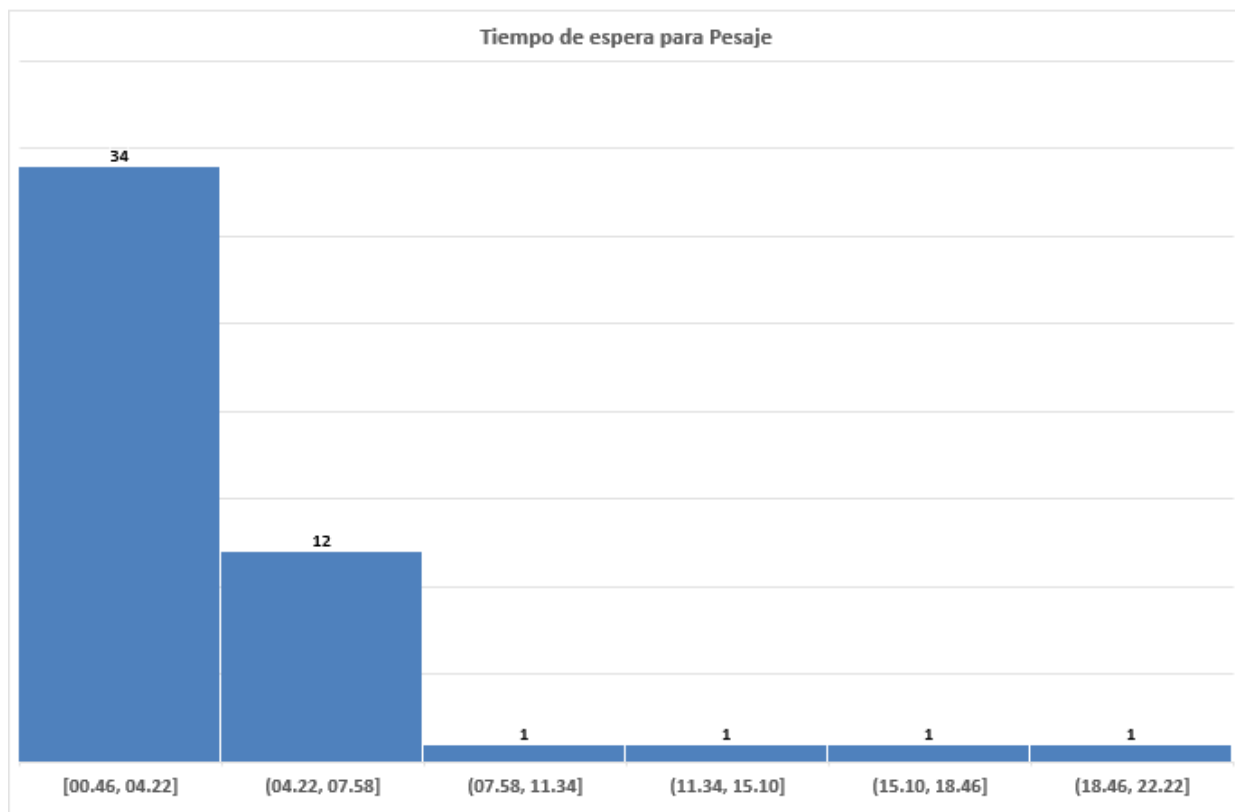
Para la elaboración del **VSM** se tuvo en cuenta los tiempos de cada uno de los subprocesos dentro del proceso de abastecimiento en el patio de caña, así como las esperas que se pueden presentar en cada uno de ellos.

A continuación, se muestran los tiempos de espera en cada uno de los procesos necesarios para el abastecimiento de caña en el ingenio caso de estudio.

❖ Tiempo de espera para Pesaje:

La espera en báscula hace alusión al tiempo que transcurre desde que el vehículo ingresa cargado de caña al patio hasta que empieza el proceso de pesaje en la báscula, el vehículo debe recorrer aproximadamente 50 metros desde la entrada al patio hasta la báscula. El siguiente gráfico muestra el comportamiento de los datos registrados. Donde se evidencia que en promedio esta tarea toma alrededor de **4 minutos**.

Grafica 3. Tiempos de Espera en Báscula

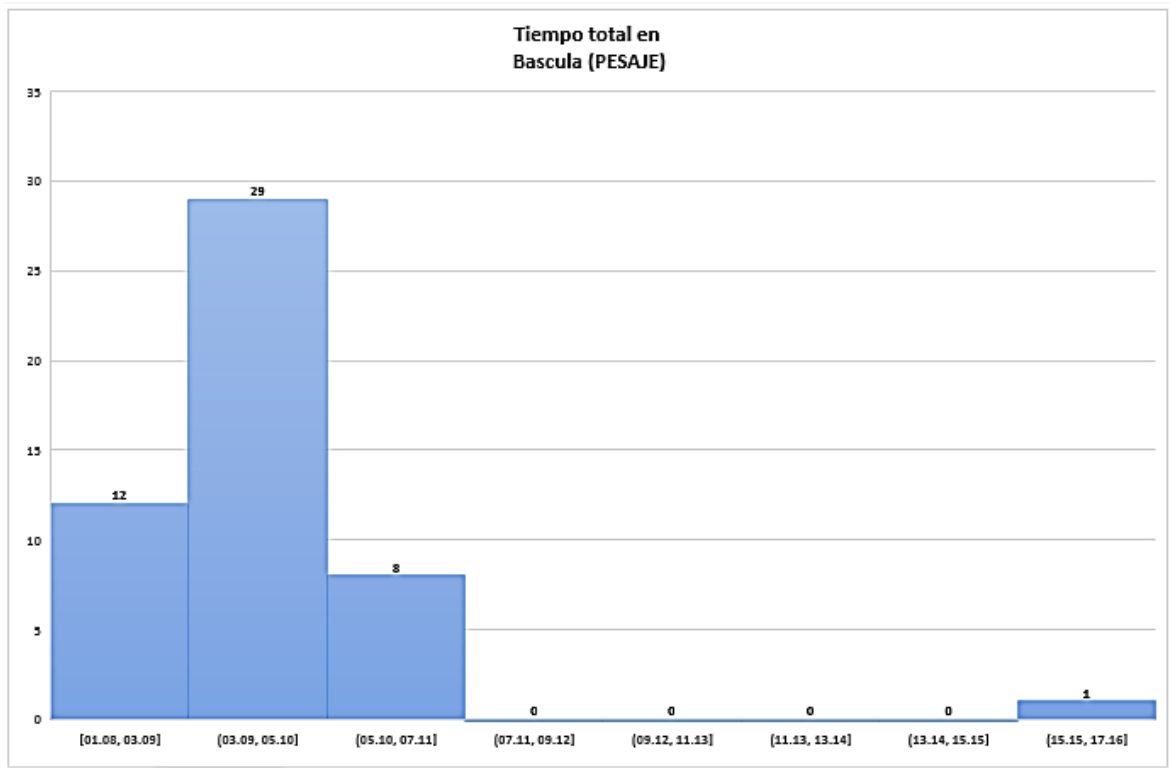


Fuente: Elaboración propia, 2016

❖ **Tiempo en Báscula:**

El tiempo en báscula es el tiempo que transcurre en el proceso de pesaje del vehículo cargado con el fin de conocer el peso neto de caña que está ingresando al ingenio. Según los registros en promedio esta actividad toma en promedio de **3.30 a 4 minutos.**

Grafica 4. Tiempo en Báscula

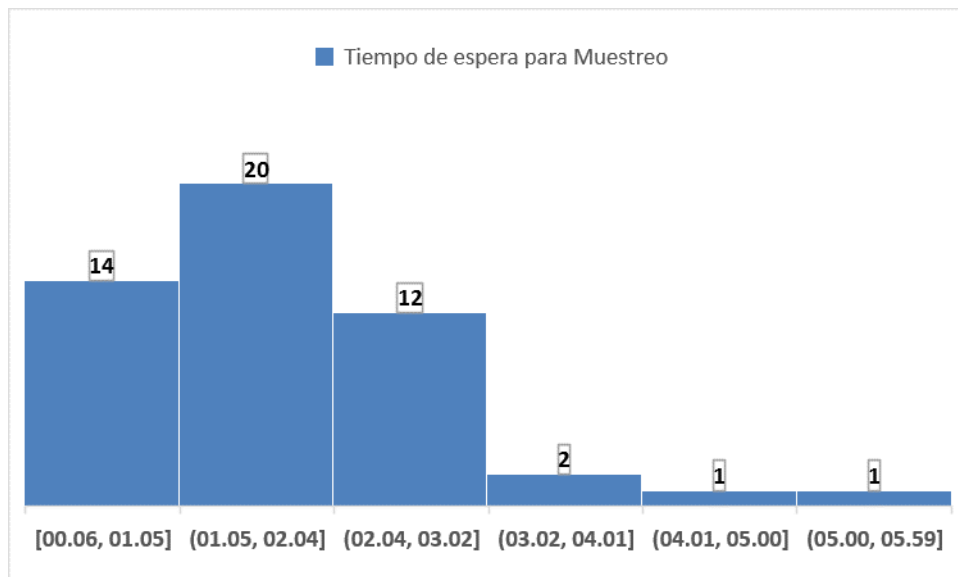


Fuente: Elaboración propia, 2016

❖ **Espera Muestreo:**

Es el tiempo que transcurre desde que el vehículo termina el proceso de pesaje hasta que inicia el proceso de muestreo en el *CoreSampler* que se encuentra ubicado a unos 80 metros de la báscula. El cual en promedio toma alrededor de **un (1) minuto y medio**.

Grafica 5. Tiempos de Espera en Muestreo

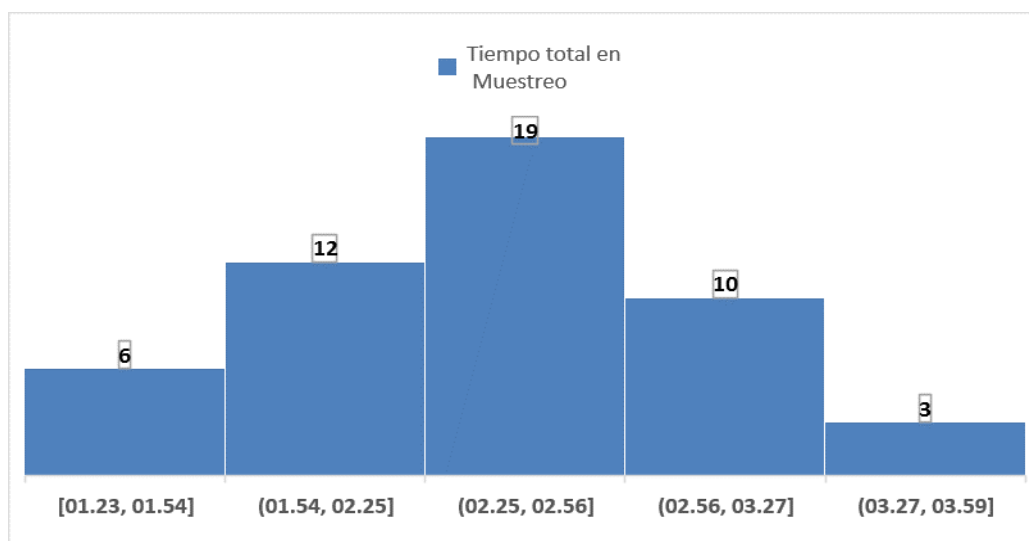


Fuente: Elaboración propia, 2016

❖ **Muestreo:**

Este proceso inicia siempre y cuando el operario de la tracto-mula baje del vehículo con el fin de evitar accidentes con la estructura y terminará en el momento en que los operarios del CoreSampler indiquen al operario de la tracto-mula la salida. Esta actividad toma alrededor de **2 minutos y medio**.

Grafica 6. Tiempo en Muestreo

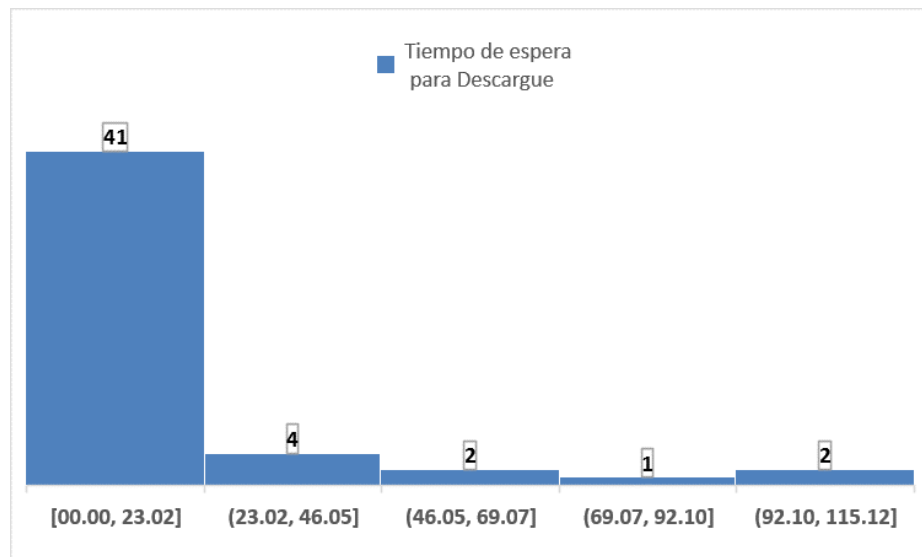


Fuente: Elaboración propia, 2016

❖ Espera descargue:

Es el tiempo que transcurre desde que termina el proceso de muestreo hasta que inicia el proceso de descargue. El supervisor encargado debe asignar una mesa para el descargue al vehículo, aquí se pueden presentar largas esperas debido a que el proceso de descargue es el más demorado ya que toma alrededor de **23 minutos**.

Grafica 7. Tiempos de Espera en Descargue

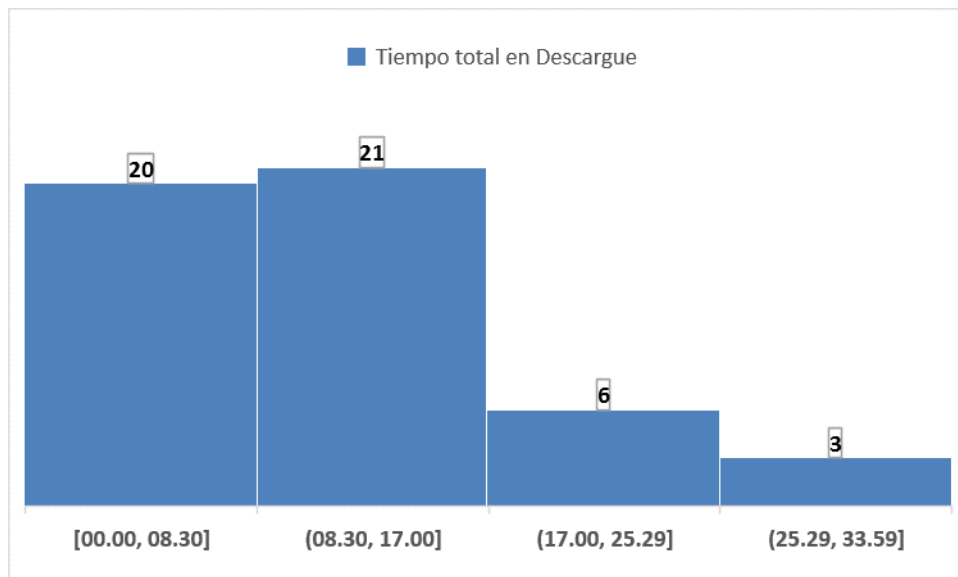


Fuente: Elaboración propia, 2016

❖ Descargue:

Es el tiempo que tarda el vehículo en las mesas de descargue de caña. Esta es la operación cuello de botella del proceso debido a la capacidad de molienda del ingenio y por esto los vehículos pasan la mayor parte del tiempo en esta operación que involucra en promedio alrededor de unos **14 minutos**.

Grafica 8. Tiempo en Descargue

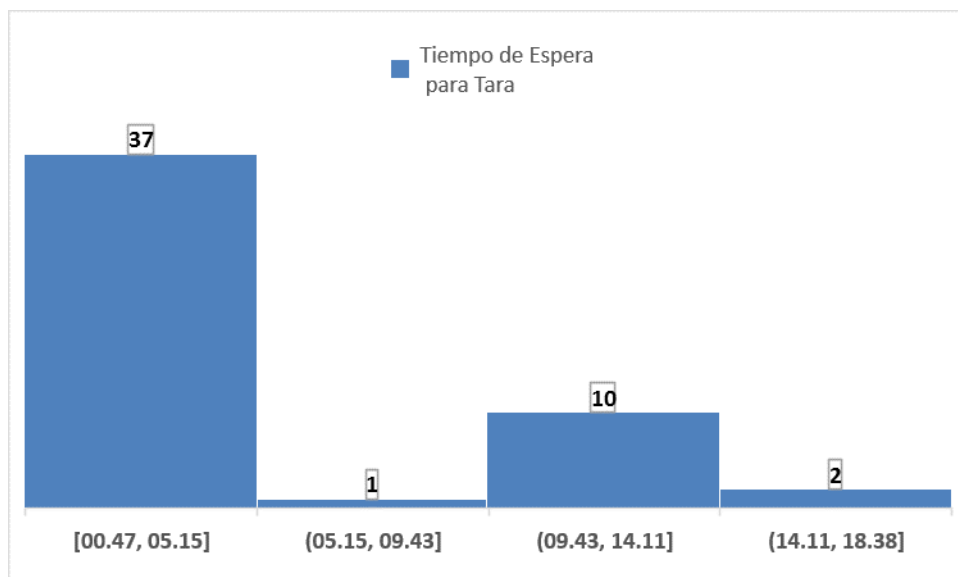


Fuente: Elaboración propia, 2016

❖ **Espera Tara:**

Es el tiempo que transcurre desde que el vehículo termina el proceso de descargue hasta que llega de nuevo a la báscula completamente vacío el cual en promedio se demora unos **5 minutos**.

Grafica 9. Tiempos de Espera en Tara

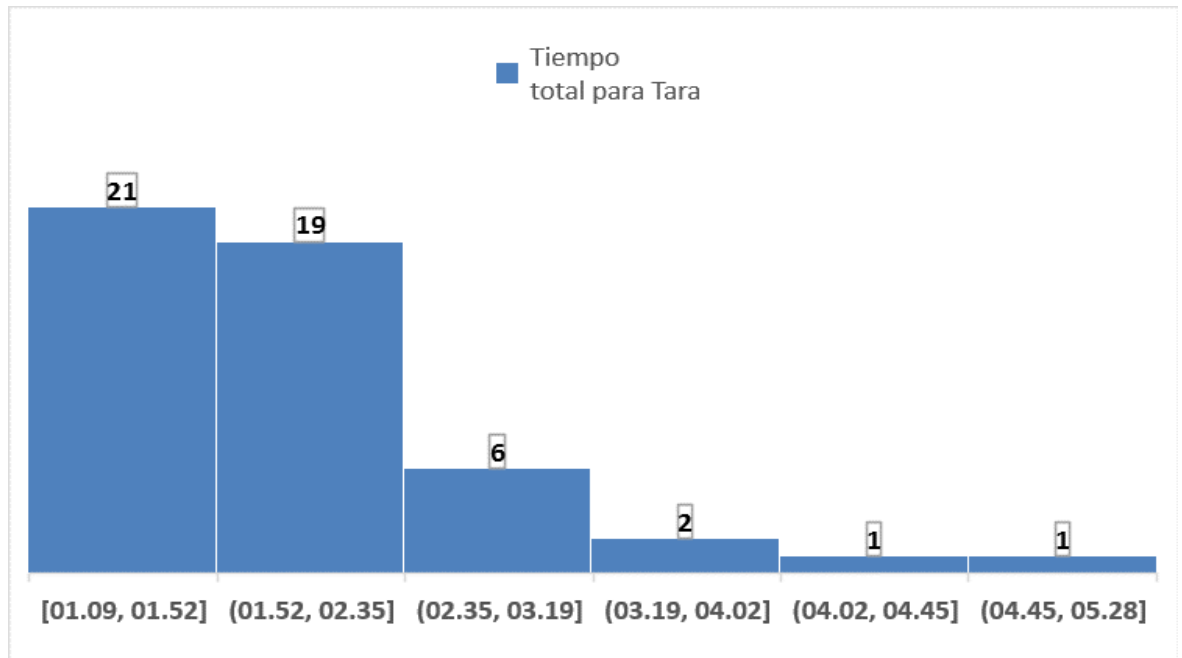


Fuente: Elaboración propia, 2016

❖ Tara:

Se registra de nuevo el tiempo en báscula con el vehículo completamente vacío, este tiempo se toma desde que ingresa el vehículo a báscula hasta que sale hacia el monta llantas el cual demora unos **2 minutos** en promedio.

Grafica 10. Tiempo en Tara

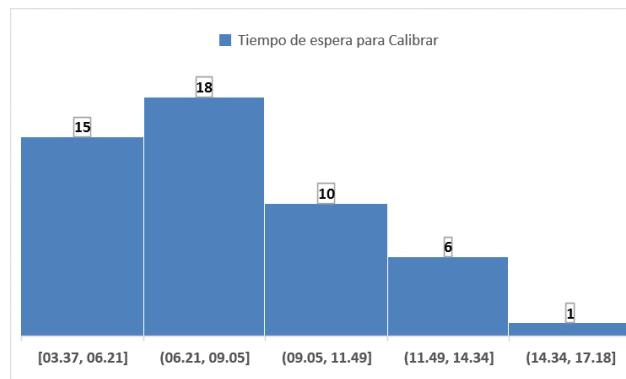


Fuente: Elaboración propia, 2016

❖ Espera Calibre:

Es el tiempo que transcurre desde que el vehículo sale de la báscula hasta que llega al lugar donde se calibran los vehículos en promedio para la realización de esta actividad transcurren unos **8 minutos**.

Grafica 11. Tiempos de Espera en Calibre



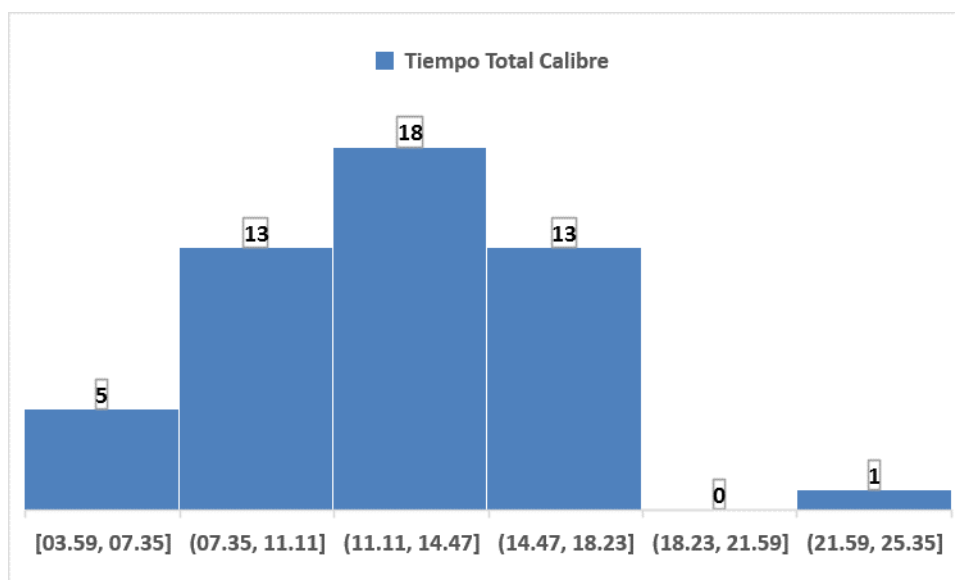
Fuente: Elaboración propia, 2016

❖ **Tiempo Calibre:**

Esta actividad se encuentra aproximadamente a 200 metros de la báscula debido a que el proceso se hace por fuera del patio, pero se toma en cuenta debido a que es el último proceso por el cual el vehículo debe pasar antes de salir hacia el campo dicha tarea se realiza en un tiempo promedio de **12 minutos**.

El proceso termina en el momento en que el vehículo sale hacia la suerte asignada.

Grafica 12. Tiempos de Espera en Calibre



Fuente: Elaboración propia, 2016

6.3.2 Análisis de datos en Input Analyzer:

En algunos de los procesos ya descritos se presentan datos atípicos debido a diferentes escenarios como pueden ser el clima o averías en los equipos, por este motivo es necesario analizar los datos con la ayuda del programa **Input Analyzer** de Arena el permite tener un nivel de confianza más alto, ya que éste nos indica el tipo de distribución que pueden tomar los datos y además cuál de estos tipos de distribución presenta el menor error, así se puede tener mayor confianza en el promedio de los datos, además este proceso es indispensable para la simulación. A continuación en la **Tabla 4**, se muestra el tipo de distribución más apropiado con el menor error para cada uno de los procesos y en cada una de sus esperas:

Tabla 4. Resultados Input Analyzer

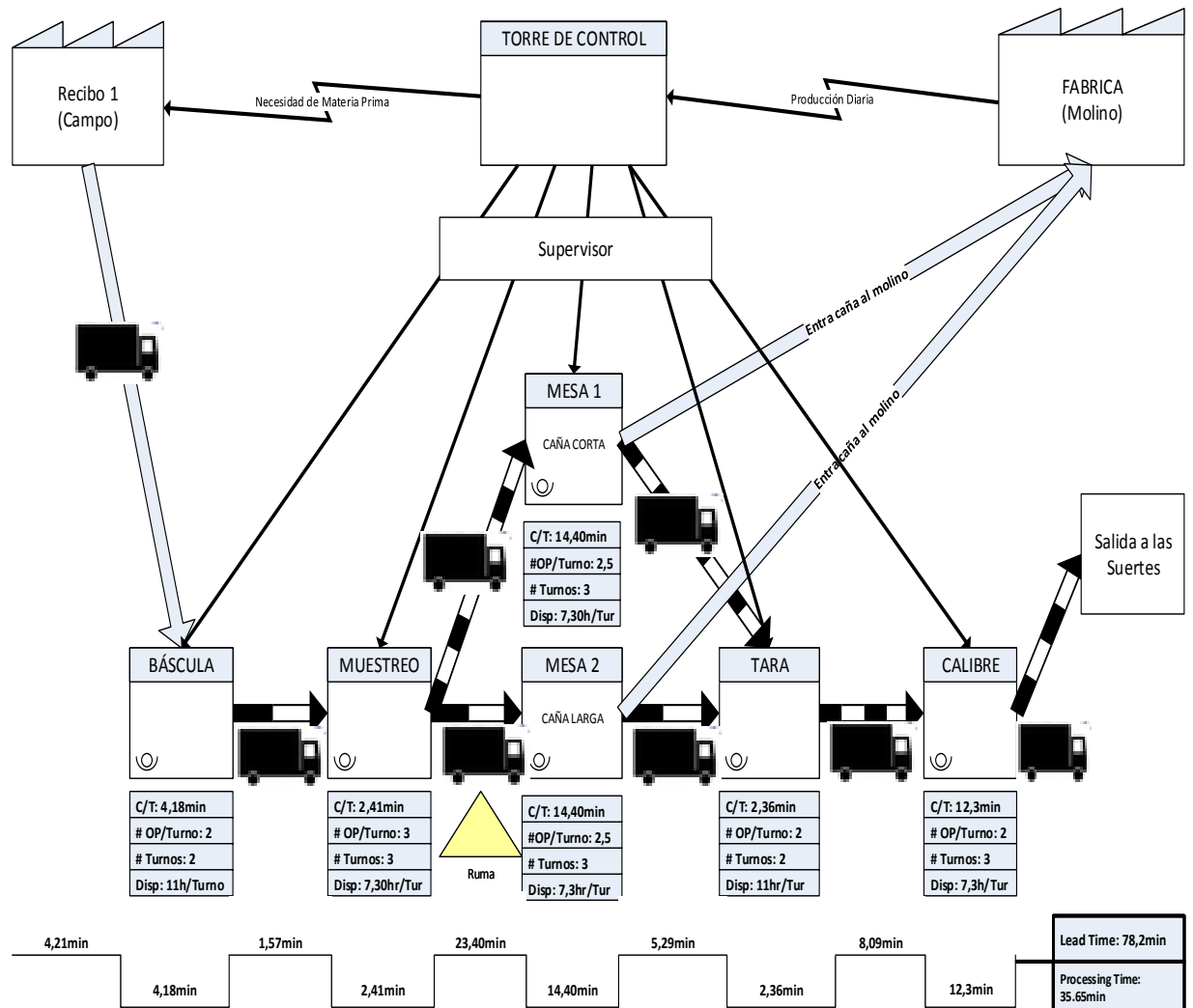
Espera/Poceso	Distribución	P-Value	Error	Desv. Estándar	Media
Espera en Báscula	LogNormal	0.005	0,018	3,76	3,86
Pesaje en Báscula	Normal	0,005	0,048	2,18	4,18
Espera Muestreo	Weibull	0,15	0,007	1,04	1,57
Muestreo	Triangular	0,15	0,072	0,54	2,4
Espera Descargue	LogNormal	0,005	0,008	27	23,4
Descargue	Beta	0,04	0,074	7,37	14,4
Espera Tara	LogNormal	0,005	0,033	5,09	5,29
Tara en Báscula	Exponencial	0,07	0,005	0,8	1,96
Espera Calíbre	Weibull	0,15	0,007	3,32	8,09
Calíbre	Normal	0,09	0,011	3,8	12,3

Fuente: Elaboración Propia, 2016

Después de realizar cada uno de los análisis del proceso se procede a realizar el **ValueStreamMapping**, como se observa en la **Gráfica 13** el proceso en el patio inicia en el campo con la disponibilidad de caña y termina en la fábrica cuando finalmente se entrega la caña y por último cuando salen los vehículos de carga de nuevo hacia el campo.

En el mapa descrito en la gráfica se manejaron los tiempos promedios para cada operación y para el transporte entre cada una de ellas, los cuales fueron analizados previamente con ayuda del ***Input Analyzer***. El ingenio en el que se realizó el análisis cuenta con dos tipos de corte, manual y mecánico por lo que maneja dos tipos de tracto mulas y dos tipos de vagones, uno para caña larga y otro para caña corta. Como se puede observar en la gráfica el Lead Time del proceso es de **78,2** minutos (*1,3 horas*), siendo este un problema a mejorar puesto que los vehículos de carga de caña permanecen un largo tiempo en el proceso de abastecimiento en el patio, y siendo este el dato más importante para el ingenio por mejorar, puesto que mientras estos vehículos presenten grandes esperas dentro del sistema no estarán aportando valor ya que su función principal es traer la caña desde el campo y dejarla en la fábrica en el menor tiempo posible.

Grafica13.Value Stream Mapping Inicial.



Fuente: Elaboración propia, 2016

C/T: Corresponde al tiempo de ciclo de cada operación

OP/Turno: Corresponde al número de operarios por turno

Turnos: Corresponde al número de turnos por Estación de trabajo

Disp: Corresponde al tiempo disponible en cada estación de trabajo descontando tiempos de descanso y tiempos para comer.

Diagnóstico del Value Stream Mapping Inicial

Como se puede observar en la gráfica en el proceso de descargue en las mesas se presentan largas esperas con un tiempo promedio de 23,4 minutos lo que ocasiona que los vehículos de carga pasen gran cantidad tiempo en el patio. Estas largas esperas se deben a la demora en el descargue en las mesas debido a que estas trabajan según la capacidad del molino de la fábrica, siendo este el proceso cuello de botella de la operación. En el ingenio en cuestión se presenta algo llamado la ruma, que se presenta cuando hay largas colas en el descargue y por esto los vehículos dejan la caña en el suelo, lo cual, en otros estudios se ha demostrado que hace que el rendimiento de la caña disminuya considerablemente. El segundo proceso más demorado en el sistema es la calibración que a su vez es indispensable ya que los vehículos deben estar en óptimas condiciones antes de salir hacia el campo.

Value Stream Mapping Futuro (Propuestas de Mejora)

Implementación de nuevos equipos para el abastecimiento de las mesas:

El ingenio en cuestión quiere incorporar en el patio cuatro nuevos tractores que se encarguen de abastecer las mesas de caña, dos se encargarían de abastecer la mesa de caña larga y los otros dos la mesa de caña corta con el fin de que las tractomulas de carga de caña no pierdan tiempo en este proceso puesto que esta no es su función primaria, por este motivo se incorpora esta mejora en el análisis con el fin de conocer el comportamiento del sistema con la incorporación de los nuevos tractores y definir el tiempo que podría disminuir dicha demora. Para este fin se incorporó un tracto mula extra en el patio de caña que se encargó de abastecer las mesas durante un periodo de tiempo con el fin de simular el trabajo que podrían hacer dichos tractores, así el proceso tendría unos cambios que se verán reflejados en la figura, las tractomulas deben desenganchar los vagones llenos después de haber hecho el proceso de muestreo, estos vagones serán enganchados por los nuevos tractores que se encargarán de abastecer las mesas. Ya liberadas las tractomulas deben enganchar un nuevo equipo de vagones vacíos y empezar con el proceso de Tara. Cabe aclarar que la implementación de los tractores es por disposición del ingenio ya que en sus estudios de presupuesto así lo tienen asignado, dichos estudios no fueron proporcionados por confidencialidad. De esta forma se pretenden atacar los largos tiempos de espera en el proceso de descargue puesto que anteriormente se describió que en este proceso se presentaban las demoras más significativas.

El tiempo promedio que tardan los vehículos en desenganchar el equipo lleno y enganchar un nuevo equipo vacío se tomó en la tabla como tiempo de volteo de equipo, además se tomaron las esperas que se pueden presentar en el proceso.

Tabla 5. Para la toma de tiempos de procesos.

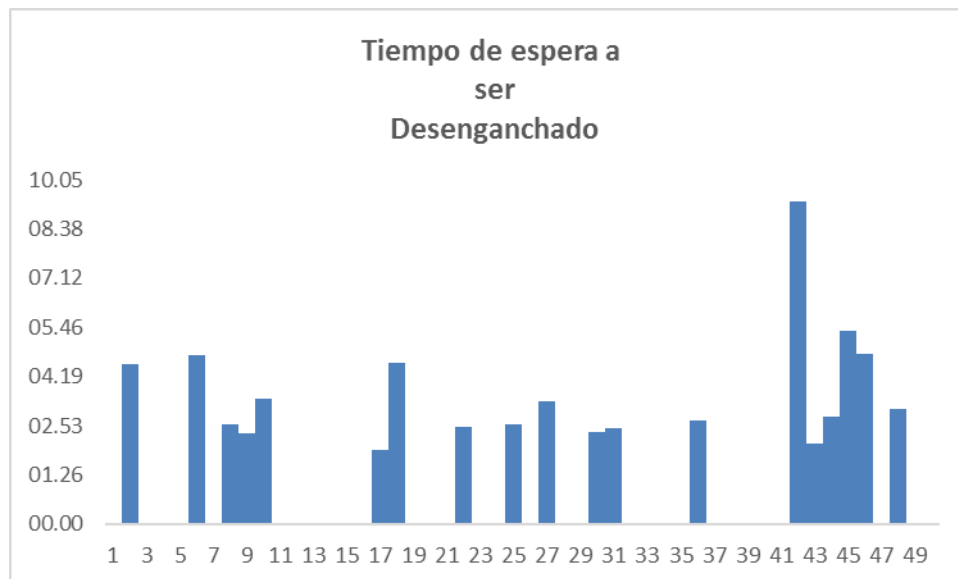
espera a ser desenganchado	Desenganche	Enganche	Tiempo de volteo equipo

Fuente: Ingenio caso de estudio, 2016

Espera para desenganche:

Es el tiempo que transcurre desde que el vehículo termina el muestro hasta que inicia el proceso de desenganche del equipo que en promedio tarda unos **3.30 minutos**.

Grafica 14. Tiempos de Espera para desenganche

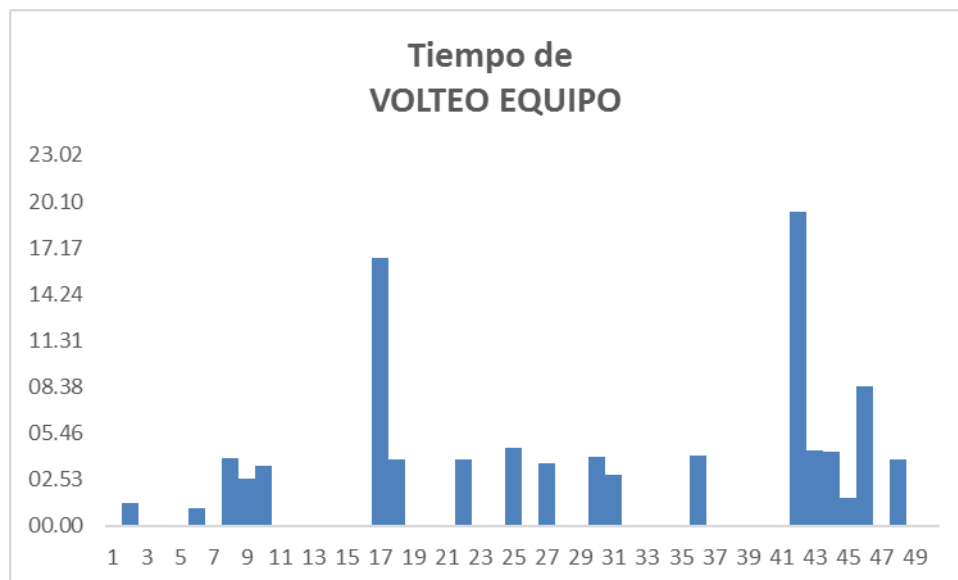


Fuente: Elaboración propia, 2016

Tiempo de Volteo:

Es el tiempo que transcurre desde que el equipo empieza a ser desenganchado hasta que sale con un nuevo equipo vacío enganchado para lo cual se estima un tiempo de aproximadamente **5 minutos**.

Grafica 15. Tiempo en Volteo



Fuente: Elaboración propia, 2016

De igual manera con estos tiempos se realiza el análisis en ***Input Analyzer*** con el fin de tener un mayor nivel de confianza con los promedios, los resultados se muestran en la **Tabla 5**.

Tabla 6. Resultados Input Analyzer 2

Espera/Poceso	Distribución	P-Value	Error	Desv. Estándar	Media
Espera Desenganche	Exponencial	0,005	0,066	2,09	3,58
Volteo Equipo	Beta	0,087	0,036	5,16	5,18

Fuente: Elaboración propia, 2016

Smed (Tiempos alistamiento):

La calibración es el último proceso en el sistema que se realiza antes de salir hacia las suertes con el fin de que cada uno de los vagones salga en óptimas condiciones hacia el campo, pero con la reestructuración del proceso e incorporando el volteo del equipo, los vagones podrían ser calibrados previamente puesto que estarán en la zona de parqueo a la espera de ser enganchados para salir hacia las suertes. De esta forma cuando la tracto-mula enganche los vagones, estos estarán completamente listos y previamente calibrados.

5's:

Debido a los diferentes cambios en el proceso sería necesaria la reestructuración del patio y delimitar las diferentes zonas de parqueo tanto para vagones vacíos como para los vagones que llegan cargados, así como la asignación de un nuevo lugar a los operarios encargados del calibre puesto que con dichos cambios el calibre debería realizarse dentro del patio y no como se realiza actualmente.

Eliminación de la Ruma:

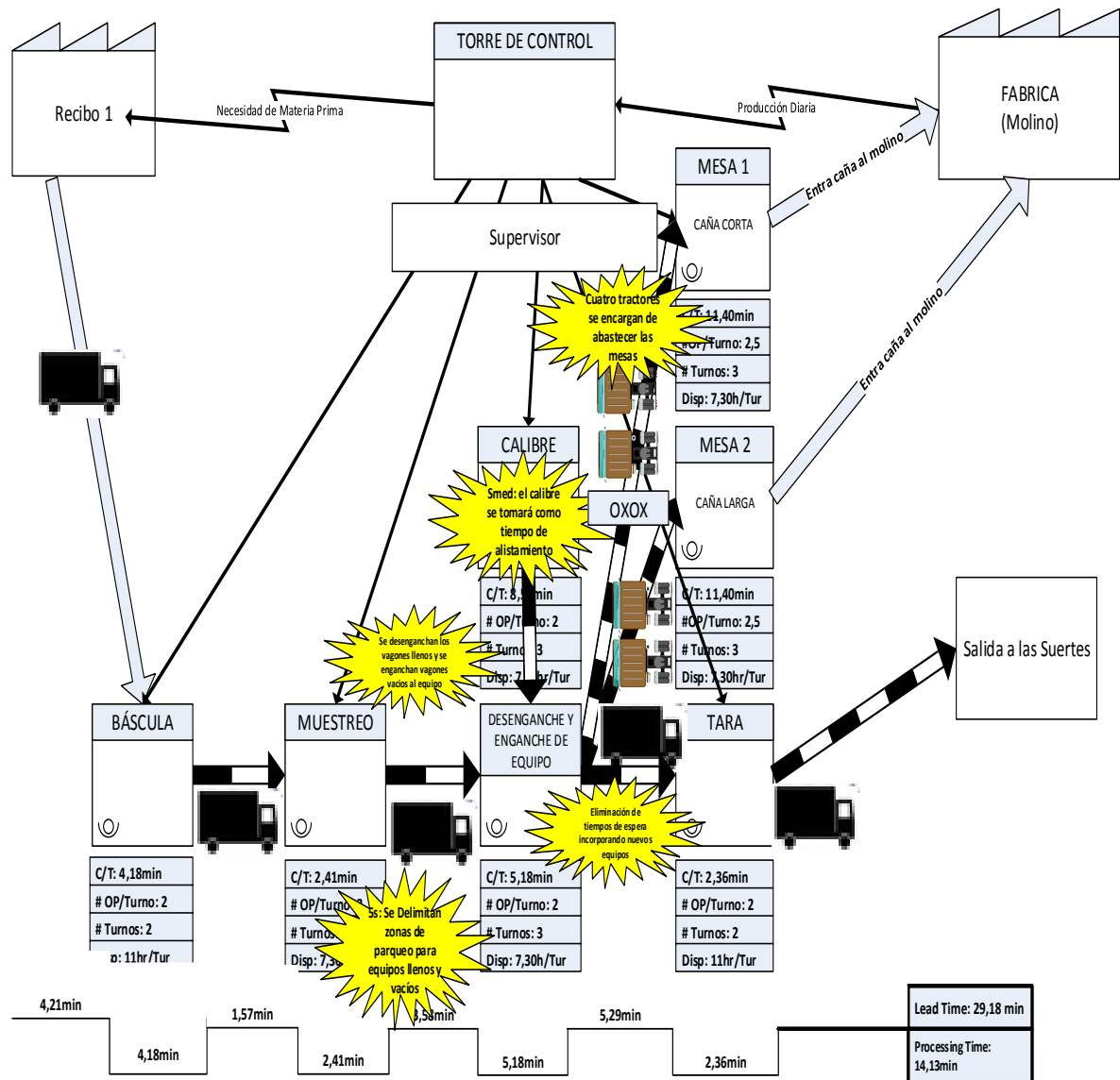
El proceso del volteo de equipo también es clave para que se elimine la ruma puesto que no será necesario que los operarios de las tracto-mulas dejen la caña en el suelo ya que la caña estará en los vagones a la espera de que los tractores realicen el proceso de descargue, con esto se evita que la caña pase largas horas en el suelo a la espera de ser transportada hacia las mesas.

Nivelación de la carga en las mesas:

Con la incorporación de los cuatro tractores se nivelaría la carga en las mesas puesto que siempre serán dos tractores asignados para cada una de las mesas, así el supervisor encargado no tendrá tanto problema con la asignación de estas mesas para el descargue.

Establecidas las mejoras, el Value Stream Mapping Futuro del proceso se muestra en la **Gráfica 16**.

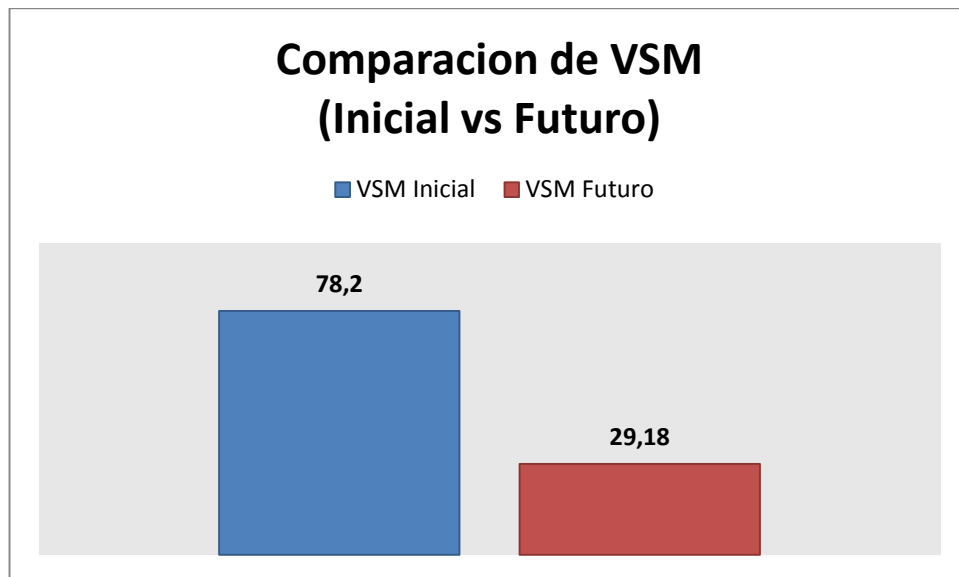
Grafica 16 Value Stream Mapping Futuro



Fuente: Elaboración propia, 2016

Al comparar el **Value Stream Mapping** inicial con el futuro se puede evidenciar que hay una disminución importante en el tiempo de permanencia de los vehículos de carga dentro del patio, el Lead time para ambos casos se tuvo en cuenta en el proceso para mostrar las salidas de dichos vehículos puesto que en este caso y para los intereses del ingenio es el tiempo más importante, por este motivo las mejoras no están enfocadas hacia el tiempo de permanencia de la caña sino al tiempo de permanencia de los vehículos. La disminución del tiempo se ve reflejada en la **Gráfica 17**.

Grafica 17 Diferencia entre el VSM Inicial y el VSM Futuro



Fuente: Elaboración propia, 2016

Como se puede apreciar en la gráfica hay una disminución en el Lead Time del proceso de **49,02 minutos** lo que representa una disminución muy importante para el proceso, lo que contribuye a que los vehículos de carga demoren menos tiempo realizando el proceso de abastecimiento de la caña en el ingenio.

6.4 Desarrollo del modelo de simulación.

De acuerdo con las características detectadas en el ingenio caso de estudio, y una vez determinado el correcto comportamiento de las variables y el impacto que estas tienen al momento de la recepción (llegada al patio) y posteriormente el descargue y salida del vehículo tal como se evidencia en el análisis realizado por medio del **VSM**, desde la llegada del vehículo cargado de caña hasta el momento que este descarga y retorna nuevamente hacia las suertes para ser abastecido, se desarrolló un modelo de simulación, que permite comprender en primera instancia la relación existente entre cada uno de los procesos, para luego determinar la presencia de cuellos de botella y sus principales causas, al mismo tiempo que se busca determinar la correcta asignación de los recursos para optimizar la operación y reducir los tiempos de espera de dichos vehículos.

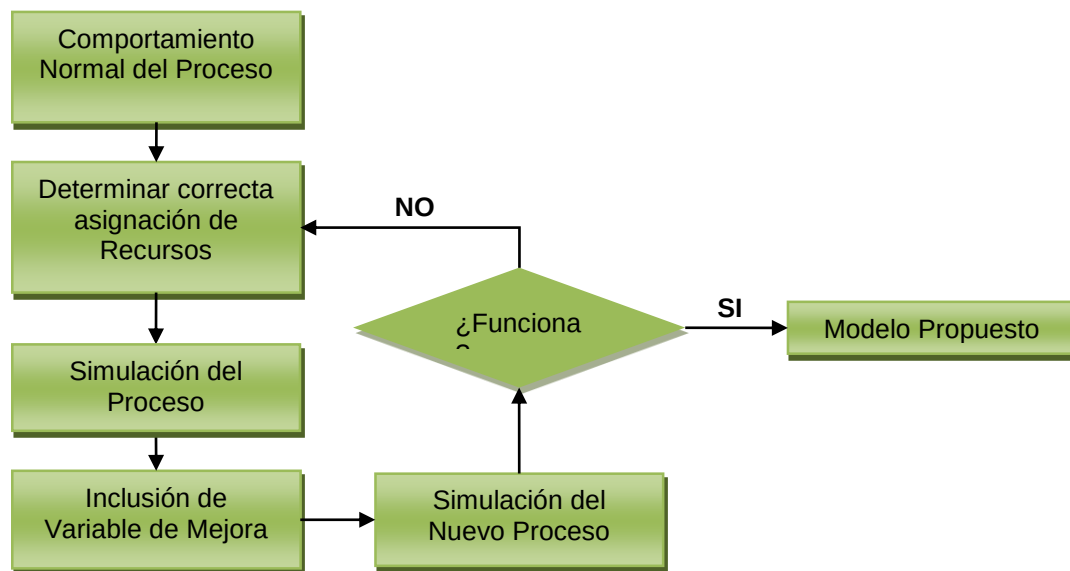
El modelo desarrollado fue corrido y analizado con el software Arena.

La forma como opera el modelo se presenta en la **Gráfica 18**, donde hay a su vez un modelo de simulación que toma como datos de entrada el comportamiento normal del proceso con las variables definidas y la correcta asignación de los recursos asociados a estas.

Los resultados de la simulación se usan para definir si se hizo una correcta asignación de los recursos y posteriormente incluir una variable de mejora para el desarrollo de un nuevo modelo que involucre la variable de mejora que contribuya a un mejor comportamiento del proceso y optimización de recursos.

Cada escenario del modelo tanto de simulación del proceso y de simulación del proceso con la mejora propuesta es representado gráficamente y los valores de las variables de la mejora se mantienen constantes esto con el fin determinar la mejor asignación de recursos involucrando la variable de mejora que conlleven a una mejor optimización de los mismos y mayor flujo en el proceso.

Gráfica 18 Esquema modelo de simulacion discreta



Fuente: Elaboración propia, 2016

6.4.1 Cálculo del tamaño de muestra

Con el fin de validar que el modelo se estructura bajo los parámetros correctos se calcula el tamaño de muestra para los registros que servirán de insumo en la simulación, para este caso se calcula con la fórmula para **muestras de tipo cualitativo de poblaciones finitas** ya que se conoce un aproximado del número total de vehículos (ingresan en un día) que integran la población el cual es alrededor de **100**, para el cálculo de este tipo de muestras se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{NZ^2 pq}{d^2 (N - 1) + Z^2 pq}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

Z = valor de Z crítico, calculado en las tablas del área de la curva normal. Llamado también nivel de confianza.

p = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia

q = proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio (1 - p).

d = nivel de precisión absoluta. Referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado en la determinación del valor promedio de la variable en estudio.

Dicho esto para nuestro caso tendremos que:

Z = 1.645 para un nivel de confianza del **90%**

N = 100 (*Según información suministrada por el ingenio caso de estudio*)

p = 0.5 (*Teniendo en cuenta que el número de registros tomados son aproximadamente el 50% de la población según información suministrada por el ingenio*)

q = 0.5

d = 0.1 debido a que la confianza es del 90%

Una vez identificadas todas las variables, realizamos el calculo de la formula usando para ellos la herramieta **EXCEL 2016** la cual nos indica que el tamaño de la muestra para nuestro caso es de **41 registros** aproximadamente y según la informacion suministrada por el ingenio se pudieron tomar **50 registros**, es por esta razón que procedemos con la elaboración del modelo.

6.4.2 Elaboración de modelo escenario real.

Para la elaboración del modelo el cual simula el proceso de abastecimiento de caña del ingenio según la información identificada. Se tuvieron los procesos y los tiempos de cada uno soportándolos con el análisis de distribuciones arrojado por **Input Analyzer** esto con el fin de que el modelo arroje unos resultados más exactos y acordes a la realidad del proceso.

Modelo en Arena

Una vez identificadas las variables de entrada y salida del modelo se procede a parametrizar las estaciones que tiene el proceso de abastecimiento del ingenio caso de estudio. Luego se procede a realizar la adaptación del modelo en Arena de la siguiente forma:

Variables de entrada:

Las Variables de entrada del modelo son:

- 1. Llegada de vehículos.** Hace referencia al tiempo promedio de llegada entre vehículos cargados de caña, el cual se parametriza a través del modulo **Create** de Arena.
- 2. Numero de vehículos.** Hace referencia al número total de vehículos que serán evaluados una vez ingresen en el sistema.
- 3. Tipo de Caña.** Este dato hace referencia a las características de la caña que tendrán los vehículos que ingresen ya sea *Larga o corta* y esto determina el tipo de mesa a la que tendrán que acudir los vehículos en promedio se tiene una proporción de 60% 40% (*Valores aportados según históricos manejados por el personal del ingenio*) para *Larga y Corta* respectivamente. En el modelo se define:

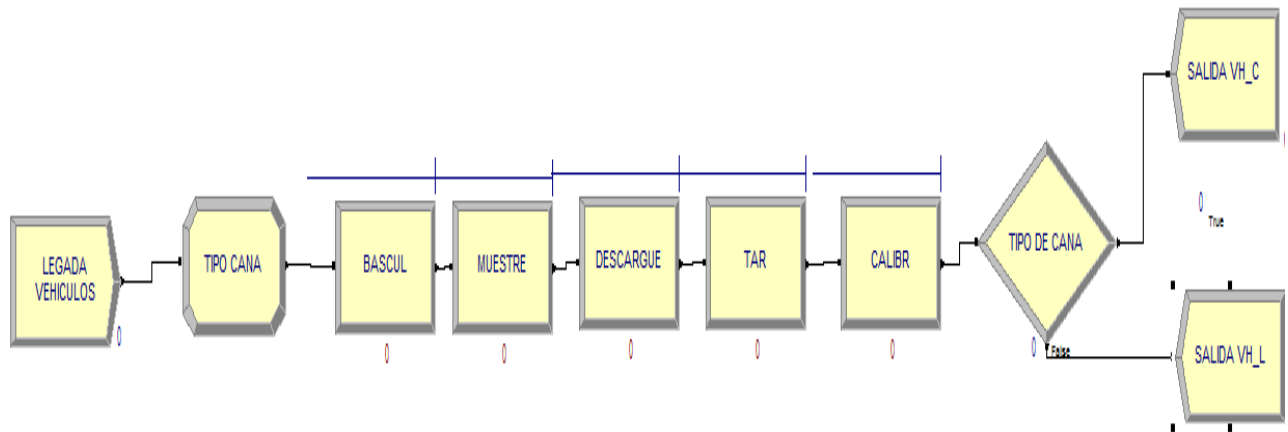
VH_C como el vehículo cargado con caña corta y **VH_L** al vehículo cargado con caña larga respectivamente.

4. **Tiempo en Bascula.** Dato del tiempo promedio que demora un vehiculo al momento de ser pesado.
5. **Tiempo Muestreo.** Dato del tiempo promedio que demora un vehiculo en la estación de muestreo de caña.
6. **Tiempo Descargue.** Dato del tiempo promedio que demoran los vehículos descargando caña en las mesas para el modelo se parametrizan el ingenio caso de estudio cuenta con dos mesas una para caña corta y otra para caña larga las cuales se parametrizan como recursos **MESA_C y MESA_L** respectivamente.
7. **Tiempo Tara.** Dato del tiempo promedio que demora un vehiculo en la tara o pesaje de vehiculo vacio (*sin carga de caña*).
8. **Tiempo Calibre.** Dato del tiempo promedio que demoran los vehículos siendo calibrados.

Estructuración del modelo

Una vez creados todos los módulos, se procede a conectarlos secuencialmente para darle flujo a la entidad que se mueve por el sistema. Se debe tener en cuenta que automáticamente se crea un proceso con uno o varios recursos Arena automáticamente asigna una **Queue** o fila a cada uno, la cual una vez se corra el modelo dará un reporte del tiempo que pasa la entidad en dicha fila.

Ilustración 1 Estructura modelo escenario REAL.



Fuente: Elaboración propia, 2016

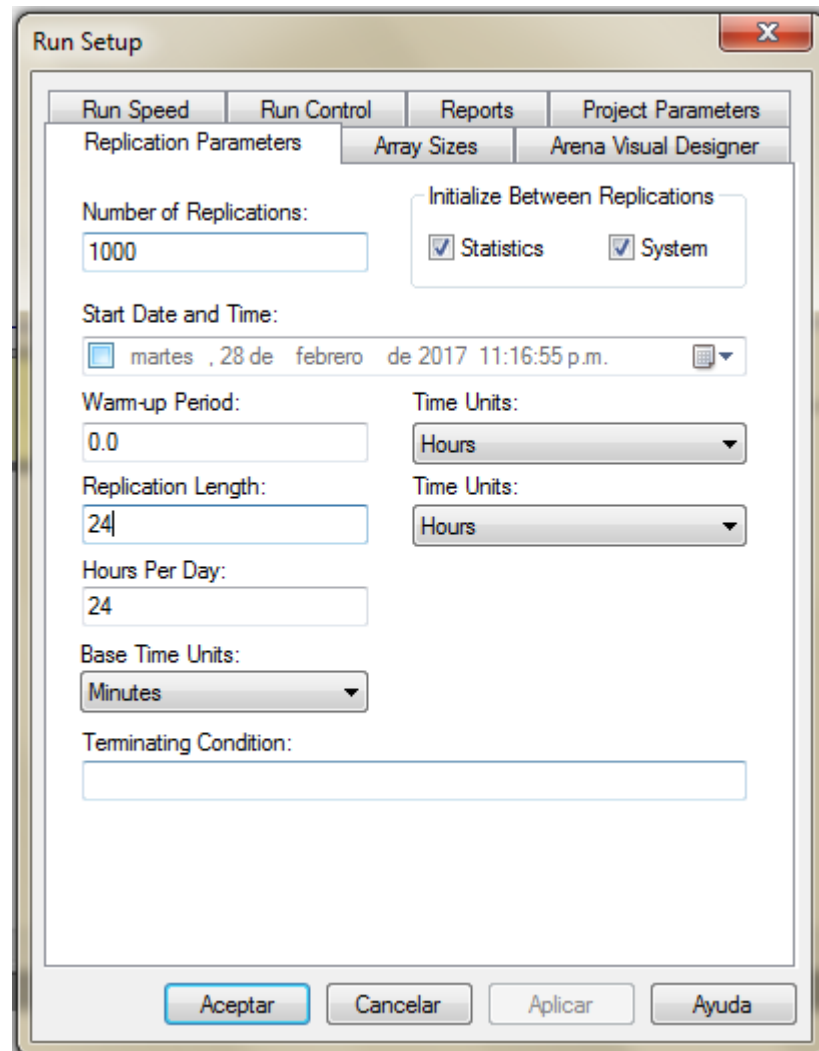
Parametrización para corrida de modelo

Para la primera corrida del modelo se tienen en cuenta lo siguientes parámetros:

- ❖ Numero de réplicas, que para este caso será mil (*debido a que con este valor se normaliza el proceso que se pretende simular*) replicas con el fin de minimizar el margen de error.
- ❖ Rango de tiempo el cual estará contemplado para un día de trabajo (**24 horas**)

A continuación, se muestra dicha parametrización:

Ilustración 2. Parametrización modelo para un día de producción (24 horas).



Fuente: Elaboración propia, 2016

Variables de Salida:

Las Variables de salida del modelo son:

1. Tiempo de espera de vehiculo en ser pesado.
2. Tiempo de espera de vehiculo en muestreo.
3. Tiempo de espera de vehiculo en las mesas de descargue.
4. Tiempo de espera de vehiculo en Tara.

5. Tiempo de espera de vehiculo en Calibre.
6. Numero de vehiculos cargados con caña larga en entrar.
7. Numero de vehiculo cargados con caña larga en salir.
8. Numero de vehículos cargados con caña corta en entrar.
9. Numero de vehículos cargados con caña corta en salir.
10. Numero de vehículos en el sistema.
11. Tiempo total de ciclo.
12. Tiempo total de Proceso.

Una vez identificadas las variables y parametrizadas en el modelo se procede a darle corrida el cual arroja los siguientes resultados.

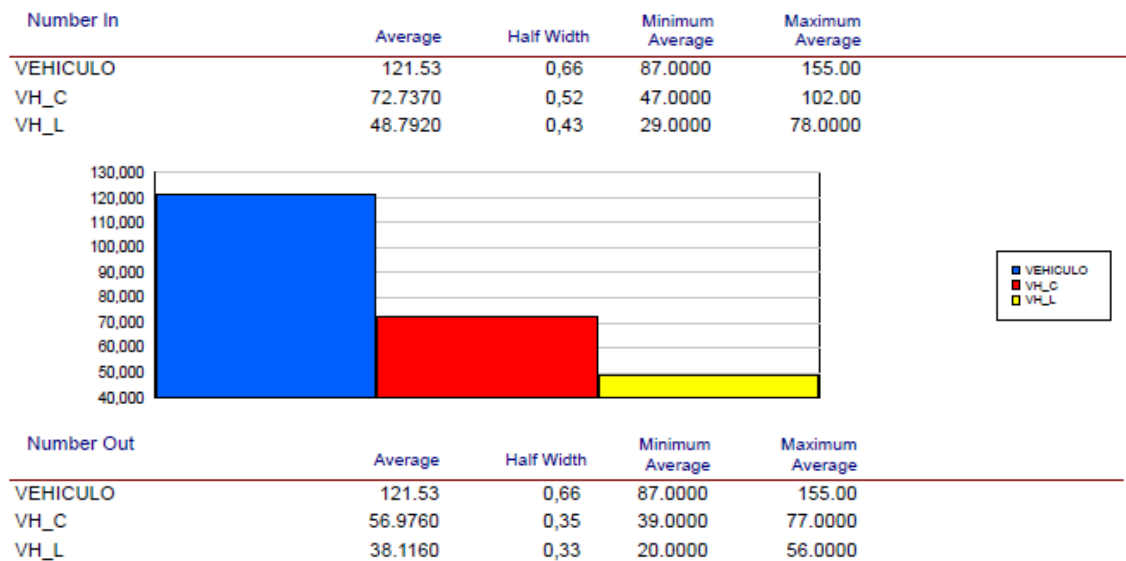
Tabla 1. Promedio de utilización de recursos (Escenario Real)

Entity						
Time						
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
VH_C	34.8804	< 0,07	31.4933	38.9817	11.9807	66.7365
VH_L	34.9267	< 0,08	30.7943	40.9468	13.1004	68.2612

Fuente: Elaboración propia, 2016

El **VA Time** hace referencia al tiempo en el sistema de cada vehículo utilizando recursos que en promedio según los resultados de la simulación es de alrededor de **35 minutos** por cada tipo de vehículo.

Grafica 19. Total vehículos que ingresan y salen del sistema (Escenario Real)



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la **Gráfica 17** podemos observar dos tablas, en la primera nos muestra el número de vehículos que ingresan al sistema (*Number In*) en promedio fueron **72 y 49** para **vehículo de caña corta y vehículo de caña larga** respectivamente.

Luego tenemos el número de vehículos que salen del sistema (*Number Out*) que según el modelo fueron **56 y 39** para **vehículo de caña corta y vehículo de caña larga** respectivamente. Es decir, en total ingresaron **121** vehículos al sistema de los cuales salieron **95** en un periodo de 24 horas.

Tabla 2. Tiempo de procesamiento por entidad (Escenario Real)

Process						
Time per Entity						
VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BASCUL	3.7774	< 0,01	3.3228	4.3435	1.2277	22.6453
CALIBR	12.2939	< 0,02	11.1205	13.5549	0.00	29.2441
DESCARGUE	14.4385	< 0,04	12.3143	16.7055	6.0000	32.6865
MUESTRE	2.4084	< 0,00	2.2487	2.5969	1.0067	3.8176
TAR	1.9610	< 0,01	1.7062	2.3743	1.0000	12.6193
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BASCUL	1.0629	< 0,02	0.2737	2.9347	0.00	32.9664
CALIBR	8.0216	< 0,28	1.5036	41.4035	0.00	99.86
DESCARGUE	142.60	< 3,65	19.1989	323.76	0.00	622.27
MUESTRE	0.06839267	< 0,00	0.00743207	0.1912	0.00	3.8661
TAR	0.00036277	< 0,00	0.00	0.05776224	0.00	4.5052
Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BASCUL	4.8403	< 0,03	3.6364	6.8510	1.2281	37.9414
CALIBR	20.3155	< 0,29	12.8844	53.9199	0.00	119.68
DESCARGUE	157.04	< 3,66	31.8087	339.74	6.0000	650.95
MUESTRE	2.4768	< 0,00	2.2621	2.7007	1.0067	7.0344
TAR	1.9613	< 0,01	1.7062	2.3743	1.0000	12.6193

Fuente: Elaboración propia, 2016

Una vez analizada las tablas de proceso podemos identificar que:

- ❖ En la primera tabla **VA Time Per Entity** nos muestra el tiempo total que ocupa cada entidad (Vehículos) un recurso, es decir cada vehículo en promedio ocupa **3.7 minutos** la BASCULA, **2.4 minutos** el MUESTREO, **14.4 minutos** la mesa para DESCARGUE, la TARA al alrededor de **1.96 minutos** y finalmente en el calibre se tarda alrededor de unos **12.2 minutos**.
- ❖ La tabla **Wait Time Per Entity** nos indica el tiempo que espera cada entidad por un recurso en otras palabras podría interpretarse como el tiempo en cola para lo cual tenemos que los vehículos se tardan **1.1 minutos** en ingresar a la BASCULA, **0.068 Minutos** en cola para MUESTREO, **142.60 minutos** esperando en cola para ser descargados, **0 minutos** en cola para ingresar a la TARA y **8 minutos** en ingresar a el CALIBRE.

- ❖ **Total Time Per Entity** hace referencia al tiempo total que pasa cada entidad en el sistema es decir la sumatoria de los tiempos anteriores con lo que tendríamos que para el proceso de pesaje (BASCULA) el vehículo se tarda **4.8 minutos** en promedio, **2.4 minutos** en MUESTREO, **157 minutos** en el DESCARGUE y aproximadamente **20.3 minutos** en el CALIBRE.

Tabla 3. Tiempo en cola (Escenario Real).

Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BASCUL.Queue	1.0632	< 0,02	0.2905	2.9347	0.00	32.9664
CALIBR.Queue	8.0354	< 0,28	1.5036	41.0129	0.00	99.86
DESCARGUE.Queue	143.90	< 3,67	19.3010	327.38	0.00	645.75
MUESTRE.Queue	0.06837695	< 0,00	0.00743207	0.1896	0.00	3.8661
TAR.Queue	0.00036254	< 0,00	0.00	0.05776224	0.00	4.5052

Fuente: Ingenio caso de estudio, 2016

- ❖ La **Tabla 3** nos muestra los tiempos en cola por cada recurso que coincide en su mayoría con la tabla **Wait Time Per Entity** para lo cual tenemos que los vehículos se tardan **1 minuto** en ingresar a la BASCULA, **0.068 Minutos** en cola para MUESTREO, **143.90 minutos** esperando en cola para ser descargados, **0 minutos** en cola para ingresar a la TARA y **8 minutos** en ingresar a el CALIBRE.

Una vez validada los resultados de la simulación se comparan los tiempos promedios de los registros tomados en el ingenio en el levantamiento de la información vs los resultados del modelo:

Tabla 4. Levantamiento de Información vs Resultados Modelo (Real)

	Levantamiento de Información	Resultados Modelo (Real)
Tiempo Proceso / Tiempo de espera.	Promedio (Minutos)	Promedio (Minutos)
Espera Bascula	4,01	1
<i>Bascula</i>	3,57	3,7
<i>Espera muestreo</i>	1,49	0,068
<i>Muestreo</i>	2,37	2,4
<i>Espera descargue</i>	23,38	143,9
<i>Descargue</i>	14,34	14,4
<i>Espera Tara</i>	5,05	0
<i>Tara</i>	2,08	1,96
<i>Espera Calibre</i>	8,16	8
<i>Calibre</i>	12,36	12,2
Total	76,81	187,628

Fuente: Ingenio caso de estudio, 2016

Como se evidencia hay diferencia significativa entre los tiempos de espera de cada proceso sin embargo, se debe tener en cuenta que el modelo simula los tiempos con base en la entrada de vehículos en un periodo de 24 horas y el levantamiento de información tiene en cuenta los tiempos que el ingenio permitió el ingreso a los patios para la toma de los mismos.

Es decir, si se tomaran los tiempos de todos los vehículos que ingresan al sistema durante dicho periodo este se normalizaría y nos arrojaría que los tiempos en cola de cada vehículo aumentan en razón al ingreso de cada uno ya que los tiempos de procesamiento tanto para el levantamiento de la información como para el modelo son los mismos.

Dicho esto, tenemos que en promedio a medida que ingresa un vehículo al patio tarda alrededor de **187.6 minutos** o **3.10 horas** en realizar todo el proceso.

6.4.3 Elaboración de modelo con mejora propuesta.

Para la simulación del modelo con la mejora propuesta se tuvieron en cuenta la implementación de 4 tractores los cuales tendrán la función de liberar los vehículos cargados cuando las mesas estuvieran ocupadas, y posteriormente ser enganchados con vagones vacíos para salir a las suertes nuevamente para ser reabastecidos de caña.

Tener en cuenta que los vagones de caña desenganchados tienen que ser llevados a las mesas, pero siempre y cuando estas se encuentre desocupadas de lo contrario los vagones será llevados por los tractores a almacenamiento esto con el fin de garantizar el flujo constante de vehículos y que el proceso presenten el menor tiempo de espera en colas entre procesos.

Dicho esto, para la elaboración de la mejora propuesta se adicionan las siguientes variables de entrada:

1. **Tiempo Desenganche.** Hace referencia al tiempo que se ocupa en desenganchar un vehiculo cargado de caña.
2. **Tiempo de Enganche.** Hace referencia al tiempo que se ocupa en enganchar los vagones cargados de caña a los tractores que se encargaran de terminar el proceso en el sistema.

Una vez asignadas estas dos nuevas variables y dándole corrida al modelo se obtuvieron los siguientes resultados:

Resultados del modelo propuesta de mejora:

Tabla 5. Promedio de utilización de recursos (Escenario mejora).

Entity						
Time						
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
TRAC	3.7639	< 0,06	0.4129	7.1160	0.00	32.44
VEHICULO_LIBRE	17.2987	< 0,05	14.9826	19.8794	6.9012	45.54
VH_C	22.7270	< 0,07	19.3111	26.1601	9.8197	50.34
VH_L	22.7307	< 0,08	18.9862	27.4054	10.0095	50.24

Fuente: Ingenio caso de estudio, 2016

El **VA Time** nos muestra que en promedio la utilización de los recursos con la mejora propuesta es de alrededor de **22 minutos** por cada tipo de vehículo y tan solo **17 minutos** por los vehículos que son desenganchados ya que estos no entran al proceso de descargue mesas.

Tabla 6. Entidades que entran al sistema (Escenario mejora).

Entity				
Other				
Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
TRAC	51.5740	0,66	17.0000	95.0000
VEHICULO	121.47	0,65	91.0000	155.00
VEHICULO_LIBRE	51.5740	0,66	17.0000	95.0000
VH_C	103.82	0,90	59.0000	160.00
VH_L	69.2270	0,75	32.0000	112.00

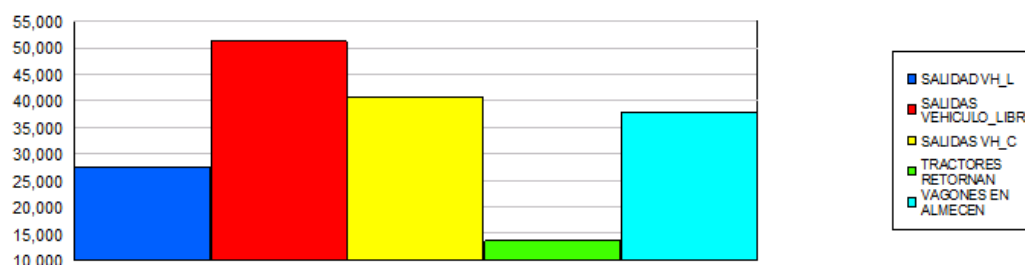
Fuente: Ingenio caso de estudio, 2016

Al igual que en el modelo real nn promedio ingresan **121 vehículos** de los cuales **72** están cargados con caña corta y **49** caña larga para un porcentaje del 60% y 40% respectivamente.

Grafica 20. Número de vehículos de entrada y de salida 2

Counter

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
SALIDAD VH_L	27.4180	< 0,27	12.0000	42.0000
SALIDAS VEHICULO_LIBRE	51.1520	< 0,65	17.0000	94.0000
SALIDAS VH_C	40.6390	< 0,30	27.0000	57.0000
TRACTORES RETORNAN	13.5840	< 0,24	1.0000	27.0000
VAGONES EN ALMECEN	37.6990	< 0,51	12.0000	74.0000



Fuente: Elaboración propia, 2016

Para las salidas del sistema los contadores “**Record**” nos muestran que **121 vehiculos** que ingresan al sistema y que este mismo numero sale de el a diferencia del modelo real donde solo 95 de los vehículos que ingresaban salían, sin embargo en este escenario de mejora por podemos observar que alrededor de **41 vehiculos cargados con caña corta y 28 vehiculos** cargados con **caña larga** realizan el proceso de descargue con normalidad. Por el contrario los otros **52 de vehículos** ingresan al proceso de desenganche siendo de este total **38** almacenados en los patios y **14** descargados por los tractores en las mesas; es decir que bajo este resultado pordemos afirmar que **52 vehiculos** (43%) ingresan al sistema y son liberados inmediatamente para salir a realizar nuevamente el abastecimiento en las suertes.

Tabla 7. Tiempos de procesamiento por entidad (Escenario Mejora)

Process						
Time per Entity						
VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BASCUL	3.7839	< 0,01	3.2734	4.4785	1.2280	20.7165
DESCARGUE	14.3791	< 0,05	12.2486	16.8525	6.0000	32.7664
DESENGANCHE	3.9790	< 0,02	3.1010	5.2016	2.0001	23.2135
MUESTRE	2.4054	< 0,00	2.2257	2.5969	1.0060	3.8159
TAR	1.9542	< 0,01	1.7099	2.2418	1.0000	13.6329
VOLTEO	5.4197	< 0,04	3.4536	8.0130	1.0000	19.9974
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BASCUL	1.0666	< 0,02	0.2065	3.3179	0.00	30.4219
DESCARGUE	7.6457	< 0,06	4.8415	10.8101	0.00	31.8683
DESENGANCHE	0.5161	< 0,02	0.00992928	2.6512	0.00	20.3524
MUESTRE	0.06800405	< 0,00	0.00629153	0.1944	0.00	4.4929
TAR	0.1729	< 0,00	0.02025016	0.4369	0.00	12.1532
VOLTEO	2.0767	< 0,07	0.1508	10.1372	0.00	53.9104
Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BASCUL	4.8506	< 0,03	3.6177	7.3738	1.2280	34.3251
DESCARGUE	22.0248	< 0,09	17.5033	27.4950	6.0000	62.3418
DESENGANCHE	4.4951	< 0,03	3.1655	6.7089	2.0001	23.6292
MUESTRE	2.4734	< 0,00	2.2642	2.6946	1.0060	7.0823
TAR	2.1270	< 0,01	1.7350	2.5591	1.0000	14.0279
VOLTEO	7.4964	< 0,10	4.0481	16.5523	1.0000	58.9728

Fuente: Ingenio caso de estudio, 2016

Las tablas de tiempos de cada proceso para el modelo con la propuesta implementada nos muestra un reducción significativa en el tiempo total por cada entidad ya que para este caso fue de **4.8 minutos** en para el proceso de pesaje (BASCULA), de **2.4 minutos** en MUESTREO, **22 minutos** en el DESCARGUE. Además se tienen en cuenta los tiempo de desenganche y volteo del equipo los cuales fueron de **4.4 y 7.4 minutos** respectivamente.

Tabla 8. Tiempo en cola (Escenario mejora)

Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BASCUL.Queue	1.0663	< 0,02	0.2065	3.3179	0.00	30.4219
DESCARGUE.Queue	7.6540	< 0,06	4.8415	10.8967	0.00	31.8683
DESENGANCHE.Queue	0.5163	< 0,02	0.00992928	2.6512	0.00	20.3524
MUESTRE.Queue	0.06803019	< 0,00	0.00629153	0.1944	0.00	4.4929
TAR.Queue	0.1729	< 0,00	0.02025016	0.4338	0.00	12.1532
VOLTEO.Queue	2.0801	< 0,07	0.1508	10.1372	0.00	53.9104

Fuente: Ingenio caso de estudio, 2016

- ❖ Para el modelo propuesto para la mejora nos describe que los tiempos en cola por cada recurso son **1 minuto** en ingresar a la BASCULA, **0.068 Minutos** en cola para MUESTREO, **7.6 minutos** esperando en cola para ser descargados, **0 minutos** en cola para ingresar a la TARA, **0.51 minutos** en ser desenganchado y **2 minutos** en el volteo de equipo.

6.4.4 Escenario alternativo 1 (Almacén lleno)

Con el fin de validar los diferentes escenarios que se puedan presentar, se estructura el modelo de mejora donde se cuenta con los 4 tractores propuestos, sin embargo, esta vez se asume que el ingenio no cuenta con un almacén o en su defecto este se encuentra a tope esto con el objetivo de observar el comportamiento que pueda tener el proceso de abastecimiento en el ingenio para los supuestos donde no se realice el descargue de los vagones almacenados y estos se acumulen en el almacén una vez se corre el modelo arroja el reporte el cual se puede verificar en los Anexos de este documento arrojando los siguientes resultados:

Tabla 9. Resultados escenario alternativo 1 (Almacen Lleno)

<i>Tiempo Proceso</i>	<i>Promedio (Minutos)</i>
Espera Bascula	1
Bascula	3.7
Espera muestreo	0.066
Muestreo	2.4
Desenganche	3.9
Enganche (Volteo)	5.4
Espera descargue	137.76
Descargue	14.4
Espera Tara	0.150
Tara	1.95
Espera Calibre	-
Calibre	-
Promedio total tiempo Procesamiento	170,726

Fuente: Elaboracion porpia, 2017

6.4.5 Escenario alternativo 2 (2 Tractores)

Al igual que en el escenario anterior se evaluara otro caso pero esta vez se asume que solo se cuenta con los 2 de los 4 tractores prouestos para la mejora, esto con el fin de asumir que este modelo aplica para casos en que se averíen 2 tractores o por el contrario el ingenio solo opta por implementar la mitad de los tractores propuestos esto por cuestion de presupuesto.

Una vez reestructurado el modelo se obtienen los siguientes resultados (*ver anexos del documento*) :

Tabla 10 Resultados escenario alternativo 2 (2 Tractores)

<i>Tiempo Proceso</i>	<i>Promedio (Minutos)</i>
Espera Bascula	1
Bascula	3.7
Espera muestreo	0.068
Muestreo	2.4
Desenganche	3.9
Enganche (Volteo)	5.4
Espera descargue	9.2
Descargue	16.4
Espera Tara	0.180
Tara	1.95
Espera Calibre	-
Calibre	-
Promedio total tiempo Procesamiento	44,198

Fuente: Elaboracion propia, 2017

A continuación se realiza una comparación de los de los resultados, de todas las simulaciones realizadas con el fin de validar el comportamiento del sistema dado el caso que se presente alguno de los supuestos planteados anteriormente:

Tabla 11. Comparacion Resultados

	Levantamiento de Información	Resultados Modelo (Real)	Resultados Modelo (Mejora)	Escenario alternativo 1	Escenario alternativo 2
<i>Total Vehiculos en Ingresar</i>	-	121	121	121	121
<i>Total vehículos en salir</i>	-	95	121	120	120
<i>Vehiculos en almacen</i>	-	-	37	-	43
Proceso	Promedio (En minutos)				
Espera Bascula	4,01	1	1	1	1
Bascula	3,57	3.7	3.7	3.7	3.7
Espera muestreo	1,49	0,068	0.068	0.066	0.068
Muestreo	2,37	2,4	2.4	2.4	2.4
Desenganche	-	-	3.9	3.9	3.9
Enganche (Volteo)	-	-	5.4	5.4	5.4
Espera descargue	23,38	143,9	7.6	137.76	9.2
Descargue	14,34	14,4	14.3	14.4	16.4
Espera Tara	5,05	0	0.179	0.150	0.180
Tara	2,08	1,96	1.95	1.95	1.95
Espera Calibre	8,16	8	-	-	-
Calibre	12,36	12,2	-	-	-
Promedio total tiempo Procesamiento	76,81	187,628	40,5	170,726	44,198

Fuente: Ingenio caso de estudio, 2016

Tal y como se evidencia la mejora propuesta disminuye el tiempo promedio que actualmente tiene el ingenio para el abastecimiento de caña de **187.6 minutos o 3.10 horas a 40,5 minutos** en realizar todo el proceso. Además que garantiza una mayor salida de vehículos hacia las suertes minimizando drásticamente los tiempos improductivo u ociosos.

Ademas se debe considerar que la disvariedad entre el modelo de mejora y el escenario alternativo 2 no es significativa es por esta razón que el ingenio podría adoptar la implmentacion de dos tractores ya que esto de cierta manera también aumentaría el flujo en el proceso de abastecimiento de caña en el ingenio.

7 CONCLUSIONES

En este proyecto se realizó la aplicación de los principios de las herramientas **Lean Manufacturing** como lo son el **Value Stream Mapping (VSM)** y la Simulación de procesos a través el software **Arena** con el objetivo de dar solución a los problemas de abastecimiento que presenta el ingenio caso de estudio se propuso un mapeo de la cadena de valor del escenario real el cual sirvió como insumo para realizar la simulación y así identificar con mayor facilidad las fallas encontradas en el sistema, con el propósito de realizar un nuevo modelo que contemplara las posibles mejoras que podría tener el sistema.

- ❖ En la situación inicial del sistema estudiado, alrededor del 80% del tiempo que los vehículos de transporte permanecían en el patio es tiempo improductivo.
- ❖ Se identifico que el tiempo total del proceso sin incurrir en ninguna mejora era de alrededor de 34,66 minutos sin embargo los tiempo de espera hacen que este valor aumentara hasta redondear las 3 horas es por esta razón que se determina que una mejora en el proceso de descargue de caña es necesaria para aumentar no solo la productividad de la planta sino también la correcta asignación de los recursos de la plata.
- ❖ La mejora propuesta revela que siendo esta implementada se tendría un aumento en el flujo de vehículos que ingresan al sistema de hasta un 50% y reduciría el tiempo total de proceso de **3 horas a 45,5 minutos**.
- ❖ Dado el caso que el ingenio caso de estudio decida implementar la mejora podría dar cumplimiento a la producción diaria ya que actualmente en condiciones normales el sistema tiende a saturarse luego de ingresar el vehículo numero 45, siendo la mejora implementada podría atender alrededor de 121 vehículos diarios.
- ❖ Se identifica que el ingenio caso de estudio debe además reestructurar el procesos de **calibre** ya que este puede ser más eficiente si lo vagones que esperan por ser enganchados ya han sido calibrados con anterioridad siendo este un principio de la herramienta lean manufacturing **SMED**

8 RECOMENDACIONES

- ❖ Para posibles mejoras se debe evaluar el modelo bajo condiciones como el mal clima, ya que dadas las restricciones del ingenio caso de estudio solo se pudieron tomar los datos correspondientes al proceso en condiciones normales.
- ❖ El ingenio caso de estudio debe proporcionar la información relevante a los costos en que incurre el proceso actualmente. Esto con el fin de hacer un estimado de cuanta es la pérdida actual en unidades monetarias y cuánto podría ser el ahorro una vez se implementen las mejoras propuestas.
- ❖ Se debe estimar cuanto es el costo de los 4 tractores y en cuanto tiempo se recupera la inversión una vez el proceso se normalice.
- ❖ Se debe considerar realizar una correcta asignación de los vagones una vez se apilen en el patio esto con el fin de facilitar el enganche, el calibrado y el posterior almacenamiento de los mismos.

8.1 Futuras líneas de trabajo

Entre las futuras líneas de trabajo identificadas están:

- ❖ Optimización del tiempo de almacenamiento de los vehículos para ser descargados.
- ❖ Estudio de modelo para la toma de decisiones en patio sobre el sitio de descargue.
- ❖ Realizar la identificación y optimización del inventario de seguridad de caña en la planta.
- ❖ Modelar y estudiar el efecto del tiempo de permanencia de la caña en el patio en función de la pérdida de sacarosa.
- ❖ Modelar y estudiar la frecuencia de mantenimientos preventivos a equipos para garantizar una reducción en las fallas de los vehículos y tractores.

BIBLIOGRÍFIA

- AMÚ, L.G.**, 2011. Modelo de simulación y optimización para la gestión logística del sistema de abastecimiento de caña en un ingenio sucro-alcoholero colombiano. pp 52
- AMÚ, L.G.**, 2010. Logística de cosecha: Evaluación de tiempos y movimientos. Indicadores y Control, Revista Técnicaña No. 26
- AMU, Luis G, COBO, Diego F, ISAACS, Camilo H, GOMEZ, Adolfo.** 2007 Simulación de la logística de abastecimiento de caña utilizando el software Crystal Ball. Cenicaña
- ASOCAÑA**, Informe 2011-2012.
- BASKENT, E.Z., KELES, S.**, 2005. Spatial forest planning: a review. Ecological Modelling 188, 145–173.
- BASTIDAS, V.E., BUITRAGO, M.A., MONSALVE, F.E., QUIÑONEZ, J.A.**, 2013 Evaluación de la aplicabilidad del Lean Manufacturing y la simulación orientada al proceso en el contexto de una empresa vallecaucana
- BOCANEGRA, C.C.**, 2013. Modelo de simulación del abastecimiento de biomasa de caña de azúcar como sistema de soporte a las decisiones de cosecha. pp 13.
- CAIXETA-FILHO, J.V.**, 2006. Orange harvest scheduling management: a case study. Journal of the Operational Research Society 57, 637–642.
- CENICAÑA**, Estandarización de los sistemas de medición en los ingenios azucareros de Colombia, San Antonio de los Caballeros, 2012. 86 p.
- FAJARDO, E.Y.**, 2013. Conceptualización y experimentación de un modelo de simulación para el control de abastecimiento en la cadena de la caña de azúcar.
- GILES, R.C., BEZUIDENHOUT, C.N., LYINE, P.W.L.** Evaluating the feasibility of a sugarcane vehicle, delivery scheduling system-a theoretical study. International sugar journal. Vol 110 N. 1312. 2008 pp 242-247

GRUNOW, M., WESTINNER, R. Supply optimization for the production of raw sugar. Department of Production Management, TU Berlin, Wilmersdorfer Str. 148, 10585 Berlin, Germany. Marzo 2007.

HANEMANN, R., & GONZALES, O., 2006 Value Stream Mapping aplicado al sector servicios

HANSEN, A.C., BARNES, A.J., LYNE, P.W.L An integrated approach to simulating sugar cane harvest to mill delivery systems. An ASAE meeting presentation, 1998

HIGGINS, A., THORBURN, P., ARCHER, A., JAKKU, E., Opportunities for value chain research in sugar industries. Agricultural systems 94 (2007) 611-621

IANNONI, A.P., MORABITO, R. A discrete simulation analysis of a logistics supply system. Transportation Research Part E. Department of Production Engineering, Federal University of Sao Carlos, 13565-905 Sao Carlos, SP, Brazil 2004

LARRAHONDO AGUILAR, J.E., & BRICEÑO BELTRÁN, Una aproximación a la reducción de las pérdidas de sacarosa entre cosecha y molienda en el sector azucarero colombiano. Cali, Cenicaña, 2004. pp 22

Le GAL, P.Y., MEYER, E., LYNE, P., CALVINHO, O., 2004. Value and feasibility of alternative cane supply scheduling for a South African mill supply area. Proceedings of the South African Sugar Technologists Association 79, 81–94.

MATOS RAMIREZ, N., & GARCIA CISNEROS, E., Evaluación técnica y de explotación de los camiones en la transportación de la caña. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 21, No. 2, 2012

RODRÍGUEZ, S.R., 2011 Propuesta de mejoramiento para el proceso de clasificación de una plataforma Cross Docking mediante el uso de herramientas Lean Manufacturing

SALOMON, S., 2009. Post-harvest deterioration of sugarcane, Sugar Tech, Springer, (2), 109-123.

SERNA, B., 2014. Aplicación de n diseño de experimento que contribuya a minimizar las pérdidas de sacarosa en patio de caña para un ingenio azucarero del valle del cauca. pp 17-18