



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS EN LA BODEGA DE REPUESTOS Y
MATERIALES EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DEL INGENIO SANTA ANA S. A.**

Keila Paola López Orellana

Asesorado por el Ing. Edwin Manolo Tock Amézquita

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS EN LA BODEGA DE REPUESTOS Y
MATERIALES EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DEL INGENIO SANTA ANA S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

KEILA PAOLA LÓPEZ ORELLANA

ASESORADO POR EL ING. EDWIN MANOLO TOCK AMÉZQUITA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford Estrada
EXAMINADOR	Ing. Víctor Hugo García Roque
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS EN LA BODEGA DE REPUESTOS Y MATERIALES EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DEL INGENIO SANTA ANA S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha febrero de 2015.



Keila Paola López Orellana

Guatemala, 19 de junio de 2015

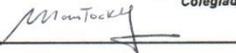
Ingeniero
Cesar Ernesto Urquizú Rodas
Director Escuela Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por el presente medio le comunico que el trabajo de graduación de la alumna **KEILA PAOLA LÓPEZ ORELLANA**, quien se identifica con el carné universitario **200925235**, con título **APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS EN LA BODEGA DE REPUESTOS Y MATERIALES EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DEL INGENIO SANTA ANA S.A.** fue asesorado y revisado por mi persona y cumple con los requisitos solicitados por, lo que sugiero su aprobación.

Agradeciendo el apoyo.

Atentamente,

Edwin Manolo Tock Amézquita
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 9742



Edwin Manolo Tock Amézquita
Colegiado No. 9742

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.REV.EMI.094.015

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS EN LA BODEGA DE REPUESTOS Y MATERIALES EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DEL INGENIO SANTA ANA S.A.**, presentado por la estudiante universitaria **Keila Paola López Orellana**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Danilo González Trejo
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO ACTIVO 8182

Ing. Erwin Danilo González Trejo
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2015.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.137.015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS EN LA BODEGA DE REPUESTOS Y MATERIALES EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DEL INGENIO SANTA ANA S. A.**, presentado por la estudiante universitaria **Keila Paola López Orellana**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Sergio Antonio Torres Méndez
DIRECTOR a.i.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, julio de 2015.

/mgp

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.367-2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS EN LA BODEGA DE REPUESTOS Y MATERIALES EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DEL INGENIO SANTA ANA S. A.**, presentado por la estudiante universitaria: **Keila Paola López Orellana**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Franco
Decano



Guatemala, julio de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por todo lo que me ha dado y permitirme llegar a este momento.
Mis padres	Faustino López y Ciomara Orellana, por todo su apoyo y amor.
Mis hermanos	Sergio, Astrid y Adaly López Orellana, por todo el apoyo en los momentos más difíciles.
Mis sobrinos	Diego López, Sebastián y Santiago Oscar, por toda la alegría que le dan a mi vida.
Mis tías	Ingrid y Ericka Cuque, Verónica y Carmen Orellana, Yolanda y Miriam López, Por transmitirme todos sus valores para ser una mejor persona.
Mis abuelos	Alicia de León, Francisca Martínez e Isabel López, por transmitirme su sabiduría a lo largo de mi vida.
Mis primos	Por todo su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.
Mis amigos	Por su amistad incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y muchas bendiciones.
Mi familia	Por todo su apoyo a lo largo de mi vida.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitir que me forme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por todo el conocimiento adquirido a lo largo de mi carrera.
Ingenio Santa Ana	Por haberme permitido desarrollar el presente trabajo de graduación.
Ing. Erick Cruz	Por todo su apoyo incondicional.
Ing. Manolo Tock	Por todo su apoyo en la asesoría del presente trabajo de graduación.
Mis amigos	Por brindarme su apoyo en los momentos más difíciles.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Ingenio Santa Ana S. A.....	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Historia.....	2
1.1.3. Misión.....	4
1.1.4. Visión.....	4
1.1.5. Organización.....	4
1.1.5.1. Organigrama.....	9
1.1.6. Proceso productivo.....	10
1.1.7. Productos comercializados.....	18
1.2. Teoría de colas.....	19
1.2.1. Sistema de colas.....	19
1.2.1.1. Cola.....	20
1.2.1.2. Cliente.....	20
1.2.1.3. Patrón de llegada de los clientes.....	20
1.2.1.4. Patrón de servicio de los servidores.....	21
1.2.1.5. Disciplina de la cola.....	21
1.2.1.6. Capacidad del sistema.....	22

1.2.1.7.	Número de canales de servicio.....	22
1.2.1.8.	Número de etapas de servicio	23
1.2.2.	Terminología y notación	24
1.2.3.	Fórmulas	25
1.2.4.	Costos de los sistemas de espera	26
1.2.4.1.	Costo de espera	26
1.2.4.2.	Costo de servicio	27
1.2.4.3.	Sistema de costo mínimo.....	27
1.2.4.3.1.	Notación	28
1.2.5.	Modelos.....	29
1.2.5.1.	Modelo de una cola con un servidor (M/M/1)	29
1.2.5.2.	Modelo de una cola con múltiples servidores (M/M/s)	30
1.2.5.3.	Modelo de una cola con un servidor y sistema limitado (M/M/1/K).....	31
1.2.5.4.	Modelo de una cola con múltiples servidores y sistema limitado (M/M/s/K)	32
2.	SITUACIÓN ACTUAL	35
2.1.	Organigrama de la bodega de repuestos y materiales	35
2.2.	Descripción del proceso de servicio	36
2.3.	Diagramas del proceso	39
2.3.1.	Diagrama de flujo del proceso	40
2.3.2.	Diagrama de recorrido.....	41
2.4.	Características del proceso	42
2.4.1.	Proceso de llegada.....	42
2.4.1.1.	Tasa promedio de llegadas.....	43

2.4.2.	Tasa promedio de servicio	44
2.4.3.	Disciplina de la cola	46
2.5.	Estado estable	46
2.5.1.	Probabilidad de cero clientes en el sistema	46
2.5.2.	Número de clientes promedio en la cola	48
2.5.3.	Número de clientes promedio en el sistema.....	49
2.5.4.	Tiempo promedio que un cliente permanece en la cola	50
2.5.5.	Tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema.....	51
2.5.6.	Probabilidad que un número específico de clientes esté en el sistema	52
2.6.	Factor de utilización.....	55
2.7.	Estimación de costos.....	57
3.	PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS.....	61
3.1.	Análisis de problemas del sistema actual	61
3.2.	Acciones correctivas del proceso a implementar	62
3.3.	Descripción del proceso de servicio propuesto	64
3.4.	Diagrama de flujo del proceso	65
3.5.	Características del proceso propuesto.....	66
3.5.1.	Proceso de llegadas	66
3.5.1.1.	Tasa promedio de llegadas	67
3.5.2.	Tasa promedio de servicio	67
3.5.3.	Disciplina de la cola	67
3.6.	Medición del método propuesto.....	68
3.6.1.	Probabilidad de cero clientes en el sistema	68
3.6.2.	Número promedio de clientes en la cola	69
3.6.3.	Número promedio de clientes en el sistema.....	71

3.6.4.	Tiempo promedio que un cliente permanece en la cola.....	72
3.6.5.	Tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema	73
3.6.6.	Probabilidad que un número específico de clientes esté en el sistema.....	74
3.7.	Factor de utilización	77
3.8.	Estimación de costos del método propuesto	79
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	81
4.1.	Comparación del método actual y método propuesto.....	81
4.1.1.	Tasa promedio de llegadas	81
4.1.2.	Tasa promedio de servicio.....	82
4.1.3.	Disciplina de la cola.....	82
4.1.4.	Probabilidad de cero clientes en el sistema	82
4.1.5.	Número promedio de clientes en la cola.....	83
4.1.6.	Número promedio de clientes en el sistema	85
4.1.7.	Tiempo promedio que un cliente permanece en la cola.....	86
4.1.8.	Tiempo promedio que un cliente permanece en el servicio	87
4.1.9.	Probabilidad que un número específico de clientes estén en el sistema.....	88
4.2.	Factor de utilización	90
4.3.	Estimación de costos	94
4.4.	Diagrama del proceso	95
4.4.1.	Comparación del flujo del proceso actual y propuesto	95
4.5.	Análisis de resultados	95

4.6.	Registros del proceso	98
4.6.1.	Hoja de control.....	98
4.7.	Recursos necesarios para implementar la propuesta	99
4.7.1.	Recursos técnicos.....	99
4.7.2.	Recurso económicos.....	100
4.7.3.	Recurso humano.....	101
5.	SEGUIMIENTO.....	103
5.1.	Verificación del desempeño del modelo.....	103
5.1.1.	Auditoría al cumplimiento del proceso.....	103
5.1.2.	Análisis del resultado de las auditorías	110
5.1.3.	Cumplimiento del balance entre capacidad instalada y la demanda	110
5.2.	Acciones correctivas.....	110
5.2.1.	Acciones correctivas a tomar	111
5.2.2.	Seguimiento de acciones correctivas	111
5.3.	Estadísticas	112
	CONCLUSIONES.....	119
	RECOMENDACIONES.....	121
	BIBLIOGRAFÍA.....	123
	APÉNDICE	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de ubicación del Ingenio Santa Ana	1
2.	Organigrama funcional del Grupo Corporativo Santa Ana	9
3.	Proceso productivo	17
4.	Sistema de colas	19
5.	Sistema monocanal y multicanal	23
6.	Sistema multicanal	24
7.	Forma general de costos.....	28
8.	Organigrama bodega de repuestos y materiales	35
9.	Vale de fábrica	37
10.	Vale de gastos administrativos	38
11.	Vale de la carbonera	38
12.	Vale cogeneración	39
13.	Diagrama de flujo del proceso.....	40
14.	Diagrama de recorrido.....	41
15.	Diagrama de flujo método propuesto.....	65
16.	Utilización del sistema, método actual, en zafra	90
17.	Utilización del sistema, método propuesto, en zafra.....	91
18.	Utilización del sistema, método actual, en reparación	92
19.	Utilización del sistema, método propuesto, en reparación	93
20.	Formato para el registro de inconvenientes.....	98
21.	Mobiliario y equipo	100
22.	Consulta de artículos	104
23.	Descarga de productos	105

24.	Consulta de existencia por bodega	106
25.	Registro de inventario	107
26.	Área de Recepción	108
27.	Estantes 1	108
28.	Estantes 2	109
29.	Estantes 3	109
30.	Histograma	114
31.	Diagrama de Pareto	116
32.	Diagrama Ishikawa	117

TABLAS

I.	Tasa promedio de llegadas por hora en zafra	43
II.	Tasa promedio de llegadas por hora en reparación	44
III.	Tasa promedio de servicio en zafra	45
IV.	Tasa promedio de servicio en reparación	45
V.	Probabilidad en zafra de n clientes en el sistema 1	53
VI.	Probabilidad en zafra de n clientes en el sistema 2	54
VII.	Probabilidades en reparación de n clientes en el sistema 1	54
VIII.	Probabilidades en reparación de n clientes en el sistema 2	55
IX.	Salario mínimo 2014	58
X.	Salario mínimo 2015	58
XI.	Salarios por periodo	59
XII.	Probabilidad, en zafra, de clientes en el sistema.	76
XIII.	Probabilidad, en reparación, de n clientes en el sistema 1	76
XIV.	Probabilidad, en reparación, de n clientes en el sistema 2	77
XV.	Comparación de probabilidades en zafra	88
XVI.	Comparación de probabilidades en reparación	89
XVII.	Costos totales zafra	94

XVIII.	Costos totales reparación.....	94
XIX.	Comparación de variables en zafra	96
XX.	Comparación de variables en reparación	97
XXI.	Tabla de frecuencias	113
XXII.	Diagrama de Pareto	115

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ρ	Factor de utilización
$!$	Factorial
λ	Lambda
μ	Mu
Σ	Sigma

GLOSARIO

Bagazo	Desecho de la caña de azúcar, utilizado como combustible para la generación de energía eléctrica.
Disciplina de la cola	Se refiere al orden en que los clientes se seleccionan para recibir el servicio.
Mantenimiento correctivo	Conjunto de tareas destinadas a corregir problemas que se presentan en los equipos al transcurrir el tiempo.
Mantenimiento preventivo	Programa donde se prevé las intervenciones necesarias para el buen funcionamiento del equipo.
Reparación	Periodo en el que se realiza el desmontaje, mantenimiento y mejoras a la maquinaria, para la preparación al siguiente periodo.
Tiempo entre llegadas	Tiempo que transcurre entre dos llegadas consecutivas.
Zafra	Época de recolección de la caña de azúcar y procesamiento de la misma

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se aplicó un estudio de teoría de colas a la bodega de repuestos y materiales del Ingenio Santa Ana, con la finalidad de reducir el tiempo que un operario permanece en ella y encontrar un balance con los costos de mano de obra.

En el estudio de campo se determinaron las causas que provocan un aumento significativo del tiempo, la cantidad de operarios que ingresan a la bodega y que pueden ser atendidos, la disciplina de la cola (primero entrar primero en salir), la cantidad de servidores atendiendo y el modelo de colas que se ajusta a las condiciones de la bodega (MMS). Este análisis se realizó para los dos periodos zafra (noviembre a mayo) y reparación (mayo a octubre).

Luego de establecer las condiciones actuales, se calcularon las medidas de desempeño de la bodega para ambos periodos y se analizaron los datos obtenidos, para realizar las propuestas y determinar qué situación es más favorable para cumplir con las necesidades de la empresa.

Se determinaron los recursos necesarios para implementar cada propuesta y actividades que ayuden a mejorar el sistema de despacho, incluyendo las auditorías internas y la recolección de datos de las situaciones que generen un aumento significativo en el tiempo de servicio. Los resultados se reflejan en los reportes de las auditorías internas y estadísticas de los tiempos.

OBJETIVOS

General

Aplicar un modelo de teoría de colas en la bodega de repuestos y materiales en el área de Producción del Ingenio Santa Ana S. A.

Específicos

1. Recolectar datos de la situación actual en la bodega de repuestos y materiales del Ingenio Santa Ana S. A.
2. Realizar un estudio de teoría de colas sobre la situación actual en la bodega.
3. Analizar los problemas encontrados en el estudio de teoría de colas en la bodega.
4. Establecer herramientas y procesos necesarios para mejorar el sistema de colas.
5. Realizar un estudio de teoría de colas de la propuesta de mejora al sistema.
6. Comparar los datos de la situación actual y la propuesta de mejora.

7. Realizar la comparación de estimación de costos actuales respecto de la propuesta de mejora.

INTRODUCCIÓN

El Ingenio Santa Ana S. A. ubicado en el km 64,5 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, finca interior Cerritos, departamento de Escuintla, ofrece al mercado: azúcar refinada, azúcar cruda, azúcar blanca estándar, melaza y energía eléctrica.

El funcionamiento del ingenio está dividido en dos periodos: zafra (producción de caña, noviembre a mayo) y reparación (mantenimiento, mayo a octubre), en los cuales la bodega de repuestos y materiales atiende a los operarios de las áreas de Fábrica, Cogeneración y Administrativa, proporcionando los insumos necesarios para una ejecución eficiente de los mantenimientos (predictivo, preventivo y correctivo) y nuevas inversiones.

El tiempo que los operarios utilizan para la obtención de los insumos en la bodega es importante, ya que durante este lapso no realizan las actividades programadas. Por esta razón, los operarios deben permanecer el menor tiempo posible en el sistema, ya que todas las actividades se tienen que cumplir en el tiempo establecido, de lo contrario el jefe de cada área tendrá que solicitar horas extras al Departamento de Recursos Humanos, generando un aumento significativo en los costos de mano de obra. Respecto a la problemática, es viable aplicar un estudio de teoría de colas para conocer la situación actual y proponer soluciones factibles para mejorar la productividad en el sistema de despacho.

Con el estudio de teoría de colas se determinará la capacidad de atención, la cantidad de operarios que ingresan por hora, el tiempo que permanecen en el sistema, la cantidad de personas en la cola y los costos involucrados. Para establecer si el sistema está funcionando de manera eficiente o necesita aumentar el número de despachadores, se deberá analizar cada propuesta debido a que una reducción de tiempo, aumentaría los costos de mano de obra.

1. GENERALIDADES

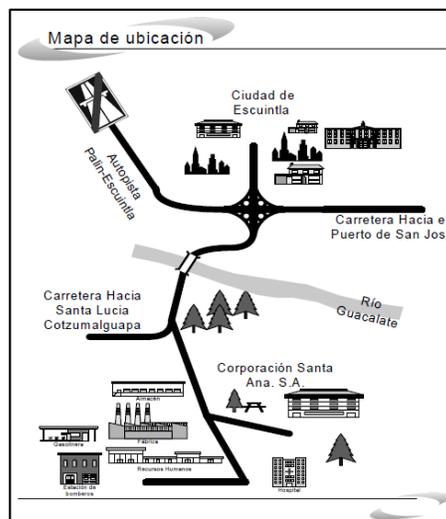
1.1. Ingenio Santa Ana S. A.

Es importante conocer los aspectos generales del Ingenio Santa Ana, los cuales ayudarán a entender el campo de aplicación de la teoría de colas.

1.1.1. Ubicación

La planta de producción del Ingenio Santa Ana esta ubicada al sur de la ciudad de Guatemala, en el departamento de Escuintla, kilómetro 64,5 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, finca interior Cerritos.

Figura 1. Mapa de ubicación del Ingenio Santa Ana



Fuente: AXPUC, Melvin. *Operación y mantenimiento de la torre de enfriamiento del ingenio Santa Ana.* p. 13.

1.1.2. Historia

A finales de la década de 1950, la familia Botrán, cuya actividad empresarial hasta entonces era el negocio de los licores, compró la finca Cerritos. Iniciaron a cultivar caña que posteriormente vendieron a los ingenios Concepción y El Salto.

Fue a mediados de la década de 1960, cuando se incrementó la demanda de azúcar en el mercado exterior, que la familia Botrán decidió entrar en el negocio del azúcar y formó una sociedad. En 1967 inició la construcción de los cimientos y se adquirió parte del equipo de los ingenios Santa Juana y Canóvanas de Puerto Rico para el montaje del ingenio.

En 1969 se realizó la primera zafra, moliéndose 154 973,75 toneladas de caña, produciendo 239 525,00 quintales de azúcar en 136 días, la capacidad instalada en esa época era de 3 500 toneladas por día. En 1983 ya se molía a razón de 7 500 toneladas por día y fue en ese año cuando se iniciaron los proyectos para mejorar la capacidad de molienda y la eficiencia. Se remodelaron patios, laboratorios, molinos, calderas y bodegas de azúcar, de manera que en la zafra de 1984, se superó el millón de quintales de azúcar envasada con 500 000 toneladas de caña molida.

En 1993 se instaló el área de Refinería, para elaborar azúcar refina de alta calidad, iniciando con azúcar sulfitada, con capacidad de 500 toneladas de endulzante por día, contando con una bodega de azúcar refina de 27 600 toneladas.

En el área de Cogeneración, el Ingenio Santa Ana ha producido su propia energía eléctrica desde el inicio de sus operaciones con 3 generadores, teniendo una potencia instalada de 3 500 kW. En 1983 se realizó el convenio de venta del excedente a la Empresa Eléctrica de Guatemala, entregando una potencia de 800 kW. En 1991, se empezó la construcción de la subestación de 69 kW que inició sus operaciones el 28 de enero de 1993. Actualmente existen dos bloques de generación, el bloque 1 con capacidad de 64,4 MW y el bloque 2 una capacidad para generar 62,4 MW. El bloque 2 fue inaugurado a finales del 2014. En época de zafra, se tiene un consumo interno en promedio de 20 MW, vendiendo el excedente a la Empresa Eléctrica, se utiliza como combustible el bagazo y carbón. En época de reparación solo se queda generando el bloque 2 con carbón.

En 1997, se inició el servicio de transporte de caña a granel, en esa época la cosecha se realizaba de forma manual y, por razones de adaptación, se transformó en una operación semimecanizada, por medio de alzadoras. Las operaciones de corte de caña comenzaron en 1977 y 1978, empleando 1 200 cortadores para cortar 1 000 toneladas de caña diaria con machete convencional. Con el tiempo, se inicia el programa de capacitación permanente para el corte de caña con machete australiano, incrementando la eficiencia en el corte, calidad del producto final y los ingresos de los cortadores.

En la zafra 2012-13 se logró alcanzar cifras récord, moliendo un total de 3 349 423,62 toneladas de caña y obteniendo 7 026 842,46 quintales de azúcar, en 174 días de producción. En la actualidad están sembradas 24 000 hectáreas de caña, de las cuales 23 000 hectáreas están destinadas a la cosecha y 500 destinadas para semillero.

1.1.3. Misión

“Ser el equipo líder por excelencia en la administración estratégica de la agroindustria azucarera, competitivo en el contexto empresarial que nos demanda el siglo XXI, a través de un alto grado de tecnificación en todas nuestras áreas y un equipo humano motivado, desarrollado y visionario que nos consolide como un grupo de clase mundial.

Superándonos permanentemente por medio del mejoramiento continuo, con participación activa a todo nivel, sirviendo de modelo a otras empresas de Guatemala y Centro América para proyectarse al mundo.

1.1.4. Visión

Ser un grupo corporativo visionario, comprometido con el progreso y bienestar de Guatemala, dedicado a producir eficientemente bienes y servicios de óptima calidad, derivados de la caña de azúcar, por medio del desarrollo de los recursos humanos y tecnológicos para satisfacer las necesidades de nuestros clientes nacionales e internacionales.”¹

1.1.5. Organización

Como empresa, Santa Ana está dirigida por una Junta Directiva y se estructura en seis divisiones y el *staff* de la Gerencia General.

¹ Misión y visión proporcionada por el Ingenio Santa Ana.

- Gerencia General

El gerente general es responsable de dirigir, planificar, coordinar, supervisar, controlar y evaluar las actividades de la gestión técnica y administrativa de las gerencias de división e impartir instrucciones para la ejecución de las funciones correspondientes, además de definir e interpretar las políticas establecidas por la dirección. El correcto desempeño de estas obligaciones requiere de un conocimiento funcional de todas las fases de la operación de la empresa y una buena comunicación con sus subordinados.

- División de Recursos Humanos

Su misión es satisfacer de forma eficaz los requerimientos del recurso humano, mediante técnicas y procedimientos actualizados, propiciando las condiciones óptimas para su desarrollo personal y dentro de la empresa, con el propósito de lograr la mayor eficiencia.

- División Agrícola y Servicios

Es un equipo multidisciplinario, cuyo compromiso es el aprovechamiento integral sostenible de los recursos naturales, para producir caña de azúcar, otros productos agrícolas, servicios de cosecha, taller y transporte.

- División Administrativa

Es una división completamente de servicio, comprendida con todas las divisiones de la Corporación, a quienes asiste en sus necesidades en forma eficiente y oportuna, a través de una organización adecuada, utilizando recurso humano capacitado y tecnología para satisfacer a sus clientes.

- División Industrial

Se ocupa de la transformación de la caña de azúcar y otros insumos en productos de óptima calidad, administrando los recursos humanos, físicos y tecnológicos para satisfacer las necesidades de los clientes nacionales e internacionales.

- División Informática

Es una organización estratégica que proporciona soluciones relacionadas con la planificación, comunicaciones, tecnológicas de la información, mejorando la competitividad de los clientes, desarrollando la cultura de cambio permanente y los recursos humanos, utilizados eficaz y eficientemente.

- División Financiera

Se ocupa de la adecuada administración de los recursos financieros para la ejecución del proceso productivo, del funcionamiento e inversión, generando información financiera confiable y oportuna, a través del desarrollo del recurso humano, de procedimientos y tecnología actualizada, permitiendo la oportuna toma de decisiones de la administración del grupo de empresas de Santa Ana y otros usuarios, para coadyuvar al logro del objetivo general del Corporativo compuesto por 36 empresas multidisciplinarias.

A continuación se mencionan.

- Compañía Agrícola Industrial Santa Ana, S. A.
- Talleres Industriales, S. A.
- Agromecánica Industrial, S. A.

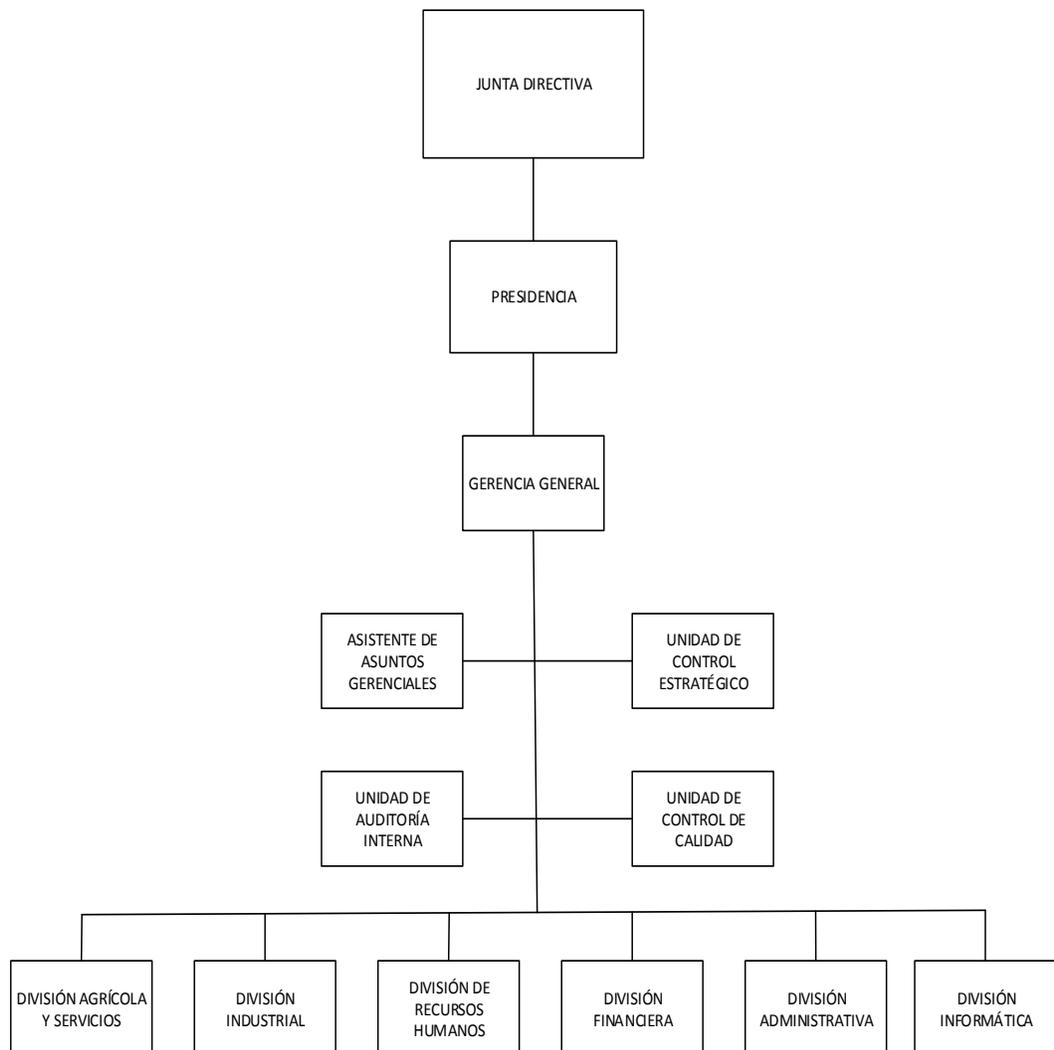
- Inversiones Roa, S. A.
- Inversiones Tajo, S. A.
- Inversiones Duero, S. A.
- Talleres de Reparación Automotrices, S. A.
- Transportes Generales, S. A.
- Servicios Cañeros, S. A.
- Inversiones Delta, S. A.
- Servicios Triángulo, S. A.
- Servicios Manuales, S. A.
- Ingeniería Civil y Agrícola, S. A.
- Inversiones Iguazú, S. A.
- Río Plata, S. A.
- Palo Pita, S. A.
- Inversiones Saturno, S. A.
- Distribuidora Técnica, S.A.
- Asesoría Técnica, S.A.
- Maquinaria Agroindustrial, S.A.
- Paraná, S. A.
- Agrícola Managua, S. A.
- Compañía Agrícola Cerro de Oro
- Salerosa, S. A.
- Pexja, S. A.
- El Trapiche, S. A.
- Jilato, S. A.
- Tratanto, S. A.
- Alabastro, S.A.
- Catalejo, S. A.
- Almagena, S. A.

- Arananda, S. A.
- Hipreta, S. A

1.1.5.1. Organigrama

Se presenta a continuación la estructura del funcionamiento del Ingenio Santa Ana.

Figura 2. **Organigrama funcional del Grupo Corporativo Santa Ana**



Fuente: Departamento de Recursos Humanos.

1.1.6. Proceso productivo

La caña de azúcar es una planta que pertenece a la familia de las gramíneas, de la cual se aprovecha todo el contenido de sus tallos. Es una planta que tiene la ventaja de ser la más eficiente para la transformación de la energía solar en azúcar. Una plantación produce entre 4 y 7 cortes anuales, sin necesidad de plantar cada año.

Como cualquier cultivo, la caña de azúcar necesita de cuidados que incluyen: control de malezas, control de plagas, enfermedades, aplicación de fertilizantes y aplicación de riego. Las labores que se desarrollan para el cultivo son:

- Estudios preliminares: se realizan 90 días antes de iniciar labores. Consisten en realizar muestreos de los suelos y analizarlos en los laboratorios.
- Adecuación de tierras: se realiza el levantamiento topográfico, construcción de drenajes, canales de riegos, construcción de caminos, pasos entubados y nivelación de terrenos.
- Preparación de suelos: se desarrollan actividades que incluyen: subsolado, volteo, rastreo y finalmente el surqueado.

- Siembra: inicia con el corte de la semilla para la siembra en el suelo preparado. Se trasladan los paquetes cortados al terreno estaquillado y se dispersan los pedazos de caña en el surco de forma traslapada. Al finalizar estas actividades, se procede a cubrir el surco de manera mecanizada o manual y se añade el insecticida adecuado, seguidamente se realiza la aplicación de herbicida.
- Mantenimiento del cañal: el desbasurado es la primera labor que se realiza después del corte, luego se podan las raíces. El proceso continúa con la fertilización, utilizando dosis y productos de acuerdo al análisis químico del laboratorio. El riego es aplicado por aspersión y gravedad, se controlan las malezas con fertilizantes y químicos hasta que finalmente se aplica el madurante.

La caña se corta manualmente y en forma mecanizadas. Hay 7 frentes de corte que suministran la caña necesaria diariamente en el periodo de zafra, aproximadamente cinco mil colaboradores son los que realizan las distintas actividades

El proceso de fabricación del azúcar inicia en el patio de caña, es el lugar donde se recibe, descarga y prepara de la manera más rápida después de su corte. La caña llega al patio en forma de jaula ya que es más fácil su descarga, seguidamente, la caña se pesa en la báscula de recepción, luego se obtiene una muestra, que al analizarse determinará la calidad de la caña y su rendimiento. La caña es volteada en las mesas de caña, donde es lavada con agua proveniente de los condensadores de los tachos, después, es transportada por los conductores hacia las picadoras y llega al sistema de molienda preparada, para que la extracción del jugo sea más fácil.

La finalidad principal de los molinos es conseguir la mayor separación posible de la fibra y jugo. Se cuenta con dos tandems de molinos, A y B. El tandem A cuenta con 6 molinos con capacidad de molienda de 10 500 toneladas diarias y el tandem B con 5 molinos con una capacidad de molienda de 8 500 toneladas. Los molinos son accionados por motores eléctricos, cada molino consta de 4 mazas y la abertura entre ellas va disminuyendo de una a otra, para que la caña vaya sufriendo diferentes compresiones en su paso a través del tandem, debido al peso de la maza superior y a la presión hidráulica aplicada en ella.

Sin embargo este proceso la caña no cede todo el jugo y es necesario recurrir a un proceso llamado imbibición, en el cual se añade agua o jugo a contracorriente al bagazo para que se mezcle con el jugo contenido en el mismo, diluyéndolo. El jugo, al salir de los molinos, pasa a los coladores, donde se cuela y se separa el bagacillo del jugo. El primero va de regreso a los molinos, el bagazo a las calderas a través de los conductores y el jugo es bombeado para el proceso de clarificación.

El jugo mezclado que sale de los molinos es bombeado a la torre de sulfitación en donde pasa en contracorriente y este jugo se precaliza para evitar inversión. Se precalienta y se pesa en la báscula de jugo en el tandem A o en un medidor de flujo en el tandem B. Después se alcaliza, neutralizándolo con la cal hidratada, calentándolo a 220° Fahrenheit para hacer insolubles las sales, al jugo se adiciona floculante para ayudar a la sedimentación; se retienen en los clarificadores donde se separa el jugo claro de los lodos de cachaza que sedimentan.

En los clarificadores el jugo tiene un tiempo de retención de aproximadamente 2 horas, para separar todos los lodos, el tratamiento de cal y la temperatura crean condiciones necesarias para separarlas del jugo fácilmente. Los lodos se extraen de los compartimientos del clarificador con las bombas de cachaza, el jugo claro pasa por otro tanque llamado jugo clarificado y es bombeado a la evaporación. La cachaza o lodo extraído se mezcla con pequeñas partículas de bagacillo y coagulante para formar una torta filtrante porosa, facilitando así su lavado con agua caliente por medio de filtros al vacío y extraer los residuos de azúcar que pueda contener. Este jugo de baja pureza se envía a los tanques de alcalizado para volver al proceso de clarificado y el jugo claro obtenido sigue a los evaporadores.

Los evaporadores aumentan la concentración del jugo de caña haciéndole perder agua por medio de calor. El jugo es bombeado del tanque de jugo claro hacia el primer preevaporador, después pasa en paralelo por todos y cada uno de los cuerpos siguientes para salir de último como meladura, la cual es bombeada a la estación de clarificación de meladura. Esta clarificación tiene mucha importancia para obtener azúcar de mejor calidad; separa una serie de impurezas que hasta este proceso no pueden ser separadas, la meladura es enviada a los tachos.

Los tachos al vacío es donde se producen y se desarrollan los cristales de azúcar, estos reciben la meladura y descargan en las plantas. Actualmente se utilizan dos tipos de tachos, los llamados tacho al vacío y tacho continuo.

Las templeas que descargan los tachos caen en los cristalizadores, en estos las templeas tienen un tiempo de retención antes de pasar a las centrifugas. La función de los cristalizadores es aumentar el agotamiento, debido al enfriamiento de las mieles, producto de las templeas que ellos retienen. Para un mejor agotamiento de las mieles, se hace circular agua fría por discos o paletas de los cristalizadores. Al enfriarse, la templea adquiere mayor viscosidad, por lo que, antes de pasar por el mezclador que alimenta a las centrifugas, se le aplica un producto químico denominado tenso-activo, que disminuye la tensión superficial, y se aumenta la temperatura haciendo circular agua caliente por los discos o paletas para bajar la viscosidad de la templea y facilitar el flujo hacia las centrífugas.

Las centrifugas son las encargadas de separar los cristales de miel en cada templea, por fuerza centrífuga. Existen dos clases de centrífugas, las automáticas que trabajan por tandas y las continuas que su alimentación y descarga es continua, actualmente se cuenta con ambos tipos de centrífugas. Los cristales obtenidos en las centrífugas se trasladan a una secadora para quitarles la humedad.

Al azúcar que se destina al consumo local, se le agrega vitamina A y luego se empaca en la bodega, se verifica el peso antes de almacenar la producción y todo saco que lleva peso fuera del especificado, se retorna a fábrica para corregirlo.

Se realiza un proceso de refinación de azúcar, ya que directamente de la caña no es posible llegar a los parámetros de color de azúcar refinada, por el proceso normal de fabricación. El proceso de refinación se inicia fundir azúcar y luego se sigue este procedimiento:

Se disuelve el azúcar con agua con ayuda de calor y movimientos, a esto se le conoce como licor derretido. Seguidamente pasa por un tratamiento con dos agentes químicos que tienen las propiedades, uno de retener el color y el otro de servir de medio filtrante. Este tratamiento se realiza en tanques provistos con movimientos, en los cuales se va aplicando la dosis requerida de acuerdo a las condiciones del licor y los parámetros que se requieren para obtener azúcar refinada, para después pasar a la estación de los tachos de refinería. La refinería cuenta con 3 tachos para hacer azúcar refina. Un tacho es cargado con una porción de licor claro y se cristaliza, se sigue alimentando con licor hasta terminar la templa y esta templa, al purgarla, da azúcar y jarabe de primera. El proceso sigue de manera sucesiva hasta alcanzar el jarabe y azúcar de cuarta, el jarabe regresa al proceso de fábrica.

El azúcar de primera se almacena en una tolva, para mezclarla proporcionalmente con los azúcares de tercera y cuarta de acuerdo a los colores, el azúcar de segunda se envasa directamente porque cumple con las calidades de color comercial.

En las calderas se genera todo el vapor necesario para el funcionamiento de las turbinas, turbogeneradores y cocimientos en el proceso de fabricación. Los hornos de las calderas son alimentados con bagazo que es transportado por conductores de tablillas o bandas transportadoras. Existe un sistema de conservación del bagazo sobrante durante el proceso normal; este es almacenado para ser utilizado durante paradas de molienda en pacas o en la bodega bagacera. Actualmente se cuenta con calderas de baja y alta presión de vapor, turbogeneradores de condensación y turbogeneradores de escape.

La planta generadora de energía eléctrica cuenta con dos tipos básicos de turbogeneradores:

- Turbos de escape: se alimentan de vapor y devuelven vapor al proceso.
- Turbos de condensación: se alimentan de vapor y devuelven agua condensada.

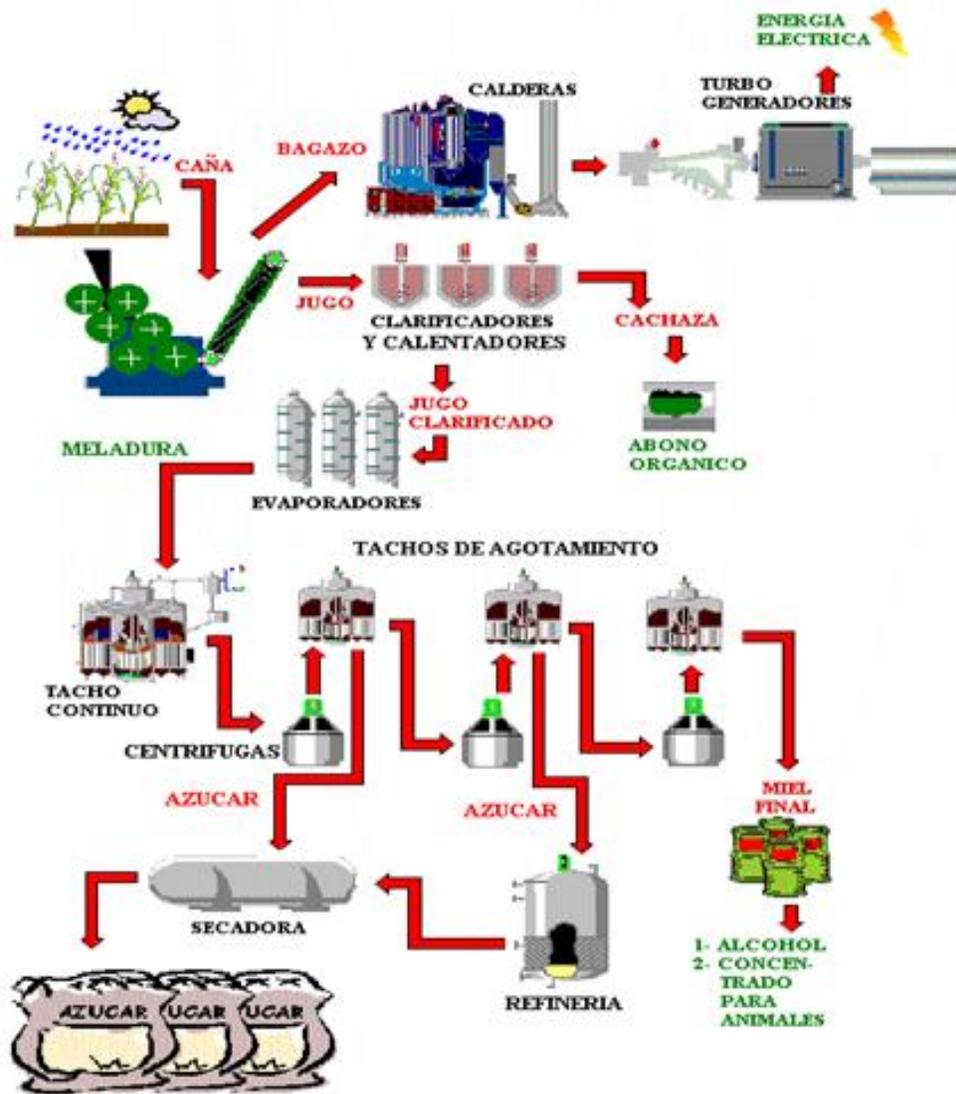
Las áreas de Cogeneración cuentan con dos áreas: bloque 1 y 2.

Para el bloque 1 actualmente se cuenta con 4 calderas, una con bunker y bagazo, las otras dos trabajan utilizando solo bagazo.

Las calderas operan de la siguiente manera: ingresa agua a las calderas y de ellas se obtiene vapor, el cual puede seguir dos vías. La primera vía entrega energía a la turbina, posteriormente la energía se transforma en energía eléctrica en el generador y, como constituyen un ciclo cerrado, el vapor que sale de la turbina se convierte en agua en el condensador. Esta vía es la del turbogenerador de 25 MW. La segunda vía entrega energía que sale de la caldera, a las turbinas generadoras netas que son reductoras del vapor que sale a baja presión, y se traslada a fábrica en donde las turbinas más pequeñas transforman el vapor en energía mecánica para el proceso de producción de azúcar, el resto se convierte en energía eléctrica.

Para el bloque 2 actualmente se cuenta con 1 caldera que trabaja con carbón y bagazo y un turbogenerador *condensing* con extracciones de vapor, produciendo 62,4 MW.

Figura 3. Proceso productivo



Fuente: documentación interna, Ingenio Santa Ana, 2012. p. 15.

1.1.7. Productos comercializados

Los productos que generan la actividad principal del ingenio son:

- Mercado local:
 - Caña de azúcar
 - Azúcar blanca estándar
 - Azúcar refinada local
 - Melaza: constituye la materia prima para hacer alcohol y rones, también se utiliza en alimento para ganado.
 - Energía eléctrica: cogeneración con el sistema nacional de generación de energía eléctrica.
- Mercado de exportación
 - Azúcar refinada tipo A
 - Azúcar cruda
- Uso interno
 - Torta de cachaza: sirve como fuente primaria para abonos orgánicos en la producción agrícola.
 - Bagazo: sirve como combustible para calderas.

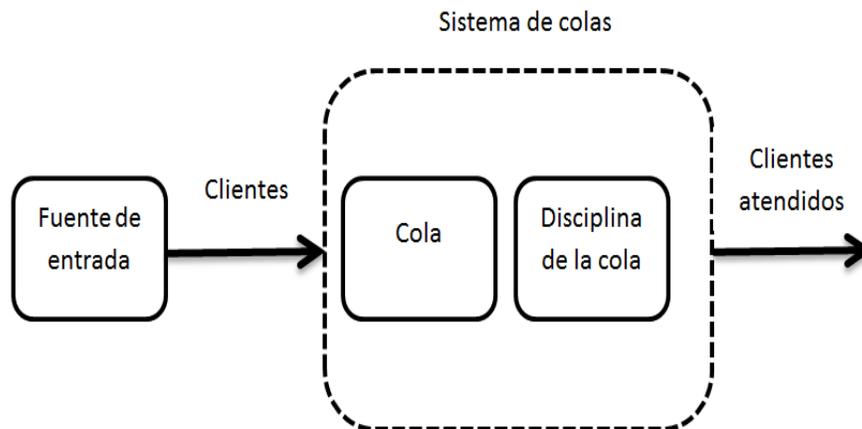
1.2. Teoría de colas

Conjunto de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera o sistemas de colas. Los modelos son utilizados para determinar el comportamiento del estado estable, como la longitud promedio de la cola y el tiempo promedio para un sistema dado. Esta información y los costos pertinentes se utilizan para determinar la capacidad óptima de servicio.

1.2.1. Sistema de colas

Los modelos de colas tienen el proceso siguiente. Los clientes que necesitan un servicio se generan en el tiempo, conformando una población potencial, puede suponerse que el tamaño es infinito o finito. Luego, ingresan al sistema y se unen a la cola. Transcurrido un periodo se selecciona un integrante de la cola para poder proporcionarle el servicio mediante la disciplina de la cola.

Figura 4. Sistema de colas



Fuente: elaboración propia.

1.2.1.1. Cola

La cola es donde los clientes esperan por recibir el servicio. Se caracteriza por el número máximo de clientes que se puede admitir. Las colas pueden ser finitas o infinitas, según el número de clientes. El supuesto de una cola infinita es el más usado en la mayoría de los modelos, incluso en situaciones en las que la cola es relativamente mayor que el número permitido de clientes, manejar una cola así puede afectar el análisis. Los sistemas de colas en que el número de clientes es pequeño y que se llega con cierta frecuencia, suponen una cola finita.

1.2.1.2. Cliente

Es todo individuo que solicita un servicio, espera si este no es inmediato y abandona el sistema después de ser atendidos. En algunas situaciones, los clientes abandonan el sistema si se cansan de esperar.

El término cliente se utiliza en sentido general, de manera que no implica que sea un ser humano, pueden ser piezas esperando su turno para poder ser procesadas o una impresora en red esperando para imprimir los distintos documentos solicitados.

1.2.1.3. Patrón de llegada de los clientes

Las llegadas de los clientes en situaciones habituales son estocásticas, es decir, que dependen de una variable aleatoria y es necesario conocer la distribución probabilística entre dos llegadas sucesivas de clientes. Se tiene que tomar en cuenta si los clientes llegan independientemente o simultáneamente. Para el segundo caso, se tendría que definir la distribución probabilística.

Es posible que los clientes sean impacientes, que lleguen a la cola y, si esta es demasiado larga, se retiren o al esperar un tiempo decidan en abandonar la cola.

El patrón de llegadas puede variar con el tiempo, si es constante se le denomina estacionario y si varía con las horas del día es no estacionario.

1.2.1.4. Patrón de servicio de los servidores

Los servidores pueden tener un tiempo de servicio variable, para definirlo hay que asociarle una función de probabilidad. Pueden atender de manera individual o por lotes.

El tiempo de servicio puede variar dependiendo del número de clientes que se encuentren en la cola, trabajando más rápido o más lento, para este caso, el patrón de servicio se le denomina dependientes. Al igual que el patrón de llegadas, el patrón de servicio puede ser no estacionario, variando con el transcurso del tiempo.

1.2.1.5. Disciplina de la cola

La disciplina de la cola es la manera en que los clientes se seleccionan para poder ser servidos. Las disciplinas más utilizadas son las siguientes:

- FIFO (*first in first out*), también llamada FCFS (*first come first served*), en la cual se atiende primero al cliente que llega a la cola.
- LIFO (*last in first out*), también conocida como LCFS (*last come first served*), consiste en atender primero al cliente que ha llegado de último.

- RSS (*random selection of service*), SIRO (*service in random order*), que selecciona a los clientes de forma aleatoria.
- RR (*round robin*), el cual otorga pequeños periodos de servicio a cada cliente de manera secuencial. Esto significa que se reparten los recursos de forma equitativa entre todos los clientes que esperan y esto tiene sentido en las actividades en el ambiente de la informática.

1.2.1.6. Capacidad del sistema

Es el número máximo de clientes que pueden estar en la cola, puede suponerse finita o infinita. Para la simplificación de los cálculos, se debe suponer infinita, aunque, en la mayoría de los casos reales, la capacidad de la cola es finita. No es gran restricción suponerla infinita, sí es improbable que no puedan ingresar clientes en la cola por haber llegado a un número límite.

1.2.1.7. Número de canales de servicio

Es preferible utilizar sistemas múltiples con una línea de espera para todos los servidores, que una cola por servidor. Cuando se habla de canales de servicio paralelos, se habla generalmente de una cola que abastece a varios servidores y en el caso de colas independientes, se asemeja a múltiples sistemas con un servidor solamente.

En la figura 5 se presenta un sistema monocanal y un sistema multicanal. El primero tiene una sola cola, el segundo tienen una cola para cada servidor.

Figura 5. **Sistema monocal y multicanal**



Fuente: elaboración propia.

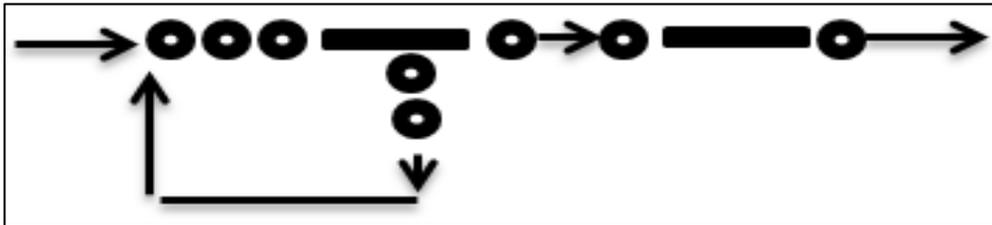
En cualquiera de las dos situaciones, el mecanismo de servicio opera de manera independiente.

1.2.1.8. Número de etapas de servicio

El sistema de colas puede ser unietapa o multietapa. En los sistemas multietapa el cliente puede pasar por un número de etapas mayor a uno y cada uno de los servicios es proporcionado por un servidor diferente. Puede ejemplificarse en un sistema de producción, cuando se elabora un producto y este pasa por varios procesos hasta su producción final.

En algunos sistemas es aceptable admitir que el producto regrese, esto es aplicado usualmente en sistemas de producción en los cuales los controles de calidad no dejan seguir al producto, haciendo volver para un reproceso y cumplir con los estándares establecidos.

Figura 6. Sistema multicanal



Fuente: elaboración propia.

1.2.2. Terminología y notación

- Terminología:
 - Estado del sistema = número de clientes en el sistema
 - Longitud de la cola = número de clientes que esperan por el servicio
 - n = número de clientes en el sistema
 - s = número de servidores (canales de servicio en paralelo)
 - λ = tasa media de llegadas
 - μ = tasa media de servicio
 - ρ = factor de utilización
- Notación:

La notación siguiente supone que el sistema se encuentra en estado estable:

- P_n = probabilidad de que hayan exactamente n clientes en el sistema.

- P_o = probabilidad de que el sistema esté desocupado.
- L = número esperado de clientes en el sistema.
- L_q = longitud esperada de la cola (excluye a los clientes que están en servicio).
- W = tiempo de espera en el sistema, incluye el tiempo de servicio para cada cliente.
- W_q = tiempo de espera en la cola, se excluye el tiempo de servicio para cada cliente.

1.2.3. Fórmulas

- Probabilidad de que no haya clientes en el sistema:

$$P_o = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

- Factor de utilización:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

- Número promedio de clientes en la cola:

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

- Número promedio de clientes en el sistema:

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

- Tiempo promedio que un cliente pasa en la cola:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

- Tiempo promedio que un cliente pasa en el sistema:

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

1.2.4. Costos de los sistemas de espera

Los sistemas de colas pueden dividirse en dos componentes importantes, la cola y la instalación de servicio.

Las llegadas de los clientes que ingresan al sistema para recibir el servicio, siempre se unen a la cola, si no hay se dice que la cola está vacía. Después de mantenerse en la cola, se trasladan a la instalación de servicio de acuerdo a la disciplina de la cola. Ambos componentes del sistema tienen costos asociados que deben considerarse.

1.2.4.1. Costo de espera

Toda espera es un desperdicio, significa que algún recurso está sin utilizarse cuando podría ser más productivo en otra parte. Esto representa un costo de oportunidad. Cuando los trabajadores se dirigen por insumos, se pierde su productividad, es dinero perdido y no puede recuperarse.

Cuando el costo de espera puede medirse y los cálculos son directos, teniendo como referencia la planilla y otros costos contables se puede determinar el costo por hora. En la mayoría de los casos, el costo de espera es proporcional al tiempo de espera, puede expresarse como el costo de espera por hora multiplicado por la longitud promedio de la cola.

1.2.4.2. Costo de servicio

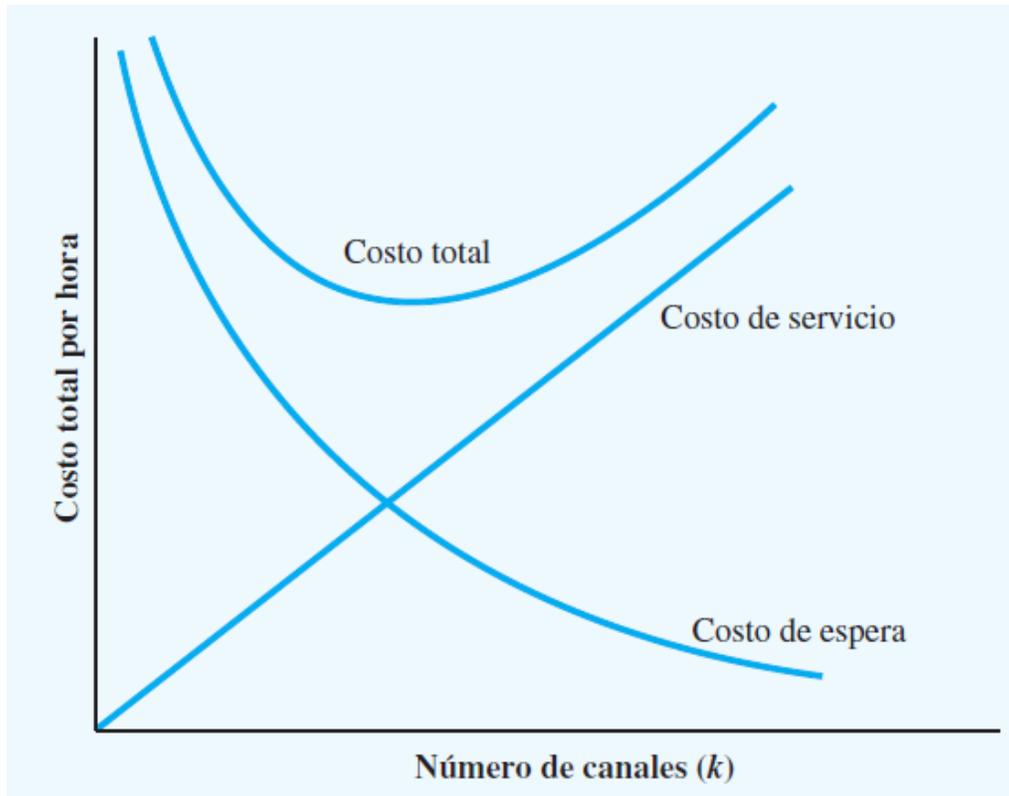
Determinar el costo de servicio es más simple respecto al costo de espera. La mayoría de las veces se trata de comparar múltiples instalaciones, el sistema con dos servidores, tres servidores y así sucesivamente.

1.2.4.3. Sistema de costo mínimo

Si el tiempo de espera es mínimo, así se reflejará en los costos. Desde un punto de vista global, se requiere que el sistema comparado con los demás tenga el menor costo total incluyendo costo de servicio y costo de espera.

En la figura 7, para tasas bajas de servicio, se tienen largas colas y costos de espera altos, conforme el servicio aumenta, se reduce el costo de espera y los costos de servicio aumentan. Se llega al punto de disminución en el requerimiento con el objetivo de encontrar el sistema de costo mínimo.

Figura 7. **Forma general de costos**



Fuente: ANDERSON David; SWEENEY Dennis; WILLIAMS; Thomas; CAMM Jeffrey; MARTIN Kipp. *Métodos cuantitativos para los negocios*. p. 673.

1.2.4.3.1. **Notación**

Para desarrollar un modelo de costo total en una línea de espera se utilizará la notación siguiente:

C_w = costo de espera por unidad de tiempo

C_s = costo de servicio por unidad de tiempo

C_t = costo total promedio del sistema por unidad de tiempo

El costo total es la suma del costo de espera y el costo de servicio:

$$C_t = C_w L + C_s s$$

1.2.5. Modelos

Se describirán los modelos más habituales para el sistema de colas, en los que se supondrá la distribución de Poisson para tiempo entre llegadas y el tiempo de servicio exponencial.

1.2.5.1. Modelo de una cola con un servidor (M/M/1)

El tiempo de llegadas es aleatorio, independientes entre sí, y el tiempo de servicio no depende de cuándo ocurre, sino de la longitud del intervalo.

Existe una cola, cuya capacidad es infinita, un solo servidor y disciplina FIFO.

Si la tasa de llegadas es mayor a la tasa de servicio, el sistema se satura, el número de clientes en la cola aumenta indefinidamente al transcurrir el tiempo.

Suponiendo que el sistema no se satura, se determina la fórmula siguiente para probabilidades que hayan n clientes en el sistema.

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0$$

1.2.5.2. Modelo de una cola con múltiples servidores (M/M/s)

Los clientes llegan con una distribución Poisson y el tiempo de atención se distribuye exponencialmente.

Existen s servidores, población infinita y la posibilidad de infinitas colas.

Solo hay una cola, cuya capacidad es infinita y la disciplina es FIFO. Si la tasa de llegadas es mayor a la tasa de servicio multiplicada por los servidores, el número de clientes crece indefinidamente al transcurrir el tiempo. La condición de no saturación será:

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} < 1$$

Si el sistema no se satura, se determinan las siguientes fórmulas para la probabilidad de que haya n clientes en el sistema.

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s!} \left(\frac{s\mu}{s\mu - \lambda}\right)}$$

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} P_0 \quad \text{para } n \leq s$$

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{s! s^{(n-s)}} P_0 \quad \text{para } n > s$$

Número promedio de clientes en la cola.

$$L_q = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \lambda \mu}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_o$$

1.2.5.3. Modelo de una cola con un servidor y sistema limitado (M/M/1/K)

Sistema con número de clientes finito y expresado por la contante k, se tiene únicamente un servidor en el sistema, la disciplina del sistema será FIFO.

Existe ventaja para este modelo en relación a sistema infinito, no se necesita utilizar la condición de no saturación debido a que la capacidad es limitada y por ello siempre se encuentra en estado estable, sin importar el factor de utilización.

Probabilidad de que no haya clientes en el sistema:

$$P_o = \frac{1}{\sum_{n=0}^N \frac{N!}{(N-n)!} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}$$

Número promedio de clientes en la cola:

$$L_q = N - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} (1 - P_o)$$

Número promedio de clientes en el sistema:

$$L = L_q + (1 - P_o)$$

Tiempo promedio que un cliente pasa en la cola:

$$W_q = \frac{L_q}{(N - L)\lambda}$$

Probabilidad de que haya n clientes en el sistema:

$$P_n = \frac{1}{(N - n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_o \quad \text{para } n=0,1,\dots,N$$

1.2.5.4. Modelo de una cola con múltiples servidores y sistema limitado (M/M/s/K)

Existen s servidores, el número máximo de clientes que pueden estar en el sistema en un tiempo dado está determinado por la constante k, los clientes son rechazados si el sistema se encuentra en su capacidad máxima.

Probabilidad de que n clientes se encuentren en el sistema:

$$P_o = \frac{1}{\sum_{n=0}^N \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s!} \sum_{n=s+1}^k \left(\frac{\lambda}{s\mu}\right)^{n-s}}$$

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} P_o \quad \text{para } 0 \leq n \leq s - 1$$

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{s! s^{(n-s)}} P_o \quad \text{para } n = s, s + 1, \dots, k$$

Número promedio de clientes en la cola:

$$L_q = \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \rho}{s! (1 - \rho)^2} [1 - \rho^{k-s}(k-s)\rho^{k-s}(1-\rho)]$$

Número promedio de clientes en el sistema:

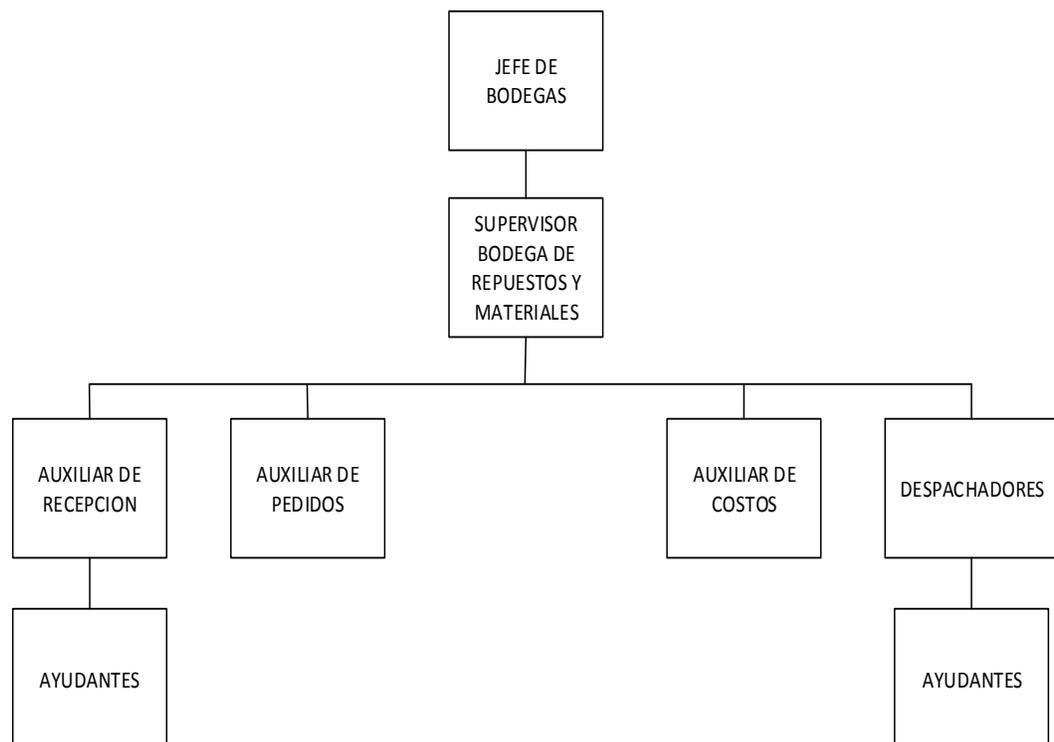
$$L = \sum_{n=0}^{s-1} nP_n + L_q + s \left(1 - \sum_{n=0}^{s-1} P_n \right)$$

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Organigrama de la bodega de repuestos y materiales

A continuación se presenta, en la figura 8, la estructura de la bodega de repuestos y materiales, la información fue proporcionada por el supervisor del área.

Figura 8. Organigrama bodega de repuestos y materiales



Fuente: elaboración propia.

2.2. Descripción del proceso de servicio

En la bodega de repuestos y materiales, el proceso de despacho inicia cuando se requiere algún insumo por parte de los jefes de cada sector de las áreas de Producción, Mantenimiento, Informática, Recursos Humanos y la División Administrativa. Se utilizan cinco formatos para los vales, según el centro de costo: color azul para fábrica (figura 9), color negro para gastos administrativos (figura 10), color verde para generación eléctrica (figura 11), color café para generación de biomasa y color rosado para carbonera (figura 12). Cada jefe debe autorizar el vale, ejemplificado en las figuras antes mencionadas, dependiendo el centro de costo con el cual se tramita la requisición. Cuando el vale ha sido autorizado por el jefe, el encargado de recoger los insumos se dirige a la bodega y entrega el vale al despachador.

El despachador recibe el vale y debe revisar si el vale se encuentra firmado por el jefe que autoriza, si está redactado claramente, que contenga los datos requeridos. Si no cumple con los requisitos, no se acepta el vale para su debido trámite, pero si cumple los requisitos, el despachador debe dirigirse a la computadora y revisar si hay existencias.

Si hay existencias, el solicitante firma el vale y debe colocar su código de trabajador. Posteriormente, el despachador busca en el sistema los códigos de ubicación y los coloca en el vale, luego se dirige a recoger los materiales correspondientes a la solicitud. Para la entrega de materiales específicos, se debe verificar en el sistema en el reporte de movimiento de un artículo. Cada material se debe contar, pesar o medir si así se requiere, teniendo los materiales en las cantidades requeridas se entregan al solicitante. Después de que se ha entregado el material, el despachador debe ingresar manualmente en el sistema de despacho los datos registrados en el vale.

Figura 10. Vale de gastos administrativos

 COMPANHIA AGRICOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A. GUATEMALA, C.A. REQUISICION DE MATERIALES AL ALMACEN CODIGO 02-442-08-0003										FECHA			CODIGO DEPTO. SECCION		CODIGO: EQUIPO / OBRAS EN PROCESO			SECTOR DE GASTO		COD. ORDEN DE TRABAJO
										CODIGO EMPRESA		CODIGO ALMACEN		CODIGO BODEGA	OBRA EN PROCESO	MANTENIMIENTO MAYOR		MANTENIMIENTO U OPERACION		
CODIGO CORRELATIVO ARTICULO	CANTIDAD REQUERIDA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD ENTREGADA	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCION DEL ARTICULO															
OBSERVACIONES:																				
ENTREGADO POR:			AUTORIZADO POR:				RECIBIDO POR:													
CODIGO NOMBRE FIRMA			CODIGO NOMBRE FIRMA				CODIGO NOMBRE FIRMA													

Vile Ref. 1.628

Fuente: bodega de repuestos y materiales.

Figura 11. Vale de la carbonera

 COMPANHIA AGRICOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A. GUATEMALA, C.A. REQUISICION DE MATERIALES AL ALMACEN CODIGO 02-442-08-0096										FECHA			CODIGO DEPTO. SECCION		CODIGO: EQUIPO / OBRAS EN PROCESO			SECTOR DE GASTO		COD. ORDEN DE TRABAJO
										CODIGO EMPRESA		CODIGO ALMACEN		CODIGO BODEGA	OBRA EN PROCESO	MANTENIMIENTO MAYOR		MANTENIMIENTO U OPERACION		
CODIGO CORRELATIVO ARTICULO	CANTIDAD REQUERIDA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD ENTREGADA	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCION DEL ARTICULO															
OBSERVACIONES:										Generación <input type="checkbox"/> Carbón <input type="checkbox"/> Bagazo <input type="checkbox"/> Leña										
ENTREGADO POR:			AUTORIZADO POR:				RECIBIDO POR:													
CODIGO NOMBRE FIRMA			CODIGO NOMBRE FIRMA				CODIGO NOMBRE FIRMA													

Color Print. Ref. 0001

Fuente: bodega de repuestos y materiales.

Figura 12. Vale cogeneración

 COMPAÑIA AGRICOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A. GUATEMALA, C.A. REQUISICION DE MATERIALES AL ALMACEN CÓDIGO 02-442-08-0004										FECHA DIA: MES: AÑO:			CODIGO DEPTO. SECCION		CODIGO: EQUIPO / OBRAS EN PROCESO		SECTOR DE GASTO		COD. ORDEN DE TRABAJO
										CODIGO EMPRESA: 01			CODIGO ALMACEN: 02		CODIGO BODEGA	OBRA EN PROCESO	MANTENIMIENTO MAYOR	MANTENIMIENTO U OPERACION	
CODIGO CORRELATIVO ARTICULO	CANTIDAD REQUERIDA	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD ENTREGADA	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCION DEL ARTICULO														
OBSERVACIONES:																			
ENTREGADO POR:				AUTORIZADO POR:				RECIBIDO POR:											
CODIGO	NOMBRE:	FIRMA	CODIGO	NOMBRE:	FIRMA	CODIGO	NOMBRE:	FIRMA											

Vale Ref. 1.627

Fuente: bodega de repuestos y materiales.

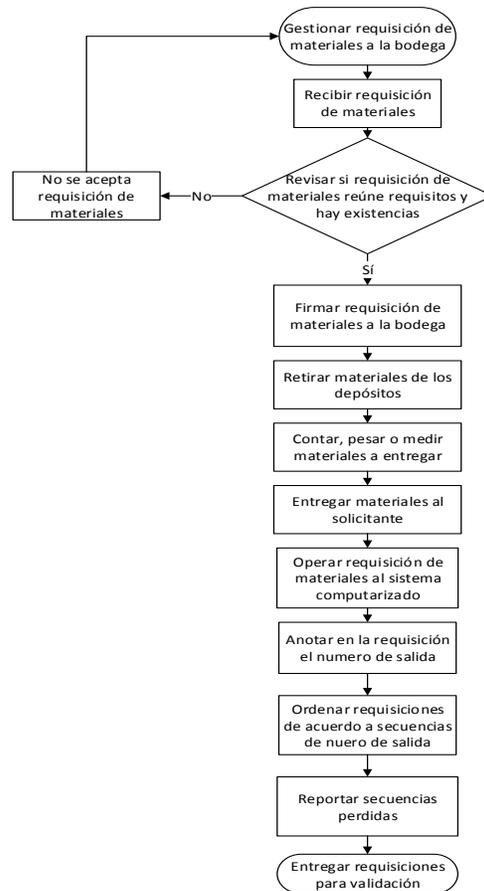
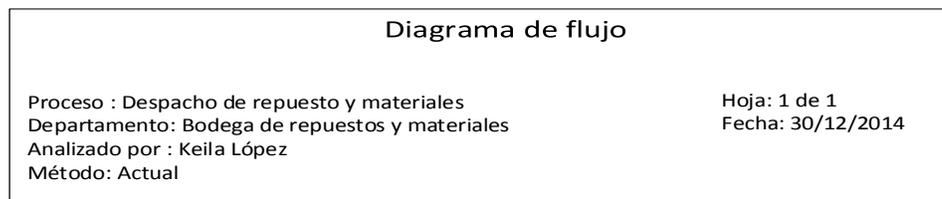
2.3. Diagramas del proceso

Los diagramas del proceso son su representación gráfica, desde la solicitud de insumos, entrega, hasta el ingreso de los mismos al sistema para ser descargados.

2.3.1. Diagrama de flujo del proceso

Se detalla a continuación el diagrama del proceso de despacho de la bodega de repuestos y materiales.

Figura 13. Diagrama de flujo del proceso

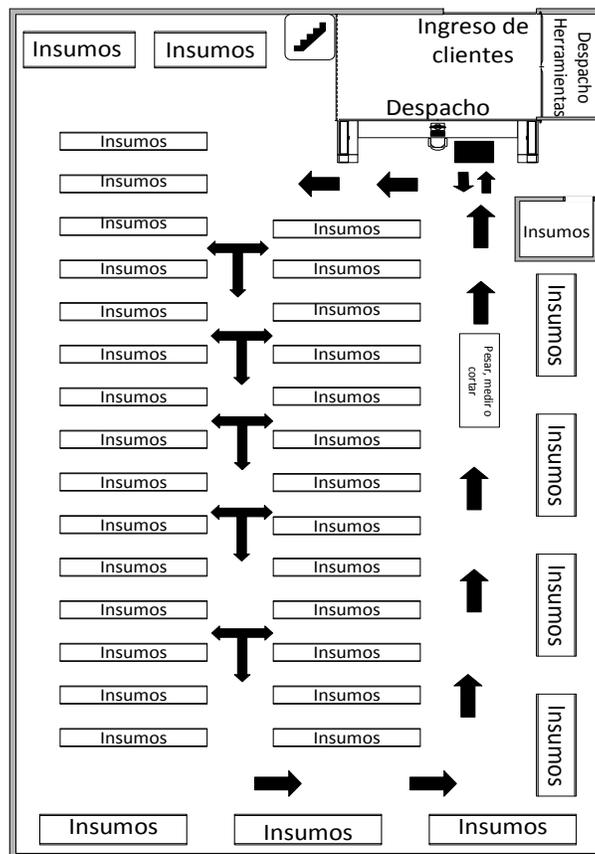
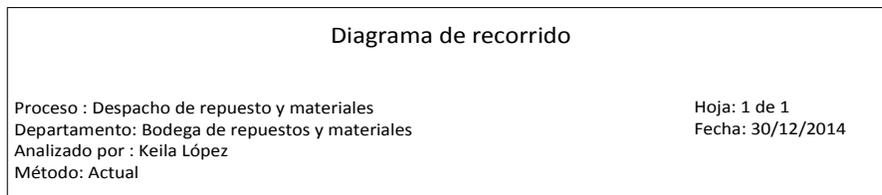


Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio.

2.3.2. Diagrama de recorrido

Se presenta a continuación el diagrama de recorrido de un despachador en la bodega de repuestos y materiales.

Figura 14. Diagrama de recorrido



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio.

2.4. Características del proceso

La bodega de repuestos y materiales cuenta con dos computadoras, las cuales son utilizadas por los despachadores para verificar la ubicación, y existencia y descargar los insumos solicitados. Cuando el Ingenio está en el periodo de zafra, solo se encuentra un despachador atendiendo con su ayudante por turnos, para atender las 24 horas y en el periodo de reparación, trabajan los dos despachadores solamente en jornada diurna, si el sistema lo requiere, se involucran los ayudantes de la bodega.

Los colaboradores ingresan a la bodega cuando necesitan producto y se ubican en una sola cola esperando a ser atendidos.

Para poder conocer a detalle la información del proceso de despacho en la bodega de repuestos y materiales, se realizó una evaluación de las características del sistema actual, para determinar la tasa de llegadas, tiempos de servicio, servidores, disciplina y tamaño de la cola.

2.4.1. Proceso de llegada

Para el sistema de la bodega de repuestos y materiales se considera que la población tiene un tamaño infinito o ilimitado, ya que no se conoce con exactitud el número de clientes que ingresarán al sistema. Las llegadas de los clientes al sistema se dan aleatoriamente y los clientes no se retiran de la cola hasta ser atendidos, esto se debe a que cada solicitud es necesaria para poder continuar con sus actividades programadas o, en algunos casos, se tienen emergencias, por lo cual no pueden retirarse sin los insumos requeridos.

Se tomaron los registros de los colaboradores que asistieron a la bodega en los horarios de 7:00 a.m. a 12:00 p.m. y 1:00 p.m. a 4:00 p.m., durante cinco días para el periodo de zafra. En el periodo de reparación, se tomaron los datos de 7:00 a.m. a 12:00 p.m. y 1:00 p.m. a 5:00 p.m. de lunes a jueves y el día viernes hasta las 4:00 p.m.

2.4.1.1. Tasa promedio de llegadas

El número promedio de clientes que llegan a la bodega de repuestos y materiales por hora para cada día, se estimó sumando el total de clientes por día y dividiendo el resultado por las horas en las que se tomaron los datos, el total por turno es de ocho horas.

Se presentan, en las tablas I y II, los resultados después de realizados los cálculos correspondientes.

Tabla I. Tasa promedio de llegadas por hora en zafra

Fecha	Total de clientes por turno	Tasa promedio de llegadas por hora
23/12/2014	42	5,25
26/12/2014	51	6,37
29/12/2014	59	7,37
30/12/2014	45	5,63
02/01/2015	51	6,37
Tasa promedio de llegadas por hora = 6,20		

Fuente: elaboración propia.

La tasa promedio de llegadas por hora está representada por λ , es igual a 6,20 clientes por hora. Este dato se determinó sumando las tasas promedio de llegadas por cada día y dividiendo el resultado por cinco que representa los días estudiados.

Tabla II. **Tasa promedio de llegadas por hora en reparación**

Fecha	Total de clientes por día	Tasa promedio de llegadas por hora
18/05/2015	134	14,89
19/05/2015	113	12,56
20/05/2015	137	15,22
21/05/2015	119	13,22
22/05/2015	100	12,50
Tasa promedio de llegadas por hora = 13,68		

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Tasa promedio de servicio

El tiempo promedio que le toma a un despachador en entregar los insumos a los clientes y descargan del sistema, se estimó calculando la media de cada día registrado. Con las medias de cada día, ubicadas en el apéndice, de la tabla XXIII a la XXXIX, se procedió a estimar la media total de los días registrados.

Tabla III. Tasa promedio de servicio en zafra

Fecha	Tiempo promedio de servicio por hora
23/12/2014	14,39
26/12/2014	12,35
29/12/2014	11,45
30/12/2014	13,99
02/01/2014	14,42
Tasa promedio de servicio por hora = 13,32	

Fuente: elaboración propia.

La tasa promedio de servicio está representada por μ es igual a 13,32 clientes por hora.

Tabla IV. Tasa promedio de servicio en reparación

Fecha	Tiempo promedio de servicio por hora
18/05/2015	12,93
19/05/2015	11,56
20/05/2015	13,99
21/05/2015	13,64
22/05/2015	14,02
Tasa promedio de servicio por hora = 13,23	

Fuente: elaboración propia.

La tasa promedio de servicio está representada por μ es igual a 13,23 clientes por hora.

2.4.3. Disciplina de la cola

Cuando los clientes ingresan a la bodega de repuestos y materiales, la forma en que se seleccionan para ser atendidos es en el orden en que van llegando, entonces el primer cliente en entrar, es el primer cliente en salir. Se utiliza la disciplina de la cola denominada FIFO (primero en entrar, primero en salir).

2.5. Estado estable

Las características de la bodega de repuestos y materiales se determinarán para el periodo de zafra con dos servidores y en el periodo de reparación con 2 servidores.

2.5.1. Probabilidad de cero clientes en el sistema

La probabilidad de que no se encuentre ningún cliente en el sistema está dada por la siguiente fórmula:

Para, 2 o más servidores

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{n!} + \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^s}{s!} \left(\frac{s\mu}{s\mu - \lambda} \right)}$$

Donde s = número de servidores, λ = tasa promedio de llegadas de clientes por hora y μ = tasa promedio de servicio de clientes por hora.

- Zafra

Sustituyendo en la fórmula, $s = 2$, $\lambda = 6,20$ y $\mu = 13,32$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s!} \left(\frac{2 * \mu}{(2 * \mu) - \lambda}\right)} = 0,6224$$

La probabilidad de que el sistema se encuentre vacío cuando se trabaja con dos servidores es de 62,24 %.

- Reparación

Sustituyendo en la fórmula, $s = 2$, $\lambda = 13,68$ y $\mu = 13,23$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s!} \left(\frac{2 * \mu}{(2 * \mu) - \lambda}\right)} = 0,3184$$

La probabilidad de que el sistema se encuentre vacío cuando se trabaja con dos servidores es de 31,84 %.

2.5.2. Número de clientes promedio en la cola

El número promedio de clientes que se encuentran en un momento dado en la cola esperando ser atendidos está dado por la siguiente fórmula:

Para, 2 o más servidores

$$L_q = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \lambda \mu}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_o$$

Donde s = número de servidores, λ = tasa promedio de llegadas de clientes por hora, μ = tasa promedio de servicio de clientes por hora y P_o = probabilidad de que el sistema se encuentre vacío.

- Zafra

Sustituyendo $s = 2$, $\lambda = 6,20$, $\mu = 13,32$ y $P_o = 0,6224$

$$L_q = \frac{\left(\frac{6,20}{13,32}\right)^2 (6,20 * 13,32)}{(2-1)!(2 * 13,32 - 6,20)^2} * 0,6224 = 0,02665 \text{ clientes}$$

El número promedio de clientes que esperan por ser atendidos cuando hay dos servidores es de 0,02665 clientes.

- Reparación

Sustituyendo $s = 2$, $\lambda = 13,68$, $\mu = 13,23$ y $P_0 = 0,3184$

$$L_q = \frac{\left(\frac{13,68}{13,23}\right)^2 (13,68 * 13,23)}{(2 - 1)!(2 * 13,23 - 13,68)^2} * 0,3184 = 0,3772 \text{ clientes}$$

El número promedio de clientes que esperan por ser atendidos cuando hay dos servidores es de 0,3772 clientes.

2.5.3. Número de clientes promedio en el sistema

El número promedio de clientes que se encuentran en el sistema para uno o más servidores está determinado por la siguiente fórmula:

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

Donde L_q = número promedio de clientes en la cola, λ = tasa promedio de llegadas y μ = tasa promedio de servicio.

- Zafra

Sustituyendo $\lambda = 6,20$, $\mu = 13,32$ y $L_q = 0,02665$

$$L = 0,02665 + \frac{6,20}{13,32} = 0,49211 \text{ clientes}$$

El número promedio de clientes que se encuentran en un determinado momento en el sistema es de 0,49211 clientes.

- Reparación

Sustituyendo $\lambda = 13,68$, $\mu = 13,23$ y $L_q = 0,3772$

$$L = 0,3772 + \frac{13,68}{13,23} = 1,4113 \text{ clientes}$$

El número promedio de clientes que se encuentran en un determinado momento en el sistema es de 1,4113 clientes.

2.5.4. Tiempo promedio que un cliente permanece en la cola

Tiempo promedio que un cliente permanece en la cola esperando por ser atendido para uno o más servidores se determina por la siguiente fórmula:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

Donde L_q = número promedio de clientes en la cola y λ = tasa promedio de llegada.

- Zafra

Sustituyendo $\lambda = 6,20$ y $L_q = 0,02665$

$$W_q = \frac{0,02665}{6,20} = 0,004298 \text{ horas}$$

El tiempo que un cliente debe esperar por ser atendido cuando los servidores están ocupados es de 0,004298 horas o 0,2579 minutos

- Reparación

Sustituyendo $\lambda = 13,68$ y $L_q = 0,3772$

$$W_q = \frac{0,3772}{13,68} = 0,02757 \text{ horas}$$

El tiempo que un cliente debe esperar por ser atendido cuando los servidores están ocupados es de 0,02757 horas o 1,6544 minutos

2.5.5. Tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema

El tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema para uno o más servidores, está dado por la siguiente fórmula:

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Donde W_q = tiempo promedio en la cola y μ = tasa promedio de servicio

- Zafra

Sustituyendo $\mu = 13,32$ y $W_q = 0,004298$

$$W = 0,004298 + \frac{1}{13,32} = 0,07937 \text{ horas}$$

El tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema cuando atienden dos servidores es de 0,07937 horas o 4,76 minutos.

- Reparación

Sustituyendo $\mu = 13,23$ y $W_q = 0,02757$

$$W = 0,02757 + \frac{1}{13,23} = 0,1032 \text{ horas}$$

El tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema cuando atienden dos servidores es de 0,1032 horas o 6,1893 minutos.

2.5.6. Probabilidad que un número específico de clientes esté en el sistema

La probabilidad de que n clientes se encuentren en el sistema está dada por las siguientes fórmulas:

Para un servidor

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0$$

Para dos o más servidores

Para valores menores o iguales al número de servidores ($n \leq s$)

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} P_0$$

Para valores mayores al número de servidores ($n > s$)

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{s! s^{(n-s)}} P_0$$

Donde P_0 = probabilidad que el sistema este vacío, μ =tasa promedio de servicio, λ = tasa promedio de servicio, s =número de servidores y n = número de clientes esperados.

Se presentan, en las siguientes tablas, los resultados obtenidos para uno y dos servidores.

- Probabilidades para dos servidores, $n \leq s$, $s = 2$

Tabla V. **Probabilidad en zafra de n clientes en el sistema 1**

Número de clientes	Probabilidad de n clientes	Probabilidad de n clientes (%)
0	0,6224	62,24 %
1	0,1348	28,97 %
2	0,007304	6,74 %

Fuente: elaboración propia.

- Probabilidad para dos servidores, $n > s$, $s = 2$

Tabla VI. **Probabilidad en zafra de n clientes en el sistema 2**

Número de clientes	Probabilidad de n clientes	Probabilidad de n clientes (%)
3	0,1569	1,57 %
4	0,003652	0,36 %
5	0,0008499	0,085 %
6	0,0001978	0,02 %

Fuente: elaboración propia.

- Probabilidades para dos servidores, $n \leq s$, $s = 2$

Tabla VII. **Probabilidades en reparación de n clientes en el sistema 1**

Número de clientes	Probabilidad de n clientes	Probabilidad de n clientes (%)
0	0,3184	31,84 %
1	0,3292	32,92 %
2	0,1702	17,02 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Probabilidades en reparación de n clientes en el sistema 2

Número de clientes	Probabilidad de n clientes	Probabilidad de n clientes (%)
3	0,088	8,80 %
4	0,0455	4,55 %
5	0,03136	3,14 %
6	0,02432	2,43 %
7	0,02011	2,01 %
8	0,01734	1,73 %
9	0,01536	1,54 %
10	0,0139	1,39 %
11	0,01278	1,28 %
12	0,01189	1,19 %
13	0,01112	1,11 %
14	0,01059	1,06 %
15	0,01011	1,01 %

Fuente: elaboración propia.

2.6. Factor de utilización

Demuestra que si la tasa media de llegadas es mayor o igual a la multiplicación del número de servidores en la bodega por la tasa media de servicio, entonces el sistema se satura y el número de clientes crecería en la cola indefinidamente con el transcurso del tiempo.

El sistema no se satura y alcanza el estado estacionario, si el factor de utilización es menor a uno, se determina por las siguientes fórmulas:

Para un servidor

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$$

Para dos o más servidores

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} < 1$$

Donde λ = tasa promedio de llegadas, μ = tasa promedio de servicio y s = número de servidores.

- Zafra

Sustituyendo $s = 2$, $\lambda = 6,20$ y $\mu = 13,32$

$$\rho = \frac{6,20}{2 * 13,32} = 0,2337$$

La fracción esperada de tiempo en que el sistema se encuentra ocupado es de 0,2337 o 23,37 % del tiempo total de servicio.

- Reparación

Sustituyendo $s = 2$, $\lambda = 13,68$ y $\mu = 13,23$

$$\rho = \frac{13,68}{2 * 13,23} = 0,5170$$

La fracción esperada de tiempo en que el sistema se encuentra ocupado es de 0,5170 o 51,70 % del tiempo total de servicio.

2.7. Estimación de costos

Para un estudio de teoría de colas se pueden tomar en cuenta la diversidad de costos, pero para este estudio solo se analizará el costo de tener un servidor trabajando y el costo de que un cliente tenga que esperar por ser atendido.

El costo de tener un servidor trabajando, es el costo del personal que interfiere en el despacho de los insumos y el costo de espera se define como el costo del personal que requiere de los insumos.

El costo total del sistema está dado por la suma del costo de tener s servidores trabajando y el costo de espera de cada cliente. El salario de los empleados para el periodo de zafra está determinado por el salario mínimo del año 2014 presentado en la tabla IX y para el periodo de reparación el salario vigente del 2015 en la tabla X.

Tabla IX. **Salario mínimo 2014**

Actividades	Hora ordinaria	Diario	Mensual	Bonificación incentivo	Total
Agrícola	Q 9,38	Q 74,97	Q 2 280,34	Q 250,00	Q 2 530,34
No agrícola	Q 9,38	Q 74,97	Q 2 280,34	Q 250,00	Q 2 530,34
Exportadora y de maquila	Q 8,61	Q 68,91	Q 2 096,01	Q 250,00	Q 2 346,01

Fuente: Ministerio de Trabajo y Previsión Social.

Tabla X. **Salario mínimo 2015**

Actividades Económicas	Hora diurna ordinaria	Salario diario	Salario mensual	Bonificación incentivo	Salario total
No agrícolas	Q 9,85	Q 78,72	Q 2 394,40	Q 250,00	Q 2 644,40
Agrícolas	Q 9,85	Q 78,72	Q 2 394,40	Q 250,00	Q 2 644,40
Exportadora y maquila	Q 9,04	Q 72,36	Q 2 200,95	Q 250,00	Q 2 450,95

Fuente: Ministerio de Trabajo y Previsión Social.

Para determinar el costo total del sistema, se tienen que determinar los siguientes costos:

C_w = costo de espera por unidad de tiempo

C_s = costo de servicio por unidad de tiempo

C_t = costo total promedio del sistema por unidad de tiempo

S = número de servidores

El costo total es la suma del costo de espera y el costo de servicio:

$$C_t = C_w L + C_s s$$

El costo de espera y el costo de servicio se registrarán por la tabla XI donde se describen los salarios por el periodo en el que se encuentra trabajando el Ingenio y de las personas que se espera que ingresen a la bodega, frecuentemente son ayudantes.

Tabla XI. **Salarios por periodo**

Zafra						
Nombre del puesto	Salario (Q)	Bonificación (Q)	Porcentaje de aumento (%)	Salario aumentado (Q)	Total (Q)	Salario por hora (Q)
Ayudantes	79,24	8,33	4,97 %	83,18	91,51	11,44
Despachador	81,17	8,33	4,84 %	85,09	93,42	11,68
Reparación						
Nombre del puesto	Salario (Q)	Bonificación (Q)	Porcentaje de aumento	Salario aumentado	Total	Salario por hora
Ayudantes	79,24	8,33	0,00 %	0,00	87,157	10,95
Despachador	81,17	8,33	0,00 %	0,00	89,50	11,19

Fuente: elaboración propia.

- Zafra

Sustituyendo $C_w = 11,44$, $L = 0,49211$, $C_s = 11,68$ y $s = 2$

$$C_t = (11,44 * 0,49211) + (11,68 * 2) = 28,99$$

El costo total por hora del sistema de despacho en la bodega de repuestos y materiales es de Q 28,99.

- Reparación

Sustituyendo $C_w = 10,95$, $L = 1,413$, $C_s = 11,10$ y $s = 2$

$$C_t = (10,95 * 1,4113) + (11,10 * 2) = 37,65$$

El costo total por hora del sistema de despacho en la bodega de repuestos y materiales es de Q 37,65.

3. PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS

3.1. Análisis de problemas del sistema actual

El sistema de atención en la bodega de repuestos y materiales presentó varias causas que aumentan el tiempo de servicio, las cuales son descritas a continuación.

- El despachador obtiene la ubicación de los productos requeridos la anota y se dirige al lugar indicado, pero en determinados casos el producto no está ubicado en la dirección correcta. Debido a este inconveniente, el operario tiene que regresar a la computadora para verificar en el sistema la dirección y, si esta es correcta, tratar de localizar el producto de manera manual, si el despachador cuenta con gran experiencia no se le dificultará ya que conoce la ubicación de la mayoría de productos.
- Cuando se verifican las existencias de los productos, el despachador procede a buscar el producto, pero en determinadas situaciones el sistema genera existencias y en la bodega no se encuentran los productos, debido a una mala descarga del inventario. Pero, es importante que antes de informarle al solicitante, el operario debe de cerciorarse al 100 % que no se tenga ninguna existencia.

- En el momento que el despachador recibe una solicitud y realiza todo el proceso, el despachador se encuentra con el inconveniente que los códigos proporcionados no coinciden con el producto requerido, de manera que tiene que localizar el producto de manera manual.
- En las operaciones que el despachador puede ejecutar durante el proceso de despacho como pesar, medir y cortar, se tienen un aumento de tiempo en el proceso.
- La falta de experiencia del despachador es un factor importante debido a que el personal que cuenta con experiencia ya conoce ubicaciones de muchos productos y no las obtienen del sistema, ayudando a reducir el tiempo de servicio.

Estas son las causas más comunes encontradas en la bodega de repuestos y materiales que generan un aumento significativo en el tiempo de servicio.

3.2. Acciones correctivas del proceso a implementar

Las acciones que se deben tomar en cuenta respecto a las causas identificadas que generan el aumento de tiempo dentro del proceso de despacho en la bodega de repuestos y materiales son las siguientes:

- Para que la ubicación de los productos dentro de la bodega no genere inconvenientes, se debe solicitar al jefe de bodega que verifique que las ubicaciones de todos los productos sean las correctas y que los nuevos ingresos cumplan con los requisitos.

- Ya que las personas encargadas de colocar los productos no realizan dicha inspección, para que la verificación de productos no cause una inversión de tiempo y dinero, puede llevarse a cabo, cuando se realiza el inventario general.
- Cuando se realiza un despacho en la bodega, se debe indicar al operario que realice la descarga de productos correctamente, ya que si no se descargan los productos entregados, el inventario que maneja el programa será distinto al inventario físico de la bodega. Esto debe iniciarse después de haber realizado de manera eficiente el inventario general.
- Una mala codificación del producto retrasa el proceso de despacho, ya que el operario realiza todas las operaciones correspondientes y al finalizar el proceso, el producto no corresponde al solicitando. Debido a este inconveniente, se debe requerir que el Departamento de Compras verifique que los códigos creados correspondan al producto físico, para que cuando sean recibidos en la bodega no se tengan inconvenientes en el despacho.
- Para las operaciones de pesar, medir y cortar, solamente se podrá proporcionar al despachador herramientas que ayuden a que dichas operaciones sean más rápidas, ya que estas operaciones no se pueden eliminar, solo se pueden mejorar las técnicas y herramientas utilizadas.
- Para reducir el tiempo por falta de experiencia, se necesitará capacitar al despachador para que conozca todo el proceso, los inconvenientes que más se generan en la bodega y cómo resolverlos en el menor tiempo posible.

3.3. Descripción del proceso de servicio propuesto

El proceso de despacho en la bodega de repuestos y materiales inicia desde el requerimiento de insumos y finaliza hasta la entrega de las requisiciones para su respectiva verificación, se ha descrito a detalle todo el proceso anteriormente en la sección 2.2.

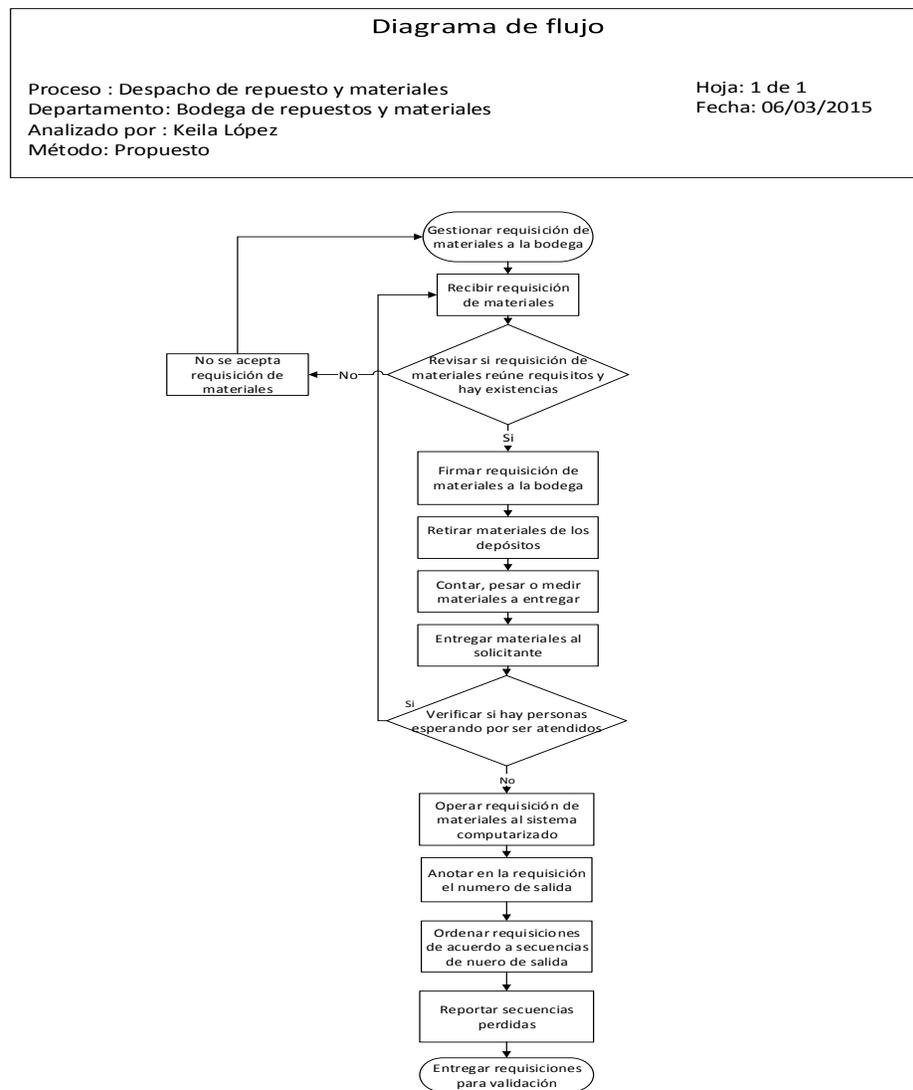
En el método propuesto se tendrá un cambio en el orden de ejecución de las operaciones para completar el proceso. Este cambio se dará cuando el despachador termine de entregar el producto solicitado al operario, ya que se verificará si hay personas esperando por ser atendidas, si hay se les atenderá de inmediato, dejando a la espera la ejecución de las últimas operaciones, ya que estas operaciones no son indispensables en ese momento, pero sí obligatorias. El despachador deberá ingresar al sistema las requisiciones cuando el sistema este vacío, para poder completar el proceso de despacho. Si no existe ninguna persona esperando por ser atendida, el despachador debe realizar todo el proceso de manera continua.

Se indicará al despachador un lugar específico para almacenar los vales cuando estos están a la espera de ser ingresados en el sistema, de manera que no se extravíen.

3.4. Diagrama de flujo del proceso

Se presenta a continuación el diagrama del proceso de despacho para el método propuesto.

Figura 15. Diagrama de flujo método propuesto



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio.

3.5. Características del proceso propuesto

En el proceso propuesto, durante el periodo de zafra se realizarán los cálculos con un solo servidor, que se determinó después de ser analizado el sistema actual. Para el proceso propuesto en el periodo de reparación, se realizan los cálculos para tres servidores.

Para conocer las características del método propuesto para el proceso de despacho en la bodega de repuestos y materiales, se tomarán en consideración algunas características del sistema actual que no varían al disminuir o aumentar el número de servidores.

3.5.1. Proceso de llegadas

Se seguirá tomando que el tamaño de la población es infinito, ya que no se conoce el número exacto de personas que ingresarán a la bodega, las llegadas se dan de forma aleatoria y las personas no pueden retirarse sin realizar la solicitud.

Se tomaron los registros de los colaboradores que asistieron a la bodega en los horarios de 7:00 a.m. a 12:00 p.m. y 1:00 p.m. a 4:00 p.m., durante cinco días, representados desde la tabla XXIII a la XXVII, ubicadas en el apéndice para el periodo de zafra y para el periodo de reparación en el horario de 7:00 a.m. a 12:00 p.m. y 1:00 p.m. a 5:00 p.m. de lunes a jueves y a las 4:00 p.m. los días viernes, representados desde la tabla XXVIII a la XXXIX.

3.5.1.1. Tasa promedio de llegadas

La tasa promedio de llegadas está representada por λ , y es el número de personas que llegan a la bodega por hora, se estimó en la sección 2.4.1.1 su valor después de realizar los cálculos respectivos en las tablas I y II, para zafra y reparación respectivamente. Obteniendo los valores siguientes:

Para zafra se tiene una tasa promedio de llegadas de 6,20 clientes por hora. Para reparación la tasa promedio de llegadas es de 13,68 clientes por hora.

3.5.2. Tasa promedio de servicio

La tasa promedio de servicio representa el tiempo que un servidor tarda en atender a un cliente, está representada por μ , se obtendrán los valores de las tablas III y IV de la sección 2.4.2.

Para el periodo de zafra se tiene una tasa promedio de servicio de 13,32 clientes por hora y para el periodo de reparación se tiene un promedio de 13,23 clientes por hora.

3.5.3. Disciplina de la cola

Para el método propuesto, se seguirá tomando en cuenta que el orden de atención a los clientes es FIFO, que significa que el primer cliente que ingresa al sistema es atendido y así sucesivamente.

3.6. Medición del método propuesto

Las características del proceso de la bodega de repuestos y materiales se determinarán para un servidor en zafra, y para tres servidores en reparación.

3.6.1. Probabilidad de cero clientes en el sistema

La probabilidad de que no se encuentre ningún cliente en el sistema se determinará por las siguientes fórmulas:

Para, 1 servidor

$$P_o = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

Para, 2 o más servidores

$$P_o = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s!} \left(\frac{s\mu}{s\mu - \lambda}\right)}$$

Donde: s = número de servidores, λ = tasa promedio de llegadas de clientes por hora y μ = tasa promedio de servicio de clientes por hora.

- Zafra

Sustituyendo en la fórmula, $\lambda = 6,20$ y $\mu = 13,32$

$$P_o = 1 - \frac{6,20}{13,32} = 0,5345$$

La probabilidad de que el sistema este vacío cuando se trabaja con un servidor es de 53,45 %.

- Reparación

Sustituyendo en la fórmula, $s = 3$, $\lambda = 13,68$ y $\mu = 13,23$

$$P_o = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{13,68}{13,23}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{13,23}{13,68}\right)^3}{3!} \left(\frac{(3 * 13,23)}{(3 * 13,23) - 13,68}\right)} = 0,3509$$

La probabilidad de que el sistema se encuentre vacío cuando se trabaja con tres servidores es de 35,09 %.

3.6.2. Número promedio de clientes en la cola

El número promedio de clientes que se encuentran en un determinado momento esperando por ser atendidos está representado por las siguientes fórmulas:

Para, 1 servidor

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

Para, 2 o más servidores

$$L_q = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \lambda \mu}{(s - 1)! (s\mu - \lambda)^2} P_o$$

Donde: s = número de servidores, λ = tasa promedio de llegadas de clientes por hora, μ = tasa promedio de servicio de clientes por hora y P_o = probabilidad de que el sistema se encuentre vacío.

- Zafra

Sustituyendo en la fórmula, $\lambda = 6,20$ y $\mu = 13,32$

$$L_q = \frac{6,20^2}{13,32(13,32 - 6,20)} = 0,4053 \text{ clientes}$$

El número promedio de clientes que esperan por ser atendidos cuando trabaja solamente un servidor es de 0,4053 clientes.

- Reparación

Sustituyendo $s = 3$, $\lambda = 13,68$, $\mu = 13,23$ y $P_0 = 0,3509$

$$L_q = \frac{\left(\frac{13,68}{13,23}\right)^3 (13,68 * 13,23)}{(3 - 1)! (3 * 13,23 - 13,68)^2} * 0,3509 = 0,05189 \text{ clientes}$$

El número promedio de clientes que esperan por ser atendidos cuando hay tres servidores es de 0,05189 clientes

3.6.3. Número promedio de clientes en el sistema

El número promedio de clientes que se encuentran en un determinado momento para $s \geq 1$, está representado por la siguiente fórmula:

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

Donde L_q = número promedio de clientes en la cola, λ = tasa promedio de llegadas y μ = tasa promedio de servicio.

- Zafra

Sustituyendo $\lambda = 6,20$, $\mu = 13,32$ y $L_q = 0,4053$

$$L = 0,4053 + \frac{6,20}{13,32} = 0,8708 \text{ clientes}$$

El número promedio de clientes que se encuentran en un determinado momento en el sistema es de 0,8708 clientes.

- Reparación

Sustituyendo $\lambda = 13,68$, $\mu = 13,23$ y $L_q = 0,05189$

$$L = 0,05189 + \frac{13,68}{13,23} = 1,08590 \text{ clientes}$$

El número promedio de clientes que se encuentran en un determinado momento en el sistema es de 1,08590 clientes.

3.6.4. Tiempo promedio que un cliente permanece en la cola

El tiempo promedio que un cliente espera en la cola antes de ser atendido para $s \geq 1$, está representado por la siguiente fórmula:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

Donde L_q = número promedio de clientes en la cola y λ = tasa promedio de llegada.

- Zafra

Sustituyendo $\lambda = 6,20$ y $L_q = 0,4053$

$$W_q = \frac{0,4053}{6,20} = 0,065371 \text{ horas}$$

El tiempo promedio que un cliente tendrá que esperar por ser atendido, cuando el servidor está ocupado es de 0,065371 horas o 3,92 minutos.

- Reparación

Sustituyendo $\lambda = 13.68$ y $L_q = 0,3772$

$$W_q = \frac{0,05189}{13.68} = 0,003793 \text{ horas}$$

El tiempo que un cliente debe esperar por ser atendido cuando los servidores están ocupados es de 0,003793 horas o 0,2276 minutos.

3.6.5. Tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema

El tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema para $s \geq 1$, está dado por la siguiente fórmula:

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Donde W_q = tiempo promedio en la cola y μ = tasa promedio de servicio

- Zafra

Sustituyendo $\mu = 13,32$ y $W_q = 0,06537$

$$W = 0,06537 + \frac{1}{13,32} = 0,1404 \text{ horas}$$

El tiempo promedio que una persona permanece en el sistema es de 0,1414 horas o 8,43 minutos.

- Reparación

Sustituyendo $\mu = 13,23$ y $W_q = 0,003793$

$$W = 0,003793 + \frac{1}{13,23} = 0,07937 \text{ horas}$$

El tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema cuando atienden tres servidores es de 0,07937 horas o 4,76 minutos.

3.6.6. Probabilidad que un número específico de clientes esté en el sistema

La probabilidad que se encuentre n clientes en el sistema está determinada por las siguientes fórmulas:

Para un servidor

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0$$

Para dos o más servidores

Para valores menores o iguales al número de servidores ($n \leq s$)

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} P_0$$

Para valores mayores al número de servidores ($n > s$)

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{s! s^{(n-s)}} P_0$$

Donde P_0 = probabilidad que el sistema este vacío, μ =tasa promedio de servicio, λ = tasa promedio de servicio, s =número de servidores y n = número de clientes esperados.

Se presentan los resultados obtenidos en las siguientes tablas.

Tabla XII. **Probabilidad, en zafra, de clientes en el sistema**

Número de clientes	Probabilidad de n clientes	Probabilidad de n clientes (%)
1	0,2487	24,87 %
2	0,1158	11,58 %
3	0,0539	5,39 %
4	0,025	2,50 %
5	0,0116	1,16 %
6	0,005435	0,54 %
7	0,00253	0,25 %
8	0,001178	0,12 %
9	0,0005482	0,05 %
10	0,0002552	0,03 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Probabilidad, en reparación, de n clientes en el sistema 1**

Número de clientes	Probabilidad de n clientes	Probabilidad de n clientes (%)
1	0,3628	36,28 %
2	0,1876	18,76 %
3	0,06466	6,47 %

Fuente: elaboración propia

Tabla XIV. Probabilidad, en reparación, de n clientes en el sistema 2

Número de clientes	Probabilidad de n clientes	Probabilidad de n clientes (%)
4	0,02229	2,23 %
5	0,007681	0,77 %
6	0,002647	0,26 %
7	0,0009124	0,091 %
8	0,00031451	0,031 %
9	0,0001084	0,011 %
10	0,00003736	0,0037 %

Fuente: elaboración propia.

3.7. Factor de utilización

Determina el porcentaje del total del tiempo en que el sistema se encuentra ocupado, donde se puede determinar si la tasa media de llegadas es mayor a la multiplicación de la tasa media de servicio por el número de servidores, el sistema se satura y la cola crecería indefinidamente en el transcurso del tiempo.

Se determina que el sistema no se satura cuando el factor de utilización es menor a uno, ya que alcanza su estado estacionario.

Para un servidor

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$$

Para dos o más servidores

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} < 1$$

Donde λ = tasa promedio de llegadas, μ = tasa promedio de servicio y s = número de servidores.

- Zafra

Sustituyendo $\lambda = 6,20$ y $\mu = 13,32$

$$\rho = \frac{6,20}{13,32} = 0,4654$$

El porcentaje de tiempo que el sistema se encuentra ocupado es de 46,45 % del tiempo total de servicio.

- Reparación

Sustituyendo $s = 3$, $\lambda = 13,68$ y $\mu = 13,23$

$$\rho = \frac{13,68}{3 * 13,23} = 0,3447$$

La fracción esperada de tiempo en que el sistema se encuentra ocupado es de 0,3447 o 34,47 % del tiempo total de servicio.

3.8. Estimación de costos del método propuesto

Los costos se analizarán involucrando solamente los costos de tener n servidores trabajando y el costo que genera que los clientes esperen antes de ser atendidos.

El costo de los servidores es el costo del personal que se encuentra en el despacho en la bodega y el costo del personal que espera por obtener los insumos.

Para la obtención de los sueldos se tomará como referencia el salario mínimo determinado por el Ministerio de Trabajo y Previsión Social, representado en las tablas IX y X de la sección 2.7 y los aumentos involucrados por el periodo de zafra.

El costo de espera y el costo de servicio se regirán por la tabla XI, donde se describen los salarios por el periodo en el que se encuentra trabajando el Ingenio y de las personas que se espera que ingresen a la bodega, frecuentemente son ayudantes.

El costo total está representado por la siguiente fórmula

$$C_t = C_w L + C_s S$$

Donde:

S = número de servidores

C_w = costo de espera por unidad de tiempo

C_s = costo de servicio por unidad de tiempo

C_t = costo total promedio del sistema por unidad de tiempo

- Zafra

Salario de un ayudante en el periodo de zafra por hora, Q 11,44.

Salario de un despachador en el periodo de zafra por hora, Q 11,68.

Sustituyendo $C_w = 11,44$, $L = 0,8708$, $C_s = 11,68$ y $s = 1$

$$C_t = (11,44 * 0,8708) + (11,68 * 1) = 21,64$$

El costo total por hora en el periodo de zafra es de Q 21,64.

- Reparación

Salario de un ayudante en el periodo de reparación por hora, Q 10,95.

Salario de un despachador en el periodo de reparación por hora, Q 11,19.

Sustituyendo $C_w = 10,95$, $L = 1,08590$, $C_s = 11,19$ y $s = 3$

$$C_t = (10,95 * 1,08590) + (11,19 * 3) = 45,46$$

El costo total por hora en el periodo de reparación es de Q 45,46.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Comparación del método actual y método propuesto

Se realizará la comparación de todos los resultados obtenidos en el método actual y método propuesto, para conocer las diferencias entre ambos y poder definir si el método propuesto tiene una mejora significativa en el proceso de despacho en la bodega de repuestos y materiales.

4.1.1. Tasa promedio de llegadas

La tasa promedio de llegadas en el método actual y propuesto durante el periodo de zafra es la misma, debido a que el número de personas que asisten a la bodega no se modifica al realizar los cambios para método propuesto. Tiene un aumento significativo en el periodo de reparación ya que el número de personas que ingresan a la bodega aumenta, debido a que en este periodo se requieren la gran mayoría de productos para cumplir con el mantenimiento preventivo del ingenio y en el periodo de zafra se utilizan los productos en su gran mayoría para mantenimiento correctivo.

Tasa promedio de llegada en zafra es de 6,20 personas por hora y en reparación es de 13,68. Con estos datos se determinara que el número de personas que llegan en el periodo de reparación es mayor que en el periodo de zafra.

4.1.2. Tasa promedio de servicio

En el método actual y método propuesto se utilizó la misma tasa de servicio, se modifica dependiendo el periodo en el que encuentre el ingenio, en zafra o reparación.

La tasa promedio de servicio para el periodo de zafra es de 13,32 personas por hora y en reparación es de 13,23 personas por hora.

4.1.3. Disciplina de la cola

La disciplina de la cola en ambos métodos se determinó que se atenderán a los clientes como van ingresando al sistema, es decir que el primer cliente en ser atendido será el primer cliente en salir del sistema. Sistema denomina FIFO, por sus siglas en inglés *first in first out*.

Algunas veces existirán excepciones en las que se les dará prioridad a otros clientes y, debido a su poca frecuencia, no afectará al sistema. Estos casos se dan cuando se tiene alguna emergencia en el Ingenio y se le debe de dar la prioridad necesaria.

4.1.4. Probabilidad de cero clientes en el sistema

La probabilidad que no se encuentren clientes en el sistema, se determinaron para los periodos de zafra y reparación.

- Zafra

La probabilidad de que el sistema esté vacío en el método actual, cuando trabajan dos servidores, es de 62,24 % y en el método propuesto cuando solamente trabaja un servidor, la probabilidad es de 53,45 %. El porcentaje de inactividad para ambos casos es alto.

Respecto a este dato es más conveniente tener un servidor, ya que con un servidor aproximadamente el 50 % del turno pasará inactivo y con dos servidores el tiempo en el cual están inactivos aumenta.

- Reparación

La probabilidad de encontrar el sistema vacío en el método actual es de 31,84 % cuando trabajan dos servidores y en el método propuesto es de 35,09 % cuando se propone que trabajarán tres servidores.

Comparando las dos probabilidades, es más probable que el sistema se encuentre vacío cuando trabajan tres servidores, la diferencia entre ambos es de 3,25 %.

4.1.5. Número promedio de clientes en la cola

Se obtuvieron los valores para el método actual y propuesto para cada periodo, siendo estos zafra y esta reparación.

- Zafra

El número promedio de clientes para el método actual cuando trabajan dos servidores es 0,02665 de personas y para el método propuesto cuando solo trabaja un servidor es de 0,4053. Con los datos encontrados se determina que cuando solo trabaja un servidor, el sistema tiene más personas en la cola que cuando trabajan dos servidores.

Respecto a este dato es mejor tener un servidor, ya que el número promedio de clientes en la cola es menor para dos servidores. Si se tiene en cuenta que las diferencias no son significativas y que teniendo dos servidores aumentaría el costo del servicio, debido al salario del otro despachador.

- Reparación

El número promedio de clientes para el método actual, cuando trabajan dos servidores es de 0,3772 personas y en el método propuesto para tres servidores es de 0,05189 personas. Cuando atienden tres servidores se encuentran menos personas, que cuando trabajan dos servidores.

Respecto a los datos obtenidos, es más favorable tener tres servidores, ya que disminuye significativamente el número de personas en la cola, se tendrá que analizar los costos de tener un servidor más.

4.1.6. Número promedio de clientes en el sistema

Se obtuvieron los cálculos para los métodos actuales y propuestos en los periodos de zafra y reparación.

- **Zafra**

Con el método actual se tiene un promedio de 0,4921 clientes en el sistema, trabajando con dos servidores y para el método propuesto un promedio de 0,87708 clientes en el sistema, trabajando con un servidor.

Los datos muestran que trabajando con un servidor se tendrán más clientes en el sistema que cuando se trabaja con dos servidores tomando en que no existe una diferencia significativa, se tendrán que analizar las demás variables para tomar una decisión del método más óptimo.

- **Reparación**

El número promedio de clientes en el sistema es de 1,4113 clientes, cuando trabajan dos servidores y para el método propuesto, cuando trabajan tres servidores el número promedio es de 1,08590 clientes.

Con los datos obtenidos se puede definir que cuando trabajan tres servidores se tendrá un número menor de personas en el sistema, lo cual disminuye los costos de espera y se tendrán que analizar los costos del servidor.

4.1.7. Tiempo promedio que un cliente permanece en la cola

El tiempo promedio que un cliente permanece en la cola se determinaron para los métodos actuales y propuestos para cada periodo, zafra y reparación.

- Zafra

El tiempo promedio que un cliente permanece en la cola en el método actual, cuando trabajan dos servidores es de 0,2579 minutos y en el método propuesto, cuando trabaja solamente un servidor es de 3,92 minutos.

Comparando los datos obtenidos para que los clientes tengan un menor periodo de tiempo en la cola es mejor tener dos servidores, ya que con un servidor el tiempo de espera aumenta significativamente.

- Reparación

Cuando trabajan dos servidores, el tiempo promedio que un cliente permanece en la cola es de 1,65 minutos y cuando traban tres servidores es de 0,2276 minutos.

Con los resultados obtenidos se establece que el tiempo promedio que un cliente permanece en la cola es menor cuando trabajan tres servidores, que cuando trabajan dos servidores.

4.1.8. Tiempo promedio que un cliente permanece en el servicio

Se determinaron los tiempos para los periodos de zafra y reparación, para el método actual y método propuesto.

- Zafra

En el método actual, cuando trabajan dos servidores, el tiempo promedio en el servicio es de 4,76 minutos y en el método propuesto, cuando trabaja un servidor, es de 8,43 minutos.

Determinados los tiempo, el método actual presenta un menor tiempo en el servicio, ya que con un servidor el tiempo es casi el doble respecto al tiempo con un servidor. El método actual es más rápido y en la sección 4.3 se analizarán los costos involucrados en el sistema, para tomar una decisión sobre qué método es más óptimo.

- Reparación

El tiempo promedio que un cliente permanece en el sistema cuanto trabajan dos servidores es de 6,18 minutos y cuanto trabajan tres servidores es de 4,76 minutos.

Comparando los resultados, el método propuesto disminuye 1,42 minutos respecto al método actual con dos servidores, se tendrán que analizar los costos de agregar un servidor más al sistema.

4.1.9. Probabilidad que un número específico de clientes estén en el sistema

La probabilidad de que n clientes se encuentren en el sistema, se determinó para los dos periodos, zafra y reparación, se presentan los resultados en las tablas XV y XVI.

Tabla XV. Comparación de probabilidades en zafra

Método actual		Método propuesto	
Número de clientes	Probabilidad de n clientes (%)	Número de clientes	Probabilidad de n clientes (%)
1	28,97 %	1	24,87 %
2	6,74 %	2	11,58 %
3	1,57 %	3	5,39 %
4	0,36 %	4	2,50 %
5	0,09 %	5	1,16 %
6	0,02 %	6	0,54 %

Fuente: elaboración propia.

La probabilidad de encontrar un cliente en el sistema para el método actual es de 28,97 % y con el método propuesto es de 24,87 %. La probabilidad de encontrar 6 clientes en el sistema es de 0,02 % para el método actual y 0,54 % para el método propuesto.

Es probable que para los dos métodos no exista una gran cantidad de clientes esperando por ser atendidos en el sistema.

Tabla XVI. **Comparación de probabilidades en reparación**

Método actual		Método propuesto	
Número de clientes	Probabilidad de n clientes (%)	Número de clientes	Probabilidad de n clientes (%)
1	32,92 %	1	36,28 %
2	17,02 %	2	18,76 %
3	8,80 %	3	6,57 %
4	4,55 %	4	2,23 %
5	3,14 %	5	0,77 %
6	2,01 %	6	0,26 %

Fuente: elaboración propia.

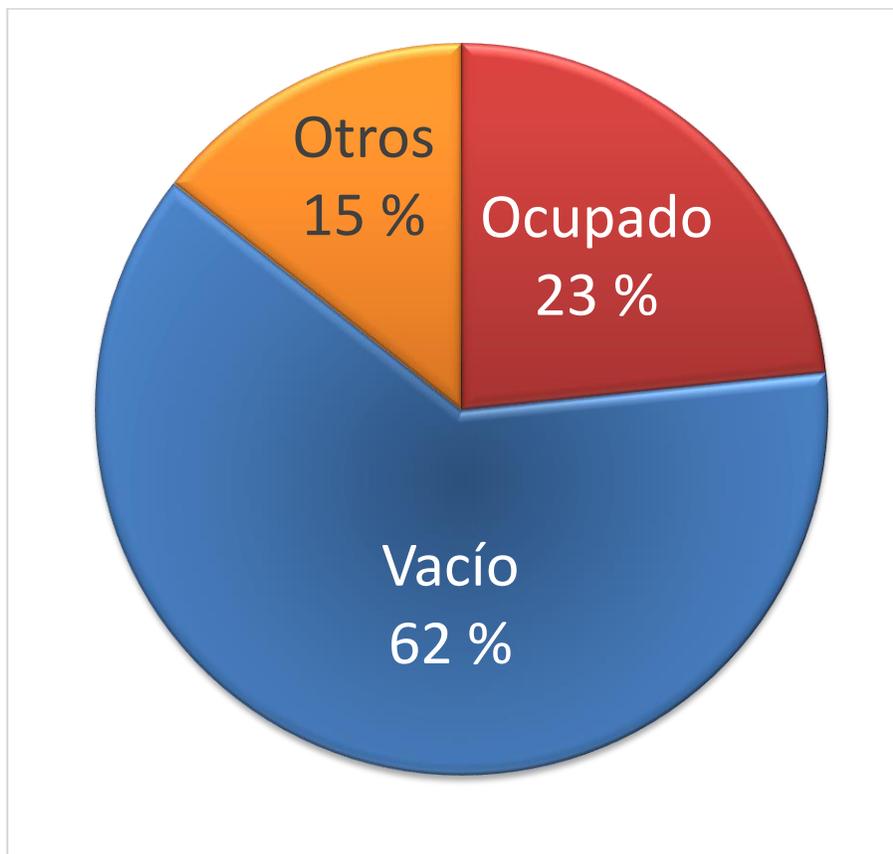
La probabilidad de encontrar un cliente en el sistema para el método actual, cuando trabajan dos servidores, es de 32,92 % y con el método propuesto, cuando trabajan tres servidores, es de 36,28 %. La probabilidad de encontrar 6 clientes en el sistema es de 2,01 % para el método actual y 0,26 % para el método propuesto.

Es más probable encontrar un número determinado de clientes en el método actual que en el método propuesto, ya que se aumenta un servidor.

4.2. Factor de utilización

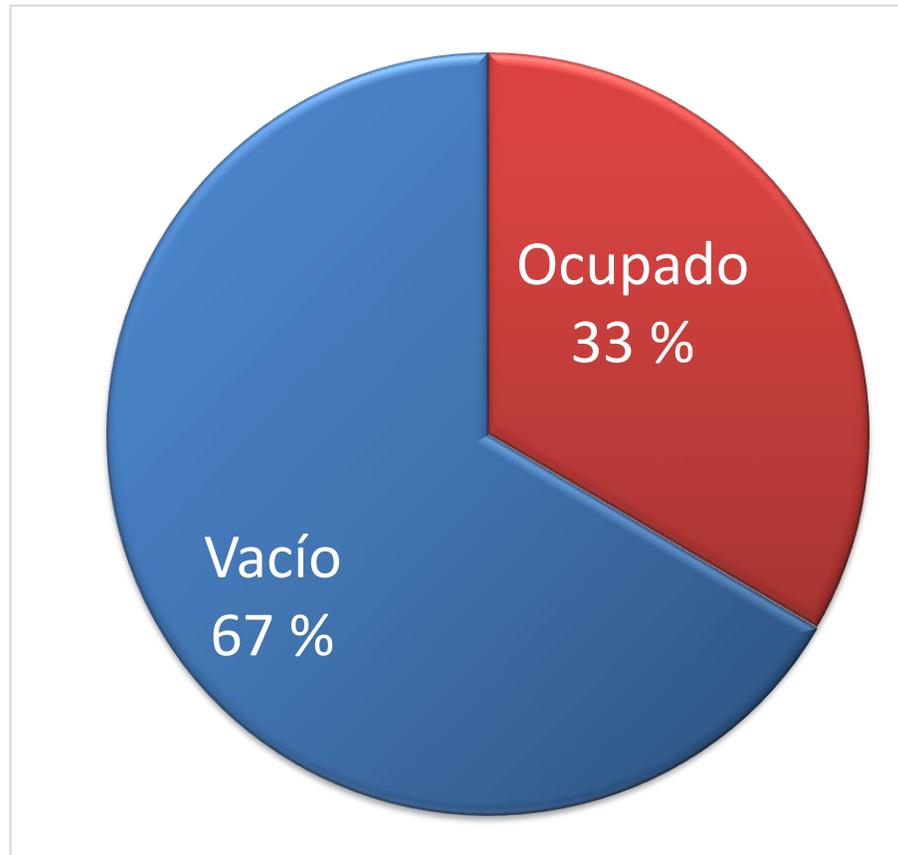
Se presentan los porcentajes de utilización para el método actual y propuesto, para ambos periodos.

Figura 16. **Utilización del sistema, método actual, en zafra**



Fuente: elaboración propia.

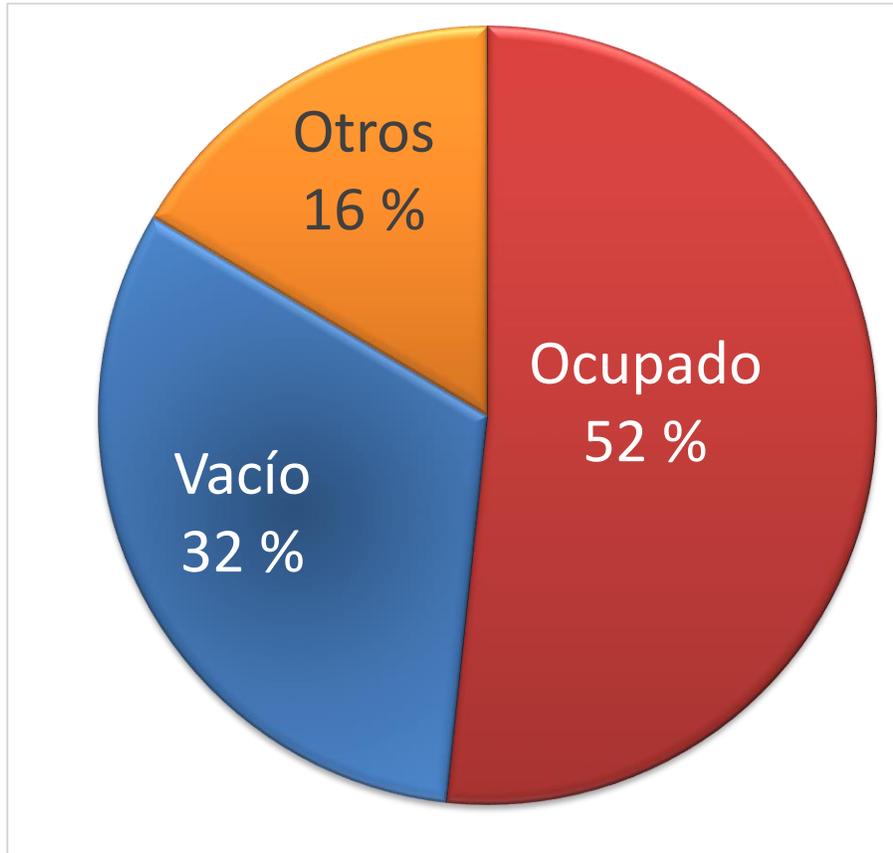
Figura 17. **Utilización del sistema, método propuesto, en zafra**



Fuente: elaboración propia.

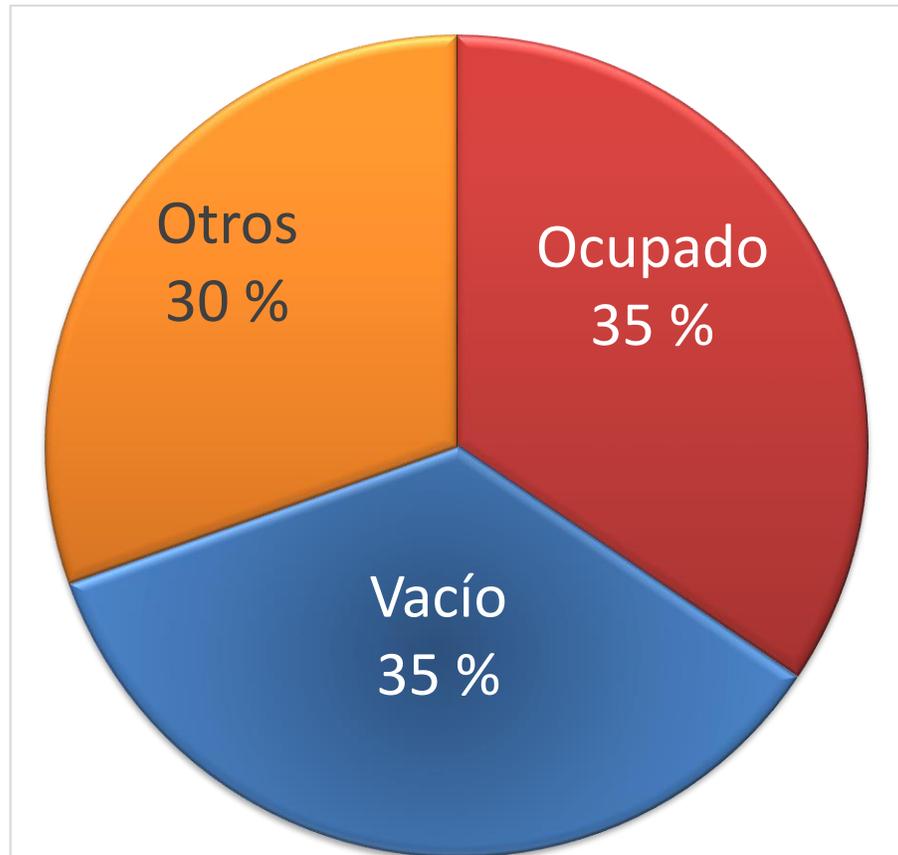
Cuando se utiliza un servidor, el sistema se mantiene ocupado aproximadamente 10 % más que cuando trabajan dos servidores. Por lo cual es más conveniente tener un servidor, ya que el tiempo de ocio es menor.

Figura 18. **Utilización del sistema, método actual, en reparación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Utilización del sistema, método propuesto, en reparación**



Fuente: elaboración propia.

Cuando se utiliza dos servidores, el sistema se mantiene ocupado aproximadamente 15 % más que cuando trabajan tres servidores. Por lo cual es más conveniente tener dos servidores ya que el tiempo de ocio es menor.

4.3. Estimación de costos

Se presentan a continuación los costos de mano de obra por hora para el proceso de despacho.

Tabla XVII. **Costos totales zafra**

Costos totales	
Método actual	Método propuesto
Q 28,99	Q 21,64

Fuente: elaboración propia.

Los costos por hora disminuyen en el método propuesto ya que trabaja solamente un servidor y en el método actual se tienen dos servidores. Si se trabajan 8 horas diarias se tendrá un ahorro de Q 58,80 diarios.

Tabla XVIII. **Costos totales reparación**

Costos totales	
Método actual	Método propuesto
Q 37,65	Q 45,46

Fuente: elaboración propia

Los costos por hora aumentan en el método propuesto, ya que se agrega un servidor y en el método actual se tienen dos servidores. Si se trabajan 8 horas diarias se tendrá un aumento de Q 62,48 diarios.

4.4. Diagrama del proceso

El diagrama de proceso indica todas las operaciones necesarias para realizar una determinada actividad, en este caso, el despacho de repuestos y materiales en la bodega.

4.4.1. Comparación del flujo del proceso actual y propuesto

El diagrama de flujo propuesto presenta una modificación y es el orden en el cual se realizarán todas las operaciones, esto se da cuando el despachador ha terminado de entregar los insumos requeridos y debe operar la requisición. En ese momento el despachador debe de verificar si se encuentra alguna persona esperando por ser atendida, si alguien se encuentra esperando, el despachador debe atenderla de inmediato, dejando sin realizar las últimas operaciones. El despachador debe operar la requisición cuando el sistema se encuentre vacío, debiendo almacenar las requisiciones sin operar en un lugar apropiado.

4.5. Análisis de resultados

Se realizará el análisis de los métodos actuales y propuestos para los periodos de zafra y reparación, determinando cuál de los métodos es el más óptimo, dependiendo de los requerimientos del encargado de la bodega.

Se presentará, en las siguientes tablas, la comparación directa de las variables para cada periodo.

Tabla XIX. **Comparación de variables en zafra**

Variables	Método actual	Método propuesto
Probabilidad de cero clientes en el sistema	62,24 %	53,45 %
Número promedio de clientes en la cola	0,02665 clientes	0,4053 clientes
Número promedio de clientes en el sistema	0,49211 clientes	0,8708 clientes
Tiempo promedio en la cola	0,2579 minutos	3,92 minutos
Tiempo promedio en el sistema	4,76 minutos	8,43 minutos
Factor de utilización	23,37 %	46,54 %
Costos totales por hora	Q 24,55	Q 18,43

Fuente: elaboración propia.

- Si se requiere un proceso de despacho más rápido, el método actual es el más adecuado, ya que el tiempo promedio en el sistema cuando trabajan dos servidores es 50 % menor que el método propuesto.
- Para reducir los costos en la bodega de repuestos y materiales, el método propuesto, cuando trabaja un servidor, es el más adecuado, ya que reduce un 25 % los costos por hora.

Se tienen dos propuestas, la decisión del método aplicar dependerá de los requerimientos, si se necesita que el sistema sea más rápido o que el sistema tenga un costo más bajo.

Tabla XX. **Comparación de variables en reparación**

Variables	Método actual	Método propuesto
Probabilidad de cero clientes en el sistema	31,84 %	35,09 %
Número promedio de clientes en la cola	0,3772 clientes	0,05189 clientes
Número promedio de clientes en el sistema	1,4114 clientes	1,08590 clientes
Tiempo promedio en la cola	1,6544 minutos	0,2276 minutos
Tiempo promedio en el sistema	6,1893 minutos	4,76 minutos
Factor de utilización	51,70 %	34,47 %
Costos totales por hora	Q 37,65	Q 45,46

Fuente: elaboración propia.

- Si se requiere un sistema más rápido, el método propuesto es el mejor, ya que disminuye 1,43 minutos el tiempo promedio que una persona permanece en el sistema.
- Si lo que se requiere es reducir costos, el método actual deberá seguir como hasta hora, ya que la reducción de tiempo implica la incorporación de un nuevo servidor.
- El tiempo de ocio aumenta cuando trabajan tres servidores, ya que solo se utilizará el 34,47 % del tiempo disponible.

La selección del mejor método deberá ser tomada por el jefe y el gerente del almacén, quienes definirán qué método es más favorable para las actividades realizadas en reparación, si mantener costos o disminuir el tiempo de espera.

4.6. Registros del proceso

Se diseñará una hoja de control para registrar los inconvenientes en la bodega de repuestos y materiales, los inconveniente se darán cuando el proceso de despacho supere los 7 minutos.

4.6.1. Hoja de control

Se muestra a continuación el formato para llevar los registros de las causas que incrementan el tiempo en el proceso de despacho.

Figura 20. **Formato para el registro de inconvenientes**

 Registro de inconvenientes en la bodega de repuestos y materiales 				
Correlativo	Motivo	Tiempo aproximado	Código de trabajador	Número de requisición
1				
2				
3				
4				
5				

Fuente: elaboración propia.

4.7. Recursos necesarios para implementar la propuesta

La implementación de las propuestas requiere de recursos importantes, para cumplir con los objetivos de cada modelo.

4.7.1. Recursos técnicos

Los recursos técnicos son herramientas e instrumentos que se utilizan como ayuda y son importantes para poder materializar la propuesta.

Si para el periodo de zafra se elige el método propuesto, no se modificarían las instalaciones, mobiliario y equipo, ya que la bodega de repuestos y materiales cuenta con los recursos técnicos necesarios.

Si se decide implementar el método propuesto para el periodo de reparación, se tendrá que adquirir el mobiliario y equipo necesario para que el despachador pueda ejecutar sus tareas sin inconvenientes. Se describe el equipo a continuación:

- Escritorio
- Silla
- Monitor
- CPU
- Teclado
- *Mouse*
- Lámpara

Figura 21. **Mobiliario y equipo**



Fuente: bodega de repuestos y materiales.

4.7.2. Recurso económicos

Los recursos económicos considerados necesarios para la implementación de la propuesta se presentan a través de un presupuesto de inversión. Se utilizarán estimaciones para determinar los valores de inversión.

En el periodo de zafra, si se considera que la propuesta es la más adecuada, solamente se presentará un ahorro, ya que actualmente se trabaja con dos despachadores y se pasaría a trabajar con un despachador.

Para el periodo de reparación, si se elige el método propuesto, se generan costos en la compra del mobiliario y equipo descrito anteriormente para el nuevo despachador y así el sistema funcionaría con tres servidores.

4.7.3. Recurso humano

Para la implementación de los métodos propuestos debe estimarse el recurso humano necesario para alcanzar el resultado deseado.

En zafra se trabaja actualmente con dos personas en el turno de día, si se elige el método propuesto, se trabajaría solamente con un despachador, por lo cual en número de personas se reduce.

En el periodo de reparación, trabajan actualmente dos personas, si se implementa el método propuesto, aumentarían los costos relacionados con el personal, ya que se tendría que contratar a una persona.

5. SEGUIMIENTO

5.1. Verificación del desempeño del modelo

Es necesario darle seguimiento al modelo a través de una mejora continua, para cumplir con los requerimientos y necesidades de la bodega de repuestos y materiales.

5.1.1. Auditoría al cumplimiento del proceso

La verificación del cumplimiento del proceso de despacho se realizará a través de auditorías internas, las cuales están a cargo del Departamento de Calidad.

Para dicha verificación, se tomará como referencia el proceso establecido por el supervisor de la bodega de repuestos y materiales, también se tomará en cuenta el uso del programa, ya que es indispensable para un mejor desempeño. Se muestra, desde la figura 22 a la 24, las pantallas principales para la obtención de las ubicaciones y registro de los productos. En la figura 25 se muestra la hoja de inventarios de artículos trasladados de recepción a los estantes de la bodega, las cuales serán inspeccionadas para verificar que las unidades ingresadas sean las colocadas y que las ubicaciones sean las correctas. Se verificará el orden y limpieza del área, ya que son aspectos importantes para tener un proceso eficiente. En las figuras de la 26 a la 29 se muestra una referencia del aspecto de la bodega de repuestos y materiales.

Figura 22. Consulta de artículos

IMIOCONS2

FORMA DE CONSULTA DE ARTICULOS


 GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA
 COMPANIA AGRICOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S.A.
 ALMACEN CAISA-INGENIO

FECHA:
 USUARIO: ALMCAID05
 Ref. IMIOCONS2

Corporativo: Cod.Anterior: Clasificacion: - - - Ubicacion:
 Descripción:
 No. Parte: Medida:
 Marca: Presentacion:

Apertura	Ultimo Ingreso	Ultima Salida
Fecha: <input type="text"/>	Fecha: <input type="text"/>	Fecha: <input type="text"/>
Precio: <input type="text"/>	Precio: <input type="text"/>	Cto/Promedio: <input type="text"/>
Cantidad: <input type="text"/>	Cantidad: <input type="text"/>	Cantidad: <input type="text"/>

Matriz Gasto: Dias Sin Movimiento:
 Cuenta Contable Activo:
 Indice Rotacion(Unidades):
 Indice Rotacion(Valor):
 Existencia: Al
 Reservado: Disponible:
 Pdte.Dspacho:

ZAFRA
 Duracion en dias:
 Punto Pedido:
 Minimo:
REPARACION
 Duracion en dias:
 Punto Pedido:
 Minimo:



(c) 2011 Cia. Agricola Industrial Santa Ana, S.A., Reservados todos los derechos.

Fuente: bodega de repuestos y materiales.

Figura 23. Descarga de productos

Corporacion:	1	GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA	Fecha Cierre:	30/04/2015	USUARIO:	ALMCAI01
Empresa:	1	COMPANIA AGRICOLA INDUSTRIAL SANTA ANA, S. A.	FECHA:	21/05/2015	REF.:	IMIOSACAW
Almacén:	2	ALMACEN CAISA-INGENIO				

MANTENIMIENTO DE SALIDA DE ARTICULOS DEL ALMACEN

No. Operacion:		Fecha Adicion:		Cuenta Contable:	
Boleta:		Bodega:		Fecha Salida:	21/05/2015
No. Referencia:		Tipo Salida:	5	Generacion:	NINGUNO
Tipo Cuenta Uso:	5	Codigo Cuenta:		Temporalidad:	
Origen Orden:	N	No. Orden:		Tipo Cuenta:	
Solicitado por:		Activo O. P.:		Sub-SubCentro:	
Autorizado por:		Observaciones:		Despachado por:	
Sector Gasto:		Cuenta Uso:			

DETALLE DE LA SALIDA

No.	Codigo Articulo	Codigo Anterior	Descripcion del Articulo:	Categoria Activo	Correlativo Activo	Cantidad	Unidad Medida	Matriz

Grabado por: Fecha Hora:

(C) 2011 Cia. Agricola Industrial Santa Ana, S.A., Reservados todos los derechos.

Fuente: bodega de repuestos y materiales.

Figura 26. **Área de Recepción**



Fuente: bodega de repuestos y materiales.

Figura 27. **Estantes 1**



Fuente: bodega de repuestos y materiales.

Figura 28. **Estantes 2**



Fuente: bodega de repuestos y materiales.

Figura 29. **Estantes 3**



Fuente: bodega de repuestos y materiales.

5.1.2. Análisis del resultado de las auditorías

Posteriormente a la auditoría, se deben analizar los resultados obtenidos y enviarse al encargado de la bodega de repuestos y materiales, para que tome las acciones necesarias para cumplir con las necesidades de la bodega y que el proceso sea el más óptimo, sin importar el transcurso del tiempo.

5.1.3. Cumplimiento del balance entre capacidad instalada y la demanda

Para determinar el cumplimiento del balance requerido, se tomará como referencia la capacidad de clientes que el sistema puede atender por ahora y el número de clientes que llegan al sistema, ya que si se supera la capacidad del sistema con el número de clientes que ingresan, este se saturará y la cola aumentará indefinidamente. Por lo cual, la bodega de repuestos y materiales no podría satisfacer la demanda.

5.2. Acciones correctivas

Las acciones correctivas son las que se llevan a cabo para eliminar la causa de un problema. Ya que la permanencia de estos problemas puede afectar al rendimiento del proceso de despacho en la bodega de repuestos y materiales.

5.2.1. Acciones correctivas a tomar

Las acciones correctivas a tomar las determinarán en conjunto el supervisor de la bodega de repuestos y materiales con el Departamento de Calidad, ya que son ellos los encargados de realizar la auditoría al sistema.

Las acciones correctivas a tomar dependerán de las inconformidades encontradas en la auditoría. Ya que dependen del análisis y la mejora determina para erradicar las causas del problema y obtener resultados positivos al proceso de despacho.

5.2.2. Seguimiento de acciones correctivas

Se les dará un seguimiento a las acciones correctivas tomadas para la eliminación de las inconformidades encontradas en la bodega. Para evitar que estas inconformidades puedan repetirse y generar problemas en el proceso de despacho.

Este proceso se revisará si las inconformidades no se solucionan desde su causa principal, ya que puede afectar al sistema de despacho y en respuesta a esto no se podrá satisfacer a la demanda en el tiempo establecido.

5.3. Estadísticas

Para la mejora continua aplicada al proceso de despacho, es necesario registrar las inconformidades encontrados a través de las auditorías y todos los registros que se presenten a través del formato establecido anteriormente e ilustrado en la figura 20, donde serán anotadas todas las causas que superen el límite de tiempo establecido, para poder mejorar el tiempo de servicio y que la capacidad instalada del sistema pueda aumentar.

Con los registros descritos anteriormente se pueden cuantificar los problemas encontrados en la bodega y analizarlos, para encontrar soluciones factibles.

Para cuantificar las causas encontradas se realizará un histograma, luego se hará un análisis con un diagrama de Pareto y un diagrama de causa y efecto (Ishikawa). Se describirá a continuación todos los pasos a seguir para determinar las causas principales de las inconformidades encontradas.

- Teniendo las causas encontradas, se procede a colocarlas en una tabla de frecuencias para conocer las veces que ha repetido determinada situación (ver en la tabla XXI).

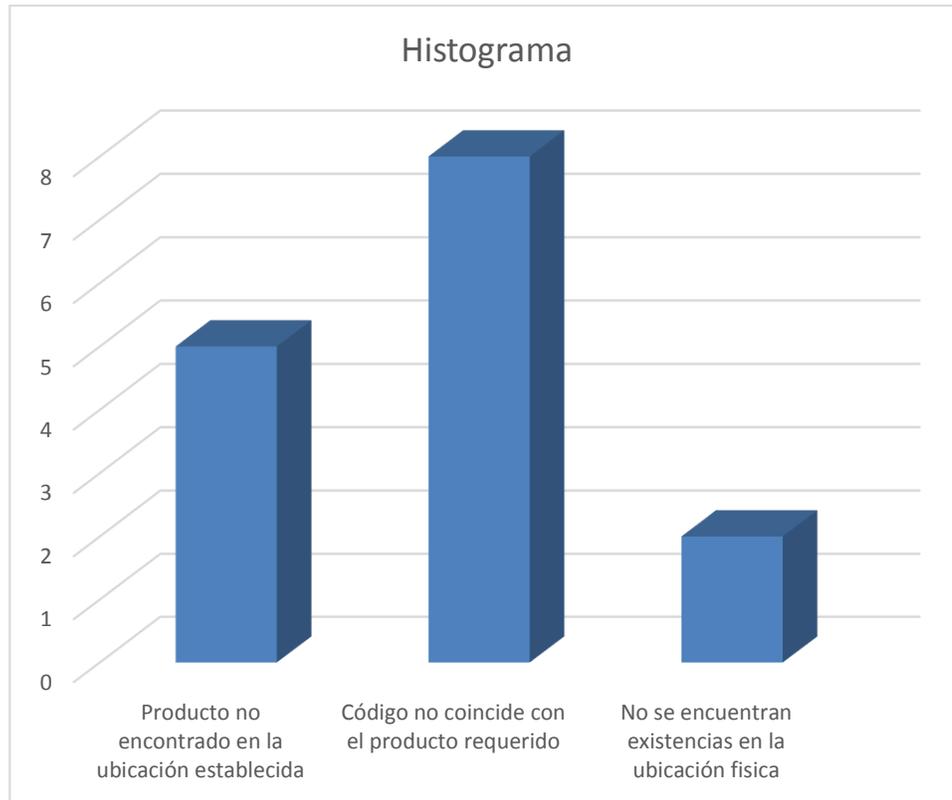
Tabla XXI. **Tabla de frecuencias**

Núm.	Causa	Conteo	Frecuencia	Frecuencia relativa
1	Producto no encontrado en la ubicación establecida	////	5	33 %
2	Código no coincide con el producto requerido	////////	8	53 %
3	No se encuentran existencias en la ubicación física	//	2	13 %
		Total	15	100 %

Fuente: elaboración propia.

- Cuando se han determinado las frecuencias se procede a graficar las causas en un histograma, que representa en forma de barras la distribución de un conjunto de datos o variables clasificados, el eje horizontal representa una escala numérica para mostrar la magnitud de los datos y el eje vertical representa las frecuencias (ver figura 30).

Figura 30. **Histograma**



Fuente: elaboración propia.

- Conociendo las causas, se realizará un diagrama de Pareto, ya que es imposible resolver todos los problemas de un proceso o las causas al mismo tiempo. Con el diagrama se podrá determinar el o los problemas principales, así como las causas más importantes, para alcanzar los objetivos con el menor esfuerzo.

El diagrama Pareto es conocido como “ley 80-20”, el cual reconoce unos pocos elementos (20 %) generan la mayor parte de inconvenientes (80 %), el resto genera poco efecto. Del total de problemas de un proceso o una organización, solo unos cuantos son realmente importantes. El eje vertical derecho representa una escala en porcentaje para poder evaluar la importancia de cada categoría respecto al resto. El eje vertical izquierdo representa unidades de medida para poder visualizar una idea de la contribución de cada una al problema global.

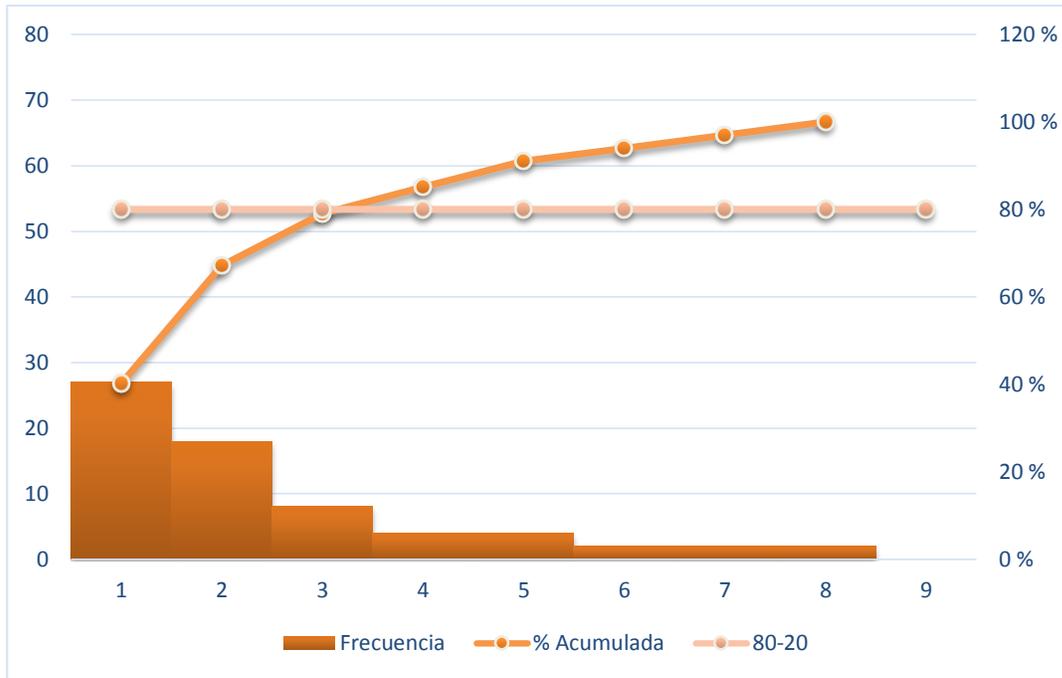
La línea acumulativa representa los porcentajes acumulados para cada una de las categorías. Se ejemplificará en la siguiente figura.

Tabla XXII. **Diagrama de Pareto**

Tipo de falla	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado	80-20
Código no coincide con el producto requerido	8	53 %	53 %	80 %
Producto no encontrado en la ubicación establecida	5	33 %	87 %	80 %
No se encuentran existencias en la ubicación física	2	13 %	100 %	80 %
Total	15	100 %	100 %	80 %

Fuente: elaboración propia.

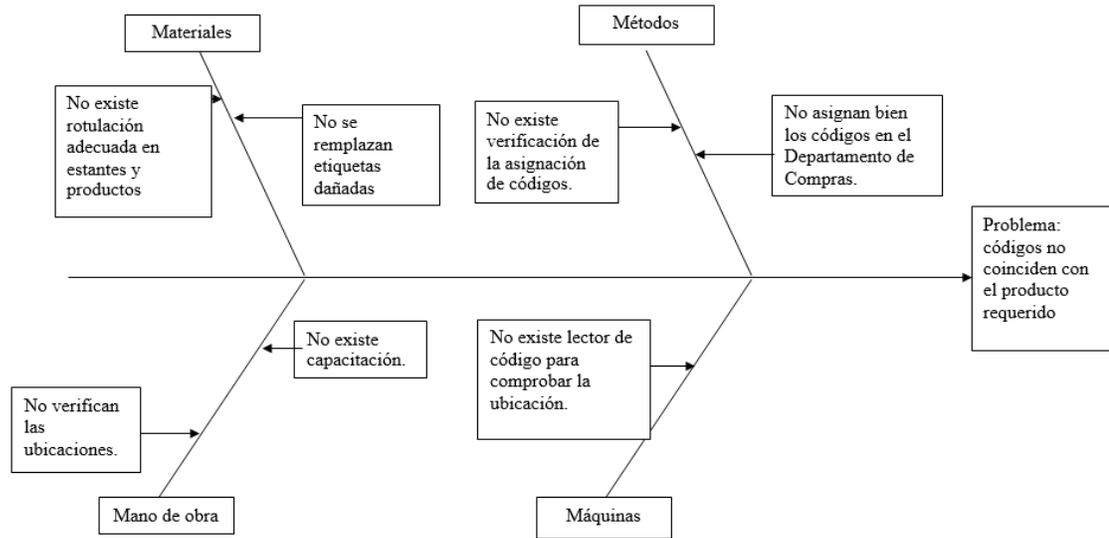
Figura 31. Diagrama de Pareto



Fuente: elaboración propia.

- Cuando se ha determinado donde se presenta el problema principal se deben de investigar sus causas. Una herramienta útil para encontrar las causas es el diagrama de causa-efecto o diagrama de Ishikawa. Existe el método de las 6M, consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales: métodos de trabajo, materiales, mano de obra, maquinaria, medio ambiente y medición.

Figura 32. Diagrama Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. A la bodega ingresan 6,20 operarios por hora y pueden ser atendidos 13,32 por hora para cada servidor en zafra y en reparación ingresan 13,68 por hora y pueden ser atendidos 13,23 por hora para cada servidor. El número de operarios que ingresan a la bodega aumenta un 50 % en reparación.
2. La probabilidad que los despachadores tengan tiempo de ocio es de 62 % para zafra y 32 % en reparación. Analizando las propuestas el tiempo para zafra disminuye un 11 % y para reparación aumenta un 3 %.
3. El tiempo promedio que un operario utiliza para realizar todo el proceso de despacho para zafra es 4,76 minutos y en reparación es de 6,19 minutos. Modificando la cantidad de despachadores en zafra aumenta un 77 % y en reparación disminuye un 30 %.
4. El porcentaje de tiempo que se utiliza a los despachadores para zafra es de 23,37 % y en reparación es de 51,70 %. Disminuyendo el número de despachadores en zafra aumenta un 98 % y aumentando los despachadores en reparación disminuye un 49 %.
5. Los costos en zafra son de Q 28,99 por hora y en reparación Q 45,46 por hora. Al realizar las propuestas los costos para zafra disminuyen un 34 % y para reparación aumenta un 20 % con la ventaja que el sistema es más ágil.

RECOMENDACIONES

1. En zafra se utiliza solamente el 23 % del tiempo disponible, si se requiere reducir los costos de mano de obra, el número de servidores se tendrá que disminuir a uno, tomando en cuenta que el tiempo que un operario permanece en el sistema aumentará un 56 %.
2. Para reparación, la cantidad de personas que llegan a la bodega aumenta un 50 % y para disminuir el tiempo que un operario permanece en la bodega se tendrá que aumentar el número de servidores a tres, tomando en cuenta que aumentarán los costos de mano de obra.
3. Se podrá disminuir el tiempo promedio que un despachador atiende a un operario mejorando el sistema de ubicación e inventarios de los productos, ya que en determinados casos no se encuentran en el lugar ni en las cantidades correctas, se produce un incremento en el tiempo de servicio.
4. Se debe indicar a los despachadores que si existe un operario esperando por ser atendido, debe atenderse de inmediato, ya que con frecuencia el despachador sigue descargado los vales acumulados haciendo esperar al operario.
5. Para no generar aumentos en los costos al analizar todos los productos, se debe esperar, cuando se realice el inventario general e ir verificando las ubicaciones y cantidades físicas.

6. Es importante anotar la situación cuando el proceso de despacho supere los diez minutos, ya que se podrán obtener estadísticas para analizar y determinar las causas principales y encontrar soluciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANDERSON, David; SWEENEY, Dennis; WILLIAMS, Thomas; CAMM, Jeffrey; MARTIN Kipp. *Métodos cuantitativos para los negocios*. 11a. ed. México: Cengage Learning, 2010. 880 p.
2. AZARANG, Mohammad; GARCÍA Eduardo. *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. México: Mc Graw Hill, 1996. 282 p.
3. CAO, Ricardo. *Introducción a la simulación y a la teoría de colas*. Coruña: NETBIBLO, S.L, 2002. 219 p.
4. EPPEN, G.D. *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. 5a. ed. México: Prentice-Hall, 2000. 702 p.
5. GARCÍA Pedro. *Teoría de colas*. España: Grupo ROGLE Universidad Politécnica de Valencia, 2010. 66 p.
6. HILLER, Frederick; LIEBERMAN, Gerald. *Introducción a la investigación de operaciones*. 9a. ed. México: Mc Graw Hill, 2010. 978 p.
7. TAHA, Hamdy. *Investigación de operaciones*. 7a. ed. México: Pearson Educación, 2004. 830 p.

APÉNDICE

Tabla XXIII. Datos día 1 zafra

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
1	5	21	2	41	4
2	3	22	2	42	4
3	2	23	15		
4	3	24	4		
5	2	25	8		
6	7	26	2		
7	2	27	3		
8	6	28	6		
9	3	29	7		
10	3	30	2		
11	2	31	2		
12	2	32	5		
13	6	33	3		
14	6	34	3		
15	4	35	6		
16	3	36	8		
17	10	37	2		
18	2	38	3		
19	3	39	3		
20	2	40	5		
				Media	4,17

Fuente: elaboración propia.

El tiempo promedio de servicio es de 4,17 minutos, entonces la tasa promedio de servicio para el día 1 es de 14,39 clientes por hora.

Tabla XXIV. Datos día 2 zafra

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
1	4	21	3	41	2
2	7	22	6	42	11
3	2	23	8	43	2
4	3	24	6	44	9
5	4	25	3	45	4
6	6	26	6	46	3
7	4	27	2	47	3
8	2	28	10	48	5
9	6	29	7	49	7
10	5	30	2	50	5
11	6	31	2	51	2
12	6	32	3		
13	17	33	3		
14	3	34	4		
15	5	35	5		
16	4	36	4		
17	7	37	6		
18	7	38	2		
19	6	39	2		
20	4	40	3		
Media					4,86

Fuente: elaboración propia.

El tiempo promedio de servicio es de 4,86 minutos, la tasa promedio de servicio para el día 2 es de 12,35 clientes por hora.

Tabla XXV. Datos día 3 zafra

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
1	4	21	2	41	2
2	7	22	3	42	2
3	2	23	3	43	5
4	4	24	3	44	7
5	6	25	3	45	8
6	5	26	2	46	12
7	4	27	18	47	9
8	16	28	7	48	3
9	5	29	6	49	2
10	5	30	5	50	15
11	6	31	2	51	6
12	8	32	3	52	7
13	4	33	3	53	3
14	10	34	5	54	3
15	3	35	6	55	2
16	7	36	4	56	2
17	6	37	4	57	2
18	7	38	3	58	10
19	2	39	7	59	2
20	5	40	2		
				Media	5,24

Fuente: elaboración propia.

El tiempo promedio de servicio es de 5,24 minutos, la tasa promedio de servicio para el día 3 es de 11,45 clientes por hora.

Tabla XXVI. Datos día 4 zafra

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
1	6	21	4	41	2
2	10	22	6	42	2
3	2	23	12	43	3
4	6	24	4	44	3
5	8	25	5	45	2
6	6	26	2		
7	3	27	2		
8	4	28	4		
9	6	29	3		
10	6	30	3		
11	5	31	3		
12	6	32	3		
13	2	33	3		
14	2	34	2		
15	2	35	6		
16	2	36	2		
17	11	37	6		
18	2	38	4		
19	2	39	6		
20	2	40	8		
Media					4,29

Fuente: elaboración propia.

El tiempo promedio de servicio es de 4,29 minutos, la tasa promedio de servicio para el día 4 es de 13,99 clientes por hora.

Tabla XXVII. Datos día 5 zafra

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
1	4	21	2	41	5
2	6	22	2	42	13
3	10	23	2	43	5
4	4	24	4	44	3
5	5	25	2	45	5
6	2	26	3	46	4
7	2	27	3	47	2
8	4	28	3	48	2
9	3	29	6	49	3
10	3	30	3	50	3
11	3	31	2	51	4
12	3	32	2		
13	3	33	5		
14	8	34	6		
15	2	35	3		
16	2	36	4		
17	6	37	8		
18	2	38	5		
19	11	39	2		
20	11	40	2		
				Media	4,16

Fuente: elaboración propia.

El tiempo promedio de servicio es de 4,16 minutos, la tasa promedio de servicio para el día 5 es de 14,42 clientes por hora.

Tabla XXVIII. Datos toma 1, día 1 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
1	8	21	3	41	8
2	6	22	8	42	5
3	2	23	8	43	5
4	14	24	3	44	2
5	15	25	4	45	8
6	8	26	4	46	3
7	6	27	2	47	5
8	3	28	3	48	6
9	5	29	5	49	8
10	5	30	2	50	5
11	2	31	2	51	4
12	2	32	3	52	7
13	5	33	2	53	2
14	11	34	3	54	3
15	2	35	5	55	2
16	7	36	3	56	2
17	2	37	31	57	2
18	6	38	7	58	6
19	3	39	3	59	4
20	3	40	2	60	8
Sumatoria	115		103		95

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. Datos día 1, toma 2 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
61	8	81	5	101	2
62	2	82	2	102	5
63	2	83	2	103	3
64	4	84	4	104	2
65	9	85	2	105	2
66	2	86	5	106	4
67	3	87	2	107	5
68	4	88	3	108	4
69	6	89	2	109	2
70	3	90	2	110	2
71	2	91	2	111	8
72	2	92	6	112	7
73	4	93	4	113	4
74	5	94	2	114	4
75	3	95	6	115	2
76	5	96	8	116	3
77	2	97	7	117	2
78	3	98	2	118	10
79	4,5	99	2	119	2
80	4,5	100	10	120	15
Sumatoria	78		78		88

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. Datos día 1, toma 3 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
121	2
122	2
123	2
124	3
125	7
126	8
127	2
128	4
129	3
130	3
131	2
132	2
133	7
134	18
Sumatoria	65

Fuente: elaboración propia.

Sumatoria de todos los datos, 622 minutos del día uno, en el periodo de reparación.

El tiempo promedio de servicio es de 4,64 minutos, la tasa promedio de servicio para el día uno es de 12,93 clientes por hora.

Tabla XXXI. Datos toma 1, día 2 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
1	6	21	3	41	2
2	5,5	22	2	42	2
3	5,5	23	2	43	4
4	5	24	2	44	3
5	2	25	4	45	4
6	8	26	15	46	5
7	16	27	15	47	4
8	13	28	2	48	2
9	6	29	3	49	17
10	6	30	5	50	6
11	3	31	4	51	3
12	3	32	4	52	7
13	6	33	4	53	7
14	3	34	6	54	6
15	5	35	4	55	6
16	5,5	36	5	56	4
17	5,5	37	8	57	5
18	3	38	3	58	3
19	3	39	9	59	4
20	2	40	9	60	4
Sumatoria	112		109		98

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. Datos toma 2, día 2 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
61	4	81	3	101	2
62	2	82	9	102	4
63	5	83	3	103	5
64	5	84	10	104	5
65	6	85	12	105	2
66	3	86	4	106	2
67	4	87	4	107	7
68	4,5	88	5	108	9
69	4,5	89	5	109	2
70	20	90	2	110	8
71	4,5	91	9	111	6
72	4,5	92	6	112	3
73	3	93	4	113	2
74	3	94	5		
75	3	95	7		
76	4	96	3		
77	2	97	3		
78	8	98	8		
79	4	99	4		
80	4	100	7		
Sumatoria	98		113		57

Fuente: elaboración propia.

Sumatoria de todos los datos, 587 minutos del día dos, en el periodo de reparación.

El tiempo promedio de servicio es de 5,19 minutos, la tasa promedio de servicio para el día uno es de 11,56 clientes por hora.

Tabla XXXIII. Datos toma 1, día 3 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
1	4	21	8	41	5
2	4	22	7	42	5
3	2	23	5	43	6
4	5	24	6	44	8
5	2	25	5	45	4
6	4	26	2	46	4
7	3	27	5	47	3
8	5,5	28	3	48	3
9	5,5	29	4	49	3
10	5,5	30	5	50	2
11	2	31	3	51	7
12	2	32	7	52	2
13	4	33	2	53	2
14	2	34	2	54	5
15	3	35	3	55	4
16	5	36	3	56	2
17	3	37	3	57	3,5
18	4	38	5	58	3,5
19	3,5	39	5	59	3
20	3,5	40	5	60	5
Sumatoria	72,5		88		80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. Datos toma 2, día 3 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
61	2	81	7	101	12
62	3	82	7	102	9
63	7	83	3	103	6
64	29	84	3	104	2
65	6	85	3	105	3
66	6	86	2	106	3
67	6	87	4	107	3
68	6	88	4	108	2
69	4	89	4	109	5
70	5	90	4	110	3
71	6	91	4	111	7
72	2	92	4	112	9
73	5	93	4	113	2
74	2	94	4	114	3
75	4	95	2	115	3
76	5	96	3,5	116	5
77	6	97	3,5	117	5
78	2	98	3,5	118	5
79	2,5	99	10	119	4
80	2,5	100	5	120	3
Sumatoria	111		84,5		94

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. Datos toma 3, día 3 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
121	9
122	4
123	4
124	2
125	3
126	2
127	4
128	3
129	4
130	4
131	2
132	4
133	2
134	2
135	2
136	3
137	4
Sumatoria	58

Fuente: elaboración propia.

Sumatoria de todos los datos, 588 minutos del día tres, en el periodo de reparación.

El tiempo promedio de servicio es de 4,29 minutos, la tasa promedio de servicio para el día uno es de 13,99 clientes por hora.

Tabla XXXVI. Datos toma 1, día 4 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
1	2	21	5	41	17
2	4	22	2	42	3
3	6	23	2	43	6
4	3	24	2	44	3
5	3	25	2	45	6
6	4	26	2	46	2
7	3	27	2	47	3
8	14	28	3	48	2.5
9	2	29	12	49	3
10	5	30	4	50	3
11	2	31	3	51	8
12	17	32	4	52	9
13	5	33	3	53	4
14	3	34	5	54	4
15	3	35	3	55	3
16	3	36	3	56	3
17	3	37	3	57	8
18	4,5	38	3	58	3
19	4,5	39	5	59	3
20	5	40	5	60	11
Sumatoria	96		73		104,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. Datos toma 2, día 4 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
61	5	81	5	101	7
62	3	82	6.5	102	6
63	4,5	83	6.5	103	3
64	4,5	84	2	104	2
65	2,25	85	12	105	5
66	2,25	86	2	106	2
67	2,25	87	2	107	8
68	2	88	2	108	3
69	5	89	3	109	2
70	2	90	8	110	6
71	3	91	6	111	3
72	3	92	5	112	3
73	4	93	5	113	8
74	4	94	7	114	6
75	5	95	3	115	5
76	3	96	3	116	3
77	3	97	2	117	3
78	3	98	4	118	2
79	3	99	11	119	2
80	5	100	8		
Sumatoria	68,75		103		79

Fuente: elaboración propia.

Sumatoria de todos los datos, 524,25 minutos del día cuatro, en el periodo de reparación.

El tiempo promedio de servicio es de 4,40 minutos, la tasa promedio de servicio para el día uno es de 13,64 clientes por hora.

Tabla XXXVIII. Datos toma 1, día 5 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
1	3	21	3	41	2
2	3	22	10	42	2
3	2	23	3	43	2
4	2	24	4	44	5
5	2	25	2	45	5
6	3	26	2	46	5
7	2	27	3	47	6
8	4	28	5	48	7
9	4	29	2	49	2
10	2,5	30	2	50	3
11	2,5	31	2	51	5
12	4	32	2	52	5
13	4	33	2	53	11
14	4	34	2	54	2
15	3	35	3	55	2
16	7	36	10	56	2
17	3	37	8	57	2
18	2	38	8	58	8
19	3	39	5	59	6
20	6	40	5	60	3
Sumatoria	66		83		85

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. Datos toma 2, día 5 reparación

Correlativo clientes	Tiempo (minutos)	Correlativo clientes	Tiempo (minutos)
61	4	81	2
62	4	82	2
63	2	83	3
64	5	84	8
65	2	85	6
66	4	86	5
67	3	87	5
68	8	88	7
69	6	89	3
70	2	90	3
71	12	91	2
72	11	92	3
73	8	93	5
74	6	94	4
75	2	95	4
76	6	96	4
77	8	97	6
78	5	98	4
79	5	99	5
80	2	100	9
Sumatoria	105		90

Fuente: elaboración propia.

Sumatoria de todos los datos, 428 minutos del día cinco, en el periodo de reparación.

El tiempo promedio de servicio es de 4,28 minutos, la tasa promedio de servicio para el día uno es de 14,01 clientes por hora.