

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Propuesta de mejoramiento de los indicadores de
producción en una célula de manufactura de TANASA
mediante la implementación de Manufactura Ajustada**

Juan Andrés Amador Pérez

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Ingeniería Industrial

Quito, Mayo del 2010

Universidad San Francisco de Quito

Colegio Politécnico

Hoja de Aprobación de Tesis

**Propuesta de mejoramiento de los indicadores de producción en
una célula de manufactura de TANASA mediante la
implementación de Manufactura Ajustada**

Juan Andrés Amador Pérez

Ximena Córdova, Ph.D.
Directora de Tesis
Miembro del Comité de Tesis

.....

Verónica León, MSc
Miembro del Comité de Tesis

.....

Daniel Merchán, MSc
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fernando Romo, MSc
Decano del Colegio Politécnico

.....

Quito, 17 de Mayo del Año 2010

© Derechos de Autor
Juan Andrés Amador Pérez
2010

DEDICATORIA

A mi familia, de quien siempre he recibido apoyo y cariño, especialmente a mi mamá que siempre ha sido un ejemplo de vida. A los profesores que gracias a su ayuda y colaboración han hecho posible el desarrollo de esta propuesta. A Ximena Córdova quien ha estado conmigo en todo momento durante mi carrera.

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es la aplicación de la metodología de Manufactura Ajustada en TANASA. Esta empresa se dedica a la fabricación de cigarrillos, y es afiliada ecuatoriana de Philip Morris International. Para realizar el análisis de los datos y generar propuestas se realizó una simulación de una célula de manufactura dentro del proceso de elaboración y empaque de cigarrillos. La información de los tiempos de paros de las máquinas que se utiliza para la simulación, así como su distribución y probabilidad de ocurrencia, fue obtenida por el Sistema Integrado de Control de Tiempos. Como estos datos son ingresados por el operador, se deben validar los datos antes de realizar cualquier tipo de análisis acerca de los mismos. Una vez validados los datos y realizada la simulación se observa si existen diferencias entre la información real de la empresa y los simulados. Al concluir que no existen diferencias entre las medidas de desempeño de los datos reales y los datos simulados, se procede a realizar la propuesta la cual va a ser simulada para su posterior análisis.

ABSTRACT

The objective of this thesis is the application of Lean Manufacture methodology in TANASA. The company is dedicated to cigarette production and it is Philip Morris International Ecuadorian affiliate. A simulation was carried out in a manufacturing cell within the cigarette elaboration and packaging process, in order to make the data analysis and to generate the proposals. The information for down-times of the machines used for the simulation, as well as the distribution and occurrence probability, was obtained by means of the Times Control Integrated System. Because these data are registered by the operator, the data must be validated before making any kind of analysis with respect to it. Once the data are validated and the simulation is done, the differences between the actual information of the company and the simulation must be observed. When it can be concluded that there are no differences between the performance measures of the actual data and those of the simulated data, the proposal which is going to be simulated for its subsequent analysis is carried out.

INDICE

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 19 |
| 2.1 | Objetivos Generales..... | 19 |
| 2.2 | Objetivos Específicos..... | 19 |
| 3 | MARCO TEÓRICO..... | 20 |
| 3.1 | Toyota Production System..... | 20 |
| 3.2 | Manufactura Ajustada..... | 23 |
| 3.3 | Desperdicio..... | 25 |
| 3.4 | 5'S..... | 28 |
| 3.5 | Cultura Organizacional de Manufactura Ajustada..... | 29 |
| 3.6 | Mapa de Flujo de Valor..... | 31 |
| 3.7 | Single Minute Exchange of Dies..... | 33 |
| 3.8 | Sistema Integrado de Mejoramiento Continuo..... | 34 |
| 3.9 | Muestreo de Trabajo..... | 37 |
| 3.10 | Simulación..... | 39 |
| 3.11 | Distribución de Probabilidad..... | 41 |
| 3.11.1 | Distribución Normal..... | 42 |
| 3.11.2 | Distribución Exponencial..... | 44 |
| 3.11.3 | Distribución Log-normal..... | 45 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.11.4 | Distribución Erlang | 46 |
| 3.11.5 | Distribución Gamma | 47 |
| 3.11.6 | Distribución Beta..... | 48 |
| 3.11.7 | Distribución Weibull | 49 |
| 3.12 | Pruebas de Hipótesis | 51 |
| 3.12.1 | Prueba F de dos Varianzas..... | 52 |
| 3.12.2 | Pruebas de Hipótesis t de Dos Muestras..... | 53 |
| 3.12.3 | Pruebas de Hipótesis Chi-Cuadrado | 54 |
| 3.12.4 | Pruebas de Hipótesis Kolmogorov-Smirnov | 54 |
| 3.12.5 | Pruebas de Hipótesis Anderson-Darling..... | 55 |
| 4 | DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA..... | 55 |
| 4.1 | Descripción de Philip Morris | 55 |
| 4.2 | Descripción de TANASA, ITABSA y PROESA. | 56 |
| 4.2.1 | TANASA..... | 56 |
| 4.2.2 | ITABSA..... | 57 |
| 4.2.3 | PROESA..... | 58 |
| 4.3 | Proceso de fabricación de cigarrillo..... | 58 |
| 4.3.1 | Cultivo de Tabaco..... | 58 |
| 4.3.2 | Proceso de fabricación de cigarrillo | 60 |
| 4.3.2.1 | Proceso Primario | 60 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.3.2.2 | Proceso Secundario | 61 |
| 5 | DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SECUNDARIO | 61 |
| 5.1 | Células de Trabajo | 62 |
| 5.2 | Planificación de Producción | 64 |
| 5.3 | Recepción y Verificación de Hebra de Tabaco..... | 65 |
| 5.4 | Elaboración de Cigarrillos | 65 |
| 5.5 | Empaque de cigarrillos | 66 |
| 5.6 | Entrega de Producto Terminado | 67 |
| 5.7 | Pesador..... | 67 |
| 5.8 | Surtidor de Materiales..... | 68 |
| 5.9 | Analistas de Producción..... | 68 |
| 5.10 | Mantenimiento de Maquinaria..... | 69 |
| 5.11 | Control de Calidad de Piso | 69 |
| 5.12 | Producto No Conforme..... | 69 |
| 6 | DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DEL PROCESO SECUN DARIO | 70 |
| 6.1 | Volumen de Producción..... | 71 |
| 6.2 | Rendimiento o Tiempo de Actividad..... | 72 |
| 6.3 | Tiempo de Inactividad | 72 |
| 6.4 | Rendimiento de Hebra de Tabaco..... | 74 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 6.5 | Desperdicio de Materiales Directamente Importados..... | 74 |
| 6.6 | Desperdicio | 75 |
| 6.7 | Índice de Calidad Visual..... | 75 |
| 7 | ANALISIS DE INFORMACION DE PROCESO Y SIMULACIÓN | 76 |
| 7.1 | Información del Proceso | 76 |
| 7.2 | Mapa de Valor actual del Proceso Secundario | 78 |
| 7.3 | Sistema Integrado de Control de Tiempos..... | 79 |
| 7.3.1 | Plan de Muestreo de Trabajo..... | 80 |
| 7.4 | Paros No Programados..... | 82 |
| 7.4.1 | Paros No Programados M1..... | 82 |
| 7.4.2 | Paros No Programados P2..... | 85 |
| 7.5 | Paros Programados | 88 |
| 7.6 | Reporte de Producción Real | 90 |
| 7.7 | Simulación del Proceso Secundario..... | 94 |
| 7.7.1 | Simulación..... | 94 |
| 7.7.1.1 | Módulo de Creación: Sala de Hebra | 96 |
| 7.7.1.2 | Módulo de Decisión: Mandar Hebra..... | 98 |
| 7.7.1.3 | Módulo de Proceso: Elaboración | 98 |
| 7.7.1.4 | Módulo de Proceso: Empaque..... | 99 |
| 7.7.1.5 | Módulo de Grabación: Salida de Cigarrillo | 101 |

| | | |
|---------|---|--------------------------------------|
| 7.7.1.6 | Módulo de Salida: Banda y Estibaje | 101 |
| 7.7.1.7 | Módulo de Salida: Reproceso | 101 |
| 7.7.2 | Reporte de Producción Simulación | 101 |
| 7.8 | Diferencias de Muestra entre los Datos Reales y los Datos Simulados..... | 102 |
| 8 | PROPUESTA DE IMPLEMENTACION | 105 |
| 8.1 | Propuestas | 105 |
| 8.2 | Simulación Propuesta | 109 |
| 8.2.1 | Comparación entre Simulación del Proceso y Simulación Propuesta..... | 110 |
| 8.3 | Justificaciones | 114 |
| 9 | CONCLUSIONES | 117 |
| 10 | RECOMENDACIONES | 119 |
| 11 | REFERENCIAS | 121 |
| 11.1 | Bibliográficas | 121 |
| 11.2 | Entrevistas | 123 |
| 12 | ANEXOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| 12.1 | Anexo 1: Iconos del Flujo de Mapa de Valor. | ¡Error! Marcador no definido. |
| 12.2 | Anexo 2: ICOMS | ¡Error! Marcador no definido. |
| 12.3 | Anexo 3: Diagrama de Flujo del Proceso. | ¡Error! Marcador no definido. |
| 12.4 | Anexo 4: Especificaciones de las máquinas del Proceso Secundario de Elaboración y Empaque. | ¡Error! Marcador no definido. |

12.5 Anexo 5: Flujograma del proceso de Elaboración Cigarrillos....**¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 6: Flujograma del proceso de Empaque de Cigarrillos . **¡Error! Marcador no definido.**

12.6 Anexo 7: Flujograma del Proceso de Llenado de Pacas**¡Error! Marcador no definido.**

12.7 Anexo 8: Flujograma del Proceso de Estibaje **¡Error! Marcador no definido.**

12.8 Anexo 9: Flujograma del Proceso de Pesador **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 10: Flujograma de Proceso de Surtidor de Materiales.. **¡Error! Marcador no definido.**

12.9 Anexo 11: Cuidados Operacionales..... **¡Error! Marcador no definido.**

12.10 Anexo 12: Lista de Materiales Directamente Importados “DIM” ...**¡Error! Marcador no definido.**

12.11 Anexo 13: No-conformidades Sensibles al Consumidor**¡Error! Marcador no definido.**

12.12 Anexo 14: Paros Célula 2 **¡Error! Marcador no definido.**

12.13 Anexo 15: Sistema Integrado de Control de Tiempos;**¡Error! Marcador no definido.**

12.14 Anexo 16: Plan Muestreo de Trabajo **¡Error! Marcador no definido.**

12.15 Anexo 17: Muestreo de Trabajo **¡Error! Marcador no definido.**

12.16 Anexo 18: Distribución del Plan de Muestreo **¡Error! Marcador no definido.**

12.17 Anexo 19: Diagrama de Pareto Paros No Programados M1.....**¡Error! Marcador no definido.**

12.18 Anexo 20: Distribución de Probabilidad de Paros No Programados M1 **¡Error! Marcador no definido.**

Marcador no definido.

12.18.1 Mantenimiento Correctivo Mecánico por Maquinabilidad .. **¡Error! Marcador no definido.**

12.18.2 Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Maquinabilidad.... **¡Error! Marcador no definido.**

12.18.3 Mantenimiento Correctivo Mecánico por Calidad **¡Error! Marcador no definido.**

12.18.4 Paros por Material Defectuoso **¡Error! Marcador no definido.**

12.18.5 Paros Menores a 3 Minutos **¡Error! Marcador no definido.**

12.18.6 Falta de Servicios (aire, vacío, energía eléctrica) **¡Error! Marcador no definido.**

12.18.7 Falta de Hebra..... **¡Error! Marcador no definido.**

12.18.8 Otros..... **¡Error! Marcador no definido.**

12.19 Anexo 21: Diagrama de Pareto Paros No Programados P2..... **¡Error! Marcador no definido.**

12.20 Anexo 22: Distribución de Probabilidad de Paros No Programados P2..... **¡Error! Marcador no definido.**

12.20.1 Mantenimiento Correctivo Mecánico por Maquinabilidad .. **¡Error! Marcador no definido.**

- 12.20.2 Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Maquinabilidad....; **Error! Marcador no definido.**
- 12.20.3 Mantenimiento Correctivo Mecánico por Calidad; **Error! Marcador no definido.**
- 12.20.4 Falta de Servicios (aire, vacío, energía eléctrica); **Error! Marcador no definido.**
- 12.20.5 Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Calidad.....; **Error! Marcador no definido.**
- 12.20.6 Otros.....; **Error! Marcador no definido.**
- 12.21 Anexo 23: Diagrama de Pareto Paros Programados..; **Error! Marcador no definido.**
- 12.22 Anexo 24: Distribución de Probabilidad de Paros Programados; **Error! Marcador no definido.**
 - 12.22.1 Limpieza Fin de Turno; **Error! Marcador no definido.**
 - 12.22.2 Arranque del Sistema; **Error! Marcador no definido.**
 - 12.22.3 Limpieza Inicio de Turno; **Error! Marcador no definido.**
 - 12.22.4 Preparación y Arranque de Máquina; **Error! Marcador no definido.**
 - 12.22.5 Otros.....; **Error! Marcador no definido.**
- 12.23 Anexo 25: Reporte de Producción Real.....; **Error! Marcador no definido.**
- 12.24 Anexo 26: Distribución del Reporte de Producción Real.....; **Error! Marcador no definido.**
- 12.25 Anexo 27: Reporte de Producción Simulada; **Error! Marcador no definido.**

12.26 Anexo 28: Distribución del Reporte de Producción Simulada...;**Error! Marcador no definido.**

12.27 Anexo 29: Procedimiento de Limpieza de Máquinas Elaboradoras ;**Error! Marcador no definido.**

12.28 Anexo 30: Procedimiento de Limpieza de Máquinas Empaquetadoras ;**Error! Marcador no definido.**

12.29 Anexo 31: Diagrama de Pareto Simulación Propuesta.....;**Error! Marcador no definido.**

12.30 Anexo 32: Reporte de Producción Simulación Propuesta;**Error! Marcador no definido.**

12.31 Anexo 33: Distribución del Reporte de Producción Simulada Propuesta ;**Error! Marcador no definido.**

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla # 1: Manufactura Ajustada vs. Producción en Masa..... | 21 |
| Tabla # 2: Los Siete tipos de Desperdicios..... | 24 |
| Tabla # 3: Tiempo de Paros No Programados de M1..... | 86 |
| Tabla #4: Distribución de Probabilidad de Tiempo de Paros No Programados de M1..... | 87 |
| Tabla # 5: Probabilidad de Ocurrencia de Fallas M1..... | 88 |
| Tabla # 6: Tiempo de Paros No Programados de P2..... | 89 |
| Tabla # 7: Distribución de Probabilidad de Tiempo de Paros No Programados de P2..... | 90 |
| Tabla # 8: Probabilidad de Ocurrencia de Fallas P2..... | 91 |
| Tabla # 9: Paros Programados de la Célula # 2..... | 92 |
| Tabla # 10: Paros Programados de la Célula # 2- Valor Esperado | 93 |
| Tabla # 11: Resultado de Prueba F de Varianzas | 106 |
| Tabla # 12: Resultado de Prueba t para Dos Muestras..... | 107 |
| Tabla # 13: Resultado de Prueba F de Varianzas..... | 114 |
| Tabla # 14: Resultado de Prueba t para Dos Muestras..... | 115 |

LISTA DE GRAFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico #1: Función de Densidad de Probabilidad Normal..... | 40 |
| Gráfico # 2: Función de Densidad de Probabilidad Exponencial..... | 42 |
| Gráfico #3: Función de Densidad de Probabilidad Log-normal..... | 43 |
| Gráfico #4: Función de Densidad de Probabilidad Erlang..... | 44 |
| Gráfico #5: Función de Densidad de Probabilidad Gamma..... | 46 |
| Gráfico #6: Función de Densidad de Probabilidad Beta..... | 47 |
| Gráfico #7: Función de Densidad de Probabilidad Weibull..... | 49 |
| Gráfico #8: Mapa de Valor Actual de la Célula # 2..... | 81 |
| Gráfico #9: Prueba de Normalidad Anderson – Darling..... | 95 |
| Gráfico #10: Prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov..... | 96 |
| Gráfico #11: Modelo de Simulación en Arena..... | 98 |
| Gráfico #12: Impresión de Pantalla del Modulo “Schedule” de Arena..... | 100 |
| Gráfico #13: Modelo de Simulación del Proceso de Elaboración en Arena..... | 102 |
| Gráfico #14: Modelo de Simulación del Proceso de Elaboración en Arena..... | 103 |

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente existen varias metodologías utilizadas para el mejoramiento de procesos de producción dentro de una industria. Una de estas metodologías es la de Manufactura Ajustada, la cual tiene como base la implementación de una cultura organizacional que elimina todo los desperdicios dentro de una compañía.

La cultura organizacional de limpieza es uno de los pilares de la Manufactura Ajustada. Este concepto de orden y limpieza se esperan impartir dentro de TANASA, con el objetivo de crear un ambiente más propicio donde el trabajador pueda rendir una mayor producción.

Este proyecto propone la implementación de la metodología de Manufactura Ajustada para el mejoramiento de uno de los indicadores de producción como es el desempeño de la planta.

Para lograr este objetivo se realizara una simulación de una de las células de manufactura dentro del proceso de elaboración y empaque de cigarrillos de la empresa TANASA. El propósito de esta propuesta es simular el proceso productivo actual y demostrar que no hay diferencias estadísticas entre las medidas de desempeño comparadas del proceso real y del proceso simulado, para posteriormente generar inferencias o realizar conclusiones en el proceso real.

Una vez realizada la simulación, y observando que no existen diferencia estadística entre las medidas de desempeño del proceso real y el simulado, se implementará una propuesta de mejora del sistema actual basándose en la metodología de manufactura ajustada. De esta manera, se esperaría que los resultados obtenidos en la propuesta de la simulación sean estadísticamente diferentes a los de la simulación del sistema real. Así, se podría concluir que las propuestas generaron un incremento en las medidas de desempeño del proceso real analizado, puntualmente en el indicador del desempeño.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Generales

- Aplicar la metodología de Manufactura Ajustada para una célula de manufactura de producción en el proceso secundario de elaboración y empaque de la empresa TANASA con la intención de mejorar los indicadores de producción de esta célula.

2.2 Objetivos Específicos

- Validar el sistema de control de tiempos de TANASA.
- Simular una célula de manufactura de elaboración y empaque, y validarla para posteriormente realizar inferencias en esta simulación.
- Establecer procedimientos operativos de limpiezas de máquinas que incluyan la metodología de Manufactura Ajustada de las 5'S.
- Implementación de la metodología de Manufactura Ajustada para la reducción de los tiempos de preparación de las máquinas en el procesos de elaboración y empaque utilizando los arranque en caliente.
- Implementación de la metodología de Manufactura Ajustada para la reducción de los tiempos de los cambios de marca en el proceso de elaboración y empaque mediante el la utilización de SMED.
- Realizar una comparación de los procedimientos de producción con los procedimientos propuestos.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Toyota Production System

El Toyota Production System (TPS) está interrelacionado con la manufactura ajustada. Por lo tanto, una breve explicación de este sistema es importante para la comprensión y análisis de la manufactura ajustada. La filosofía TPS involucra constantemente a los trabajadores. De esta manera ellos están continuamente siendo capacitados, motivados e integrados a todos los aspectos de la compañía. El objetivo de esto es la participación continua de los trabajadores no solo en sus actividades diarias sino también en todas las actividades que realiza la compañía. Así, los empleados contribuyen todos los días con nuevas ideas y nuevos proyectos para el mejoramiento continuo de los procesos de la empresa (Ohno, 27).

La estabilización de la operación es importante al momento de hablar del sistema TPS. Esto quiere decir que el modelo de TPS intenta reducir la variabilidad en todos los aspectos de la producción. Por este motivo, la estandarización de todos los procedimientos y de todos los aspectos de la producción es esencial para mantener la menor variabilidad posible. Toda producción debe estar planificada con anterioridad y todos los recursos para la realización de la misma deben estar disponibles al momento de realizar las producciones (Ohno, 32).

Adicionalmente, el modelo TPS, se enfoca en brindar apoyo visual para que los empleados puedan observar claramente como se encuentran los indicadores y sus estándares. Así mismo, se apoya al personal con carteleras o ayudas visuales ya sea para motivación, precaución o solamente como medio de comunicación (Liker, 12).

Uno de los pilares más importantes que tiene el sistema de TPS es el de “Just in Time” (JIT), el cual significa que se debe producir lo que se necesita, cuando se necesita y en la cantidad

que se necesita; ni más, ni menos. Para la aplicación de JIT en una empresa se deben tener en cuenta ciertos puntos importantes (Ohno, 58); estos puntos son:

- Producir para el “*Takt*”: El “*takt*” relaciona la capacidad de producción con la demanda de los clientes (se profundizara más en el “*takt*” y en el “*takt time*” más adelante cuando se mencione el mapa de valor) (Ohno, 59).
- Cambio rápido o cambio drástico: Esta modalidad permite a la empresa tener la flexibilidad de producir una amplia gama de productos en un período de tiempo corto (Ohno, 63).
- Flujo Continuo: El flujo continuo genera productos o servicios a los clientes de manera uniforme. La idea de flujo continuo es que los productos se mueven por el sistema de manufactura uno a uno sin parar o esperar (Ohno, #65).
- Sistema Jale: Los sistemas jales son importantes dentro del TPS, esto representa el reaprovisionamiento de las actividades dentro los sistemas de producción. Un sistema de producción jale es un sistema que esta llevado o “jalado” por la demanda del cliente (Ohno, 67).
- Logística Integrada: La logística integrada representa a la logística como un proceso global que asume todos los aspectos de la cadena de suministros y los integra (Ohno, 69).

Los 14 principios de TPS (Liker, 37):

- Principio 1: Basar las decisiones en objetivos a largo plazo.
- Principio 2: Implementación de un flujo de proceso continuo que permita que los problemas aparezcan.

- Principio 3: Implementación de sistemas de producción *PULL* o sistema Jale para evitar la sobreproducción.
- Principio 4: Nivelar la carga de trabajo – Heijunka
- Principio 5: Establecer una cultura que se detiene a analizar cada problema con el propósito de que no vuelva a ocurrir y garantizar calidad en la fuente.
- Principio 6: Estandarizar las tareas con el objetivo de crear una base de mejora continua y capacitar a los empleados para que todos tengan la misma base.
- Principio 7: Utilizar controles visuales para prevenir que los problemas se oculten.
- Principio 8: Utilizar tecnología fiable que ya haya sido implementada; siempre teniendo en cuenta que sea fácil de utilizar para los empleados.
- Principio 9: Desarrollo de líderes que comprendan a fondo la filosofía, la enseñen e implementen en su trabajo diario.
- Principio 10: Desarrollar a las personas excepcionales que tengan los equipos necesarios para seguir la filosofía de la empresa.
- Principio 11: Respeto a proveedores y asociados siempre exigiéndoles más y ayudarles para conseguirlo.
- Principio 12: Observar personalmente la situación para así poder comprenderla profundamente.
- Principio 13: Tomar decisiones por consenso y con cautela, siempre analizando todas las opciones; pero aplicar las decisiones ya tomadas de forma rápida.

- Principio 14: Convertirse en una institución de aprendizaje continuo mediante la implementación de Hansei (aprendizaje mediante la reflexión implacable) y Kaizen (mejora continua).

3.2 Manufactura Ajustada

El término de manufactura ajustada puede entenderse como un método que genera una mayor producción con menos recursos. Las organizaciones que implementan el modelo de manufactura ajustada lo hacen con menos personal, menos materiales, menos tiempo, menos energía y menor cantidad de espacio para producir la misma cantidad o más productos o servicios de los que las compañías que no utilizan manufactura ajustada. De esta manera, el concepto básico de manufactura ajustada es aquella que utiliza menos recursos y por medio de la cual se obtiene más productividad (Womack y Jones, 21).

La estrategia en la que está basada la manufactura ajustada es la satisfacción del cliente dándole al mismo un producto de calidad, que necesita, cuando lo necesitan, en la cantidad que necesita, al precio que necesita, utilizando la menor cantidad de materiales, equipo, espacio, mano de obra y tiempo (Liker, 45).

Así podemos entender a la manufactura ajustada como menor desperdicio, tiempos de ciclos más cortos, menos promovedores y menor burocracia. Pero también significa más conocimiento del empleado, más empoderamiento, más capacidad y agilidad organizacional, más productividad y más éxito a largo plazo. Adicionalmente, manufactura ajustada es un proceso de cambio y adaptación continuo y evolutivo (Womack y Jones, 34).

En la Tabla # 1 podemos observar cómo se diferencian las empresas que se basan en la manufactura ajustada y las empresas enfocadas en la manufactura en masa:

Tabla # 1: Manufactura Ajustada vs. Producción en Masa.

| | Producción en Masa | Manufactura Ajustada |
|----------------------------------|---|---|
| Objetivo Principal | Estrategia enfocada al producto | Estrategia enfocada al cliente |
| Estructura Organizacional | Estructuras jerárquicas a lo largo de todas las líneas funcionales de la empresa | Estructuras planas y flexibles a lo largo de toda la estructura de la organización. |
| Marco de Operaciones | Manejo de funciones y herramientas basada en la división de trabajo especializado | Manejo de estructuras de trabajo estandarizados. |

Elaboración: Propia Fuente Liker 45

La base de las ideas y conceptos de manufactura ajustada está dada por una serie de ideas y conceptos que se enumeran a continuación:

- Mantener un enfoque al cliente.
- Adoptar una filosofía de mejoramiento continuo.
- Proveer exactamente lo que se necesita en el tiempo adecuado basándose en la demanda del cliente.
- Utilizar técnicas para la eliminación de desechos y reducción de variabilidad
- Respetar a las personas.
- Implementar objetivos a largo plazo.

3.3 Desperdicio

Se debe entender como desperdicio todo lo que no se necesita para realizar un producto o un servicio. Toda actividad que no transforma en alguna forma al producto o al servicio no agrega valor. De esta manera, toda actividad que no agrega valor es considerada como desperdicio. Por tanto, la empresa tiene que saber cuál es la mínima cantidad de recursos necesarios para producir, lo que realmente un cliente necesita. De ahí que, todo lo que supera esta cantidad mínima establecida, se considera desperdicio (Galgano, 68). Existen diferentes fuentes de desperdicios, las cuales se las puede calificar de la siguiente manera (Rother y Shook, 21):

- Utilizar más materia prima de la que se necesita.
- Utilizar más tiempo para el desarrollo y producción de productos y servicios.
- Cometer errores.
- Sobreproducción y exceso de inventario.
- Utilizar más espacio del necesario.
- Gastar más dinero del necesario.
- Utilizar más equipo y más herramientas de las que se necesitan.
- Involucrar a más gente de la necesaria.
- Información o instrucciones incorrectas o incompletas.
- Gente trabajando incorrectamente.

Consecuentemente, se debe utilizar la manufactura ajustada como la herramienta para identificar y eliminar todas las fuentes de desperdicio que puedan existir en una organización. Para la identificación de las fuentes de desperdicio debemos tomar en consideración los siguientes puntos (Rother y Shook, 29):

- El negocio es vender productos o servicios a los clientes.

- El cliente es el único que califica el valor del producto o servicio.
- La creación de valor es un proceso.
- El desperdicio interrumpe el proceso de creación de valor.
- Un proceso perfecto no tiene desperdicio.
- Un proceso perfecto maximiza la satisfacción al cliente.

Taichi Ohno, uno de los precursores de las filosofías tanto de TPS como de manufactura ajustada, identificó siete tipos de desperdicio. Posteriormente el Dr. Kiran Garimela en su libro *The Power of Process: Unleashing the Source of Competitive Advantage* establece y explica los siete desperdicios de la forma que se presentan en la Tabla # 2:

Tabla # 2: Los Siete tipos de Desperdicios

| Tipo de Desperdicio | Explicación |
|----------------------------|--|
| Transporte | Movimiento de material entre operaciones de transformación u operaciones que agregan valor. |
| Espera | Todo tipo de demora o pérdida de tiempo es desperdicio. |
| Sobreproducción | Producir más de lo que los clientes necesitan es desperdicio. |
| Defectos | Todo proceso, producto o servicio que no cumpla con las especificaciones es considerado desperdicio. |
| Inventario | Inventario en cualquier lugar del mapa de valor o de la cadena de suministro no agrega valor, por lo tanto es desperdicio. |
| Movimiento | Cualquier movimiento de los trabajadores no agrega valor, por lo tanto es desperdicio. |
| Reprocesamiento | El reproceso es evidencia de un error a lo largo del proceso de producción. Como tal, el reprocesamiento no agrega valor, por lo tanto es desperdicio. |

Fuente: Garmella , 73

Además de los siete tipos de desperdicios, existen dos tipos de desperdicio adicionales. El primer tipo de desperdicio son actividades que no agregan valor pero que no pueden ser eliminadas, ya sea por normas o requisitos, por ser importantes para la compañía. El segundo

tipo de desperdicio son las actividades que no agregan valor y no son relevantes para la compañía, estas actividades son las que deben ser eliminadas en primer término (Garimella, 74).

3.4 5'S

Las 5's es el principio de la eliminación de todo desperdicio en la empresa a través de la organización del puesto de trabajo (Womack y Jones, 36). Las 5's se derivan del japonés y son pasos que deben seguir para tener en orden el área de trabajo; estos son los pasos:

- Organización (Seiri): Dividir todos los ítems dentro del puesto de trabajo en tres categorías (Womack y Jones, 38):
 - Instrumentos o Materiales: Son ítems que pueden ser instrumentos o materiales esenciales en el área de trabajo sin los cuales no puede funcionar normalmente esta área.
 - Retornar: Todos los ítems o herramientas que pertenecen a otra área.
 - Eliminar todo el resto de elementos que no entran en las categorías anteriores y que no sean del área de trabajo.
- Orden (Seiton): Encontrar un lugar para cada cosa y poner todo en su lugar (Womack y Jones, 39).
- Limpieza (Seiso): Limpiar exhaustivamente y periódicamente toda el área de trabajo (Womack y Jones, 40).
- Sistematizar (Seiketsu): Establecer un horario y un esquema de limpieza para lograr mantener el área de trabajo limpia constantemente (Womack y Jones, 41).

- Estandarizar (Shitsuke): Mantenerse consistente con la filosofía y metodología de limpieza. Una vez realizado este paso se debe aplicar métodos de control y de seguimiento (Womack y Jones, 43).

3.5 Cultura Organizacional de Manufactura Ajustada

Es importante entender que la manufactura ajustada en una empresa no es un grupo de funciones o departamentos que la practican. En cambio, es una serie de prácticas multidisciplinarias que entrelazan toda la organización con el objetivo de orientar a la compañía a un proceso de satisfacción al cliente, a través de un producto o servicio.

Adicionalmente, manufactura ajustada es una metodología que no se basa solamente en métodos y herramientas, sino en las personas, que van a conformarla y que las van a practicar en su día a día. Hay que tener en consideración que las personas son el factor más importante dentro de la metodología de manufactura ajustada. De esta manera, se debe crear una cultura de manufactura ajustada dentro de la empresa con el fin de involucrar y empoderar a las personas con esta metodología (Rother y Shook, 65).

Con la incursión de una cultura organizacional enfocada en la manufactura ajustada se logran un sinnúmero de beneficios que vienen de parte de los trabajadores. Esto se da, ya que, las personas miran a las actividades como procesos, lo que permite ver qué agrega valor al proceso y qué no agrega valor al mismo y así poder eliminarlo. Adicionalmente, los trabajadores se identifican con el mapa de valor de la empresa lo que les permite saber su aportación al momento de realizar un producto enfocado al cliente. Por esta razón, tener a las personas involucradas continuamente permite que éstas hagan o sugieran mejoras continuamente, ayudando así al proceso. Así mismo, el empoderamiento permite a los trabajadores tener un mayor control y entendimiento de las herramientas que existen en el

proceso, lo que les ayudará a tomar decisiones dentro de sus áreas de trabajo con el fin de mejorar el proceso en la cotidianidad (Liker, 23).

Existen diferentes métodos dentro de la metodología de manufactura ajustada, como la de Just In Time (JIT), que permiten involucrar directamente tanto al trabajador como al proceso. Estos métodos son:

- Shojinka (Flexibilidad en el Trabajo): Se puede definir como la adaptación de la organización a la demanda del mercado mediante la flexibilidad que tenga la empresa. Esto se puede dar por muchos factores, como la flexibilidad de los trabajadores, de la industria y de la capacidad de respuesta de la compañía a cambios drásticos en el plan de producción (Rother y Shook, 89).
- Soifuku (Aprovechamiento de la Innovación del Trabajador): Se puede definir como la capacidad que tiene la empresa de aceptar ideas o propuestas de los trabajadores con el objetivo de mejorar del proceso productivo de la empresa. También se la puede considerar como el involucramiento que pueden tener los trabajadores para generar nuevas ideas (Rother y Shook, 91).
- Jidoka (Autocontrol): Se lo puede definir como el nivel de empoderamiento que tiene una gestión o los empleados para controlarse a sí mismo y tomar decisiones relevantes con respecto a su funcionamiento en el trabajo cotidiano. Adicionalmente, se lo puede manejar como un concepto de calidad total enfocada en la fuente (Rother y Shook, 93).
- Kaizen (Mejora Continua): Es el proceso de mejora continua que abarca la implementación, capacitación, control y seguimiento de los métodos mencionados anteriormente (Rother y Shook, 95).

3.6 Mapa de Flujo de Valor

El flujo de materiales e información a lo largo de toda la cadena de suministros, desde la materia prima hasta brindar el producto o servicio al consumidor final se conoce como el flujo de valor. La representación gráfica del flujo de valor se conoce como el Mapa de Flujo de Valor o *Value Stream Map* (VSM). Esta representación gráfica simboliza como todos los pasos en la línea de producción se alinean para producir un producto o servicio. El VSM, puede representar desde toda la cadena de suministros hasta una pequeña célula de trabajo dentro de todo el proceso de producción (Rother y Shook, 113). En el Anexo # 1, se puede observar la simbología del VSM.

Por lo tanto, el VSM grafica el flujo de información desde la entrada del proceso hasta el cliente, ya sea interno o externo, que va a utilizar este producto o servicio. Este modelo de observar el flujo de información o materiales, nos permite identificar claramente todas las actividades. De esta manera, se logrará analizar cuáles actividades agregan valor y cuáles no; lo que permitirá eliminar las actividades que no agregan valor (Rother y Shook, 117).

Adicionalmente, VSM tiene muchas utilidades, las mismas que son:

- El VSM siempre toma en consideración lo que el cliente necesita y quiere, además de sus expectativas (Rother y Shook, 116).
- El VSM otorga, de simple vista, una completa representación del flujo de actividades y de los tiempos que toman éstas (Rother y Shook, 116).
- El VSM concede un lenguaje común y una misma manera de ver las cosas (Rother y Shook, 116).
- El VSM muestra como la información fluye para activar y dar soporte a diferentes actividades (Rother y Shook, 116).

- El VSM muestra claramente donde están las actividades que agregan valor y donde están las que no agregan (Rother y Shook, 116).

Como se mencionó el VSM es una representación del flujo de valor dentro de empresa, así como su evolución en el tiempo. De la misma manera, el VSM es una forma de ver los indicadores de la empresa de una manera fácil y rápida (Rother y Shook, 121). Para comprender bien al VSM se deben entender los elementos que lo conforma; estos elementos son:

- Pasos del Procesos: El VSM describe todos los pasos de los que se compone un proceso, incluyendo las actividades que agregan valor y las que no agregan. Además, el VSM brinda datos o indicadores a todas las actividades que forman el proceso (Rother y Shook, 123).
- Inventario: El VSM, identifica la existencia de inventario así como la cantidad del mismo y como se mueve dentro del proceso (Rother y Shook, 124).
- Flujo de Información: Toda la información que se requiere dentro del proceso se encuentra claramente identificada en el VSM (Rother y Shook, 124).
- Caja de Resultados: El VSM incluye un resumen de las métricas claves del proceso (Rother y Shook, 124).
- Tiempo de Espera (Lead Time): El VSM incluye los tiempos de espera de cada una de las actividades que se encuentran en el proceso (Rother y Shook, 126).
- *Takt Time*: El *takt time* es la razón de la demanda con respecto a la capacidad de producción. En otras palabras, cuanto se tiene que producir en un período de tiempo para satisfacer las necesidades del cliente (Rother y Shook, 127).

3.7 Single Minute Exchange of Dies

El Single Minute Exchange of Dies (SMED) es sin lugar a dudas un concepto de alta innovación generado por los japoneses dentro del ámbito de la ingeniería industrial (Hopp y Spearman, 16). Cabe consignar que en las empresas japonesas, la reducción de tiempos de preparación no sólo recae en el personal de ingeniería, sino también en los Círculos de Control de Calidad (Hopp y Spearman, 30).

A los efectos de la reducción en los tiempos de preparación deben tomarse en consideración cuatro conceptos claves consistentes en:

1. Separar la preparación interna de la externa. Se debe entender por preparación interna todas aquellas actividades para cuya realización es preciso detener la máquina o equipo. En tanto que la externa incluyen todas aquellas actividades que pueden efectuarse mientras la máquina está en funcionamiento (Liker, 31).
2. Convertir cuanto sea posible de la preparación interna en preparación externa. De tal forma, muchas actividades que deben en principio efectuarse con la máquina parada puede adelantarse mientras está en funcionamiento. Ejemplo: la máquina de colar a presión puede precalentarse utilizando el calor sobrante del horno que sirve a esta máquina. Esto significa que puede eliminarse el disparo de prueba para calentar el molde metálico de la máquina (Liker, 34).
3. Eliminación de los procesos de ajuste. Las actividades de ajuste pueden llegar a representar entre el 50 y el 70 por ciento del total de las actividades internas. Por tal motivo, es importante e imperioso reducir sistemáticamente el tiempo de ajuste a efectos de reducir el tiempo total de preparación. La clave no consiste en reducir el

ajuste, sino en "eliminarlo" mediante un pensamiento creativo (por ejemplo: ajustando las herramientas en un sólo movimiento – one touch up) (Liker, 36).

4. Suprimir la propia fase de preparación. Con miras de prescindir por completo de la preparación, pueden adoptarse dos criterios: el primero consiste en utilizar un diseño uniforme de los productos o emplear la misma pieza para distintos productos; y el segundo enfoque consiste en producir las distintas piezas al mismo tiempo. Esto último puede lograrse por dos métodos: el primer método es el sistema del conjunto, por ejemplo, en el mismo troquel, se tallan dos formas diferentes; el segundo método consiste en troquelar las distintas piezas en paralelo, mediante la utilización de varias máquinas de menor costo (Liker, 38).

3.8 Sistema Integrado de Mejoramiento Continuo

La aplicación del modelo Sistema Integrado de Mejoramiento Continuo (SIMAC) comenzó en la industria manufacturera en el 2005 enfocándose en el área de producción de las industrias. A mediados del año 2008, TANASA comenzó la implementación del Sistema Integrado de Mejoramiento Continuo (SIMAC). Este programa es una modificación de la manufactura ajustada, realizado en México para las compañías productoras de tabaco, pertenecientes a Philip Morris International (Rother y Shook, 41).

SIMAC es una filosofía de administración que se puede aplicar no sólo en la industria manufacturera, sino también en el resto de la compañía. Mediante el esquema de un flujo continuo de alimentación, todos los departamentos se sustituyen por células de trabajo centradas en la satisfacción de los clientes, tanto internos como externos, en el menor tiempo posible.

SIMAC divide a la organización en seis diferentes libros. Todos los libros se centran en la mejora continua y la eliminación de desperdicios. Cada uno de los libros será explicado brevemente a continuación (Rother y Shook, 42):

- **Ambiente e Involucramiento:** El objetivo de este libro es crear una fuerte cultura donde los valores de la empresa y las creencias son ampliamente compartidos y vividos a diario por todo el personal de la empresa. El propósito de cambio cultural consiste en modificar los elementos culturales necesarios para convertir la mejora continua en un estilo de vida y evitar cualquier desperdicio de talento. Así, este libro crea una cultura que eleva la capacitación y los niveles de rendición de cuentas y reduce el protocolo, al permitir que el trabajador haga el trabajo por su cuenta. Así el supervisor tiene un papel de formador o consultor e interviene sólo cuando es necesario. Para lograr estos objetivos se debe crear una estructura flexible y personalizada centrada en células de trabajo autónomas y la evolución de los papeles tradicionales de los trabajadores.
- **Calidad:** Este libro diseña las especificaciones de calidad del producto, y trabaja para que la misma sea construida y asegurada en el proceso de fabricación de los productos. El control de calidad comienza dando a los trabajadores la responsabilidad y autoridad para tomar decisiones en el proceso. Esto se debe a que la calidad es controlada en la fuente y el objetivo es hacer que la calidad sea fácil de ver.
- **Disponibilidad Operacional:** Es el mejor uso del talento, equipos, sistemas e instalaciones para satisfacer la demanda de los clientes. Por lo tanto, se concentra en el mejor uso de herramientas de fabricación por parte de los grupos naturales de trabajo (GNT) y grupos naturales de apoyo (GNA) para utilizar sus iniciativas y así minimizar el tiempo no productivo. Los GNT's son todos los trabajadores que interactúan

directamente con las máquinas y los equipos. Los GNA's son toda persona que apoya o ayuda en el trabajo realizado por los GNT's. Adicionalmente, uno de los objetivos de este libro es analizar la respuesta del sistema que alerta al grupo de apoyo adecuado y facilita la acción inmediata cuando se interrumpe una operación. También se lo puede considerar como el sistema en el que los empleados trabajan para mejorar la continuidad, calidad y seguridad mediante el mantenimiento de la salud de los activos y la reducción de los costes de las operaciones a través de la mejora continua del rendimiento. Los objetivos de este libro son muy variados debido a su extensión, siendo el principal, el de tener un control de los rendimientos de producción a través de información precisa, centrándose en la mejora continua. Así, se logra un mejor rendimiento de los programas de operación obteniendo una mejor respuesta de los grupos de apoyo.

- **Manufactura de Flujo:** Proceso basado en el tiempo, que saca los materiales, información y productos terminados a través de la operación en su conjunto en función de la demanda de los consumidores.
- **Movimiento de Materiales:** Es el proceso que mueve la materia prima, materiales elaborados, semielaborados y productos terminados de manera efectiva a través de operaciones de fabricación y suministro para apoyar la estrategia de flujo continuo que resulta en la entrega de los productos necesarios para los clientes en el tiempo, con el precio, la cantidad y calidad necesarias para satisfacer sus necesidades. El objetivo de este libro es apoyar la estrategia de flujo continuo y definir el tamaño del lote más pequeño posible para satisfacer las demandas de los clientes

- Organización de Áreas de Trabajo: Este libro es la base para la mejora continua; da soporte a los flujos de material y de información mediante la aplicación de las prácticas estándares; proporciona una manera fácil de entender la atmósfera y el ambiente de trabajo para una base de mejora continua; suministra un entorno seguro, ambiente limpio y organizado, minimizando el tiempo invertido en actividades que no agregan valor. Por lo tanto, el objetivo de este libro es el de ofrecer seguridad, medio ambiente limpio y organizado, minimizando el tiempo invertido en actividades que no agregan valor. Adicionalmente, proporciona un fácil un ambiente de trabajo en el cual cualquier anomalía puede ser detectada a simple vista.

Dentro de todos estos libros que componen la empresa en el que más nos vamos a centrar a lo largo de la tesis es el de manufactura de flujo. Esto se debe a que el proceso operativo de elaboración y empaque de cigarrillos se encuentra en este libro (Rother y Shook, 76).

Manufactura de flujo es un proceso basado en tiempo, que jala material a través de un sistema de producción sin interrupción, al ritmo de la demanda del cliente. Esto se logra a través de un flujo rápido de material desde la materia prima hasta el producto terminado con subprocesos, alimentando el flujo principal en forma sincronizada. El propósito de este libro es responder rápidamente a la demanda del cliente con productos de alta calidad y cumplir con ésta a través del uso eficiente y seguro de nuestros recursos de (Rother y Shook, 79).

3.9 Muestreo de Trabajo

El muestreo de trabajo es un método que permite analizar el trabajo mediante un número de observaciones tomadas de manera aleatoria. Mediante el muestreo de trabajo se espera investigar las proporciones de tiempo total dedicadas a las diversas actividades que constituyen una tarea o una situación de trabajo (Niebel y Freivalds, 525). Este método tiene

varias ventajas en comparación con el procedimiento convencional de estudios de tiempo. La teoría de muestreo de trabajo se basa en la ley fundamental de probabilidad: “En un momento dado un evento puede estar presente o ausente” (Niebel y Freivalds, 526). La probabilidad de x ocurrencia de un evento en n observaciones está dada por la siguiente ecuación (Niebel y Freivalds, 526):

$$(p + q)^n = 1 \quad 3.1$$

Donde p es la probabilidad de una sola ocurrencia; $q = (1-p)$ es la probabilidad de la ausencia de ocurrencia y n el número de observaciones (Niebel y Freivalds, 526).

Antes de realizar las observaciones reales del estudio de muestreo de trabajo, debe llevarse a cabo una planeación detallada. Los planes se inician con una estimación preliminar de las actividades para las que se busca información. Esta estimación puede incluir una o más actividades y, a menudo, se hace a partir de datos históricos. Una vez hechas las estimaciones preliminares, se puede determinar la exactitud deseada de los resultados; esto puede ser considerado como la tolerancia o límite de error dentro del nivel de confianza establecido (Niebel y Freivalds, 533).

Para determinar el número de observaciones necesarias, se debe establecer con exactitud los niveles deseados de resultados. Los intervalos de confianza son una manera de establecer estos límites de exactitud (Niebel y Freivalds, 533).

La frecuencia de las observaciones depende del número de observaciones requeridas y del intervalo de tiempo disponible que se tiene para levantar los datos. El número de personas que registran los datos y el tipo de trabajo que se estudia también es un factor que influye en la frecuencia de recopilación de datos. Tomando en consideración lo mencionado anteriormente, se determina el número de observaciones que se deben recopilar diariamente y los tiempos

reales necesarios para registrar las observaciones. Para que la muestra sea representativa, los datos deben ser tomados durante todo el día (Niebel y Freivalds, 535).

Por último, se debe diseñar una forma para registrar los datos recolectados durante el estudio; tomando en consideración que cada estudio es único, por lo que no existe una forma estándar para el registro de observaciones. Se debe orientar el diseño partiendo desde la forma de muestreo para llegar a los objetivos del estudio. Es recomendable diseñar un estudio que no llame la atención ni que incomode al trabajador al momento de realizar el estudio (Niebel y Freivalds, 536).

Si el objetivo del muestreo de trabajo es un registro de observaciones y datos, al acercarse al área de trabajo, la persona que toma los datos debe mantener una distancia prudencial con respecto al lugar que espera analizar. Si el operario de la máquina que se estudia está inactivo, debe determinarse la razón y confirmarla con el supervisor para validar la misma. Es recomendable que la persona que tome los datos o las observaciones visuales las registre fuera del área de trabajo, con el fin de minimizar el sentimiento del trabajador con respecto de la prueba y de ese modo no varíe su desempeño. Dependiendo de qué tan efectiva sea la forma de tomar los datos, éstos van a estar más o menos sesgados. Se debe considerar que los operadores tienen la tendencia de registrar lo que acaba de ocurrir, o lo que va a ocurrir, en lugar de lo que está sucediendo en realidad.

3.10 Simulación

De acuerdo a Banks, Carlson, Nelson y Nicol, la simulación es la imitación de las operaciones de procesos o sistemas de la vida real en el tiempo. La simulación involucra la generación de información basándose en datos históricos y, cómo esta información infiere en las características del sistema real. El comportamiento del sistema y cómo evoluciona el mismo

en el tiempo es estudiado mediante el desarrollo de un modelo de simulación. Estos modelos se realizan mediante un conjunto de supuestos del sistema de operaciones. Los supuestos del modelo están expresados de forma matemática, lógica y simbólica, así como la relación entre los objetos de interés del sistema. Los modelos de simulación pueden ser utilizados como una herramienta de análisis para predecir el efecto de la implementación de cambios en los sistemas reales. Adicionalmente, los modelos de simulación también pueden ser utilizados como una herramienta de diseño para prever el desempeño de nuevos sistemas bajo ciertas circunstancias variables. (Banks, Carson, Nelson y Nicol, 3).

Dentro de la simulación existen diferentes categorías o tipos (Banks, Carson, Nelson y Nicol, 11), como los descritos a continuación:

- Simulación determinística: representa modelos de simulación que no contienen variables aleatorias
- Simulación estocástica: representa modelos de simulación que tienen una o más variables aleatorias como entradas. Las entradas aleatorias conducen a resultados aleatorios (estimaciones de las verdaderas características de un modelo).
- Simulación de eventos discretos: representa modelos de simulación de sistemas en los cuales la variable de estado cambia únicamente en puntos discretos de tiempo.
- Simulación de eventos continuos: modelos de simulación de sistemas en los cuales la variable de estado cambia continuamente con el paso del tiempo.
- Simulación estática o simulación Monte Carlo: simula un modelo que representa un sistema en un punto particular del tiempo.
- Simulación dinámica: simula un modelo que representa un sistema tal como cambia con el paso del tiempo.

La simulación con la que se trabajará en esta tesis es un sistema estocástico dinámico de eventos discretos (Banks, Carson, Nelson y Nicol, 13).

3.11 Distribución de Probabilidad

Antes de explicar el significado de la distribución de probabilidad, primero debemos explicar qué es variable aleatoria. Una variable aleatoria se la puede definir como la variable que asigna un número real a cada resultado del espacio muestral de un experimento aleatorio.

Existen variables aleatorias tanto discretas como continuas: las variables aleatorias discretas son variables que existen en un rango finito o contablemente infinito. Por el contrario, las variables aleatorias continuas tienen como rango un intervalo de números reales ya sean estos finitos o infinitos (Montgomery y Runger, 92).

Teniendo en consideración la definición de variable aleatoria, podemos definir, en términos de estadística, a la distribución de probabilidad de una variable aleatoria como la función que describe la probabilidad asociada de un evento con los posibles valores que puede obtener de dicha variable aleatoria (Montgomery y Runger, 99). La distribución de probabilidad está definida sobre un rango de datos donde las variables aleatorias pueden tomar diferentes valores. Se puede modelar las distribuciones de probabilidad mediante la función de densidad de probabilidad ($f(x)$), cuando las variables aleatorias toman valores en el conjunto de números reales. En la función de densidad de probabilidad, el valor en cada valor real x es la probabilidad de que la variable aleatoria sea igual que x . A la función de densidad de probabilidad acumulada ($F(x)$) se le conoce como la función de distribución de probabilidad, en donde cada valor real x es la probabilidad de que la variable aleatoria sea igual o menor que x (Montgomery, 24). Existen diferentes tipos de distribuciones, estas varían dependiendo de cómo se modelan las mismas en el espacio muestral que se está trabajando. Cada distribución

tiene diferentes parámetros los cuales ayudan a modelar estas distribuciones. En la mayoría de las distribuciones los parámetros se relacionan al valor esperado o la esperanza $E(X)$, que es la suma del producto de la probabilidad de cada suceso por el valor de dicho suceso, y con la varianza $V(X)$, que es una medida de dispersión de una variable aleatoria respecto a su esperanza (Montgomery y Runger, 153). A continuación se procederá a explicar cada una de las distribuciones de probabilidad que son utilizadas a lo largo de esta tesis.

3.11.1 Distribución Normal

La distribución normal, también conocida como distribución de Gauss o gaussiana, es el modelo de distribución de probabilidad más generalizado. Esto se debe a que esta distribución es la que modela la mayoría de eventos de la vida real. La función de densidad de probabilidad de la distribución normal está dada por la siguiente ecuación (Montgomery y Runger, 153):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad 3.2$$

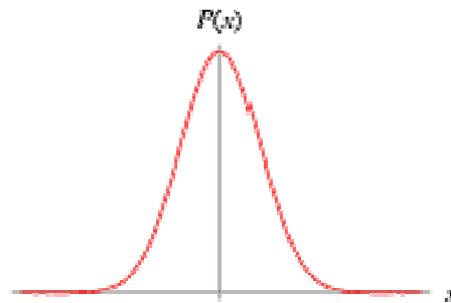
donde x puede tener cualquier valor dentro de los números reales. Los parámetros de esta distribución están dados por la media (μ) y la desviación estándar (σ). El valor esperado de esta distribución y la varianza están dados por las siguientes ecuaciones (Kelton, Sadowski y Sturrock, 630):

$$E(X) = \mu$$

$$V(X) = \sigma^2$$

En el gráfico #1, encontramos la función de densidad de probabilidad de una distribución normal (Kelton, Sadowski y Sturrock, 630).

Gráfico #1: Función de Densidad de Probabilidad Normal – Gráfico obtenido de la página web de Math World.



Como una de las propiedades de la distribución normal es que puede tomar cualquier valor dentro los números reales ($-\infty \leq X \leq \infty$), se debe tener cuidado cuando los datos toman esta distribución, especialmente cuando los datos no pueden tomar valores negativos. En este caso, se debe truncar la distribución para que la misma tome solo valores dentro de un rango de datos permitidos. Para truncar los datos de una distribución normal, para que los mismos sean exclusivamente mayores o iguales que k utilizamos las siguientes ecuaciones (Hernández y Garcés, 190):

$$\begin{aligned}
 E(X|X > k) &= \mu + \sigma\lambda(\alpha) \\
 Var(X|X > k) &= \sigma^2[1 - \delta(\alpha)] \\
 \alpha &= \frac{k-\mu}{\sigma} \\
 \phi(\alpha) &= \frac{\exp\left[-\frac{\alpha^2}{2}\right]}{\sqrt{2\pi}} \\
 \Phi(\alpha) &= \int_{-\infty}^{\alpha} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dx \\
 \lambda(\alpha) &= \frac{\phi(\alpha)}{[1-\Phi(\alpha)]} \\
 \delta(\alpha) &= \lambda(\alpha)[\lambda(\alpha) - \alpha]
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Por lo tanto, si reemplazamos μ y de σ^2 por los valores obtenidos de $E(X)$ y $\text{Var}(X)$, nos aseguraremos de que la distribución normal solo tome valores mayores o iguales que k (Hernández y Garcés, 188).

3.11.2 Distribución Exponencial

Una distribución exponencial representa la distancia entre conteos sucesivos de un proceso de Poisson con media $\lambda > 0$. La función de densidad de probabilidad de una función exponencial está dada por la siguiente ecuación (Montgomery y Runger, 180):

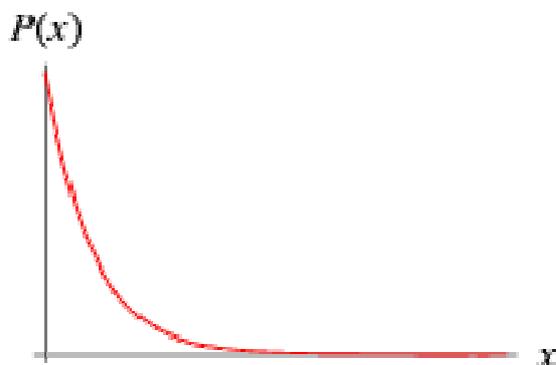
$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{para } x \geq 0 \\ 0 & \text{de otro modo} \end{cases} \quad 3.4$$

donde x sólo puede tomar valores mayores o iguales a cero. El parámetro de la distribución de probabilidad exponencial está dado por λ . El valor esperado de esta distribución y la varianza están dados por las siguientes ecuaciones (Kelton, Sadowski y Sturrock, 626):

$$E[X] = \frac{1}{\lambda}$$
$$V(X) = \frac{1}{\lambda^2}$$

En el gráfico #2, encontramos la función de densidad de probabilidad de una distribución exponencial (Kelton, Sadowski y Sturrock, 626).

Gráfico # 2: Función de Densidad de Probabilidad Exponencial – Gráfico obtenido de la página web de Math World.



3.11.3 Distribución Log-normal

La distribución de probabilidad log-normal ocurre cuando los logaritmos de las variables aleatorias modelan una distribución normal. La base logarítmica que se aplica a las variables aleatorias no es importante ya que, \log_a de una variable aleatoria está distribuida normalmente, si y sólo si, el \log_b de una variable aleatoria está distribuida normalmente. La función de densidad de probabilidad de una distribución log-normal está modelada por la siguiente ecuación (Kelton, Sadowski y Sturrock, 629):

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu)^2 / 2\sigma^2} \quad 3.5$$

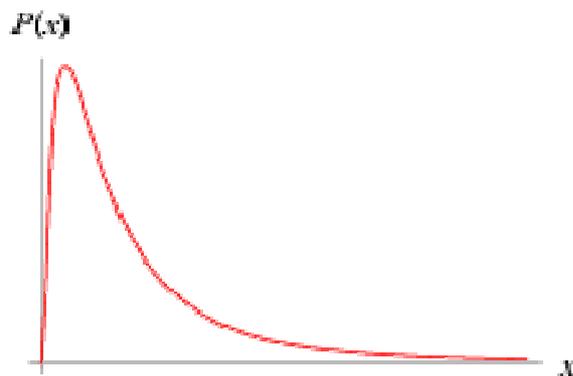
donde los x sólo puede tener valores mayores o iguales a cero. Los parámetros de esta distribución están dados por el logaritmo de media (μ_l) y el logaritmo de la desviación estándar (σ_l). El valor esperado de esta distribución y la varianza están dados por las siguientes ecuaciones (Kelton, Sadowski y Sturrock, 629):

$$E(X) = e^{\mu + \sigma^2/2}$$

$$V(X) = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2}$$

En el gráfico #3, encontramos la función de densidad de probabilidad de una distribución log-normal (Kelton, Sadowski y Sturrock, 630).

Gráfico #3: Función de Densidad de Probabilidad Log-normal – Gráfico obtenido de la página web de Math World.



3.11.4 Distribución Erlang

La distribución erlang modela la longitud del intervalo hasta que ocurran k fallas en un proceso de Poisson con media $\lambda > 0$. La función de densidad de probabilidad de la distribución erlang está dada por la siguiente ecuación (Montgomery y Runger, 188):

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \frac{(\lambda x)^{k-1}}{(k-1)!} \quad 3.6$$

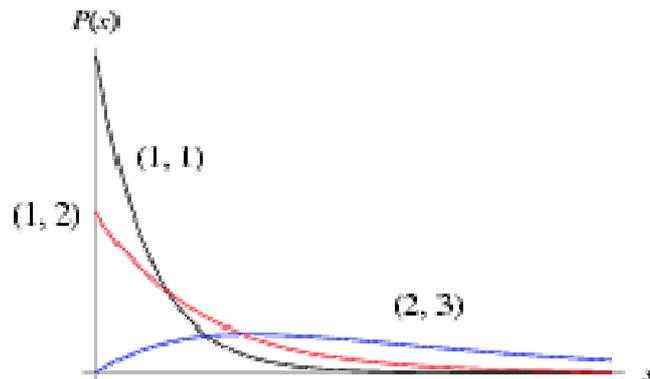
donde x solo puede tener valores mayores iguales a cero. Los parámetros de la distribución de probabilidad de erlang son k que se representa por valores enteros positivos mayores a cero y λ que puede ser representado como $1/\theta$. Si $k = 1$, la distribución erlang es una distribución exponencial. El valor esperado de esta distribución y la varianza están dados por las siguientes ecuaciones (Kelton, Sadowski y Sturrock, 625):

$$E(X) = k / \lambda$$

$$V(X) = k / \lambda^2$$

En el gráfico #4, encontramos la función de densidad de probabilidad de una distribución erlang para distintos valores de k y de θ (Kelton, Sadowski y Sturrock, 630).

Gráfico #4: Función de Densidad de Probabilidad Erlang – Gráfico obtenido de la página web de Math World.



3.11.5 Distribución Gamma

La distribución Erlang es un caso especial de la distribución gamma. Se utiliza la distribución de probabilidad gamma cuando el parámetro r de la distribución erlang no es un entero pero es mayor a cero. La función de densidad de probabilidad de la distribución de probabilidad gamma está dada por la siguiente ecuación (Montgomery y Runger, 191):

$$f(x) = \lambda^k e^{-\lambda x} \frac{x^{k-1}}{\Gamma(k)} \quad 3.7$$

donde x sólo puede tomar valores mayores a cero y la función gamma ($\Gamma(k)$) está dada por, $\Gamma(k) = (k - 1)!$ (Montgomery y Runger, 191). Los parámetros de la distribución de probabilidad de erlang son k que se representa por valores positivos mayores a cero y λ que puede ser representado como $1/\theta$. Si $k = 1$, la distribución gamma al igual que la erlang, es una distribución exponencial. El valor esperado de esta distribución y la varianza, al igual que en el caso de la

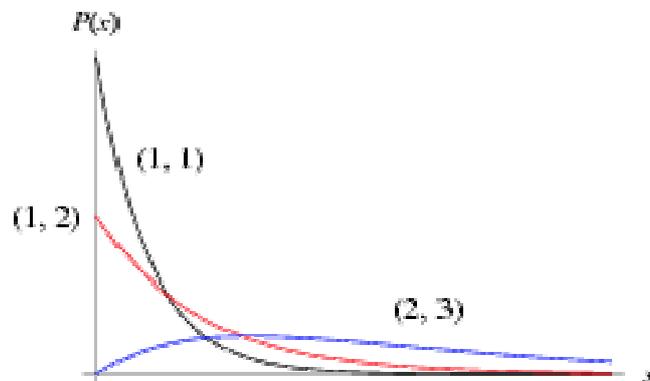
distribución erlang, están dadas por las siguientes ecuaciones (Kelton, Sadowski y Sturrock, 627):

$$E(X) = k / \lambda = k\theta$$

$$V(X) = k / \lambda^2 = k\theta^2$$

En el gráfico #5, encontramos la función de densidad de probabilidad de una distribución gamma para distintos valores de k y de θ (Kelton, Sadowski y Sturrock, 630).

Gráfico #5: Función de Densidad de Probabilidad Gamma – Gráfico obtenido de la página web de Math World.



3.11.6 Distribución Beta

La distribución de probabilidad beta es una función que tiene la habilidad de tener una gran variedad de figuras. Debido a esta propiedad, la distribución beta se utiliza normalmente como una aproximación de modelo cuando existen pocos datos. La función de densidad de probabilidad está dada por la siguiente ecuación (Kelton, Sadowski y Sturrock, 621):

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} \quad 3.8$$

donde x sólo puede tener valores entre cero y uno, y función gamma ($\Gamma(x)$) está dada por, $\Gamma(x) = (x-1)!$. Los parámetros de la función beta son α y β que son valores reales positivos. El

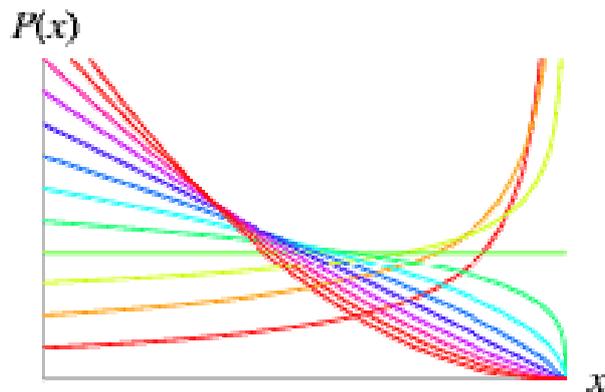
valor esperado y la varianza de la distribución de probabilidad beta están dados por las siguientes ecuaciones (Kelton, Sadowski y Sturrock, 621):

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

$$V(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)}$$

En el gráfico #6, encontramos la función de densidad de probabilidad de una distribución beta para distintos valores de α y β (Kelton, Sadowski y Sturrock, 630).

Gráfico #6: Función de Densidad de Probabilidad Beta – Gráfico obtenido de la página web de Math World.



3.11.7 Distribución Weibull

La distribución de probabilidad de weibull se utiliza para modelar el tiempo hasta que ocurra una falla en muchos sistemas físicos diferentes. La función de densidad de probabilidad de la distribución de probabilidad weibull está dada por la siguiente ecuación (Montgomery y Runger, 193):

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad 3.9$$

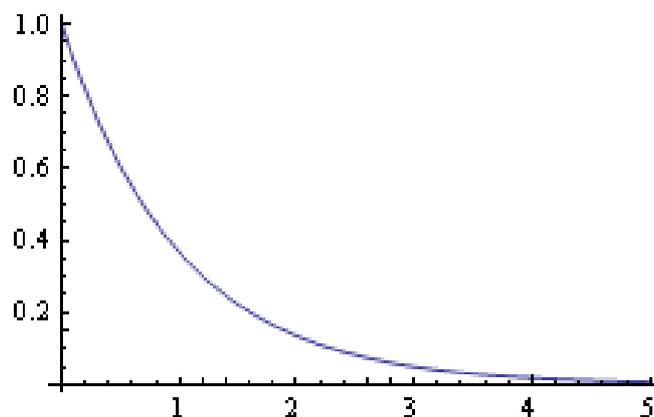
donde x sólo puede tomar valores mayores a cero. Los parámetros de la distribución weibull son k (parámetro de forma) y λ (parámetro de escala). El valor esperado y la varianza de la distribución de probabilidad de weibull están dados por las siguientes ecuaciones (Kelton, Sadowski y Sturrock, 634):

$$E(X) = \lambda \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$

$$V(X) = \lambda^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right]$$

En el gráfico #7, encontramos la función de densidad de probabilidad de una distribución weibull (Kelton, Sadowski y Sturrock, 630).

Gráfico #7: Función de Densidad de Probabilidad Weibull – Gráfico obtenido de la página web de Math World.



3.12 Pruebas de Hipótesis

Una prueba de hipótesis es una metodología de inferencia estadística sobre un enunciado o una afirmación para analizar, ya sea los parámetros de una distribución de probabilidad o los parámetros de un modelo. El objetivo de una prueba de hipótesis es deducir si los parámetros de una muestra que deseamos analizar se comportan como los parámetros de una población específica (Montgomery, 33). Por lo tanto, podemos decir que la hipótesis estadística es un enunciado acerca de los parámetros de una o más poblaciones (Montgomery y Runger, 295). Para realizar la prueba de hipótesis se utiliza una suposición determinada llamada hipótesis nula H_0 , y una hipótesis alternativa H_1 , que normalmente es la negación de la hipótesis nula. La hipótesis nula es frecuentemente la hipótesis que se desea contrastar o probar. Una hipótesis nula nunca es aprobada, sino que no existe evidencia estadística suficiente para rechazarla. Sin embargo, una hipótesis nula sí puede ser rechazada, en este caso, se escoge la hipótesis alternativa (Montgomery, 34). La prueba de hipótesis puede representarse de la siguiente manera:

$$H_0: \theta = \theta_0$$

$$H_1: \theta \neq \theta_0$$

donde θ es el parámetro que se desea contrastar.

Existen dos tipos de errores que se pueden cometer al momento de trabajar con pruebas de hipótesis. El error tipo I ocurre cuando la hipótesis nula se rechaza cuando es verdadera.

Mientras que el error tipo II se da cuando la hipótesis nula no es rechazada cuando es falsa.

Las probabilidades de estos errores se representan de la siguiente manera (Montgomery, 34):

- $\alpha = P(\text{error tipo I}) = P(\text{rechazar } H_0 \mid H_0 \text{ es verdadera})$
- $\beta = P(\text{error tipo II}) = P(\text{dejar rechazar } H_0 \mid H_0 \text{ es falsa})$

Adicionalmente los errores se trabajan con la potencia de la prueba, donde (Montgomery, 34):

- Potencia = $1 - \beta = P(\text{dejar rechazar } H_0 \mid H_0 \text{ es falsa})$

Se debe escoger un valor de α , denominado nivel de significancia, con el cual se comparará el resultado obtenido en la prueba de hipótesis y se procederá a rechazar o no rechazar la hipótesis nula.

El valor P es la probabilidad de que el estadístico de la prueba tome un valor que es al menos tan extremo como el valor observado del estadístico cuando la hipótesis nula es verdadera. Si el nivel de significancia es mayor o igual al valor P , se rechaza la hipótesis nula y escogemos la hipótesis alternativa. Mientras que si el valor P es mayor al nivel de significancia, no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula (Montgomery y Runger, 313).

Un tipo de prueba de hipótesis es la utilización de intervalos de confianza, los cuales expresan el grado de incertidumbre asociado con una estimación puntual. La estimación del intervalo de confianza de un parámetro desconocido θ es un intervalo de la forma $l \leq \theta \leq u$, donde los puntos finales l y u dependen de un valor numérico estadístico muestral. A partir de la distribución del muestreo de la media del estadístico se podrá determinar los valores de L y U para la siguiente ecuación (Montgomery y Runger, 289):

$$P(L \leq \theta \leq U) = 1 - \alpha$$

donde α es el nivel de significancia del intervalo de confianza.

3.12.1 Prueba F de dos Varianzas

La prueba de hipótesis F de dos Varianzas compara la igualdad de varianzas de dos poblaciones normales. Esta prueba de hipótesis considera tamaños n_1 y n_2 , siendo ambas muestras aleatorias e independientes. La distribución de referencia es la distribución F con n_1

– 1 grados de libertad en el numerador y $n_2 - 1$ grados de libertad en el denominador. Las hipótesis de esta prueba son las siguientes (Montgomery, 44):

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

donde σ_1^2 es la varianza de la población 1 y σ_2^2 es la varianza de la población 2. La hipótesis nula se rechaza en caso que $|F_0| > F_{\alpha/2, n_1 - 1, n_2 - 1}$. Igual que en las demás pruebas de hipótesis, la hipótesis nula no se rechaza en el caso de que valor P sea mayor al nivel de significancia (Montgomery, 44).

3.12.2 Pruebas de Hipótesis t de Dos Muestras

La prueba de hipótesis t para dos muestras calcula un intervalo de confianza y realiza una prueba de hipótesis de la diferencia entre dos medias poblacionales. Este procedimiento se basa en la distribución t de Student. Se puede tener una mayor confianza en los resultados con el aumento del tamaño de las muestras. Existen dos maneras de utilizar esta prueba de hipótesis: cuando se asume que las varianzas de las dos muestras son iguales y, cuando no hay suficiente evidencia para asumir igualdad de varianzas. La hipótesis nula y la hipótesis alternativa de esta prueba son las siguientes (Montgomery, 44):

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Donde μ_1 y μ_2 son las medias de las poblaciones. En esta prueba de hipótesis, se rechaza la hipótesis nula cuando el valor- P de esta prueba es menor al nivel de significancia (α) propuesto.

3.12.3 Pruebas de Hipótesis Chi-Cuadrado

De acuerdo con Montgomery y Runger, la Prueba de hipótesis Chi-Cuadrado es una prueba de bondad de ajuste que permite demostrar si una población sigue una distribución hipotética propuesta, X_0^2 tiene, aproximadamente, una distribución chi-cuadrada con $k - p - 1$ grados de libertad, donde p representa el número de parámetros de la distribución hipotética y k el número de intervalos en las que se dividieron los datos. La prueba Chi-Cuadrado es una prueba no paramétrica que mide la diferencia entre una distribución propuesta y la distribución teórica. La hipótesis nula y la hipótesis alternativa de esta prueba son las siguientes

(Montgomery y Runger, 356):

H_0 : Los datos siguen una distribución de probabilidad X

H_1 : Los datos no siguen una distribución de probabilidad X

El estadístico de la prueba de bondad y ajuste Chi-Cuadrado está dada por la siguiente ecuación (Montgomery y Runger, 357):

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(\text{observada}_i - \text{teórica}_i)^2}{\text{teórica}_i}$$

La hipótesis nula no se rechaza en caso que $X_0^2 < X_{\alpha, k-p-1}^2$. Igual que en las demás pruebas de hipótesis, la hipótesis nula no se rechaza en el caso de que valor P sea mayor al nivel de significancia (Montgomery y Runger, 357).

3.12.4 Pruebas de Hipótesis Kolmogorov-Smirnov

La prueba Kolmogórov-Smirnov es una prueba de bondad y ajuste no paramétrica que sirve para determinar si dos distribuciones de probabilidad son iguales. Es importante considerar que la prueba Kolmogórov-Smirnov es más robusta en los valores cercanos a la mediana, que

en los valores extremos. La hipótesis nula y la hipótesis alternativa se encuentran a continuación (Kelton, Sadowski y Sturrock, 160):

H_0 : Los datos siguen una distribución de probabilidad X

H_1 : Los datos no siguen una distribución de probabilidad X

La hipótesis nula no se rechaza en el caso de que valor P sea mayor al nivel de significancia (Montgomery y Runger, 357).

3.12.5 Pruebas de Hipótesis Anderson-Darling

Según Montgomery y Runger la prueba de hipótesis Anderson-Darling es una prueba de normalidad. En comparación con la prueba Kolmogórov-Smirnov, la prueba Anderson-Darling es una prueba mucho más robusta, cuando se trata de inferir que los datos son normales. Para la prueba de normalidad la hipótesis nula y la hipótesis alternativa se encuentran a continuación (Montgomery y Runger, 329):

H_0 : Los datos siguen una distribución de probabilidad normal

H_1 : Los datos no siguen una distribución de probabilidad normal

La hipótesis nula no se rechaza en el caso de que valor P sea mayor al nivel de significancia (Montgomery y Runger, 329).

4 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

4.1 Descripción de Philip Morris

Philip Morris es la mayor empresa tabacalera del mundo, integrada en el grupo Altria y compuesta por dos sociedades específicas para sus operaciones en Estados Unidos y el resto del mundo. En 2006 sus ventas representan casi el 15% del mercado mundial de cigarrillos (Philip Morris International).

En 1847, Philip Morris abrió una tienda de tabaco en Londres. A su muerte, su esposa y su hermano se hicieron cargo del negocio, convirtiéndolo en una sociedad anónima en 1881, que tras diversos cambios pasaría a denominarse Philip Morris & Co. Ltd en 1885.

Actualmente, los productos de Philip Morris International representan una proporción de aproximadamente del 15.6% del mercado internacional de cigarrillos fuera de EE. UU.

Estamos orgullosos de nuestros logros, pero seguimos poniendo nuestro máximo esfuerzo en mantener nuestro éxito comercial y seguir creciendo en todo el mundo (Philip Morris International).

4.2 Descripción de TANASA, ITABSA y PROESA.

4.2.1 TANASA

TANASA, empresa agroindustrial ecuatoriana es parte del Grupo Corporativo ITABSA, fue fundada en 1973 en Quito y en 1978 abre sus puertas en Durán en donde se procesa tabaco sembrado y cosechado localmente. En su planta industrial ubicada en Durán se procesa el tabaco, mientras que en su planta del sur de Quito se producen los cigarrillos. Su actividad es la fabricación de cigarrillos con marcas nacionales e internacionales bajo licencia de Philip Morris International (Philip Morris International).

Misión:

“Nuestra misión como empresa de tabaco es ser la compañía ecuatoriana de productos de consumo más exitosa, respetada y socialmente responsable.” (Philip Morris International).

Objetivos Estratégicos (Philip Morris International):

- Actuar con integridad, respeto, confianza y espíritu de colaboración.
- Tener pasión por la excelencia y los resultados superiores.
- Impulsar la creatividad y la innovación en nuestros productos y en nuestras empresas.

- Fomentar y celebrar la diversidad y éxitos de nuestros compañeros.
- La libertad de elección y responsablemente producir y comercializar un producto para adultos placentero, pero con riesgos.

Estrategias Corporativas (Philip Morris International):

- Entregar consistentemente resultados superiores en utilidades de operación, flujo de efectivo, crecimiento de participación de mercado y volumen.
- Maximizar el potencial de nuestro negocio en cada mercado donde competimos
- Hacer de nuestros procesos de negocio las mejores prácticas en el mundo.
- Ofrecer al consumidor adulto, cigarrillos de la más alta calidad y placer en la fumada, incluyendo cigarrillos que sean reconocidos por las autoridades públicas como menos dañinos.
- Asegurar que nuestras marcas representen prestigio, calidad y placer; que nuestras prácticas de mercado y ventas sean de clase mundial en su creatividad y su efectividad.
- Atraer, promover y retener el mejor talento humano.
- Asumir una posición de liderazgo para atender las preocupaciones de la sociedad relacionada con el consumo de cigarrillos, para prevenir que los menores fumen, apoyar el desarrollo de nuestras comunidades y proteger el medio ambiente donde operamos.

4.2.2 ITABSA

Industrias del Tabaco, Alimentos y Bebidas S.A., ITABSA, fue fundada en 1990, surge de la fusión de las empresas Tabacalera Ecuatoriana Astor (TABEA C.A.) e Inmobiliaria Manzanares S.A. (Philip Morris International).

Esta empresa es la encargada de dar soporte a TANASA. ITABSA maneja los siguientes departamentos (Philip Morris International):

- Finanzas
- Marketing
- Recursos Humanos
- Legal
- Informática

4.2.3 PROESA

Proveedora Ecuatoriana S.A., PROESA, creada en 1970, actualmente comercializa los cigarrillos que produce TANASA, además de licores de la empresa ILSA y fósforos de FESA. En sus inicios el mayor accionista de PROESA fue Philip Morris Incorporated (Philip Morris International).

PROESA es el cliente directo de TANASA, ya que, toda la producción que se realiza en TANASA es vendida a PROESA. Esta compañía se encarga de la distribución y venta de cigarrillos además de fosfores, licores, tarjetas telefónicas y otros artículos adicionales.

4.3 Proceso de fabricación de cigarrillo

4.3.1 Cultivo de Tabaco

El principal y más importante ingrediente de los cigarrillos es el tabaco. Por lo que la calidad y el aseguramiento de la calidad de este producto son cruciales para la compañía. Existen tres variedades de tabaco utilizadas en el proceso de elaboración de cigarrillo, Virginia o Claro, Burley y Oriental o Turco (Philip Morris USA). En el Ecuador se producen las variedades de Virginia y Burley, mientras que el tabaco oriental es importado directamente desde Brasil.

Philip Morris International no es propietaria de ninguna plantación de tabaco. La empresa compra el tabaco de las compañías de hoja de tabaco y de cultivadores de países de todo el mundo, como Brasil, Grecia, Italia, Malawi, Polonia, Tailandia, Turquía y los Estados Unidos (Philip Morris International).

Dos de los tres principales tipos de tabaco (Virginia y Oriental) se recolectan en fases sucesivas, empezando por las hojas que maduran antes (las que están más cerca del suelo) y siguiendo hacia arriba a medida que maduran las capas de los tallos restantes (Philip Morris USA). El otro tipo principal de tabaco (Burley) se cosecha básicamente en una sola fase, cortando la planta y extrayendo las hojas del tallo después de la cura (Philip Morris USA).

El proceso de curación desempeña un papel muy importante en la calidad final de las hojas y la destreza del agricultor es crucial para obtener los distintos sabores característicos del tabaco (Philip Morris International).

El tabaco Virginia se cura con un proceso denominado "curado en atmósfera artificial" o "curado a fuego indirecto". El tabaco se cuelga en secaderos especializados, donde el aire caliente elimina el agua de las hojas. Este proceso dura alrededor de una semana, durante la cual se debe controlar y aumentar gradualmente la temperatura. Si en cualquier momento del proceso la temperatura fuera demasiado alta o demasiado baja, la calidad del tabaco se vería afectada (Philip Morris International).

El tabaco Burley sigue el proceso de "curado al aire" en secaderos con buena ventilación; este proceso tarda un máximo de dos meses. El tabaco Oriental se seca con el proceso de "curado al sol", en el que las hojas se cuelgan en el exterior con la exposición del sol.

Una vez curadas, el agricultor clasifica las hojas del tabaco según la posición del tallo y las características de la hoja, las empaca en fardos y las lleva a una sala de subastas o al centro de

recepción, donde los compradores de Philip Morris, expertos en la calidad y evaluación de las hojas, valoran cuidadosamente según las variaciones en el color, la textura y el aroma (Philip Morris International).

4.3.2 Proceso de fabricación de cigarrillo

Después de la cosecha y del proceso de curado, la hoja del tabaco es enviada a plantas de fabricación de todo el mundo. Con el fin de potenciar su sabor, el tabaco se deja envejecer hasta un máximo de tres años en entornos controlados. A continuación se prepara el tabaco para el procesado y la producción de cigarrillos. El transporte y la humidificación de la frágil hoja se deben realizar con cuidado, y aquí es donde entra el arte de la mezcla (Philip Morris International).

Aunque la fabricación de cigarrillos es un proceso altamente automatizado, nunca pierde el elemento humano. La supervisión del proceso de producción es vital: la inspección de la hoja, la mezcla y el control de calidad del producto final son aspectos que no se deben dejar únicamente a las máquinas (Philip Morris International).

El proceso de fabricación de cigarrillos se divide en dos grandes procesos: proceso primario y proceso secundario.

4.3.2.1 Proceso Primario

Su función es la de transformar el tabaco en sus diferentes calidades y tipos en hebra de tabaco que posteriormente será utilizada en el proceso de elaboración de cigarrillos. La hebra es el resultado de un proceso de acondicionamiento de humedad y temperatura del tabaco. Con el objeto de realzar las características de fumado, al tabaco acondicionado, se le agregan sabores y sobre este subproducto se realizan cortes adecuados para que la hebra obtenida sea dispuesta en el llenado del cigarrillo (Philip Morris International). Como ya se mencionó el ingrediente

principal de cada uno de nuestros cigarrillos es el tabaco. Adicionalmente, se pueden añadir otros ingredientes al tabaco, como productos que ayudan el procesado, humectantes (que mantienen la humedad y la flexibilidad del tabaco), conservantes y sustancias que le dan un sabor específico a cada marca. Una vez cortado el tabaco, se almacena en enormes silos antes de entrar en el proceso de fabricación de cigarrillos (Philip Morris International).

4.3.2.2 Proceso Secundario

En la Industria Tabacalera los procesos de Elaboración y Empaque de cigarrillos se conjugan bajo el nombre de Proceso Secundario. En Elaboración utilizamos hebra confeccionada en Proceso Primario, filtros del Proceso de Elaboración de Filtros, que se producen en el proceso secundario, y materiales directamente importados (Direct Import Materials – DIM´s) como papeles y adhesivos, etc. Una vez fabricados los cigarrillos se procede a su empaquetamiento en la sección de Empaque, nuevamente con el aporte de DIM´s: etiquetas, polipropileno, papel aluminio, refuerzo interior, etc. (Philip Morris International). En el capítulo siguiente se profundizará más en el tema de la elaboración y empaque de cigarrillos.

5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SECUNDARIO

En la sección anterior, se explicó brevemente el proceso de fabricación de cigarrillos, así como los diferentes procesos productivos dentro de la fábrica como son el Proceso Primario y el Proceso Secundario. En esta sección profundizaremos en la descripción del Proceso Secundario de Elaboración y Empaque de Cigarrillos. Esto se debe a que, esta tesis se centra en este proceso productivo, específicamente a una célula de manufactura de este proceso. En este capítulo se comenzará por explicar cómo se divide el proceso por células de trabajo y se explicará la célula de manufactura que va a ser utilizada para los análisis en esta tesis.

Adicionalmente, para comprender de una mejor manera este proceso, se procederá a explicar cada una de sus actividades y los procedimientos que se manejan dentro del proceso y fuera del mismo que tengan relación con la elaboración y empaque de cigarrillos. Para una rápida comprensión de todos los elementos relacionados con el Proceso Secundario, podemos observar el Anexo # 2: ICOMS del Proceso de Elaboración y Empaque de Cigarrillos. Como guía utilizaremos el flujograma del proceso secundario de elaboración y empaque de cigarrillos que se encuentra en el Anexo # 3: Diagrama de Flujo de Proceso. A lo largo de este capítulo se explicarán todos los elementos relacionados con este flujograma.

5.1 Células de Trabajo

El proceso de elaboración y empaque de cigarrillos está separado por células de trabajo. La idea de separar por células de trabajo viene de la implementación de SIMAC en TANASA. Las células están constituidas por un operador por máquina, un ayudante por célula y una persona en banda (estas actividades serán explicadas posteriormente). En el proceso secundario de elaboración y empaque de cigarrillos existen cinco células de trabajo (Oviedo).

- Célula # 1 - King Size 20's: En esta célula se manufacturan cigarrillos "king size" o de 83 mm de longitud y son empaquetados en cajetillas de 20 cigarrillos. Las marcas producidas en esta célula son la familia de Marlboro (incluyen Full Flavor, Mild, Light y Mentoles) y Lark. Esta célula de trabajo está compuesta por cuatro máquinas elaboradoras (M3, M4, M7 y M10) y una máquina empaquetadora (P1). La correspondiente explicación acerca de las máquinas, su distribución y sus especificaciones se hará de una manera más profunda en el Anexo # 4: Especificaciones de las máquinas del Proceso Secundario de Elaboración y Empaque (Oviedo).

- Célula # 2 - Long Size 20's: En esta célula se manufacturan cigarrillos "long size" o de 79 mm de longitud y son empaquetados en cajetillas de 20 cigarrillos. Las marcas producidas en esta célula son Líder, Philip Morris, Caribe y Belmont Mentol. Cabe recalcar que esta célula es la de mayor demanda de producción ya que produce Líder en cajetillas de 20 cigarrillos, que representa el 60% de la producción de la fábrica. Esta célula de trabajo está compuesta por dos máquinas elaboradoras (M1 y M2) y una máquina empaquetadora (P2) (Oviedo).
- Célula # 3 - King Size 10's: En esta célula se manufacturan cigarrillos "king size" o de 83 mm de longitud y son empaquetados en cajetillas de 10 cigarrillos. Las marcas producidas en esta célula son la familia de Marlboro (incluye Full Flavor, Mild, Light y Mentoles) y Lark. Esta célula de trabajo está compuesta por dos máquinas elaboradoras (M4 y M5) y una máquina empaquetadora (P3) (Oviedo).
- Célula # 4 - Long Size 10's: En esta célula se manufacturan cigarrillos "long size" o de 79 mm de longitud y son empaquetados en cajetillas de 10 cigarrillos. Las marcas producidas en esta célula son Líder, Philip Morris, Caribe y Belmont Mentol. Esta célula de trabajo está compuesta por una máquina elaboradora (M6) y una máquina empaquetadora (P4) (Oviedo).
- Célula # 9 – Cajetilla suave sin filtro: A diferencia de las otras células de trabajo, esta produce en cajetillas suaves o "soft pack", que consiste en cajetillas que no son de cartón como las demás células. Como consideración adicional, el cigarrillo producido en esta célula es de tabaco negro y no utiliza filtro. La única marca que se produce en esta célula es la de Full Speed. Esta célula de trabajo está compuesta por una máquina elaboradora de cigarrillos (M9) y una máquina empaquetadora (AMF o P9). Debido a

que esta máquina produce un producto especial, no se le toma en consideración para todos los cálculos de los indicadores que se verán en el capítulo siguiente.

El enfoque de esta tesis realizará esencialmente en la célula # 2. Esto se debe a que, como ya se mencionó, esta célula es la de mayor demanda de producción en la empresa. Dentro de esta célula de trabajo, solo consideraremos la máquina M1 y P2. La máquina M2 no se considerará ya que es una máquina de respaldo, por este motivo no se le tomará en cuenta en los análisis posteriores.

5.2 Planificación de Producción

En TANASA, semanalmente se lleva a cabo una reunión de planificación de producción donde se congregan todos los departamentos o “libros” (como se explicó en la sección de SIMAC) con el objetivo de planificar la producción de la semana. En esta reunión se consideran todas las necesidades de las diferentes áreas de la empresa, como la del departamento de calidad, para hacer pruebas de diferentes materiales o control de calidad de los productos; la del departamento de la cadena de suministro o logística, en el caso que exista algún problema o atrasos con diferentes materias para realizar la producción; la del departamento de mantenimiento, para planificar mantenimientos o modificaciones de las máquinas; y la del departamento de producción, para verificar que los objetivos de producción sean realistas con la capacidad de la planta. Luego de la reunión, el acta de la información de planificación, con sus respectivos comentarios, es enviada a todo el personal de la planta. Es importante recalcar que TANASA tiene una política de producción que es la de producir para almacenar o “make to stock”, la misma que se maneja con un inventario de cinco semanas por producto.

Se debe tener en cuenta que el cliente directo de TANASA es PROESA; esta compañía es la única que le compra el producto directamente a TANASA y es la encargada de la distribución y la venta del producto. Por lo tanto, PROESA es la empresa que maneja el inventario y realiza los pronósticos de venta para obtener este inventario. Por su parte, TANASA, utiliza esta información para saber cuánto se debe producir y con cuanta frecuencia, para así cumplir con el objetivo de cinco semanas de inventario. Toda esta información genera en TANASA la demanda de la producción con la que se puede calcular el “*takt time*”.

5.3 Recepción y Verificación de Hebra de Tabaco

Una vez que el Proceso Primario se ha concluido en la fábrica se procede al proceso de elaboración y empaque de cigarrillos. La estación de trabajo que conecta el proceso Primario con el Secundario es la Sala de Hebra. En este sector la hebra es almacenada para poder ser distribuida a las diferentes máquinas elaboradoras de cigarrillos. En la Sala de Hebra se identifica la hebra de tabaco que se va a utilizar para producir, a través de un sistema de código de barras propio del sistema de almacenamiento de hebra. De esta manera, se asegura que la hebra enviada a las máquinas elaboradoras sea la que corresponde según el programa de producción (Álvarez).

5.4 Elaboración de Cigarrillos

La fabricación de cigarrillos es un proceso rápido y altamente automatizado; las máquinas producen entre 4.000 y 20.000 cigarrillos por minuto; en Ecuador, las máquinas oscilan entre 4.000 y 8.000 cigarrillos por minuto. El proceso de producción de cigarrillos comienza con las máquinas que desenrollan bobinas de papel para cigarrillos de hasta 6.000 metros de longitud en las que se coloca el tabaco. El papel se cierra sobre el tabaco y se crea un cigarrillo largo conocido como “cilindro” o “mecha” (Philip Morris International).

Las máquinas cortan este "cilindro" o "mecha" de gran tamaño en partes mucho más pequeñas conocidas como "rodos", que son del tamaño de un cigarrillo individual sin filtro. En las máquinas emboquilladoras, se unen los filtros a los rodos; en esta sección, el filtro es el doble del tamaño normal y se une un rodo a cada extremo. Finalmente se realizan cortes más pequeños para producir cigarrillos de tamaño individual (Philip Morris International). En Ecuador el proceso de filtros se encuentra dentro del proceso primario por el modo en que la empresa está distribuida (Philip Morris International).

Los cigarrillos de cada marca son elaborados de acuerdo al plan de producción, cumpliendo con las especificaciones emitidas por el proceso de Aseguramiento de Calidad. El control de los parámetros físicos (peso, circunferencia, ventilación y RTD) se lo maneja en línea con los equipos de calidad denominados "Quality Total Machines" o "QTM's". Para una mayor comprensión del proceso de elaboración así como su relación con el resto de actividades del proceso secundario se puede observar el flujograma del proceso de elaboración que se encuentra en el Anexo # 5: Flujograma del proceso de Elaboración Cigarrillos (Oviedo).

5.5 Empaque de cigarrillos

Una vez terminado el proceso de elaboración, los cigarrillos individuales son trasladados a las máquinas empaquetadoras donde los cigarrillos se clasifican en grupos de paquetes, ya sean de 10's o de 20's; se envuelven en papel aluminio, el cual conserva su aroma; se empaquetan en cajetillas, éstas se aglomeran en grupos y se colocan en cajas para el transporte (Philip Morris International).

El empaque de cigarrillos se lo realiza según el Plan de Producción y cumpliendo con las especificaciones dadas por el departamento de Aseguramiento de la Calidad (Oviedo). Tanto las cajetillas como los fardos, que son un conjunto de 10 cajetillas para cajetillas de 20's y de 20 cajetillas para cajetillas de 10's, poseen una identificación que permite conocer la localidad, la máquina, el turno, el año, día juliano y la hora en que fueron producidos.. Los cambios para los códigos de Versión del Sistema Concurrente o “Concurrent Versions Sistem” lo realizan los Líderes de Producción por medio del programa “Raffaella”. Para una mayor comprensión del proceso de empaque así como su relación con el resto de actividades del proceso secundario se puede observar el flujograma del proceso de empaque que se encuentra en el Anexo # 6: Flujograma del Proceso de Empaque de Cigarrillos (Oviedo).

5.6 Entrega de Producto Terminado

Una vez que se ha completado el proceso productivo de elaboración y empaque de cigarrillos, se procede a estibar en tarimas el producto terminado en pacas de 10 mil cigarrillos, estas pacas puede contener cajetillas de 10's o de 20's pero todas las pacas van a tener el mismo número de cigarrillos. Cada paca va identificada con una Etiqueta de Código de Barras o “Code Bar Label” que contiene los datos de la marca, la fecha de producción y el turno; la numeración es anual y la fecha se la maneja con el día juliano (Taco).

La información de las etiquetas se modifica con el software “Image Control Center” y se verifica con la pistola lectora de código de barras.. Los procedimientos del llenado de pacas se encuentran en el flujograma del Anexo # 7: Flujograma del Proceso de Llenado de Pacas. Así como el procedimiento de estibaje se encuentra en el flujograma del Anexo # 8: Flujograma del Proceso de Estibaje (Taco).

5.7 Pesador

La actividad del pesador es importante en el proceso de elaboración y empaque de cigarrillos. El pesador es el encargado de retirar y pesar diariamente el polvo que produce el proceso (alimentación neumática, exclusiva y despolvoreo central), los desperdicios o faroles y el sistema de peso de los cigarrillos, también denominado “Winnower”. Todo el peso obtenido por el pesador es clasificado y dividido, de esta forma el analista utiliza esta información para poder calcular los desperdicios, ya sea de la fábrica en general o de cada una de las máquinas en particular. El desperdicio o faroles, como se lo denomina en la empresa, es uno de los indicadores claves de producción y serán explicados más adelante. Adicionalmente, el pesador, debe surtir de tinta y adhesivos a las máquinas de elaboración y empaque (Moreno). Los desperdicios o faroles son colocados en cajas identificadas, las cuales son enviadas al inicio de cada día laborable al proceso de desbaratado. En este proceso se recupera la hebra de los cigarrillos que fueron rechazados a lo largo del proceso (Moreno). Los procedimientos del pesador son detallados en el flujograma del Anexo # 9: Flujograma del Proceso de Pesador.

5.8 Surtidor de Materiales

El surtidor de materiales, también conocido como “DIM’s helper” es el encargado de recibir los materiales que son enviados por bodega y serán utilizados en el proceso. Una vez recibidos los materiales, el surtidor es el encargado de distribuir los mismos a cada máquina, según la necesidad de consumo, basándose en las especificaciones de cada máquina y en el plan de producción. Los procedimientos y las actividades de los surtidores de materiales se encuentran el flujograma del Anexo # 10: Flujograma del Proceso de Surtidor de Materiales (Muñoz).

5.9 Analistas de Producción

Los analistas de producción son los encargados de reportar la producción y realizar la requisición y devolución de materiales por medio de SAP. Además realizan el seguimiento de los indicadores claves del proceso (Desperdicios, Up-Time, Productividad, Rendimiento de Hebra, etc), se discutirá acerca de estos indicadores en el capítulo siguiente (Donoso).

5.10 Mantenimiento de Maquinaria

El mantenimiento de maquinaria se lleva a cabo de acuerdo al conteo de horas de trabajo de las máquinas, los instructivos y manuales de especificaciones de cada máquina y a la planificación de Producción. Los cambios efectuados, tanto en el proceso como en la maquinaria, se registran y controlan en el registro de Kaizens (Salazar).

5.11 Control de Calidad de Piso

El personal de control de calidad del proceso es el encargado de realizar muestreo e inspecciones de calidad mientras transcurre el proceso. Se toman muestras de calidad en el proceso a los productos elaborados, como los cigarrillos y las cajetillas, y a la materia prima que es utilizada, como hebra, etiquetas, diferentes tipos de papel, aluminio, etc. (Loza).

5.12 Producto No Conforme

El procesamiento de producto no conforme es muy importante dentro de la empresa, ya que el objetivo de TANASA es reducir el desperdicio a los niveles óptimos (producto no conforme se lo considera como desperdicio). Si se identifica la existencia de Producto no Conforme en el proceso, el personal técnico o de operación suspenderá la producción en la máquina involucrada y aislará físicamente el producto. Se debe comunicar inmediatamente al Jefe de Producción, Mantenimiento o Líder de Unidad y al Inspector de Calidad (Loza).

El Inspector de Calidad debe registrar el hallazgo en el formulario antes mencionado. El personal del proceso, ya sea el operador o el personal técnico, realizarán las acciones correctivas del caso antes de reanudar la producción en la máquina involucrada.

Si algún material presenta problemas de maquinabilidad o no cumple con los requerimientos del proceso, se trata como Material No conforme y se comunica al personal de libro de calidad (Loza).

6 DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DEL PROCESO SECUN DARIO

Debido a que TANASA es afiliada a una multinacional como lo es Philip Morris International, la empresa debe seguir lineamientos y estándares establecidos por la empresa a nivel mundial (Loza). El objetivo de esta práctica es estandarizar a todas las afiliadas alrededor del mundo y así, lograr más control y mejores prácticas para los miembros de Philip Morris (Donoso).

De acuerdo a la información obtenida en Philip Morris, los Indicadores Claves de Producción (KPI's: Key Production Indicators) son considerados como una medida del desempeño de los componentes, tanto individuales como globales dentro de la organización. Puesto que todos los KPI's, aparte de las cifras de producción, se calculan sobre una base de porcentaje, Philip Morris utiliza los mismos para realizar comparaciones entre plantas, y de esta forma poder crear mejores prácticas y realizar constantemente un *benchmarking* entre las diferentes plantas a nivel mundial (Philip Morris International). Obviamente, algunas plantas tendrán mejores resultados que otras por diferentes razones que van desde la variedad de marcas que producen, hasta la antigüedad de sus equipos; sin embargo, el objetivo del sistema de informes es dar el resultado real de las plantas. Entonces, depende de la gerencia de la organización el identificar

las razones de estas diferencias y el tomar las medidas necesarias para reducir tales diferencias, si ello redundara en beneficio de la compañía. Existen muchos indicadores a nivel de Philip Morris y a continuación se detallarán los KPI's que se utilizan en el proceso secundario de TANASA, así como una explicación, su estándar y su método de cálculo. (Philip Morris International)

6.1 Volumen de Producción

Esto representa el número total de cigarrillos producidos y almacenados como producto terminado en el almacén o área de productos terminados. Esto excluye, por lo tanto, los cigarrillos rechazados y los que fueron utilizados en pruebas de calidad. Correcciones como consecuencia de los problemas de calidad no están permitidas. Los siguientes aspectos deben ser considerados (Donoso):

- Cuando se informa el volumen mensual, el mes y el año civil deben ser considerados.

Es decir, el 1 de enero al 31 de diciembre, y luego se divide en los meses individuales.

El volumen de producción se calcula en miles de cigarrillos o *thousands*. Para calcular el volumen de producción es necesario utilizar la velocidad de la máquina. Ésta puede ser dada por las especificaciones del diseño original de la máquina, o por las nuevas especificaciones dadas al momento de hacer cualquier tipo de cambio o arreglo a la misma (Donoso).

6.2 Rendimiento o Tiempo de Actividad

El rendimiento o tiempo de actividad se lo conoce en TANASA como “*Uptime*”. Este indicador se define como la proporción del volumen de producción sobre la producción teórica para la cual el equipo fue diseñado para producir durante un período de tiempo determinado (Cruz). El “*Uptime*” se calcula de la siguiente manera:

$$Uptime = \frac{\text{Volumen de Producción en miles}}{\text{Volumen Máximo Teórico de Producción en miles}} \times 100\%$$

El volumen de producción máxima teórica se basa en la velocidad y el tiempo de trabajo de la máquina. El formato de entrada para el volumen de la producción teórica máxima es de miles de cigarrillos o *thousands* (Donoso).

El rendimiento calculado en el proceso de empaque de cigarrillos es el utilizado para calcular el “*Uptime*” de la fábrica. Esto se debe a que en este proceso se encuentra la última máquina de producción que tiene contacto con el producto. Por lo que, en este punto de la fábrica se marca el ritmo de salida del producto (Donoso).

6.3 Tiempo de Inactividad

El tiempo de inactividad o “*Downtime*” es la relación entre la cantidad de tiempo que una máquina no produce cigarrillos, expresado en minutos, y el tiempo de trabajo de una máquina, expresada también en minutos. Para diferenciar los diferentes paros que existen en las máquinas se las separa en categorías y el tiempo total utilizado para calcular es la suma de las siguientes categorías (Contreras):

- “Categoría 200 - Velocidad Reducida”: tiempo que el equipo está funcionando por debajo o igual al 95% de la velocidad de diseño de la máquina y la producción de una buena producción real. El tiempo de reducción de la velocidad se vuelve a calcular a

"tiempo muerto" que corresponde al tiempo de trabajo perdido debido a la reducción de la velocidad. Esta es la cantidad de tiempo perdido como consecuencia de que la máquina no se está ejecutando de acuerdo a la velocidad de diseño.

- “Categoría 300 - Paradas de Proceso”: tiempo que el equipo no está produciendo una buena producción real en el desempeño de las actividades de producción normal. Esto incluye la preparación del equipo para el funcionamiento, la carga del material, los ajustes de proceso debido a la calidad del producto, propiedades de rodadura de materiales y estado de los equipos, sustitución de partes, etc.
- “Categoría 400 - Reparación Hora”: contiene averías y mantenimiento no planificado.
- “Categoría 500 - Tiempo de Retardo”: tiempo consumido por la interrupción de los recursos, material y el flujo de información que mantienen el equipo en operación, pero que no corresponde al mal funcionamiento de los equipos.
- “Categoría 600 - Downtime Planificado”: la hora prevista para las actividades planeadas durante los turnos de producción, fines de semana, las horas extraordinarias o cierres de las fábricas.

La categoría 700 de la demanda es un insumo necesario, pero no contribuye a la cifra total de tiempo de inactividad. El porcentaje de la “No Demanda” se calcula como el cociente entre la demanda y el tiempo de equipos (Tiempo de Trabajo + No Demanda).

El “*Downtime*” se lo calcula utilizando la siguiente fórmula (Cruz):

$$Downtime = \frac{\sum \text{del Tiempo de Para de Todas las Categoriás en minutos}}{\text{Tiempo total Trabajado en minutos}} \times 100\%$$

6.4 Rendimiento de Hebra de Tabaco

Rendimiento de hebra de tabaco o “*Yield*” como se la conoce en TANASA es una medida de la utilización de la hebra del proceso secundario en comparación con la cantidad de hebra de tabaco transferido por el proceso primario al secundario. El cálculo utilizado para el “*Yield*” en el proceso secundario es el siguiente (Cruz):

$$Yield \text{ en Secundario} = \frac{Hebra \text{ de Tabaco Utilizada en Secundario (kg)}}{Hebra \text{ de Tabaco Enviada a Secundario (kg)}} \times 100\%$$

Al igual que en el proceso secundario, el rendimiento de hebra, se calcula tanto para el proceso primario como para toda la fábrica en general. El “*Yield*” de la fábrica, es una medida de la utilización de tabaco en toda la fábrica y se compara la cantidad real de hebra de tabaco utilizada en la secundaria con el peso de la factura del tabaco crudo introducido en el proceso primario. El “*Yield*” de la fábrica se le calcula multiplicando el “*Yield*” de primario por el “*Yield*” de secundario (Cruz).

6.5 Desperdicio de Materiales Directamente Importados

Este parámetro proporciona una medida de la cantidad de materiales directamente importados (Direct Import Materials o DIM) que se ha utilizado en exceso con respecto de la cantidad que teóricamente se consume, suponiendo que todos los cigarrillos contiene la cantidad ideal de materiales de acuerdo a los parámetros especificados de producción. A este indicador se lo denomina “DIM Wastage” y se lo calcula utilizando la siguiente fórmula (Cruz):

$$DIM \text{ Wastage Total} = \frac{Costo \text{ Total Actual (\$)} - Costo \text{ Total Teórico (\$)}}{Costo \text{ Total Teórico (\$)}} \times 100\%$$

Donde:

- El costo real total es la cantidad de materiales DIM efectivamente consumidos durante la producción. En el Anexo # 12: Lista de Materiales Directamente Importados “DIM”, se encuentra la lista de materiales DIM.
- Costo total teórico es la cantidad teórica de los materiales consumidos DIM asumiendo cero desperdicios. El costo real siempre va a ser mayor a los costos teóricos, por lo tanto valores negativos para DIM Wastage no son posibles.

6.6 Desperdicio

El desperdicio o faroles, como se le conoce en TANASA, es una medida del porcentaje del rendimiento de cigarrillos en las áreas de producción y empaque de cigarrillos, en donde todo lo que es desperdiciado por las máquinas es pesado para su posterior análisis. Los cigarrillos que han sido rechazadas desde el almacén de productos terminados o área de producto como consecuencia de los problemas o inspecciones de calidad no deben ser incluidos. Los faroles se calcula de la siguiente manera (Cruz):

$$Faroles = \frac{Cigarrillos\ Rechazados\ (miles)}{Producción\ Total\ Cigarrillos\ (miles) + Cigarrillos\ Rechazados(miles)} \times 100\%$$

El número de cigarrillos rechazados se determinará considerando el peso del tabaco que se reunió durante el proceso de producción en grupos de envase y dividiéndolo por el peso esperado del cigarrillo producido. El volumen total de producción se determina como ya se especificó en la sección 6.1 (Cruz).

6.7 Índice de Calidad Visual

El Índice de Calidad Visual (Visual Quality Index - VQI) es un índice basado en un promedio ponderado de no-conformidades (NC) detectado en varias muestras. Tiene en cuenta el tamaño

de la población (número de muestras). Se utiliza como una medida de la calidad visual de auditoría (Loza).

El valor acumulativo de todas las no-conformidades del “VQI’s” detectado por la marca o grupo seleccionado de marcas dará la “VQI”. El índice de “VQI” total de la fábrica se calcula para cada mes por medio de un informe, junto con el valor acumulado anual hasta la fecha (Year To Date – YTD). Dentro de las no-conformidades existe un grupo que son sensibles al consumidor, ya sea por el tipo de no-conformidades o por su localización. Las no-conformidades sensibles al consumidor las podemos encontrar en el Anexo # 13: No-conformidades Sensibles al Consumidor (Loza).

7 ANALISIS DE INFORMACION DE PROCESO Y SIMULACIÓN

7.1 Información del Proceso

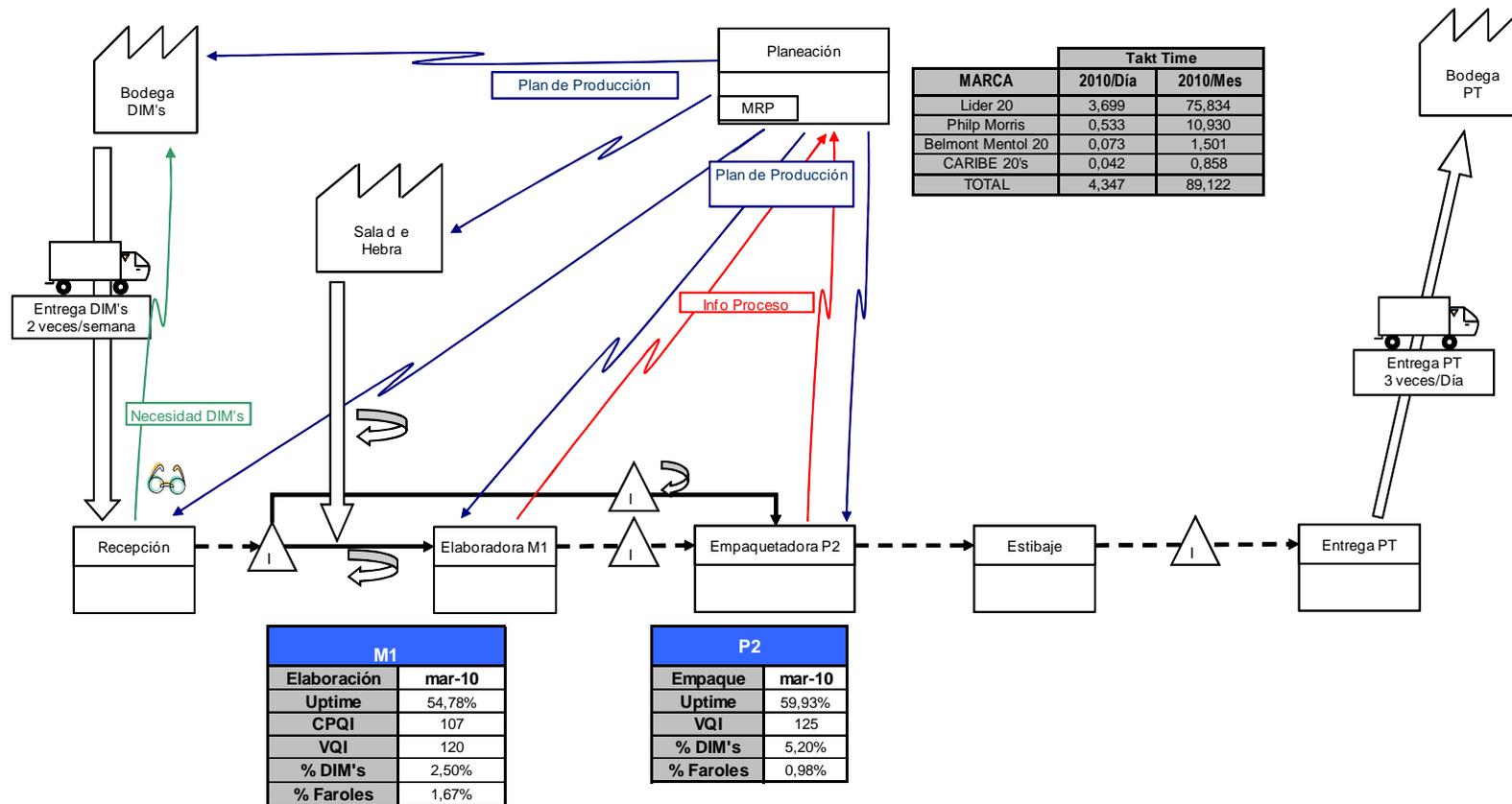
Como ya se mencionó en secciones anteriores, se procederá a realizar el análisis de este trabajo en la célula 2 del proceso de elaboración y empaque. Se trabajará en esta célula de manufactura ya que en ésta se produce la marca de mayor consumo a nivel nacional que es la marca Líder (Oviedo). La información utilizada para el análisis y posterior simulación del sistema es la referente a los paros de las máquinas. En el Anexo # 14: de Paros de Célula # 2, se puede encontrar una tabla que organiza todos los tipos de paros y los tiempos en minutos de estos paros en esta célula ocurridos desde los meses de Diciembre del 2009 hasta Marzo del 2010. Estos paros son obtenidos mediante el Sistema Integrado de Control de Tiempos (SICOT), que es un programa computacional realizado en TANASA por el técnico eléctrico Orlando García. Este sistema permite a los operadores ingresar los diferentes tipos de paros que ocurren en las máquinas, así como la duración de los mismos. La imagen de este programa la podemos encontrar en el Anexo # 15: Sistema Integrado de Control de Tiempos. De esta

manera, los analistas pueden utilizar esta información para tomar cualquier tipo de medidas correctivas. En las siguientes secciones de este capítulo se procederá a analizar y categorizar todos los paros que pueden ser encontrados en esta célula de manufactura.

7.2 Mapa de Valor actual del Proceso Secundario

Gráfico #8: Mapa de Valor Actual de la Célula # 2.

MAPA DE VALOR ACTUAL CÉLULA 2 - ECUADOR



En la sección 3.6 se explicó el concepto y la utilidad del mapa de valor. Adicionalmente, en el Anexo # 1 Iconos del Flujo de Mapa de Valor, podemos observar la explicación de cada uno de los elementos que se encuentran en el Mapa de Valor Actual de la Célula # 2.

Por lo que podemos observar en el Gráfico # 8, el Takt Time diario es de 4347 miles de cigarrillos diarios. Esto que ya se sabe por lo explicado en las secciones 3.1 y 3.6, es lo que debe producir TANASA diariamente para que esta célula pueda satisfacer la demanda de los productos que se realizan en la misma. Por otro lado, podemos observar los indicadores de cada una de las máquinas que conforman esta célula con un acumulado anual hasta el 10 de Marzo.

7.3 Sistema Integrado de Control de Tiempos

El Sistema Integrado de Control de Tiempos (SICOT), se utiliza en TANASA para que el operador registre cualquier tipo de información relacionada a la máquina dentro del turno de trabajo. El objetivo del SICOT, es brindar información real del tiempo perdido en el proceso para poder tomar acciones correctivas con miras a una mejora continua (Donoso). De esta manera, se puede calcular el rendimiento de la máquina o el “uptime”, tomando en consideración el tiempo perdido por las máquinas y la velocidad de diseño de las mismas. En la Célula # 2, la máquina elaboradora trabaja con una velocidad teórica de procesamiento de 7800 cigarrillos por minuto. Mientras que la máquina empaquetadora procesa 385 cajetillas por minuto. En el Anexo # 15 Sistema Integrado de Control de Tiempos, se encuentra un diagrama del programa SICOT que se utiliza en la empresa. Los tiempos perdidos o los paros, se los clasifica en las mismas categorías que en el indicador de tiempo de inactividad que se explicó en la sección 6.3. El programa SICOT, ya está implementado en TANASA hace más de un año, por lo que podemos considerar que la curva de aprendizaje de la utilización de este

programa ya está cubierta (Donoso). Sin embargo, como se va a asumir que los datos de este programa son datos reales del proceso, se debe proseguir a validar los mismos. A continuación, explicaremos el muestreo de trabajo utilizado para validar los datos obtenidos en SICOT.

7.3.1 Plan de Muestreo de Trabajo

En la sección 3.9 se indicó como se debe realizar un plan de muestreo. El objetivo de este plan de muestreo es comprobar que los datos ingresados por los operadores a través del sistema SICOT sean correctos. Se realizará un muestreo aleatorio durante tres semanas de lunes a viernes de 6:00 am a 11:00 am. La razón por la cual se utilizan tres semanas es porque se rotan los turnos cada semana, así tendríamos la certeza de realizar un muestreo a todos los trabajadores.

Utilizando el programa Design Tools 4.0® de Benjamin Nievel y Andris Freivalds, se realiza un programa de medición aleatoria con los siguientes parámetros: nivel de confianza del 95%. El nivel de confianza indica que hay un 95% de posibilidad de obtener una estimación correcta. Por último se toma una probabilidad de paro de operaciones p de 0.38 en contraste al nivel actual de “uptime” que se quiere comprobar (probabilidad de paro = $1 - \text{“uptime”} = 1 - 0.62$). Por lo tanto, se ingresa estos parámetros en Design Tools 4.0® y se obtiene un tamaño de muestra de 91, para cuya medición se diseña el Plan de Muestreo que se detalla en el Anexo #17: Muestreo de Trabajo.

Las máquinas elaboradoras y las máquinas empaquetadoras tienen un contador que muestra el número de entidades que han salido de las máquinas. Cuando se ingresa esta información en el SICOT, el programa te muestra la diferencia en minutos entre la producción real y lo

ingresado por el operador. Al realizar el muestreo de trabajo, la información que se obtiene en cada observación es la diferencia que te da el programa.

En el Anexo # 17 Muestreo de Trabajo, se encuentran los datos obtenidos en cada una de las observaciones. Como se puede observar en el Anexo # 18 Distribución del Plan Muestreo, estos datos tienen una distribución normal con media de 0.7 minutos y una desviación estándar de 7.9 minutos.

NORM(0.7,7.9)

Para comprobar que no existe diferencia entre los datos ingresados por los operadores debemos plantear la siguiente hipótesis:

H_0 : media de los datos = 0

H_1 : media de los datos \neq 0

Si calculamos el intervalo de confianza para una distribución normal para comprobar la hipótesis nula, tenemos que:

$$\bar{x} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\alpha/2, n-1}$$

$$-0.948 \leq \mu \leq 2.349$$

De esta manera, podemos decir que no existe evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula. Adicionalmente, los datos obtenidos del SICOT, pueden ser aceptados como válidos, ya que se puede concluir con un 95% de confianza que no hay diferencia (diferencia = 0 minutos) entre la media de los datos ingresados por el operador y la media de los datos obtenidos por las máquinas.

7.4 Paros No Programados

Para la simulación, se dividieron los paros en dos tipos: paros programados y paros no programados. Los paros no programados, son tanto de las máquinas como de la planta, los cuales no pueden ser ni planificados ni previstos. Como la Célula # 2 está conformada por la máquina elaboradora M1 y la máquina empaquetadora P2, se dividió los paros no programados por máquina. Esto se debe a que, aunque los códigos de los paros pueden ser los mismos, el motivo y la duración de los paros varía de máquina a máquina.

7.4.1 Paros No Programados M1

Utilizando EXCEL, mediante una tabla dinámica, se logró clasificar los paros con su tiempo de duración, tomando en consideración solamente la información relevante para los paros no programados y para la máquina elaboradora M1. En la Tabla #, encontraremos el resumen de los datos con su duración en minutos y el porcentaje que ocupan los mismos con respecto al total de estos paros.

Tabla # 3: Tiempo de Paros No Programados de M1

| Causa | Tiempo (minutos) | % | % Acumulado |
|---|------------------|----------------|-------------|
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Maquinabilidad | 11507,10 | 49,20% | 49,20% |
| Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Maquinabilidad | 4560,75 | 19,50% | 68,69% |
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Calidad | 1133,20 | 4,84% | 73,54% |
| Paros por Material Defectuoso | 1115,18 | 4,77% | 78,31% |
| Paros Menores a 3 Minutos | 1084,18 | 4,64% | 82,94% |
| Falta de Servicios (aire, vacío, energía eléctrica) | 1024,12 | 4,38% | 87,32% |
| Falta de Hebra | 1006,00 | 4,30% | 91,62% |
| Ajustes Operativos Trabas de Chimenea | 365,82 | 1,56% | 93,18% |
| Paros por Falta de Material | 265,90 | 1,14% | 94,32% |
| Ajustes Operativos Cambio Banda Formadora | 247,95 | 1,06% | 95,38% |
| Ajustes Operativos Cambio Cuchilla Rectangular | 199,28 | 0,85% | 96,23% |
| Condiciones Especiales | 175,95 | 0,75% | 96,99% |
| Ajustes Operativos Cambio de Cuchilla Circular | 155,13 | 0,66% | 97,65% |
| Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Calidad | 123,08 | 0,53% | 98,17% |
| Ajustes operativos Limpieza Tambor Emboquillado | 80,83 | 0,35% | 98,52% |
| Ajustes operativos Limpieza Chimenea | 75,13 | 0,32% | 98,84% |
| Ajustes operativos Limpieza Esmeriles | 72,22 | 0,31% | 99,15% |
| Ajustes operativos Limpieza de Gomero | 60,82 | 0,26% | 99,41% |
| Ajustes operativos Trabas de MAX-S/80 | 55,38 | 0,24% | 99,65% |
| Ajustes operativos Trabas de MAX-S | 30,85 | 0,13% | 99,78% |
| Ajustes operativos Limpieza Placa Enrolladora | 24,25 | 0,10% | 99,88% |
| Ajustes operativos Cambio Esmeriles | 10,83 | 0,05% | 99,93% |
| Ajustes operativos Limpieza Guías Formadoras | 9,77 | 0,04% | 99,97% |
| Ajustes operativos Cambio Cepillos de Nylon | 6,83 | 0,03% | 100,00% |
| TOTAL | 23390,57 | 100,00% | |

Utilizando esta información se realizó un diagrama de Pareto para ver cuáles de estas fallas van a ser modeladas en la simulación. Este diagrama se encuentra en el Anexo # 19: Diagrama de Pareto Paros No Programados M1. Una vez identificadas las fallas que van a ser modeladas en la simulación se procedió a realizar un análisis de cada una de estas por separado, con el objeto de encontrar la distribución de probabilidad de cada una de éstas. Cabe mencionar que

los paros que no entran dentro del Pareto son analizados todos como una sola falla. El objetivo de esto es modelar todos los fallos, y no eliminar ninguno, sin importar el tiempo de los mismos, todos estos paros son modelados dentro de la categoría “otros”. El análisis de estos datos se realizó en el “Input Analyzer” del Programa Arena 10.0®. En el Anexo # 20: Distribución de Probabilidad de Paros No Programados M1, podemos encontrar la distribución de cada uno de los paros, así como las respectivas pruebas de hipótesis para su validación y análisis. En la Tabla # encontramos un resumen de los paros con su distribución de probabilidad.

Tabla #4: Distribución de Probabilidad de Tiempo de Paros No Programados de M1

| Paro | Distribución | Parámetros |
|---|---------------------|-----------------------|
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Maquinabilidad | Lognormal | LOGN(45, 66.8) |
| Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Maquinabilidad | Lognormal | 1 + LOGN(31, 65) |
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Calidad | Gamma | 5 + GAMM(29.4, 0.962) |
| Paros por Material Defectuoso | Lognormal | 3 + LOGN(20.8, 31.3) |
| Paros Menores a 3 Minutos | Lognormal | LOGN(4.67, 3.55) |
| Falta de Servicios (aire, vacío, energía eléctrica) | Weibull | 2 + WEIB(18.6, 1.8) |
| Falta de Hebra | Lognormal | LOGN(6.97, 6.83) |
| Otros | Lognormal | LOGN(8.87, 9.09) |

Al observar en el Anexo # 20: Distribución de Probabilidad de Paros No Programados M1, se encuentran los análisis de las pruebas hipótesis de Chi Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov, que realizó el programa “Input Analyzer” del Programa Arena 10.0®. De esta manera, se puede concluir, que es correcto asumir, que los datos tienden a la distribución de probabilidad que está asignada. En la sección 3.12 se encuentra la justificación teórica del porque se pueden

asumir las distribuciones propuestas, utilizando las pruebas de hipótesis de Chi Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov.

Una vez obtenida la distribución de probabilidad de los datos a analizar, se prosigue a obtener la probabilidad de ocurrencia de dichas fallas con respecto al tiempo trabajado de la fábrica.

Se sabe que un turno de 8 horas tiene 480 minutos; se asume que se trabaja 2 turnos diarios en promedio y que existen 20 días laborables al mes. Con estas suposiciones, obtenemos que existen 115200 minutos laborables desde Diciembre del 2009 a Marzo del 2010. Teniendo en consideración este valor, en la Tabla # 5, podemos encontrar la probabilidad de ocurrencia de cada una de las fallas con respecto al total de horas laborables, así como el porcentaje de tiempo que la máquina funcionó correctamente.

Tabla # 5: Probabilidad de Ocurrencia de Fallas M1

| Causa | Tiempo (minutos) | % de Ocurrencia |
|---|-------------------------|------------------------|
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Maquinabilidad | 11.507,10 | 9,99% |
| Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Maquinabilidad | 4.560,75 | 3,96% |
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Calidad | 1.133,20 | 0,98% |
| Paros por Material Defectuoso | 1.115,18 | 0,97% |
| Paros Menores a 3 Minutos | 1.084,18 | 0,94% |
| Falta de Servicios (aire, vacío, energía eléctrica) | 1.024,12 | 0,89% |
| Falta de Hebra | 1.006,00 | 0,87% |
| Otros | 1.982,17 | 1,72% |
| Horas Trabajadas | 91.787,30 | 79,68% |

7.4.2 Paros No Programados P2

Igual como lo que se obtuvo para los paros no programados para la máquina M1 se realizó el respectivo análisis de los datos, también se obtuvieron los datos para la máquina empaquetadora P2. Este análisis se logró mediante la utilización de EXCEL, y tablas

dinámicas para lograr tabular los datos. En la Tabla # 6, encontraremos el resumen de los datos con su duración en minutos y el porcentaje que ocupan los mismos con respecto al total de estos paros.

Tabla # 6: Tiempo de Paros No Programados de P2

| Causa | Tiempo (minutos) | % | % Acumulado |
|---|-------------------------|----------------|--------------------|
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Maquinabilidad | 5855,17 | 41,00% | 41,00% |
| Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Maquinabilidad | 2783,55 | 19,49% | 60,50% |
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Calidad | 1705,07 | 11,94% | 72,44% |
| Falta de Servicios (aire, vacío, energía eléctrica) | 1229,08 | 8,61% | 81,05% |
| Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Calidad | 994,08 | 6,96% | 88,01% |
| Ajustes Operativos Trabas en CH | 255,17 | 1,79% | 89,79% |
| Ajustes Operativos Trabas CT | 247,42 | 1,73% | 91,53% |
| Condiciones Especiales | 233,55 | 1,64% | 93,16% |
| Ajustes Operativos Limpieza Paso 15 y 5ta Rueda | 214,23 | 1,50% | 94,66% |
| Paros < a 3 minutos | 173,68 | 1,22% | 95,88% |
| Ajustes Operativos Elevador de Fardos | 161,02 | 1,13% | 97,01% |
| Paros por Material Defectuoso | 105,72 | 0,74% | 97,75% |
| Ajustes Operativos Banda Aérea Fardos | 103,30 | 0,72% | 98,47% |
| Ajustes Operativos Trabas Aluminio | 55,72 | 0,39% | 98,86% |
| Ajustes Operativos Trabas Clear Wrap | 41,13 | 0,29% | 99,15% |
| Ajustes Operativos Limpieza 6ta y 7ma Rueda | 39,82 | 0,28% | 99,43% |
| Ajustes Operativos Trabas Etiqueta | 33,98 | 0,24% | 99,67% |
| Paros por Problemas de Calidad (Operativo) | 30,92 | 0,22% | 99,88% |
| Ajustes Operativos Fuga de Refuerzo | 8,90 | 0,06% | 99,94% |
| Ajustes Operativos Limpieza de gomero | 7,08 | 0,05% | 99,99% |
| Falta de Especificaciones | 0,82 | 0,01% | 100,00% |
| TOTAL | 14279,40 | 100,00% | |

Al igual que en la máquina elaboradora, en la máquina empaquetadora P2 también se realiza un Pareto para observar los datos con los que se van a trabajar para hacer el modelo de simulación. En el Anexo # 21: Diagrama de Pareto Paros No Programados P2 se encuentra el diagrama de Pareto con los paros identificados como los más relevantes al momento de hacer el análisis de los datos. Una vez identificados los datos más relevantes con respecto a los paros de la máquina empaquetadora P2, se procede a determinar la distribución de probabilidad de cada una de las fallas para que las mismas sean modeladas en la simulación. Se obtuvo la distribución de probabilidad de cada una de las fallas mediante el programa “Input Analyzer” del Programa Arena 10.0®, donde se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla # 7.

Tabla # 7: Distribución de Probabilidad de Tiempo de Paros No Programados de P2

| Paro | Distribución | Parámetros |
|---|---------------------|----------------------|
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Maquinabilidad | Lognormal | 1 + LOGN(31.8, 47.4) |
| Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Maquinabilidad | Exponencial | 1 + EXPO(17.9) |
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Calidad | Erlang | 3 + ERLA(12.3, 2) |
| Falta de Servicios (aire, vacío, energía eléctrica) | Normal | NORM(16.8, 8.12) |
| Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Calidad | Lognormal | 3 + LOGN(13.7, 14.8) |
| Otros | Lognormal | LOGN(8.75, 8.59) |

Al observar en el Anexo # 22: Distribución de Probabilidad de Paros No Programados P2, están los análisis de las distribuciones de probabilidad a las que se ajustan los datos y las pruebas de hipótesis de Chi Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov, que realizó el programa “Input Analyzer” del Programa Arena 10.0®. Por lo que se concluye que se puede asumir que los datos tienden a la distribución de probabilidad que está asignada.

Una vez identificadas las distribuciones de probabilidad de los paros más importantes, se prosigue a identificar la probabilidad de ocurrencia de los mismos con respecto al tiempo total de actividad de la planta. Utilizando el mismo criterio de medición del tiempo que se utilizó en la sección anterior, se tiene que se trabajaron 115200 minutos laborables desde Diciembre del 2009 a Marzo del 2010. En la Tabla # se encuentran la probabilidad de ocurrencia de los distintos paros así como la probabilidad de que la máquina trabaje normalmente.

Tabla # 8: Probabilidad de Ocurrencia de Fallas P2

| Causa | Tiempo (minutos) | % |
|---|-------------------------|----------|
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Maquinabilidad | 5855,17 | 5,08% |
| Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Maquinabilidad | 2783,55 | 2,42% |
| Mantenimiento Correctivo Mecánico por Calidad | 1705,07 | 1,48% |
| Falta de Servicios (aire, vacío, energía eléctrica) | 1229,08 | 1,07% |
| Mantenimiento Correctivo Eléctrico por Calidad | 994,08 | 0,86% |
| Otros | 1712,45 | 1,49% |
| Minutos Trabajadas | 100920,60 | 87,60% |

7.5 Paros Programados

Para la simulación, se deben considerar tanto los paros no programados como los paros programados. El objetivo de separar estos diferentes paros, es que no se puede asignar una probabilidad de ocurrencia a los paros programados. Esto se debe a que, los paros programados siempre van a ocurrir y siempre van a ocurrir en un período de tiempo determinado. Los paros programados, a diferencia de los paros no programados, se los analizarán por toda la célula en lugar de realizarlo por máquinas. Esto se debe a que en los paros programados se realizan por célula de manufactura y, en este caso cuando hay un paro,

por lo tanto, las dos máquinas se detienen. En la Tabla # 9, encontraremos un resumen de los paros programados obtenidos en EXCEL mediante la implementación de una tabla dinámica.

Tabla # 9: Paros Programados de la Célula # 2

| Causa | Total (minutos) | % | % Acumulado |
|------------------------------------|------------------------|----------|--------------------|
| Limpieza fin de turno | 4004,65 | 29,73% | 29,73% |
| Arranque de sistema | 2495,98 | 18,53% | 48,26% |
| Limpieza inicio de turno | 2389,20 | 17,74% | 65,99% |
| Preparación y Arranque de máquinas | 1669,28 | 12,39% | 78,38% |
| Cambio de marca | 1381,80 | 10,26% | 88,64% |
| Pruebas | 499,45 | 3,71% | 92,35% |
| Reunión SIMAC | 350,83 | 2,60% | 94,95% |
| Comida | 316,03 | 2,35% | 97,30% |
| Reuniones, etc) | 189,82 | 1,41% | 98,71% |
| Modificaciones | 174,18 | 1,29% | 100,00% |
| Total general | 13471,23 | 100% | |

Con los datos obtenidos en la Tabla # 9, se realizó un Pareto para ver como se modelarán los paros en la simulación. El diagrama de Pareto se encuentra en el Anexo # 23: Diagrama de Pareto Paros Programados. Debido a que Arena 10.0® no puede modelar el envío de entidades con diferentes distribuciones de probabilidad en diferentes períodos de tiempo, se utiliza el valor esperado del tiempo que toma cada uno de los paros. En el Anexo # 24: Distribución de Probabilidad de Paros Programados, se encuentra la distribución de probabilidad de los datos obtenidos en el Pareto. Adicionalmente, en la sección 3.11 se encuentra la manera de calcular el valor esperado para las diferentes distribuciones de probabilidad.

En la Tabla # 10: encontramos el promedio de tiempo que demoran los paros programados.

Tabla # 10: Paros Programados de la Célula # 2- Valor Esperado

| Causa | Valor Esperado (minutos) |
|------------------------------------|--------------------------|
| Limpieza de Fin de Turno | 26,5 |
| Arranque del Sistema | 16,5 |
| Limpieza de Inicio de Turno | 13,9 |
| Preparación y Arranque de Máquinas | 13,8 |
| Otros | 38 |

En la categoría otros, entran todo el resto de paros que no están dentro del “80-20” del Pareto. Con esta información se puede obtener el período de tiempo teórico que la célula de manufactura no está trabajando. Se sabe que la limpieza de inicio de turno, el arranque del sistema y la preparación y arranque de máquinas se las realiza al inicio del turno, la limpieza de fin de turno se la realiza al final de cada turno y podemos asumir que la categoría “otros” se realiza en la mitad de cada turno. Con esta información, se puede observar en la simulación los horarios donde no trabaja la célula de manufactura debido a los paros programados. Como un turno de producción dura ocho horas y la simulación se considera que inicia desde la hora 0:00:00, el horario de paros se puede observar a continuación:

- 00:00 a 00:44:50 paro al inicio de turno.
- 04:00:00 a 04:38:00 paro a la mitad del turno
- 07:33:30 a 08:00:00 paro al final del turno.

7.6 Reporte de Producción Real

A través de los analistas de producción, se logró obtener el reporte de producción por turnos desde inicios del 2010 hasta el jueves 22 de abril. Esta información se encuentra en el Anexo # 25: Reporte de Producción Real.

Para comparar los datos que se encuentran en el Anexo # 25: Reporte de Producción Real con los datos obtenidos en la simulación, que se analizarán más adelante y se encuentran en el

Anexo # 27: Reporte de Producción Simulada. Primero se debe analizar la distribución que tiene datos reales. Al utilizar el “Input Analyzer” del Software Arena 10.0®, encontramos que los datos siguen una distribución beta con la siguiente expresión:

$$1130 + 1730 * \text{BETA}(3.1, 2.19)$$

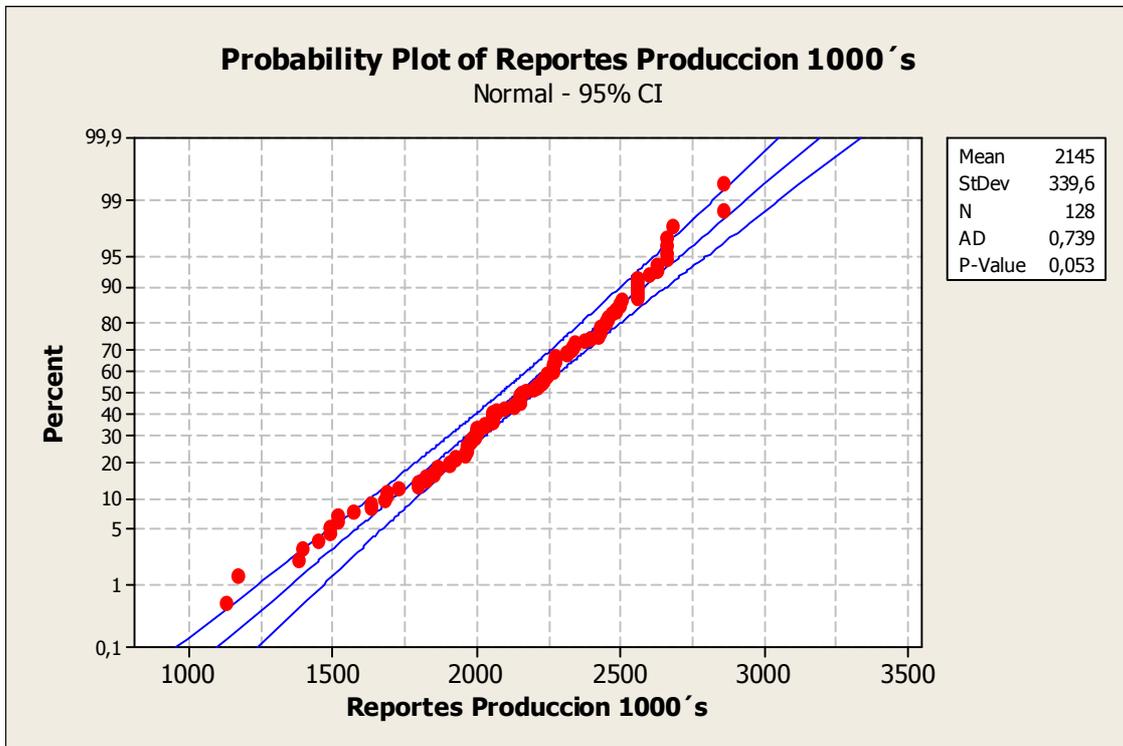
Podemos observar el análisis completo de los resultados obtenidos en el programa en el Anexo # 26: Distribución del Reporte de Producción Real. Una vez obtenida la distribución de probabilidad de los datos del Reporte de Producción Real se procederá a realizar una prueba de normalidad para ver si se puede asumir que los datos tienden a una distribución normal. Se realizará una prueba de normalidad, para posteriormente utilizar una prueba F de varianzas y una prueba de hipótesis t de dos muestras para ver si hay diferencias significativas entre lo simulado y los datos reales.

Como ya se puntualizó en la sección 3.12.5, para la prueba de normalidad de Anderson-Darling, las hipótesis son:

- H_0 : Los datos siguen una distribución normal
- H_1 : los datos no siguen una distribución normal

Gráfico #9: Prueba de Normalidad Anderson – Darling - Gráfico obtenido del software

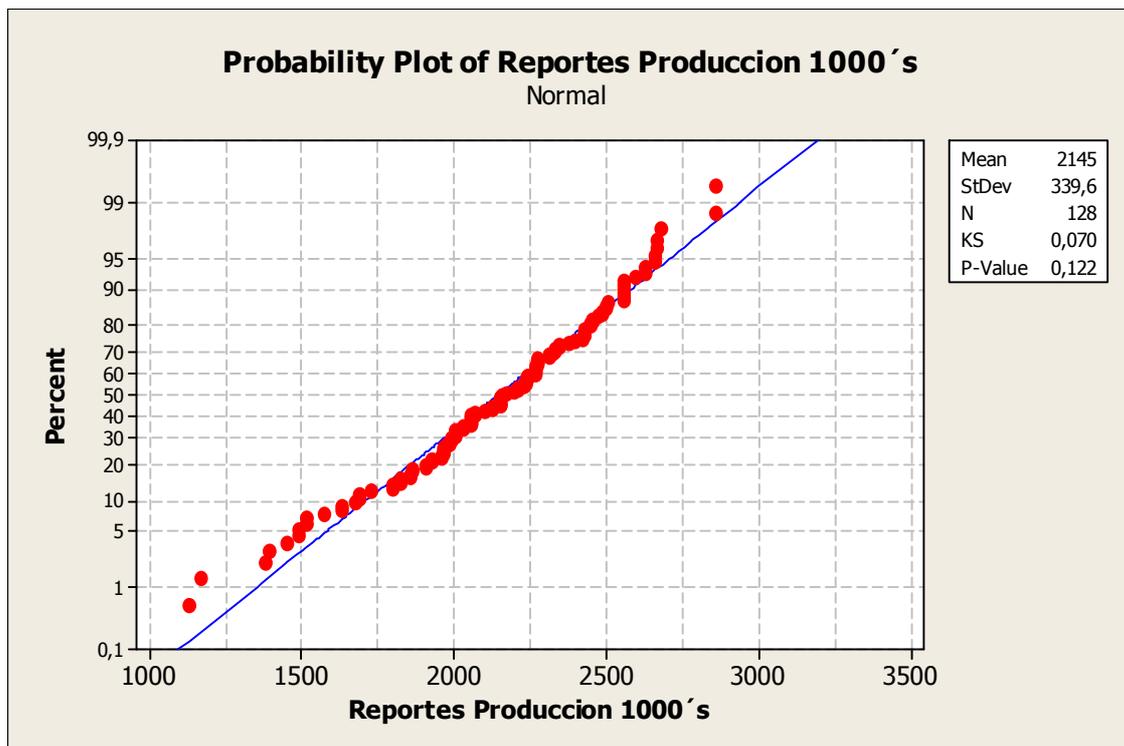
MiniTAB®



En el gráfico se puede observar que el valor-p de esta prueba es de 0.053. Este valor es mayor que el nivel de α de 0.05, tal como se señala en la sección 3.12 de Prueba de Hipótesis del Marco Teórico, por lo que podemos concluir que no existe evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula. Sin embargo, debido a que el valor-p se asemeja bastante al nivel de α de 0.05, se utilizará además la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Esta prueba, mencionada anteriormente en la sección 3.12.4, tiene las mismas hipótesis que las de Anderson-Darling.

Gráfico #10: Prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov - Gráfico obtenido del software

MiniTAB®



En el gráfico #10 observamos los valores-p de la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Este valor-p de 0.122 que es mayor al nivel de α , nos indica que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Utilizando la información obtenida en las dos pruebas de normalidad podemos asumir que los datos obtenidos en el Reporte de Producción Real siguen una distribución normal. Si asumimos que la distribución de los datos del Reporte de Producción Real tiene una distribución normal, tendría los siguientes parámetros:

NORM(2145.1, 339.6)

Como ya se menciono en la sección 3.11.1, la distribución normal puede generar valores dentro del dominio de los números reales. Como este proceso no puede tomar valores

negativos se debe truncar la distribución para que solo se permitan valores mayores o iguales a cero. El truncamiento de esta distribución se la realiza utilizando las siguientes ecuaciones que se encuentran en la sección 3.11.1:

$$E(X|X > a) = \mu + \sigma\lambda(\alpha)$$

$$Var(X|X > a) = \sigma^2[1 - \delta(\alpha)]$$

$$\mu = 2145.1$$

$$\sigma = 339.6$$

$$a = 0$$

$$\alpha = \frac{a-\mu}{\sigma} = \frac{0-2145.1}{339.6} = -6.3165$$

$$\phi(\alpha) = \frac{e^{-\frac{\alpha^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} = \frac{e^{-\frac{(-6.3165)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} = 1.0844 \times 10^{-9} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}$$

$$\Phi(\alpha) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx = \frac{1}{339.6\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-6.3165} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-2145.1}{339.6}\right)^2} dx = 1.4859 \times 10^{-10} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}$$

$$\lambda(\alpha) = \frac{\phi(\alpha)}{[1-\Phi(\alpha)]} = \frac{1.0844 \times 10^{-9} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}}{1 - 1.4859 \times 10^{-10} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}} = 8.6523 \times 10^{-10}$$

$$\delta(\alpha) = \lambda(\alpha)[\lambda(\alpha) - \alpha] = 8.6523 \times 10^{-10}(8.6523 \times 10^{-10} - 0) = 7.4862 \times 10^{-19}$$

$$E(X|X > 0) = 2145.1 + 339.6 * 8.6523 \times 10^{-10} = 2145.1$$

$$Var(X|X > 0) = (339.6^2) * (1 - 7.4862 \times 10^{-19}) = 115328.16$$

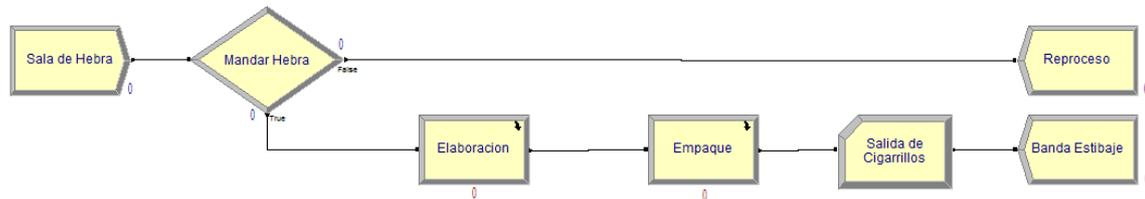
Al aplicar el truncamiento, se obtiene una distribución normal truncada con un valor esperado de 2145.1 y una varianza de 115328.16 (desviación estándar = 339.6).

7.7 Simulación del Proceso Secundario

7.7.1 Simulación

Como se indico en la sección 3.10, a continuación se muestra el modelo para la simulación de la Célula # 2. En el Gráfico # 11 se puede observar el modelo realizado en Arena 10.0® para llevar a cabo la simulación de la Célula # 2.

Gráfico #11: Modelo de Simulación en Arena



Este modelo cuenta con un módulo de creación, un módulo de decisión, dos módulos de proceso, un módulo de grabación y dos módulos de salida. En las secciones 7.7.1.1 hasta la sección 7.7.1.7, se procederá a explicar cada uno de ellos a profundidad. Como la intención del modelo de simulación es representar el trabajo de un mes dentro de la planta, se correrán 40 réplicas

(2 turnos diarios * 20 días laborables al mes).

El número de réplicas recomendadas las podemos obtener por medio de algunos pasos; mediante la siguiente ecuación se puede calcular el ancho medio de los datos (Banks, Carson, Nelson y Nicol, 261):

$$h = t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

donde

- h es el ancho medio de los datos analizados.
- s es la desviación estándar de los datos analizados
- n es el número de observaciones

De esta manera el ancho medio obtenido de los datos de la producción real es de $h = 58.9$ minutos con un $\alpha = 0.05$.

$$h = 1.96 \frac{340}{\sqrt{128}}$$

$$h = 58.9$$

Adicionalmente, si corremos el modelo con diez réplicas se obtiene un ancho medio con un 95% de confianza de $h = 108$. Así, si se utiliza la ecuación del libro *Simulation with Arena* para calcular el tamaño de la muestra, se pueden obtener los siguientes datos (Banks, Carson, Nelson y Nicol, 262):

$$n \cong n_0 \frac{h_0^2}{h^2}$$

donde

- n es el número de réplicas que se deben correr.
- n_0 es el número de réplicas iniciales.
- h_0 es ancho medio de las observaciones de la réplica inicial.
- h es el ancho medio deseado de las observaciones.

$$n \cong 10 * \frac{108^2}{58.9^2}$$

$$n \cong 33.62$$

Por lo tanto, el número de réplicas necesarias para obtener un ancho medio igual al de los datos de producción real ($h = 58.9$) deben ser aproximadamente 34. Por lo tanto, se puede concluir que es correcto realizar las 40 réplicas propuestas.

7.7.1.1 Módulo de Creación: Sala de Hebra

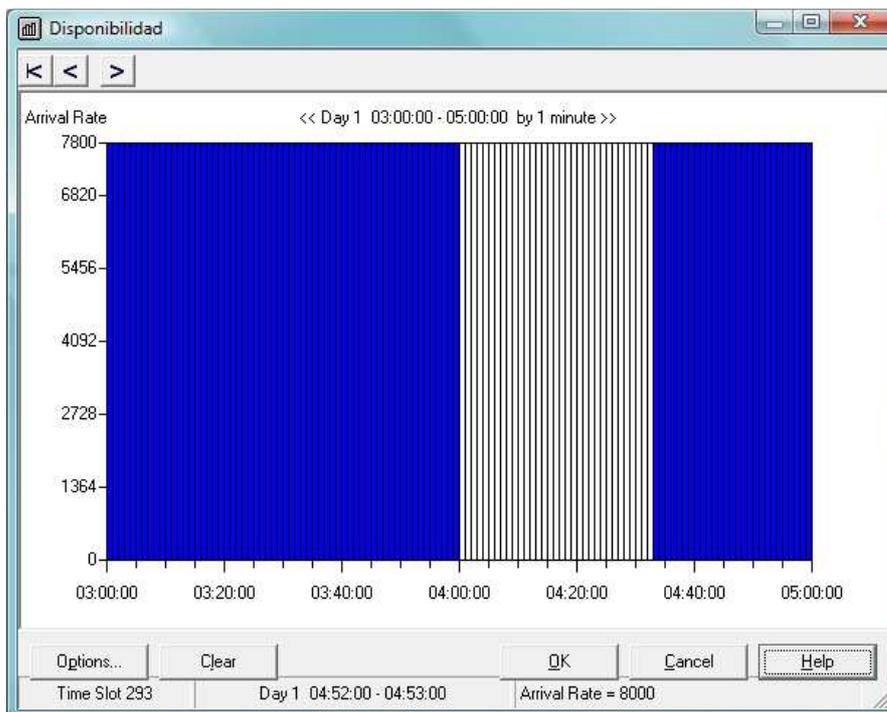
Este módulo envía hebra desde la sala de hebra al sistema. El envío de hebra se realiza mediante un proceso planificado de envío. Adicionalmente, se programó el envío de hebra a una tasa de 7800 cigarrillos por minuto, la misma que es la velocidad teórica con la que se maneja la máquina elaboradora M1, que es la que recibe la hebra. Como los datos obtenidos se

espera que sean en miles de cigarrillos, ya que esta es la información que maneja la empresa, se multiplica esta velocidad teórica por un factor de escala de 0.001. Con la información obtenida por los paros programados se logró calendarizar el envío de hebra, sin contar los siguientes tiempos:

- 00:00 a 00:44:50 paro al inicio de turno.
- 04:00:00 a 04:38:00 paro a la mitad del turno
- 07:33:30 a 08:00:00 paro al final del turno.

En el gráfico #12 encontramos un ejemplo de cómo se calendariza el envío de hebra utilizando Arena 10.0®.

Gráfico #12: Impresión de Pantalla del Modulo "Schedule" de Arena



Cabe recalcar que en la vida real, el flujo de hebra de la sala de hebra hacia las máquinas es mediante tuberías y el flujo es continuo. Para discretizar este módulo se consideró que la tasa de envío es la misma que la tasa de procesamiento de la máquina M1.

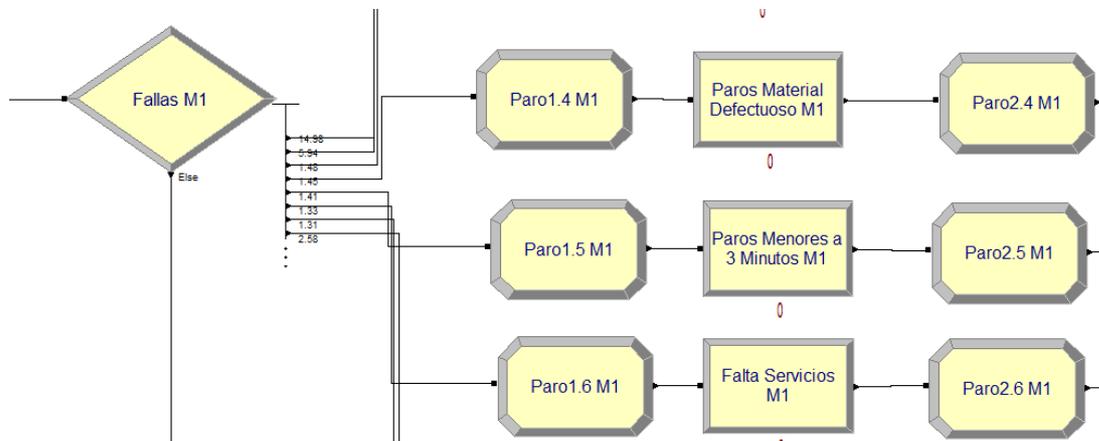
7.7.1.2 Módulo de Decisión: Mandar Hebra

Este módulo de decisión indica si se manda hebra a la máquina elaboradora o, si la misma es enviada a reproceso. Esta acción no se realiza en la vida real, ya que si la hebra no entra a la máquina ésta se mantiene en las tuberías. Sin embargo, para poder modelar el envío de hebra al sistema con una tasa de envío constante y con la calendarización de los envíos se utiliza la suposición que la hebra que no va a la máquina es enviada a reproceso. El criterio de envío, o no envío de hebra al sistema, se realiza mediante una asignación a las variables del sistema. Si el proceso de elaboración tiene una entidad dentro del sistema y se está modelando una falla, automáticamente se envía una señal que indica al módulo de decisión que debe mandar las entidades al módulo de salida del reproceso en lugar de al proceso de elaboración.

7.7.1.3 Módulo de Proceso: Elaboración

El proceso de elaboración se divide en diferentes procesos. En el gráfico #13, se puede ver un pequeño ejemplo de cómo se modela el proceso de elaboración.

Gráfico #13: Modelo de Simulación del Proceso de Elaboración en Arena



Las fallas no programadas, están modeladas por diferentes procesos, con sus respectivas distribuciones de probabilidad como se las calculó y explicó en la sección 7.4.1.

Adicionalmente, existe una probabilidad de ocurrencia de cada uno de los paros que también está modelada en el módulo de decisión denominado "Fallas M1". La intención de este módulo de decisión es representar la probabilidad de ocurrencia de los diferentes paros.

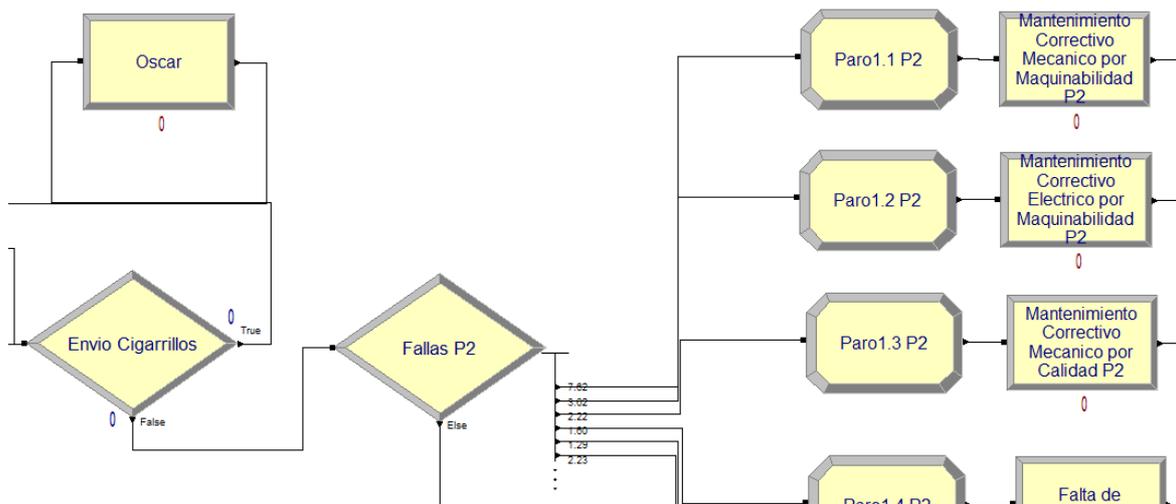
Como se puede observar existe un módulo de asignación antes y después de cada uno de los módulos de proceso. El objetivo de estos módulos es asignar una variable al momento que una entidad entra a un fallo y así enviar una señal al módulo de decisión de envié de hebra para dejar de enviar hebra a la máquina. Por el contrario, cuando una entidad sale del proceso de falla, se envía otra señal por el módulo de asignación al módulo de decisión para que se continúe con el envié de hebra a la máquina elaboradora.

7.7.1.4 Módulo de Proceso: Empaque

El proceso de empaque es similar al proceso de elaboración en cuanto a la distribución de los paros. Sin embargo, cuando existe un paro en el proceso de empaque, no se deja de enviar hebra al sistema como ocurre con el proceso de elaboración. Lo que se hace es enviar las

entidades a un proceso llamado “Oscar”. En el Gráfico #14 se observa cómo se distribuye el proceso de Empaque.

Gráfico #14: Modelo de Simulación del Proceso de Elaboración en Arena



Igual que en el proceso de elaboración, en el proceso de empaque existe un módulo de decisión llamado “Fallas P2” que determina la probabilidad que los cigarrillos vayan a cada uno de los paros no programados, que se establecieron anteriormente en la sección 7.4.2. La distribución de probabilidad de cada uno de los paros no programados de la máquina P2 se encuentran en la sección 7.4.2. Los modelos de asignación mandan una señal para que los cigarrillos no entren a las máquinas. Sin embargo, esta variable es determinada por el módulo de decisión de envió de cigarrillos. Si existe un elemento dentro de cualquiera de los modelos de procesos de paros, las entidades se dirigen al “Oscar” en lugar de dirigirse a la máquina empaquetadora. Una vez que las entidades salen del módulo de proceso de los paros, el módulo de asignación mandará una señal y las entidades que se encontraban en el “Oscar”, así como las entidades nuevas, que vienen del módulo de elaboración, ingresarán a la máquina empaquetadora.

7.7.1.5 Módulo de Grabación: Salida de Cigarrillo

El módulo de grabación, registra la cantidad de elementos o cigarrillos, en miles, que salen del proceso. De esta manera se puede documentar la producción y se puede realizar inferencias posteriormente.

7.7.1.6 Módulo de Salida: Banda y Estibaje

El módulo salida de banda y estibaje representan los últimos procesos de la Célula # 2 en TANASA. Sin embargo, la información obtenida en este módulo no es de importancia para el trabajo ya que sólo nos interesa el número de cigarrillos que salen del proceso y estos se los almacena en el módulo de grabación.

7.7.1.7 Módulo de Salida: Reproceso

Aunque este módulo no existe en la vida real, se lo representa para que las entidades que no entran al proceso de elaboración, tengan una salida.

7.7.2 Reporte de Producción Simulación

Una vez corrida las 40 réplicas de la simulación, tenemos suficientes datos como para asumir la producción de un mes. Sin embargo, primero debemos analizar estos datos para su posterior comparación con los datos reales que se obtuvieron en el proceso. Los datos de cada una de las réplicas se encuentran en el Anexo # 27: Reporte de Producción Simulada. Estos datos fueron analizados en el Input Analyzer” del Software Arena 10.0® y se obtuvo que la distribución de probabilidad de los datos simulados tiene una distribución normal con los siguientes parámetros:

NORM(2160, 162)

El análisis completo de esta información se encuentra en el Anexo # 28: Distribución del Reporte de Producción Simulada. Como ya se mencionó en la sección 3.11.1, la distribución normal puede generar valores dentro del dominio de los números reales. Como este proceso no puede tomar valores negativos, se debe truncar la distribución para que solo se permitan valores mayores o iguales a cero. El truncamiento de esta distribución se la realiza utilizando las siguientes ecuaciones que se encuentran en la sección 3.11.1:

$$E(X|X > a) = \mu + \sigma\lambda(\alpha)$$

$$Var(X|X > a) = \sigma^2[1 - \delta(\alpha)]$$

$$\mu = 2160.8$$

$$\sigma = 162.3$$

$$a = 0$$

$$\alpha = \frac{a-\mu}{\sigma} = \frac{0-2160.8}{162.3} = -13.314$$

$$\phi(\alpha) = \frac{e^{-\frac{\alpha^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} = \frac{e^{-\frac{(-13.314)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} = 1.6102 \times 10^{-39} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}$$

$$\Phi(\alpha) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx = \frac{1}{162.3\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-13.314} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-2160.8}{162.3}\right)^2} dx = -2.5768 \times 10^{-21} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}$$

$$\lambda(\alpha) = \frac{\phi(\alpha)}{[1-\Phi(\alpha)]} = \frac{1.6102 \times 10^{-39} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}}{1 - (-2.5768 \times 10^{-21} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}})} = 1.2848 \times 10^{-39}$$

$$\delta(\alpha) = \lambda(\alpha)[\lambda(\alpha) - \alpha] = 1.2848 \times 10^{-39} * (1.2848 \times 10^{-39} - 0) = 1.6507 \times 10^{-78}$$

$$E(X|X > 0) = 2160.8 + (162.3 * 1.2848 \times 10^{-39}) = 2160.8$$

$$Var(X|X > 0) = 162.3^2(1 - 1.6507 \times 10^{-78}) = 26341$$

Al aplicar el truncamiento, se obtiene una distribución normal truncada con un valor esperado de 2160.8 y una varianza de 26341 (desviación estándar = 162.3)

7.8 Diferencias de Muestra entre los Datos Reales y los Datos Simulados

En la sección de Reporte de Producción Real justificamos que se puede asumir que los datos del Anexo # 25: de Reporte de Producción Real tienen una distribución normal.

Adicionalmente, los datos de Anexo # 27: Reporte de Producción Simulada, también siguen una distribución normal como se pudo observar en la sección 7.7.2. Como se puede asumir

que las dos muestras que se van a comparar tienen una distribución normal, proseguimos a realizar una prueba de F para observar si las varianzas de las poblaciones son iguales. En la sección 3.12.1 encontramos la referencia teórica de esta prueba de hipótesis, así como sus respectivas hipótesis nula y alternativa.

$$H_0: \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = \delta$$

$$H_1: \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq \delta$$

donde σ_1^2 es la varianza del Reporte de Producción Real y σ_2^2 es la varianza del Reporte de Producción de la Simulación y δ es la diferencia entre las varianzas que, en este caso $\delta = 0$.

Para realizar la comparación de varianzas de la prueba F, se utilizará un nivel de significancia (α) de 0.05. En la Tabla # 11 se encuentran los resultados obtenidos en MiniTAB® al momento de realizar la prueba de comparación de varianzas.

Tabla # 11: Resultado de Prueba F de Varianzas – Datos obtenido del software MiniTAB®

| | Tamaño | Inferior | Desviación Estándar | Superior |
|--|--------|----------|---------------------|----------|
| Reporte Producción Real en 1000's | 128 | 297,624 | 339,621 | 394,786 |
| Reporte Producción Simulación en 1000's | 40 | 129,324 | 162,282 | 216,418 |

A continuación tenemos un resumen de la información obtenida por MiniTAB®

- Estadístico de la Prueba F = 4.38
- Valor-P = 0,000

Con esta información podemos concluir que se rechaza la hipótesis nula de que las varianzas de las poblaciones de la producción real y la producción simulada son iguales.

Sabiendo que no se puede asumir igualdad entre las varianzas poblacionales, proseguimos a realizar una prueba t para dos muestras, utilizando el software MiniTAB®, para comparar las dos medias. En esta prueba se considerarán varianzas desiguales, por el resultado de la prueba F. La prueba t para dos muestras tiene la siguiente prueba de hipótesis:

- $H_0: \mu_1 - \mu_2 = \delta$
- $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \delta$

donde μ_1 es la media del Reporte de Producción Real y μ_2 es la media del Reporte de Producción de la Simulación y δ es la diferencia entre las medias que, en este caso $\delta = 0$. Para realizar la prueba t dos muestras, se utilizará un nivel de significancia (α) de 0.05. En la Tabla # 12 se encuentran los resultados obtenidos en MiniTAB® al momento de realizar la prueba de comparación de medias.

Tabla # 12: Resultado de Prueba t para Dos Muestras – Datos obtenido del software MiniTAB®

| | Tamaño | Media | Desviación Estándar | Error Estándar |
|--|--------|-------|---------------------|----------------|
| Reporte Producción Real en 1000's | 128 | 2145 | 340 | 30 |
| Reporte Producción Simulación en 1000's | 40 | 2161 | 162 | 26 |

A continuación tenemos un resumen de la información obtenida por MiniTAB®

- Con un intervalo de 95% el rango de la diferencia es el siguiente: (-93.8327, 62.3369)
- Valor-T = -0,40
- Valor-P = 0,691

Como el Valor-P de la prueba de hipótesis es mayor al nivel de significancia de α de 0.05, se concluye que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Entonces es correcto asumir que no existe diferencia significativa entre la medida de desempeño de las dos muestras que en este caso es la media.

Una vez comparadas las dos muestras y observando que no existe diferencia estadística entre la medida de desempeño de las mismas, podemos asumir que los datos obtenidos en la simulación pueden ser utilizados para realizar análisis e inferencias del proceso posteriormente por lo explicado en las secciones 3.12 y 3.12.1.

8 PROPUESTA DE IMPLEMENTACION

8.1 Propuestas

Una de las principales metas de esta tesis es la de implementar una cultura organizacional de limpieza dentro de la compañía. La aplicación de metodología de Manufactura Ajustada será la base que se utilizará para lograr este cambio en la empresa; más concretamente dentro de esta metodología, se usará la filosofía de las 5's . Para lograr este cambio, se espera implementar dentro de la planta procedimientos de limpieza que permitan al trabajador mantener la máquina y su área de trabajo limpia y ordenada. Adicionalmente, se espera realizar un análisis de los paros operacionales específicamente en aquellos en los que el operador puede tener influencia y, así lograr aumentar las responsabilidades del trabajador con respecto a la máquina. El objetivo detrás de esto es darle al trabajador las herramientas necesarias para que pueda mantener la máquina funcionando la mayor parte del tiempo y, así reducir al máximo los paros operacionales.

Mediante la información obtenida en el SICOT y diferentes entrevistas a operadores, se logró crear procedimientos de limpieza tanto de elaboración, que se encuentra en el Anexo # 29:

Procedimientos de Limpieza Máquinas Elaboradoras, como de empaque, que se encuentra en el Anexo # 30: Procedimientos de Limpieza Máquinas Empaquetadoras. De esta manera, los operadores sabrán qué partes deben ser limpiadas y, con qué frecuencia se deben realizar las limpiezas. Es importante anotar que para que estos procedimientos funcionen, se deben estandarizar todas las limpiezas, esto es, que todos los operadores deben realizar las limpiezas de una sola forma. De este modo, se aseguraría el mejor funcionamiento de la máquina y la calibración de la misma. Otra herramienta de la manufactura ajustada que se la puede utilizar para mejorar las limpiezas dentro del proceso de manufactura de TANASA son los SMED's, que se mencionaron en la sección 3.7. Utilizando los SMED's los operadores pueden hacer pequeñas calibraciones y limpiezas sin la necesidad de la asistencia del equipo técnico. Con esta herramienta, se aseguraran que los trabajadores realicen los trabajos necesarios de una manera eficiente y estandarizada. El objetivo de aplicar esta herramienta es tener procedimientos o instrumentos que permitan realizar las actividades necesarias de una mejor manera. Esta metodología reduciría el tiempo de la realización de las limpiezas, con sus respectivas calibraciones, y garantizaría la adecuada ejecución de las mismas.

Actualmente en TANASA, se utilizan 40.4 minutos para limpiezas (26.5 al final del turno y 13.9 al inicio de turno). Con la implementación de estos modelos, se esperaría eliminar estos tiempos al inicio y al final del turno, ya que se los realizaría cada vez que exista un paro no programado de máquina. El objetivo de producción en la fábrica es del 62 % de "uptime"; si en un turno de 480 minutos las máquinas están paradas, por cualquier tipo de falla, aproximadamente $(480 \times 32\%)$ 182.4 minutos, este tiempo permitiría realizar con holgura, todas las limpiezas propuestas en los procedimientos antes mencionados.

Así mismo, se propondrá la implementación de un arranque en caliente de las máquinas. Esto quiere decir que un grupo de trabajadores se dedicará a prender las máquinas y a prepararlas desde las 5 hasta las 6 la mañana. Esto tiene como objeto que cuando el turno empiece a las 6 la mañana, las máquinas estén listas para empezar a producir y no haya previamente un tiempo de arranque del sistema, de preparación y arranque de máquina. Actualmente existe un grupo de personas, que normalmente son técnicos, quienes ingresan a las 5 de la mañana y su función es preparar el proceso para el inicio de turno. A este grupo se les añadiría la tarea de prender y preparar las máquinas. La actividad que realizan en la actualidad, les toma 30 minutos a los técnicos, mientras que según los datos obtenidos de los paros programados, de arranque del sistema y de preparación y arranque de máquina toma un promedio de 27,7 minutos; por tanto se considera que tendrían el tiempo suficiente para realizar esta actividad. Se debe mencionar que normalmente TANASA trabaja en tres turnos en las células # 3 y # 4, por los volúmenes de producción que manejan. Por lo que, el personal de estas células bien podría dar soporte en estas otras actividades. En la simulación propuesta se modelará la entrada a las 5 de la mañana como un período de calentamiento de 60 minutos.

Otra herramienta que se espera utilizar es la de los SMED, la misma que se explicó en el Marco Teórico. Este enfoque generaría una reducción significativa en los cambio de marca. La propuesta es instaurar unos “Equipos de Cambio de Marca” que consisten de dos partes: la primera parte es crear un maletín con todas las herramientas necesarias para realizar el cambio de marca, como alcoholes, paños, dados de impresión, etc.; por lo tanto, cada vez que se va a realizar un cambio de marca, el equipo cuenta con todas las herramientas necesarias para hacerlo y no, que en ese momento tengan que ir en busca de lo que les hace falta. La segunda parte consta del personal que llevará a cabo este cambio de marca; la intención es obtener la

mayor cantidad de gente posible, por lo que se pediría a todos los ayudantes de célula, la gente de limpieza, los pesadores, los DIM's helpers, estibadores y técnicos tanto eléctricos como mecánicos para que colaboren con los cambios de marca. Si se recurre a una mayor cantidad de personas operando las máquinas durante los cambios de turno, estos tiempos disminuirían drásticamente.

Si se vuelven a analizar los tiempos de paros con las propuestas realizadas hasta ahora, podemos observar en el Anexo # 31: Diagrama de Pareto Simulación Propuesta se puede observar que el "Cambio de Marca" esta dentro de la proporción del 80-20. Esta categoría era considerada dentro de la categoría "otros" porque en los análisis previos no entraba dentro del Pareto. Por este motivo se adicionará una propuesta para el mejorar el tiempo de "Cambio de Marca"

En la actualidad, el cambio de marca en la Célula # 2 toma en promedio 32,9 minutos. El cambio de marca entra en la categoría de "otros" dentro de los paros programados, ya que en esta célula no se realizan muchos cambios de marca. Durante un plan piloto de esta propuesta al "Equipo de Cambio de Marca" le tomó 13,4 minutos realizar este cambio. El tiempo objetivo de los cambios de marca se estableció en 15 minutos; reduciendo de 32,9 minutos a 15 minutos en promedio, se espera que la categoría de "otros" dentro de los paros programados, disminuya de 38 minutos a 26.6 minutos.

Si se consideran 10 minutos al inicio y al final del turno para que el operador pueda realizar cualquier actividad que se considere necesaria y, 5 minutos adicionales en la categoría "otros" para modelar cualquier tipo de holgura adicional, los horarios de los paros programados en la simulación quedarían de la siguiente manera:

- 00:00 a 00:10:00 paro al inicio de turno.

- 04:00:00 a 04:26:36 paro a la mitad del turno
- 07:50:00 a 08:00:00 paro al final del turno.

Cabe recalcar que aunque estas modificaciones o implementación propuestas pueden afectar las distribuciones de probabilidad de los paros no programados, tanto para las máquinas elaboradoras como para las máquinas empaquetadores, no se los considera en la simulación propuesta. Esto se debe a que no se puede cuantificar una disminución en los tiempos de los paros programados a menos que se realice un plan piloto exhaustivo en las máquinas. Por tanto, la reducción de estos tiempos sería más cualitativa que cuantitativa. Por esta razón se decidió no modelar una variación de estos tiempos y se corre la simulación propuesta con los paros no programados de la simulación del proceso.

8.2 Simulación Propuesta

La propuesta realizada en la sección anterior se la modelo utilizando de Arena 10.0® básicamente en el modulo de creación y en la calendarización del envío de la hebra. De esta manera los nuevos tiempos de paros programados quedarán en el siguiente horario:

- 00:00 a 00:10:00 paro al inicio de turno.
- 04:00:00 a 04:26:36 paro a la mitad del turno
- 07:50:00 a 08:00:00 paro al final del turno.

Adicionalmente, se implemento el sistema de un periodo de calentamiento de 60 minutos para simular el arranque a las 5 de la mañana.

Una vez corrida las 40 réplicas de la simulación con las propuestas realizadas en la sección anterior, se procederá a analizar los datos generados. Los datos de cada una de las réplicas se encuentran en el Anexo # 32: Reporte de Producción Simulación Propuesta. Estos datos fueron analizados en el Input Analyzer” del Software Arena 10.0® y se obtuvo que la

distribución de probabilidad de los datos simulados tiene una distribución normal con los siguientes parámetros:

$$\text{NORM}(2530, 152)$$

El análisis completo de esta información se encuentra en el Anexo # 33: Distribución del Reporte de Producción Simulada Propuesta. Como ya se mencionó en la sección 3.11.1, la distribución normal puede generar valores dentro del dominio de los números reales. Como este proceso no puede tomar valores negativos se debe truncar la distribución para que solo se permitan valores mayores o iguales a cero. El truncamiento de esta distribución se la realiza utilizando las siguientes ecuaciones, que se encuentran en la sección 3.11.1:

$$E(X|X > a) = \mu + \sigma\lambda(\alpha)$$

$$\text{Var}(X|X > a) = \sigma^2[1 - \delta(\alpha)]$$

$$\mu = 2527$$

$$\sigma = 152.2$$

$$a = 0$$

$$\alpha = \frac{a-\mu}{\sigma} = \frac{0-2527}{152.2} = -16.603$$

$$\phi(\alpha) = \frac{e^{-\frac{\alpha^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} = \frac{e^{-\frac{(-16.603)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} = 6.9222 \times 10^{-61} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}$$

$$\Phi(\alpha) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx = \frac{1}{152.2\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-16.603} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-2527}{152.2}\right)^2} dx = 4.6853 \times 10^{-21} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}$$

$$\lambda(\alpha) = \frac{\phi(\alpha)}{[1-\Phi(\alpha)]} = \frac{6.9222 \times 10^{-61} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}}{1 - (4.6853 \times 10^{-21} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}})} = 5.5231 \times 10^{-61}$$

$$\delta(\alpha) = \lambda(\alpha)[\lambda(\alpha) - \alpha] = 5.5231 \times 10^{-61} * (5.5231 \times 10^{-61} - 0) = 3.0505 \times 10^{-121}$$

$$E(X|X > 0) = 2527 + (152.2 * 5.5231 \times 10^{-61}) = 2527.0$$

$$\text{Var}(X|X > 0) = 152.2^2(1 - 3.0505 \times 10^{-121}) = 23165$$

Al aplicar el truncamiento, se obtiene una distribución normal truncada con un valor esperado de 2527 y una varianza de 23165 (desviación estándar = 152.2).

8.2.1 Comparación entre Simulación del Proceso y Simulación Propuesta

Para comprobar si la propuesta implementada significa una mejora en relación a la producción. Se deben comparar los datos simulados del proceso actual de la planta con los datos de la simulación propuesta. Para realizar esta comparación, primero debemos observar si las varianzas de las poblaciones son iguales. Como se puede asumir que las dos muestras que se van a comparar tienen una distribución normal, proseguimos a realizar una prueba F para comparar si las varianzas de las poblaciones son iguales. En la sección 3.12.1 encontramos la referencia teórica de esta prueba de hipótesis, así como sus respectivas hipótesis nula y alternativa.

$$H_0: \sigma_1 - \sigma_2 = \delta$$

$$H_1: \sigma_1 - \sigma_2 \neq \delta$$

donde σ_1 es la varianza del Reporte de Producción Simulada y σ_2 es la varianza del Reporte de Producción de la Simulación Propuesta y δ es la diferencia entre las medias que en este caso $\delta = 0$. En la Tabla # 13 se encuentran los resultados obtenidos en MiniTAB® al momento de realizar la prueba de comparación de varianzas.

Tabla # 13: Resultado de Prueba F de Varianzas – Datos obtenido del software MiniTAB®

| | Tamaño | Inferior | Desviación Estándar | Superior |
|--|---------------|-----------------|----------------------------|-----------------|
| Reporte Producción Simulación en 1000's | 40 | 129,324 | 162,282 | 216,418 |
| Reporte Producción Simulación Propuesta en 1000's | 40 | 121,314 | 152,232 | 203,014 |

A continuación tenemos un resumen de la información obtenida por MiniTAB®

- Estadístico de la Prueba F = 1.14
- Valor-P = 0,692

Con esta información podemos concluir que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que las varianzas de las poblaciones de la producción simulada y la producción simulada propuesta son iguales. Una vez probado que las varianzas son iguales se utiliza una prueba t para dos muestras, por medio de software MiniTAB®. Se realiza la prueba t de dos muestras para comparar si existe diferencia entre la media de los datos obtenidos de la simulación del proceso real y la media de los datos obtenidos en la simulación propuesta. En esta prueba se considerarán varianzas iguales, por lo resultado de la prueba F.

La prueba t para dos muestras tiene la siguiente prueba de hipótesis:

- $H_0: \mu_1 - \mu_2 = \delta$
- $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \delta$

donde μ_1 es la media del Reporte de Producción Simulada y μ_2 es la media del Reporte de Producción de la Simulación Propuesta y δ es la diferencia entre las medias que en este caso $\delta = 0$. En la Tabla # 14 se encuentran los resultados obtenidos en MiniTAB® al momento de realizar la prueba de comparación de medias.

Tabla # 14: Resultado de Prueba t para Dos Muestras – Datos obtenido del software

MiniTAB®

| | Tamaño | Media | Desviación Estándar | Error Estándar |
|---|--------|-------|---------------------|----------------|
| Reporte Producción Simulación en 1000's | 40 | 2161 | 162 | 26 |
| Reporte Producción Simulación Propuesta en 1000's | 40 | 2527 | 152 | 24 |

A continuación tenemos un resumen de la información obtenida por MiniTAB®

- Con un intervalo de 95% el rango de la diferencia es el siguiente: (-436,281. -296,169)
- Valor-T = -10,41
- Valor-P = 0,000

Como se vio en la sección 3.12.2 si el Valor-P de la prueba de hipótesis es menor al nivel de significancia de α de 0.05, se procede a rechazar la hipótesis nula. De esta manera se puede concluir que sí existe diferencia entre las medidas de desempeño de las dos muestras, que en este caso es la media.

Una vez observado que existe diferencia entre la medida de desempeño de las dos muestras, debemos realizar una prueba de hipótesis para comprobar si la media de la simulación propuesta es mayor a la media de la simulación del proceso.

La nueva prueba t para dos muestras tiene la siguiente prueba de hipótesis:

- $H_0: \mu_1 \geq \mu_2$
- $H_1: \mu_1 < \mu_2$

Volviendo a correr la prueba t para dos muestras, se obtiene un valor-P de 0,000, como este valor es menor al nivel de significancia de α de 0.05, se procede a rechazar la hipótesis nula. Con la información presentada, se puede observar que aparte de existir una diferencia entre las dos muestras, la muestra de la simulación propuesta presenta una mejor medida de desempeño que puede ser traducida a mejores volúmenes de producción que la otra muestra.

8.3 Justificaciones

El objetivo de “uptime” de TANASA para el año 2010 es de 62%. Sin embargo, el “uptime” acumulado para del año 2010 es del 61.6 % hasta el mes de Abril. Adicionalmente, el objetivo de producción para la célula # 2 es de 63.6%. Utilizando la información obtenida en el reporte de producción tenemos que el promedio de producción de cigarrillos es de 2145 miles de cigarrillos por turno desde Diciembre del 2009 hasta Marzo del 2010. Por lo tanto el “uptime” para la Célula # 2 es el siguiente:

$$Uptime = \frac{2145000 \text{ cigarrillos}}{7800 \frac{\text{cigarrillos}}{\text{minuto}} * 480 \text{ minutos}} * 100\%$$

$$Uptime = 57.29\%$$

Con este análisis podemos concluir que en este período de tiempo no se han cumplido los objetivos, ni de la célula ni de la planta. Por otra parte, si realizamos el mismo análisis utilizando los datos obtenidos en la simulación y el volumen de producción promedio de 2161 miles de cigarrillos por turno se tiene que el “uptime” para la Célula # 2 es el siguiente:

$$Uptime = \frac{2161000 \text{ cigarrillos}}{7800 \frac{\text{cigarrillos}}{\text{minuto}} * 480 \text{ minutos}} * 100\%$$

$$Uptime = 57.72\%$$

En esta simulación tampoco se cumplen los objetivos ni de la célula ni de la planta, ya que el objetivo de producción es de 62% y en la simulación se obtuvo un “uptime” promedio de 57.72%. Se debe considerar, como se explicó en la sección 7.8, que no se puede decir que existe diferencia estadística entre las medias del proceso de producción real y el proceso de producción simulado.

En cambio, al aplicar la propuesta de implementación en la simulación, se obtiene que el volumen de producción promedio aumenta de 2161 miles de cigarrillos por turno a 2527 miles de cigarrillos por turno, lo que da un incremento de 366000 cigarrillos por turno. El “uptime” promedio de la Célula pasaría a ser:

$$Uptime = \frac{2527000 \text{ cigarrillos}}{7800 \frac{\text{cigarrillos}}{\text{minuto}} * 480 \text{ minutos}} * 100\%$$

$$Uptime = 67.49\%$$

En este escenario, se cumplirían tanto el objetivo del volumen de producción de la planta como el objetivo del volumen de producción de la célula. Adicionalmente, si se implementaría este modelo para las demás células y se asumiría que el “uptime” de la planta es del 67,49% TANASA, tendría el mejor “uptime” de toda Latinoamérica, siendo la mejor planta del 2009 la de MASSALIN que se encuentra en Goya, Argentina con 67.1% de “uptime”. Un dato adicional que se debe plantear es que con el incremento de “uptime” a 67,49% se va a tener disponible en el piso 156.048 minutos (480*32.51%). En la sección 8.1 una de las propuestas era utilizar el tiempo que las máquinas estén paradas para realizar las limpiezas. Como se necesitan 40.4 minutos diarios para las limpiezas y, con la nueva implementación se tendrán aproximadamente 156.048 minutos disponibles, significa que se contará con el tiempo suficiente para llevar a cabo las limpiezas.

TANASA es una empresa tabacalera cuya información de costos y del dinero se maneja con suma reserva. Por este motivo, no se pudo obtener los datos de la ganancia que tiene la empresa por cada mil cigarrillos y, de esta forma, poder realizar un análisis de costos. De todas maneras, se ha tratado de hacer un análisis estimado a partir de los datos obtenidos y, con los costos de las cajetillas en el mercado.

Si se parte de la base de un volumen de producción de 2161 miles de cigarrillos por turno y, se asume que en un mes se trabajan 40 turnos (2 turnos diarios y 20 días laborables) se obtiene una producción de 86'440,000 cigarrillos mensuales. En esta célula de producción se realizan cajetillas de 20's por lo que se producen 4'322,000 cajetillas. El costo en el mercado de una cajetilla de Lider 20's es de \$1.80 por lo que se alcanzaría un valor de \$7'779,600.00 USD, al mes. Si se realiza el mismo análisis con el promedio del volumen de producción de la simulación propuesta de 2527 miles de cigarrillos por turno, tendríamos un valor \$9'097,200.00 USD, al mes. Por lo tanto, aplicando esta propuesta y, teniendo en consideración todos los supuestos mencionados aquí, el incremento de las ventas en el mercado sería de \$1'317,600.00 USD.

9 CONCLUSIONES

- Uno de los puntos más críticos de la tesis fue la validación del Sistema Integrado de Control de Tiempos. Esto se debe a que la base de los cálculos de los tiempos era el SICOT. Sin esta información no se hubiera tenido la distribución de probabilidad de los paros, ni su frecuencia; con lo cual hubiera sido imposible modelar. Por lo tanto, al validar este modelo se logró un gran avance en el proyecto.
- Una vez realizada la simulación, se pudo concluir que no existe evidencia estadística para asumir que hay diferencias entre las medidas de desempeño de las medias de la producción real de TANASA, en los últimos 4 meses y, la media de simulación propuesta.
- Como no existe diferencia estadística entre las medias del proceso productivo real y el proceso productivo simulado, va a ser correcto concluir en el proceso real cualquier propuesta realizada con respecto a las medidas de desempeño en el proceso simulado.
- Una de las propuestas de este trabajo es la creación de procedimientos de limpieza que permitan a los operadores llevar a cabo este proceso a lo largo del turno de trabajo, en lugar de al inicio y al final del mismo.
- El objetivo de realizar procedimientos de limpieza es aprovechar los paros de las máquinas y utilizar estos tiempos muertos para realizar limpiezas. Dependiendo de la intensidad de los paros, se realizarán más o menos limpiezas.
- Dentro de los procedimientos se ha implementado una frecuencia de realización de los paros, así como un registro que permitirá a los operadores anotar cuando se han hecho las limpiezas, con el objeto de que los operadores de otros turnos no las repitan.

- Los arranques en caliente son muy importantes para el indicador de desempeño de la fábrica. Esto se debe a que, si la máquina recién se enciende a las seis de la mañana, cuando se empieza el turno, el tiempo que la máquina tome en estabilizarse va a ser perjudicial para el “uptime”.
- Si se arranca la máquina a las cinco de la mañana, al momento que inicie el turno, es decir, a las seis de la mañana, la máquina ya se encontrará estable y lista para arrancar.
- Con referencia a los cambios de marca, la creación de los “Equipos de Cambio de Marca”, es importante para disminuir los tiempos del cambio de marca en el proceso. Esto se debe a una mejor organización de las personas involucradas y la disponibilidad de todas las herramientas y materiales para realizar el cambio.
- Al implementar los “Equipos de Cambios de Marca”, se logrará que trabajadores que llevan a cabo diferentes actividades se junten para realizar una sola actividad en común.
- Aunque en la Célula # 2, en la que se realizó la simulación, no existen muchos cambios de marca, es importante la realización de esta propuesta. Esto se debe a que, si se obtiene un resultado positivo en esta célula, se obtendrían mejores resultados en las células donde existen más cambios de marca.
- Al aplicar las propuestas dentro de la simulación, es correcto asumir que existe una diferencia entre las medidas de desempeño, de la media del reporte de producción simulado y la media del reporte de simulación propuesta.
- Como existe una diferencia estadística entre los dos procesos simulados (el de la producción y el de la propuesta), sería correcto asumir que las propuestas tienen un impacto positivo en la media del indicador de desempeño de “uptime” de la empresa.

10 RECOMENDACIONES

- Dentro de TANASA, el Sistema Integrado de Control de Tiempos cada vez está ganando más fuerza. Por lo que es necesaria una validación periódica de este programa para realizar el análisis basándose en la información obtenida por SICOT.
- La correcta utilización del SICOT, permite a los analistas realizar inferencias sobre los procesos, las máquinas y los operadores. Por lo tanto, se recomienda una capacitación continúa para los operadores para obtener un mayor provecho de este sistema informático.
- Se recomienda, que TANASA, utilice la base de la simulación realizada en esta tesis para realizar futuros cambios en esta célula de manufactura o cualquier otra célula. Esto se debe a que, es menos costoso realizar propuestas en la simulación y comparar los datos entre la simulación del proceso real y el proceso propuestos, que hacer directamente los cambio en el proceso de producción real.
- Es importante tomar en consideración que una propuesta fallida dentro del proceso real, puede afectar directamente a los trabajadores. Adicionalmente, no siempre se va a tener la completa colaboración del personal, ya que normalmente las personas son adversas al cambio. Por lo tanto, si se realizan propuestas en la simulación se podría eliminar completamente el factor humano al momento de hacer el análisis. De todas maneras al momento de la implementación real siempre se debe contar con el factor humano y una curva de aprendizaje.
- Si se desea mantener la simulación como una herramienta a largo plazo para la toma de decisiones, su revisión periódica debe ser obligatoria. La razón de esto, es que se

podrían realizar inferencias que estén incorrectas porque entre los procesos reales y simulados no se pueden asumir las mismas medidas de desempeño.

- La propuesta de arranque en caliente puede potencializarse si se planifica la producción para tres turnos. De esta manera, las máquinas siempre estarían trabajando y se evitaría la necesidad de que personas extrañas al proceso manipulen las máquinas.
- Al momento de formar los “Equipo de Cambio de Marca”, es importante que todos los trabajadores que conforman este equipo estén completamente capacitados y sepan con claridad cuál es su rol dentro del equipo. Esto se debe a que, si un trabajador no realiza correctamente sus actividades, éste va a frenar al resto de equipo y no va a hacer un aporte en el momento de cambiar la marca.
- En cuanto a las herramientas utilizadas en el cambio de marca, debe ser responsabilidad del líder del proceso que las mismas se encuentren en buen estado y completas. Un equipo de herramientas que no se puede ser utilizadas en su totalidad sólo frenará el buen desempeño del “Equipo de Cambio de Marca”

11 REFERENCIAS

11.1 Bibliográficas

- Banks, Jerry, John Carson, Barry Nelson, and David Nicol. Discrete-Event System Simulation. 4ta. Nueva York: Pearson, 2005.
- Galgano, Alberto. Las Tres Revoluciones, Caza de Desperdicios: Doblar la Producción con "Lean Manufacture". 3ra Edición. España: Díaz de Santos, 2004.
- Garimella, Kiran. The Power of Process, Unleashing the Source of Competitive Advantage. 2da Edición. New York: Meghan Kiffer Pr, 2006.
- Hernandez, Blenda, and Tobias Garces. "Aplicación de los modelos de regresión tobit en la modelización de variables epidemiológicas censuradas." (2006): n. pag. Web. 10 May 2010.
- Hopp, Wallace J., y Mark L. Spearman. Factory Physics. 2da Edición. New York: MacGraw-Hill, 2001.
- Kelton, David, Randal Sadowski, and David Sturrock. Simulation with Arena. 3ra. Nueva York: Mc Graw-Hill, 2004.
- Liker, Jeffrey K. THE TOYOTA WAY, 14 Management Principles, from the world greatest manufacturer. 3ra Edición. Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 2004.
- Montgomery, Douglas. Diseño y Analisis de Experimentos. 2da. Mexico: Limusa Wiley, 2007.
- Montgomery, Douglas, and George Runger. Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería. 2da. Mexico: Limusa Wiley, 2006.

- Niebel, Benjamin W., y Andris Freivalds. INGENIERIA INDUSTRIAL, Metodos, Estandares y Diseño del Trabajo. 11va Edición. Mexico: Alfaomega, 2006.
- Ohno, Taiichi. TOYOTA PRODUCTION SYSTEM, Beyond Large-Scale Production. 2da Edición. New York: Diamond, 1990.
- Philip Morris International:
<http://www.philipmorrisinternational.com/PMINTL/pages/eng/Default.asp>
- Philip Morris USA: <http://www.pmus.com/en/cms/Home/default.aspx>
- Rother, Mike, y John Shook. LEARNING TO SEE, Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. 2da Edición. New York: Lean Enterprise Institute, 1999.
- Womack, James, y Daniel T. Jones. LEAN THINKING, Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. 2da Edición. New York: Free Press, 2003.

11.2 Entrevistas

- Aguirre, Xavier. Coordinador de Planificación de Producción, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- Álvarez, Eulogio. Líder de Producción del Proceso Primario, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- Contreras, Pablo. Soporte de Mantenimiento, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- Cruz, Andrés. Analista de Producción, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- Donoso, Andrés. Supervisor de Mejoramiento Continuo, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- Granda, René. Líder de Producción del Proceso Secundario, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- León, Pilar. Coordinadora de Calidad, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- López, Juan Carlos. Líder de Producción del Proceso Secundario, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- Loza, Alejandro. Coordinador de Calidad en Piso, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- Moreno, Julio. Líder de Producción del Proceso Secundario, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- Muñoz, Ana Lucia. Analista de Producción, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- Oviedo, Roberto. Supervisor de Producción del Proceso Secundario, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.
- Taco, Luis. Líder de Producción del Proceso Secundario, TANASA, Entrevista. Enero, 2010.