

ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE
LA PLANTA COLDEPLAST

HAIVER ANDRES HINCAPIÉ MEJIA



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
MEDELLÍN, 2018

ESTUDIO Y ANALISIS DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE
LA PLANTA COLDEPLAST

HAIVER ANDRES HINCAPIE MEJÍA

PROPUESTA DE MONOGRAFIA PARA OPTAR POR EL TITULO DE
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

ASESOR

CESAR ALFONSO MONTERROZA ARRIETA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

MEDELLÍN, 2019

Contenido

INDICE DE TABLAS	7
INDICE DE FIGURAS	8
JUSTIFICACIÓN	11
OBJETIVOS.....	12
MARCO TEORICO	13
ESTADO DEL ARTE	24
METODOLOGIA.....	26
1. Taxonomía de equipos.....	26
2. Matriz de criticidad.....	28
2.1 Términos y conceptos de análisis de criticidad	28
• ¿Qué es el análisis de criticidad?.....	28
• Definición Activo	28
• Acción/ recomendación.....	28
• Análisis de criticidad de modo de falla y efectos (FMECA, failure mode, effects and criticality analysis).....	29
• Causa de falla.....	29
• Confiabilidad operacional	29
• Consecuencia.....	29
• Consecuencia de una falla.....	29
• Contexto operacional	29
• Criticidad	29
• Defecto	30
• Efecto de falla.....	30
• Falla.....	30
• Falla funcional.....	30
• Jerarquización.....	30
• Modo de falla	30
• Mecanismo de falla	30
• Prioridad	30

•	Riesgo	30
2.2	Descripción de la metodología de análisis de criticidad	31
3.	Ajuste distribuciones de probabilidad para el MTBF y MTTR	39
4.	Generación diagramas de bloques de confiabilidad	40
5.	Simulación de la confiabilidad proyectada para los equipos en un tiempo definido ⁴⁰	
	Resultados	42
1.	Definición procesos.....	42
1.1	Proceso coextrusión	42
1.2	Proceso impresión flexográfica	42
1.3	Proceso laminación	44
1.4	Proceso de corte	47
1.5	Proceso de sellado	48
2.	Taxonomía en nivel 2 planta Coldeplast	49
3.	Resultados matriz de criticidad.....	50
4.	Resultados ajuste distribuciones de probabilidad tiempo medio entre fallas 51	
5.	Resultados diagramas de bloques de confiabilidad.....	52
6.	Resultados modelo de confiabilidad y disponibilidad en intervalos de tiempo definidos.....	54
	Conclusiones.....	58
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	60
	Anexo 1. Ajuste distribuciones MTBF Extrusora 6	61
	Anexo 2. Ajuste distribución MTBF Coextrusora 2.....	62
	Anexo 3. Ajuste distribución MTBF Coextrusora 3.....	63
	Anexo 4. Ajuste distribución MTBF Coextrusora 4.....	65
	Anexo 5. Ajuste distribución MTBF Coextrusora 5.....	66
	Anexo 6. Ajuste distribución MTBF Impresora 6	68
	Anexo 7. Ajuste distribución MTBF Impresora 7	69
	Anexo 8. Ajuste distribución MTBF Impresora 8	71
	Anexo 9. Ajuste distribución MTBF Impresora 9	72

Anexo 10. Ajuste distribución MTBF Cortadora 3	73
Anexo 11. Ajuste distribución MTBF Cortadora 4	75
Anexo 12. Ajuste distribución MTBF Cortadora 7	76
Anexo 13. Ajuste distribución MTBF Cortadora 9	77
Anexo 14. Ajuste distribución MTBF Selladora 1	79
Anexo 15. Ajuste distribución MTBF Selladora 13	80
Anexo 16. Ajuste distribución MTBF Selladora 14	81
Anexo 17. Ajuste distribución MTBF Selladora 15	83
Anexo 18. Ajuste distribución MTBF Selladora 16	84
Anexo 19. Ajuste distribución MTBF Selladora 17	85
Anexo 20. Ajuste distribución MTBF Laminadora 1	87
Anexo 21. Ajuste distribución MTBF Laminadora 2	88
Anexo 22. Ajuste distribución MTTR equipos Coldeplast	89
Anexo 23. Taxonomía de equipos nivel 6 planta Coldeplast	91
Anexo 24. RBD confiabilidad 100 horas	93
Anexo 25. RBD Disponibilidad 100 horas	94
Anexo 26. Tabla análisis de nodos 100 horas	94
Anexo 27. Tabla resumen 100 horas	95
Anexo 28. RBD confiabilidad 200 horas	95
Anexo 29. RBD disponibilidad 200 horas	96
Anexo 30. Tabla análisis de nodos 200 horas	96
Anexo 31. Tabla análisis de nodos confiabilidad 200 horas	97
Anexo 32. Tabla resumen 200 horas	97
Anexo 33. RBD confiabilidad 300 horas	98
Anexo 34. RBD disponibilidad 300 horas	98
Anexo 35. Tabla análisis de nodos 300 horas	99
Anexo 36. Tabla resumen 300 horas	99
Anexo 37. RBD confiabilidad 400 horas	100
Anexo 38. RBD disponibilidad 400 horas	100
Anexo 38. Tabla análisis de nodos 400 horas	101

Anexo 39. Tabla resumen 400 horas	101
Anexo 40. RBD confiabilidad 500 horas	102
Anexo 41. RBD disponibilidad 500 horas	102
Anexo 41. Tabla análisis de nodos 500 horas	103
Anexo 42. Tabla confiabilidad 500 horas	103
Anexo 43. Tabla resumen 500 horas	104

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de construcción taxonomía de equipos	26
Tabla 2. Niveles de construcción taxonomía de equipos	27
Tabla 3. Escala de deficiencia	32
Tabla 4. Criterios para estimación de la escala de exposición.....	33
Tabla 5. Nivel de probabilidad	34
Tabla 6. Categoría de los impactos	36
Tabla 7. Matriz de criticidad	37
Tabla 8. Interpretación del nivel de riesgo	37
Tabla 9. Taxonomía equipos productivos Coldeplast	49
Tabla 10. Distribuciones de falla equipos Coldeplast	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo diagrama de bloques de fiabilidad	14
Figura 2. Ejemplo diagrama de bloques de fiabilidad en serie.....	15
Figura 3. Ejemplo de un sistema con redundancia activa	16
Figura 4. Ejemplo diagrama de bloque de fiabilidad para redundancia activa	16
Figura 5. Ejemplo de un diagrama de bloque de fiabilidad para una combinación de un grupo de sistemas en serie	17
Figura 6. Ejemplo de un diagrama de bloque de fiabilidad con redundancia en espera ...	18
Figura 7. Estructura procesos productivos	32
Figura 8. Criterios para la estimación de consecuencias	34
Figura 9. Representación esquemática de una extrusora de husillo sencillo	42
Figura 10. Como funciona la flexografía	44
Figura 11. Proceso laminación en húmedo	46
Figura 12. Proceso laminación en seco	47
Figura 13. Partes de una cortadora	48
Figura 14. Selladora Hudson Sharp planta Coldeplast	49
Figura 15. Matriz de criticidad equipos productivos Coldeplast	50
Figura 16. Diagrama Pareto equipos críticos Coldeplast	51
Figura 17. Histograma y ajuste de distribuciones Laminadora 1.....	52
Figura 18. Diagrama de bloques de confiabilidad proceso coextrusión	53
Figura 19. Diagrama de bloques de confiabilidad proceso productivos Coldeplast	54
Figura 20. Tabla análisis de nodos	55
Figura 21. Análisis de confiabilidad en un tiempo de 100 horas	56

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos que componen los procesos productivos de la planta Coldeplast. Los procesos que se analizaron son; Impresión, Laminación, Corte, sellado y en especial el proceso de coextrusión. Este último proceso, por su complejidad, incrementa los impactos en los tiempos de indisponibilidad y el porcentaje de desperdicio de la compañía. En promedio, cerca de 3.000 kg/mes de plástico procesado fuera de especificaciones de calidad provienen de este proceso, lo cual representa una afectación en la rentabilidad del producto y el impacto medioambiental.

El desarrollo de este trabajo usa las herramientas de confiabilidad como lo son. Primero. El análisis de criticidad de los equipos productivos existentes en planta. Segundo. La modelación de curvas de distribución probabilística que se ajusten a la tasa de fallas y de reparación de cada equipo. Tercero. La construcción de diagramas de bloques de fiabilidad DBF, que permiten estudiar y analizar los equipos mediante la configuración en las líneas productivas según el nivel de disponibilidad y de confiabilidad requerido en cada activo.

El análisis de la confiabilidad requiere la identificación de los equipos críticos que componen los procesos productivos de la planta Coldeplast S.A, usando la matriz de criticidad podremos identificar de acuerdo con las consecuencias, cual es la jerarquía en los sistemas y en qué puntos se deben concentrar la mayor cantidad de esfuerzos y recursos disponibles.

Esta monografía presenta: la conformación de las líneas productivas de la compañía, la matriz de criticidad, el modelo de la curva de distribución de confiabilidad que se obtuvieron para cada máquina en base a los datos recopilados de tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparar (MTTR) de 5 años. Los diagramas de bloques de fiabilidad con base en la criticidad y la configuración de los equipos de la planta y la simulación de la confiabilidad y disponibilidad proyectada con intervalos de tiempos futuros definidos, usando las herramientas ofimáticas.

Los resultados obtenidos de los ajustes de distribución permiten el entendimiento de una forma gráfica fácil de interpretar sobre cual curva se adapta mejor tanto el tiempo medio entre fallas (MTBF) como el tiempo medio entre reparaciones (MTTR). Las herramientas ofimáticas también nos permiten tener los gráficos de dispersión donde se nota que tan normalizadas están las fallas o si por lo contrario podemos tener un gran número de oportunidades para controlar y estabilizar los sistemas.

Una vez recopilados los datos de las distribuciones, se programaron los parámetros en el software con el objetivo de obtener los valores de confiabilidad y disponibilidad en intervalos de tiempo de 100 horas hasta llegar a las 500 horas. Es claro que, a medida del aumento en el tiempo de simulación, se degrada la confiabilidad. Para la disponibilidad sucede algo similar pero no en las proporciones de la confiabilidad. Esto se da en nuestro caso, debido a que el tiempo de respuesta por parte del departamento de mantenimiento es corto. En promedio la disponibilidad de los equipos obtenida para una misión de 500 horas de tiempo productivo es del 96%, en cuanto a la confiabilidad para un periodo de 500 horas se tienen problemas en sostenerla por encima del 20%. Sin embargo, no en todos los sistemas es crítica esta condición.

Otro de los resultados obtenidos en este trabajo se concluye en que no siempre es necesario realizar un análisis de confiabilidad a los sistemas. Basta con tener un análisis de criticidad para jerarquizar los equipos de acuerdo con los impactos que puedan tener en la organización y así, formular estrategias de trabajo que permitan quizás no maximizar la confiabilidad y disponibilidad, por lo contrario, sostenerla en el tiempo.

El gran interrogante que debemos plantearnos en los departamentos de mantenimiento es si conocemos realmente, cuáles son los valores de confiabilidad apropiados para una compañía. La respuesta debe buscarse no solo en función de cumplir la metas productivas propuestas, sino también en función de garantizar la seguridad de las personas, medio ambiente y por último la rentabilidad. Todos estos aspectos y quizás otros más planteados, deben permitir la jerarquización de las problemáticas que abordamos diariamente y la concentración de esfuerzos de acuerdo con los recursos disponibles. De nada vale pretender tener todos los sistemas en niveles altos de confiabilidad cuando quizás lo único que estamos logrando es destruir valor en la compañía incurriendo en sobrecostos operativos o pérdidas por indisponibilidad.

JUSTIFICACIÓN

La empresa colombiana flexográfica de plásticos Coldeplast está ubicada en el municipio de Itagüí (Antioquia). Esta empresa fue fundada el 16 de marzo de 1956 y tiene una capacidad instalada de conversión de plástico de 7 millones de kilogramos/año. Esta compañía atiende los sectores de alimentos, cuidado personal, hogar, farmacéutica, cosmética, construcción, textil y comida para mascotas. Además, esta compañía cuenta con 230 empleados de los cuales se dispone de 20 ingenieros que integran un grupo multidisciplinario enfocado en atender las necesidades de los clientes. La planta de producción cuenta con los procesos de pre prensa al interior de la compañía, impresión flexográfica hasta 10 colores y en definición alta, laminación, corte a velocidades superiores a los 300 m/min, holografía, extrusión y metalización. La empresa está constituida por las siguientes secciones: pre prensa, tintas, coextrusión, impresión, corte y sellado. Estas secciones son atendidas por 12 técnicos de mantenimiento y 3 ingenieros que se encargan de la planificación, programación, ejecución, verificación y análisis de las situaciones que pueden afectar el correcto desempeño de los sistemas.

El contexto actual de la gestión y la planeación de mantenimiento en la compañía sigue la programación que se cargó en el sistema de planificación de recursos empresariales (ERP). No obstante, esta programación de los mantenimientos preventivos carece de los criterios técnicos con base en la experticia y en los documentos técnicos emitidos por el fabricante. Los mantenimientos programados actualmente sostienen los niveles de disponibilidad, mas no la incrementan a los niveles del 98% requeridos en la planta; en contraste, estas acciones de mantenimiento no disminuyen de manera significativa el número de averías, e impactan la eficiencia global del equipo (OEE) y el desperdicio generado por paros súbitos.

El sistema de mantenimiento actual de la compañía puede ser mejorado incluyendo las siguientes herramientas: análisis de confiabilidad mediante la modelación del proceso utilizando los diagramas de bloques de fiabilidad, la matriz de criticidad con base en el impacto que tienen las fallas en la productividad, los desperdicios generados, el medio ambiente y la seguridad. También es necesario conocer cuáles son las rutas críticas y donde se deben enfocar la mayor cantidad de recursos buscando disminuir la ineficiencias que se tienen en los procesos productivos por razones de mantenimiento. Estas herramientas y otras como el análisis de fallas, análisis de costos y planificación impactan de manera considerable en la reducción del número de averías.

En la empresa Coldeplast, la forma como se planifica el mantenimiento toma como materia prima las necesidades de producción, donde se recopilan los defectos y se tabulan para analizar cuáles son los recursos requeridos y el impacto que estos pueden tener en caso de que no se atiendan de manera oportuna. Cerca del 50% de las solicitudes de corrección de defectos son efectivos, el resto no se planifican o no se ejecutan por la falta de visión y gestión de recursos.

Es necesario en otra etapa optimizar los planes de mantenimiento, evaluando el impacto que tienen los paros improductivos asociados a operaciones de mantenimiento. Tener la claridad del tipo de intervención que se requiere en los sistemas y gestionar los recursos de manera adecuada pueden mejorar los índices y el nivel de servicio. Para redefinir las rutas de mantenimiento y la forma de planificar, es necesario identificar cuáles son los aspectos por mejorar.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos de la planta Coldeplast. Para identificar las necesidades respecto a este indicador y con ello diseñar en otra etapa los planes de mantenimiento necesarios para mantener el nivel requerido.

Objetivos específicos

1. Definir los conceptos y los sistemas que componen los procesos de la planta Coldeplast.
2. Generar la matriz de criticidad de los equipos productivos que componen los procesos de la compañía.
3. Modelar las curvas de confiabilidad de los equipos utilizando las herramientas ofimáticas.
4. Crear los diagramas de bloques de fiabilidad para comparar con la matriz de criticidad.
5. Simular la confiabilidad y disponibilidad proyectada de cada equipo en un tiempo definido.

MARCO TEORICO

- **Confiabilidad**

Uno de los dos atributos para garantizar la disponibilidad, es la confiabilidad. El estudio de la confiabilidad se originó a principios de siglo en la industria aeroespacial. Tuvo una creciente evolución hasta nuestros días con la ayuda de la industria militar, aeronáutica y nuclear. Técnicas como el “Análisis del árbol de fallos”, “Análisis del árbol de sucesos” y los “Diagramas de decisión”, utilizan la confiabilidad como herramienta clave para su desarrollo (Pistarelli, 2010).

A finales de la década del 80´ se publican las primeras normas internacionales IEC, que establecen buenas prácticas y estándares básicos de mantenimiento relacionados a seguridad funcional de sistemas tecnológicos cuyo perjuicio para la seguridad de las personas o el entorno, es alto. Además, con motivo de la aplicación de nuevas herramientas de mejora como la “Gestión de seguridad industrial basada en riesgo”, se hace necesario contar con cierta base de cálculo que soporte la teoría del análisis del riesgo (Pistarelli, 2010).

También conocida como fiabilidad, resulta ser una medida de la garantía de funcionamiento que podemos esperar de un componente al cabo de un tiempo de utilización partiendo de un estado satisfactorio. La confiabilidad inherente (diseño + mejoras) de un sistema actuando en un contexto dado, es una probabilidad que resulta de combinar las probabilidades de no falla de sus partes; sin embargo, su valor varía conforme lo hace el tiempo (Pistarelli, 2010).

Se trata de una teoría netamente estadística (regida por las leyes de la probabilidad) que se ocupa fundamentalmente de determinar cuáles son las posibilidades de que un equipo funcione sin fallas durante un periodo de utilización; sin tener en cuenta las causas que provocaron dichas fallas ni con qué frecuencia han aparecido. La confiabilidad es útil para predecir el comportamiento de un elemento (reparable o no), en función de los datos estadísticos obtenidos de otros elementos iguales o similares. Los resultados serán “confiables” en la medida que el comportamiento estadístico del elemento bajo estudio sea el mismo que aquellos pertenecientes al lote del cual se extrajo la información para estimar las variables (Pistarelli, 2010).

Por último, cabe recordar que la confiabilidad debe establecerse para un determinado contexto operativo (nivel de exigencia). Si este cambia, posiblemente también lo haga la confiabilidad (Pistarelli, 2010)

- **Diagramas de bloques funcionales**

Un diagrama de bloques funcional o un diagrama de bloques de procesos es la representación gráfica de los diferentes procesos de un sistema y el flujo de señales donde cada proceso tiene un bloque asignado y estos se unen por flechas que representan el flujo de señales que interaccionan entre los diferentes procesos. (00-40, 1994)

- **Diagramas de bloques funcionales para confiabilidad (RBD)**

Por sus siglas en inglés RBD (Reliability block diagram). Un RBD es la representación gráfica de una expresión booleana. Un RBD permite la identificación de las operaciones e interacciones que deben tener los sistemas para que se cumpla una o más funciones. (Denning, 2012)

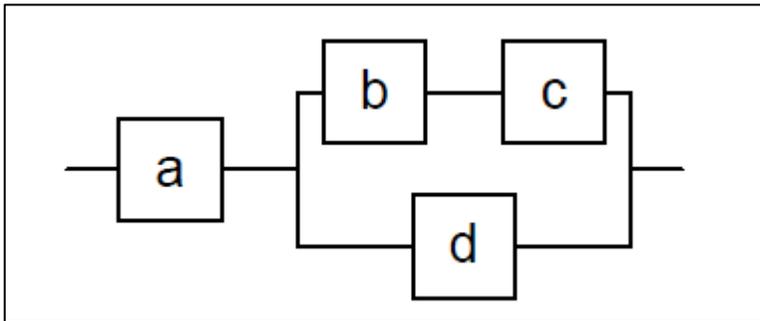


Figura 1. Ejemplo diagrama de bloques de fiabilidad. (Denning, 2012)

Antes de que se pueda realizar cualquier análisis de confiabilidad en un sistema, debe haber conocimiento de las relaciones operativas de los diversos elementos que comprenden ese sistema. La confiabilidad de un sistema no puede mejorarse ni evaluarse a menos que exista una comprensión profunda de cómo funciona cada uno de sus elementos y cómo estas funciones afectan el funcionamiento del sistema. La representación precisa de estas relaciones es una parte integral de esta comprensión y es particularmente importante para predicciones significativas, prorrateo y evaluaciones. Un diagrama de bloques de confiabilidad (RBD, por sus siglas en inglés) proporciona un método para representar esta información en un formulario, que es fácil de comprender porque es simple y tiene un impacto visual. (Denning, 2012)

Cabe señalar que un sistema o equipo puede requerir más de un RBD para describirlo. Esto es particularmente cierto en el caso de los equipos, que pueden realizar varias funciones o experimentar diferentes estados operativos durante una implementación. Un RBD puede ser requerido para cada condición particular. De hecho, el enfoque debe ser producir un RBD para una función en un estado operativo particular, en lugar de para una pieza. (Denning, 2012)

Un RBD Un RBD siempre se puede construir como grupos conectados de tres tipos:

- a) Elementos en serie.
- b) Elementos en redundancia activa.
- c) Elementos en redundancia de reserva o pasiva.

Elementos en serie

La forma más simple de un sistema para el análisis de confiabilidad es aquella en la que los elementos están conectados en serie. En este tipo de sistema, si uno o más de los elementos están desactivados, entonces el sistema está inactivo. Por ejemplo, considere el tren de fuerza de un automóvil, que comprende motor (e), caja de cambios y enlaces de transmisión (g), y dos ruedas (w1, w2). Una falla de cualquier elemento resulta en una falla del sistema. El RBD del sistema es (Denning, 2012):

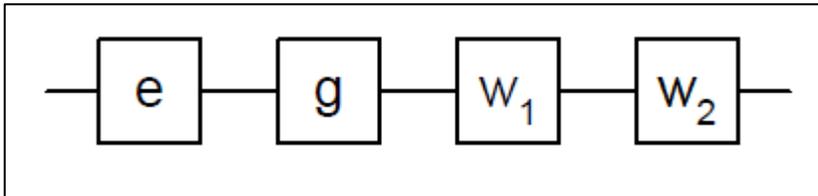


Figura 2. Ejemplo diagrama de bloques de fiabilidad en serie. (Denning, 2012)

Elementos en redundancia

Existe redundancia en un sistema si no se requiere que todos sus elementos constituyentes estén listos para el funcionamiento exitoso del sistema. Un "grupo redundante m / n" es un grupo de n elementos donde solo (cualquiera) m tiene que estar arriba para que el grupo sea considerado. Este capítulo considera dos formas de redundancia, a saber, redundancia activa y en espera. (Denning, 2012)

Redundancia activa

Se dice que un grupo de elementos está en redundancia activa si todos los elementos en el grupo están activos cuando el sistema está funcionando, pero no es necesario que todos los elementos estén activos para que el grupo esté activo. La redundancia aparece en un RBD como rutas paralelas. Por ejemplo, considere la suspensión trasera de un camión que comprende cuatro ruedas a cada lado, como se ilustra en la Figura 3. (Denning, 2012)

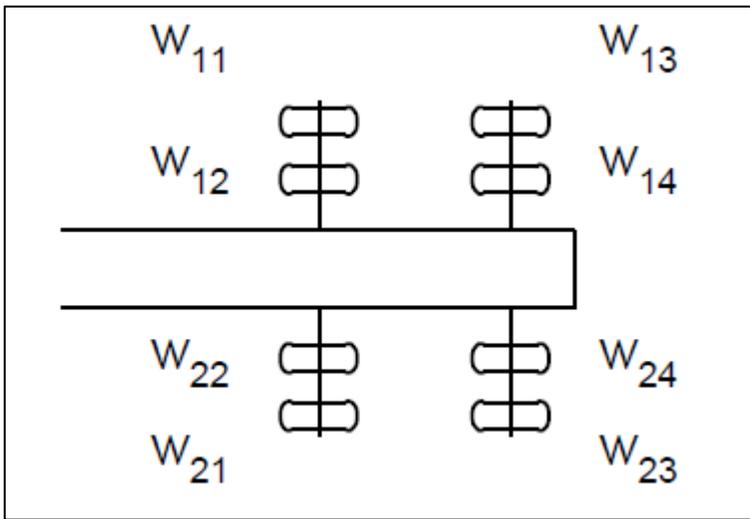


Figura 3. Ejemplo de un sistema con redundancia activa. (Denning, 2012)

Supongamos que la carga puede ser soportada por tres de cada cuatro ruedas en cada lado. Luego, el RBD para las ruedas laterales es como se muestra en la Figura 4. (Denning, 2012)

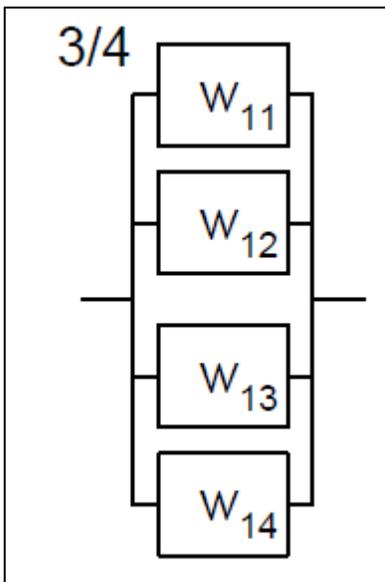


Figura 4. Ejemplo diagrama de bloque de fiabilidad para redundancia activa. (Denning, 2012)

Para las ocho ruedas consideradas como un sistema, el RBD es una combinación en serie de grupos de redundancia activa, como se muestra en la Figura 5.

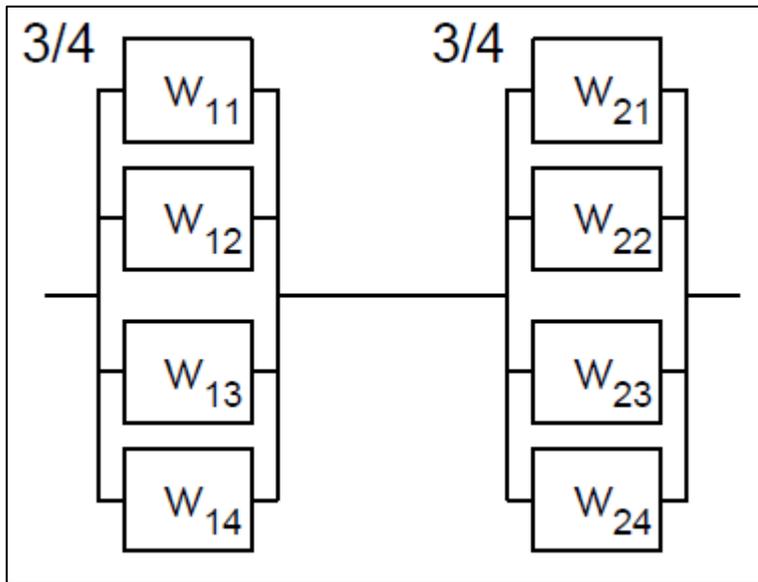


Figura 5. Ejemplo de un diagrama de bloques de fiabilidad para una combinación de un grupo de sistemas en serie. (Denning, 2012)

Redundancia en espera o pasiva

Se dice que los elementos están en un 'grupo redundante de espera m / n ' cuando solo se requiere que m de los elementos estén en un estado activo y el resto esté en un estado pasivo. Cuando un elemento activo falla, uno de los elementos pasivos se enciende en su lugar. La distribución de tiempo de falla de los elementos depende de si están en un estado activo o pasivo (la tasa de falla de un elemento en un estado activo es generalmente mucho más grande que su falla Tasa cuando se encuentra en estado pasivo). Un ejemplo de un grupo de redundancia de reserva es un automóvil con una rueda de repuesto (suponiendo que el automóvil con un neumático reventado no se considera una falla del sistema cuando hay un repuesto de trabajo). La RBD de este sistema se muestra en la Figura 6. (Denning, 2012)

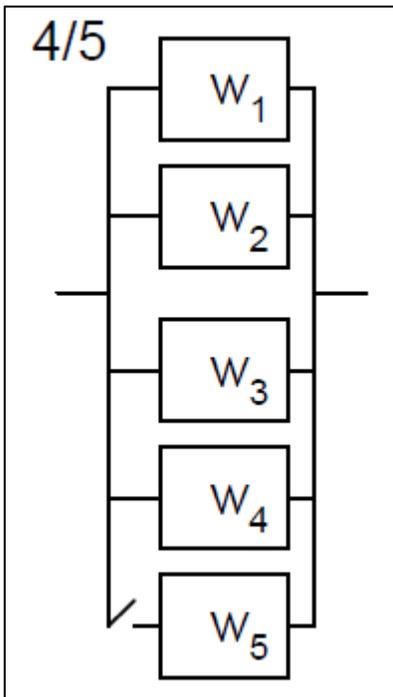


Figura 6. Ejemplo de un diagrama de bloque de fiabilidad con redundancia en espera. (Denning, 2012)

- **Funciones de distribución para confiabilidad**

Tasa de fallas

Los equipos o sistemas complejos dejan de funcionar, o lo hacen en forma incorrecta, cuando alguna de sus partes manifiesta un estado indeseable de funcionamiento. Generalmente (excepto montajes en paralelo) la manifestación de un modo de falla produce la avería total o parcial del sistema, pues se puede asumir que todos los elementos se comportan como una cadena lineal desde el punto de vista funcional, más allá de su distribución física en el conjunto del que forman parte. (Pistarelli, 2010)

Cuando hablamos de tasa de fallas λ , nos referimos en rigor a la de cada modo de fallo, cuya combinación resultara en la tasa de fallas del conjunto λ_s . (Pistarelli, 2010).

Conceptualmente la tasa de fallas es aplicable a nivel componente, es decir, la mínima parte que podemos subdividir el sistema, y al que se le pueden determinar sus modos de falla y la estadística que los gobierna. (Pistarelli, 2010)

Función de densidad

Una función de densidad de probabilidad $f(x)$ es la relación que existe entre los valores de una variable aleatoria (x), y sus probabilidades correspondientes. Esta variable aleatoria, que generalmente es el tiempo, en rigor puede representar cualquier otra magnitud como horas de marcha, ciclos, despegues o distancia recorrida. Es decir, cualquier magnitud ligada al uso. Los valores que adopta la variable aleatoria (x) pueden ser continuos o discretos. (Pistarelli, 2010)

Ley de distribución exponencial

Son muchas las leyes capaces de describir el comportamiento o aparición de los modos de falla a lo largo de la vida económica de un componente. Para el caso de variables continuas, y de acuerdo con la etapa de su vida en que se encuentre, será necesario utilizar diferentes leyes de distribución. (Pistarelli, 2010)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t > 0 \text{ y } \lambda > 0$$

La tasa de fallas λ para el caso de distribución exponencial adopta un valor constante e igual a:

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTTF}}$$

Ley de distribución normal

Otra ley de distribución es la normal, cuya función de densidad se expresa mediante:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(t-\mu)^2/2\sigma^2}$$

Donde μ es el valor esperado o media, σ la desviación estándar σ^2 la varianza. (Pistarelli, 2010)

Ley de distribución de Weibull

La ley de distribución de Weibull es la más general porque, de acuerdo con los valores que adopten sus constantes, es posible obtener otras funciones de distribución.

Su función de densidad de probabilidad queda expresada por:

$$f(t) = \alpha\beta t^{(\beta-1)} e^{-\alpha t^\beta}$$

En ella, σ y β son los parámetros de escala y forma, respectivamente. La función confiabilidad $C(t)$ para la distribución de Weibull es: (Pistarelli, 2010)

$$C(t) = e^{-\alpha t^\beta}$$

En la práctica, para obtener los valores σ y β se utilizan los métodos gráficos. (Pistarelli, 2010)

- **Aspecto económico**

El área de mantenimiento presta un servicio al resto de las actividades productivas. Las tareas técnicas y administrativas de tal servicio generan gastos operativos que deben ser controlados. Sin embargo, el control de gastos en mantenimiento no debe basarse únicamente en los costos que sólo indican resultados de corto plazo. (Pistarelli, 2010)

Cuantificar el gasto de mantenimiento y las pérdidas asociadas a los fallos es relativamente sencillo; estimar los ahorros por un buen desempeño en la gestión, no es costumbre y resulta bastante más difícil. (Pistarelli, 2010)

- **Análisis de criticidad**

El análisis de criticidad integral de activos físicos permite establecer jerarquías o prioridades en instalaciones industriales, sistemas, equipo y dispositivos, considerando la contribución del riesgo total asociado al proceso o negocio. La metodología genera una estructura que facilita tomar decisiones, direccionar acciones y recursos; hacia las áreas operacionales, considerando distintas situaciones desde la perspectiva del impacto en el negocio. Se fundamenta en experiencias prácticas y la aplicación de estudios de criticidad en plantas de proceso e instalaciones industriales, además de metodologías para análisis de criticidad, tales como: método de Ciliberti, estándar Norsok Z-008, mantenimiento basado en criticidad, análisis de inspección basada en riesgo (según Norma API 581) entre otras. Estas distintas metodologías se integran en un análisis para determinar el nivel de riesgo de equipos dinámicos, equipos estáticos, elementos eléctricos y los instrumentos. La metodología permite jerarquizar activos a través de un análisis semicuantitativo de riesgo conocido como "Análisis de Criticidad", lo cual facilita determinar niveles de riesgo desde la perspectiva: seguridad, higiene y ambiente, y desde la perspectiva: impacto en los procesos, usando como insumo las matrices de riesgo de las empresas o diseños particularizados obtenidos de la jerarquización de los activos en función del riesgo. (Barlat, 2013)

Los criterios que se tienen en cuenta para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, producción, costo de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. (Barlat, 2013)

Esta técnica es utilizada como una metodología estándar para evaluar subjetivamente peligros en cuanto a sus riesgos. Su aplicación es para evaluar el riesgo de accidentes, más no para identificar accidentes. (Barlat, 2013)

El riesgo para un peligro dado puede ser expresado en términos de una expectativa de pérdida, la combinación de severidad y probabilidad de pérdida, o la tasa a largo plazo de la pérdida. El riesgo es el producto de severidad y probabilidad (eventos de pérdida por unidad de tiempo o actividad. (Barlat, 2013)

- **Indicadores de gestión en mantenimiento**

Los actuales modelos de gestión se valen de indicadores para medir el comportamiento de los procesos industriales y tomar decisiones en consecuencia. Su utilización no es sólo

cuestión de moda; es una necesidad objetiva entendida, cada vez, por más cantidad de gente. (Pistarelli, 2010)

La aplicación de indicadores en el área de mantenimiento permite, por un lado, conocer cuál es el estado actual de la situación (la realidad) y saber si las estrategias y políticas vigentes son las apropiadas para el negocio. También, y si los indicadores son correctos, permite evidenciar las variaciones -para bien o mal – en la efectividad de los procesos y proponer alternativas de mejora para aquellos con mayor debilidad. (Pistarelli, 2010)

La selección del paquete de indicadores para cada caso debe partir de un entendimiento claro de cada índice, de su jerarquización y escalonamiento en el grupo, y de la distribución que se haga de ellos en los distintos procesos del área. La medición y control del mantenimiento deben ser permanentes; un seguimiento periódico de los indicadores, así como ajuste y optimización, facilita el logro de resultados confiables y consistentes. Por el contrario, las evaluaciones aisladas o esporádicas no dejan capitalizar el beneficio potencial que un buen paquete de índices puede tener. (Pistarelli, 2010)

Hay quienes aún suponen que llevar indicadores de gestión es una tarea impuesta por el personal administrativo, “los que están detrás de un escritorio”. Sin embargo, es fácil ver que todo proceso (industrial o no) puede mejorarse sólo si se identifican objetivamente las áreas de oportunidad y las causas que impiden su proceso. (Pistarelli, 2010)

A continuación, se presenta una lista de propiedades que todo indicador debe cumplir.

- Medir procesos que efectivamente sean necesarios de controlar y mejorar.
- Ser sensible a los cambios del proceso que mide.
- Ser confiable para poder tomar decisiones de importancia.
- Permitir que se focalicen los puntos de mayor debilidad del proceso.
- Satisfacer las perspectivas de los responsables del indicador.
- Estar alineado con los objetivos corporativos (de la empresa y de mantenimiento).
- Tener baja dificultad de cálculo.
- Tener baja dificultad de comprensión.
- Ser atractivo para los involucrados en el proceso (de la empresa y de mantenimiento). (Pistarelli, 2010)

Algunos de estos indicadores son:

1. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Este parámetro establece el periodo promedio entre dos fallas de un elemento en un contexto de funcionamiento dado; las letras MTBF corresponden a meantime between failures. (Tavares, 2000)

Cuando nos referimos a un elemento este puede ser un equipo o un sistema complejo, con la condición de que se repara luego de la ocurrencia de la falla. (Tavares, 2000)

Si se trata sólo de un Ítem, matemáticamente puede expresarse como el tiempo establecido para operar (T_0), menos el tiempo por paradas no programadas (T_{np}), dividido el número total de fallas (Cf) detectadas durante el tiempo de operación. (Tavares, 2000)

Ecuación (1)
$$MTBF = \frac{T_0 - T_{np}}{Cf}$$

En algunos casos suele aplicarse para analizar un conjunto de Ítems independientes:

Ecuación (2)
$$MTBF = \frac{(T_0 \cdot n) - \sum_{i=1}^n T_{np(i)}}{\sum_{i=1}^n Cf(i)}$$

Siendo n la cantidad de equipos considerados y T_0 el mismo para todos los Ítems.

2. Tiempo medio para reparación (MTTR)

En su forma más general, el tiempo medio para reparación (*meantime to repair*) es la relación entre el tiempo total de intervenciones por restauración T_{tr} , y el número total de reparaciones C_r . Es aplicable, además, para un conjunto de Ítems cuyas características sean similares y cuando se trata de la misma reparación. (Pistarelli, 2010)

Ecuación (3)
$$MTTR = \frac{T_{tr}}{C_r}$$

Este índice debe aplicarse a equipos cuyo tiempo de reparación es significativo con respecto al tiempo de operación. La inversa del MTTR suele tomarse como un indicador de mantenibilidad y se denomina tasa de reparación ε . (Pistarelli, 2010)

Ecuación (4)
$$\varepsilon = \frac{1}{MTTR}$$

3. Disponibilidad operacional

Se define disponibilidad operacional de un equipo, conjunto de equipos o línea de producción, al porcentaje del tiempo en que estuvo disponible para el proceso de operación en las condiciones de seguridad y calidad establecidas. (Pistarelli, 2010)

La disponibilidad operativa se define por:

Ecuación (5)
$$D_o = \frac{(T_0 - T_{np})}{T_0} \times 100$$

Donde T_o es el tiempo disponible para operar y T_{np} el tiempo de paradas no programadas. T_o no tiene en cuenta el tiempo programado para mantenimiento o cualquier otro aspecto productivo como cambios de marca, calibre, producto, etc. (Pistarelli, 2010)

Para aquellos equipos que se reparan luego de la detención, y considerando un tiempo suficientemente grande en comparación con el resto de las variables, suelen utilizarse también la expresión. (Pistarelli, 2010)

Ecuación (6)
$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100$$

4. Confiabilidad

Se define confiabilidad $C(t)$ a la probabilidad de que un componente o equipo satisfaga las funciones establecidas sin fallas durante un tiempo dado y en un contexto definido.

Dada una ley de densidad de fallas del tipo $f(t)$ continua, la probabilidad de que se produzca un fallo en el intervalo $[t_0; t_1]$, es decir la “des confiabilidad”, será: (Pistarelli, 2010)

Ecuación (7)
$$F(t) = \int_{t_0}^{t_1} f(t) dt$$

Si $F(t)$ es la probabilidad de que se produzca un fallo, $1-F(t)$ es la probabilidad de que no ocurra.

Ecuación (8)
$$C(t) = 1 - F(t)$$

ESTADO DEL ARTE

Durante los últimos cincuenta años, ha habido cambios radicales en tecnología, de administración y de mercadeo. Esto ha generado una revolución en el uso de métodos estadísticos para mejorar la calidad de los productos y servicios. Una extensión natural de lo que ha pasado en el mundo de la calidad se manifiesta en un cambio de enfoque hacia la mejora de la confiabilidad. En una forma práctica, confiabilidad se define como "calidad a través del tiempo." Los administradores, ingenieros y los mismos consumidores se han convencido que buena confiabilidad es una característica indispensable para tener la oportunidad de competir en los mercados globalizados, complejos y sofisticados de hoy en día. En este artículo hacemos una breve reseña histórica de la confiabilidad, presentamos algunas herramientas estadísticas usadas en ingeniería de confiabilidad y anticipamos futuros desarrollos de la estadística aplicados a esta rama importante de la ingeniería. (Universidad Nacional de Colombia , 2003).

El área de la ingeniería de confiabilidad y la metodología estadística relacionada han estado creciendo continuamente durante los últimos 50 años. Sin embargo, se necesita desarrollar más métodos estadísticos, procedimientos de recolección de información, planes de ensayo y herramientas enfocadas a la confiabilidad de sistemas y componentes. Con el cambio continuo de la tecnología, el conocimiento científico creciente y las nuevas fuentes de información y datos, surgen nuevos problemas y retos de gran interés. La estadística continuará desempeñando un papel fundamental en el área de la confiabilidad (Universidad Nacional de Colombia , 2003).

Las organizaciones enfrentan numerosos desafíos, uno de ellos es preservar los activos físicos (infraestructuras, sistemas, equipos, etc.) empleados en los procesos comerciales, productivos y de servicios. Además, esos activos necesitan de actualizaciones tecnológicas y automatizaciones, que introducen mejoras para permitir con ello que los mismos puedan continuar cumpliendo durante su ciclo de operaciones las demandas que le son requeridas. Durante el ciclo de vida de los activos físicos las empresas intentan preservarlos a través de planes y programas de mantenimiento, tomando decisiones y considerando que eventualmente los mismo degradaran sus condiciones además de hacerlos obsoletos. (Barlat, 2013).

En el ambiente altamente competitivo de las empresas, su aproximación hacia el deber ser del mantenimiento está caracterizado por una serie de factores que la han obligado a cambiar su forma tradicional de desarrollar sus operaciones. Las empresas requieren adaptarse rápidamente a realidades nuevas y complejas, la rapidez de los cambios las obliga a tomar decisiones e invertir, y ello se hace en muchas ocasiones basándose en información incompleta, incierta o imprecisa. Además, tienen que cumplir al mismo tiempo con las exigencias de producir a menor costo y con mayores niveles de calidad y confiabilidad. (Barlat, 2013).

Durante años empresas en diferentes sectores se limitaban al diseño de sus planes de mantenimiento pensando en las recomendaciones de los fabricantes, con base a las fallas ocurridas y en la experiencia operacional interna y externa. Adicionalmente se divorciaba al operador de las actividades de mantenimiento de los equipos. Esta práctica a generado una visión incompleta de: los requerimientos reales de mantenimiento a los activos físicos, de las consideraciones en los niveles de riesgo asociados a SHA (seguridad, higiene y

ambiente), del impacto en los procesos y de la condición de los denominados equipos estáticos, específicamente en estos últimos en lo referido a la selección de las estrategias de inspección y frecuencias. (Barlat, 2013).

El reconocimiento en las limitaciones de los diseños tradicionales de planes de mantenimiento permitió el nacimiento de nuevas metodologías como “mantenimiento centrado en confiabilidad”, “inspección basada en riesgo”, “Análisis de criticidad para propósitos de mantenimiento” y “Diseño de planes y programas de activos basados en confiabilidad”. (Barlat, 2013).

El mantenimiento basado en criticidad equilibra el nivel de criticidad desde la óptica del proceso, genera un reporte de criticidad que establece un rendimiento de la inversión (de las organizaciones) (Barlat, 2013).

METODOLOGIA

1. Taxonomía de equipos

Para la construcción de la taxonomía de equipos de la planta Coldeplast, utilizaremos la norma ISO 14224. Esta norma permite construir la estructura de una organización con el nivel de detalle que se requiera.

Categoría principal	Nivel	Descripción	Definición	Ejemplos
Datos de uso /Localización	1	Industria	Tipo principal de industria	Petróleo, petroquímico, alimentos, minería
	2	Categoría del negocio	Tipo de negocio o proceso	Extracción, producción, refinación, petroquímica
	3	Categoría de instalación	Tipo de facilidad	Producción, transporte, perforación
	4	Planta /Unidad	Tipo de planta o unidad	Plataforma, estación de compresión, planta de metanol
	5	Sección/ Sistemas	Sección principal/Sistemas de la planta	Compresión, licuefacción, regeneración, oxidación
Subdivisión de equipos	6	Clase de equipo/Unidad	Clase de equipos similares. Cada clase contiene unidades de equipos comparables	Intercambiador de calor, compresor, tubería, bomba, caldera
	7	Sub sistema	Subsistema necesario para que el equipo funcione	Lubricación, enfriamiento, control, calentamiento
	8	Componente/Ítem mantenible	Grupo de partes del equipo que son mantenidos (Reparados/restaurados) como un todo	Enfriador, reductor, bomba de aceite, loop de instrumentos, válvula
	9	Parte (opcional)	Una pieza o repuesto de un equipo	Sello, tubo, carcaza, impeler

Tabla 1. Niveles de construcción taxonomía de equipos. (AENOR, 2016)

De acuerdo con las indicaciones de la ISO 14224 se definen los niveles de taxonomía de los sistemas, adaptado a los alcances del trabajo.

Nivel 1. Industria: la empresa está ubicada en el sector plástico.

Nivel 2. Categoría del negocio: producción.

Nivel 3. Categoría de la instalación: en nuestro caso se definió para Coldeplast, en próximos trabajos se espera abordar la empresa Microplast perteneciente al mismo grupo.

Nivel 4. Planta/unidad: para este nivel se dividió la empresa en sistemas productivos y servicios auxiliares:

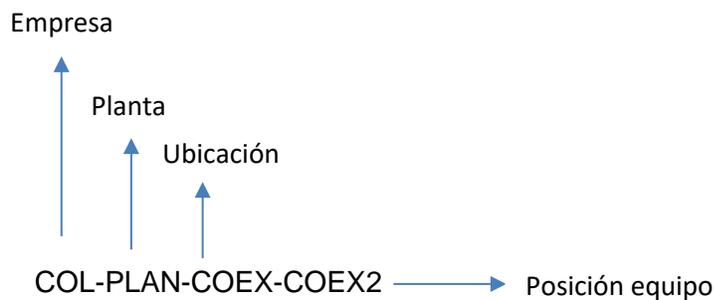
- Sistemas productivos.

Nivel 5. Sección/sistema: en este nivel se identifican los sistemas y equipos priorizando de acuerdo con el impacto que puedan tener en la operación:

Sistemas productivos:

- Coextrusión.
- Impresión.
- Corte.
- Sellado.

Nivel 6. Clase de equipo/unidad: en este nivel se clasificaron los equipos por su función y localización, se enumeran los activos de acuerdo con el emplazamiento que tienen en el ERP de la compañía (SAP).



N°	Nivel	Carácter	Código
1	Industria	Plásticos	PLA
2	Categoría del negocio	Producción	PRO
3	Categoría de la instalación	Coldeplast	COL
4	Planta/Unidad	Planta	PLAN

5	Sección/Sistema	Coextrusión	COEX
6	Clase de equipo	Coextrusora 2	COEX 2

Tabla 2. Ejemplo de categorización.

2. Matriz de criticidad

2.1 Términos y conceptos de análisis de criticidad

Para dominar el lenguaje de la metodología de análisis de criticidad, se deben conocer los siguientes términos y conceptos:

- **¿Qué es el análisis de criticidad?**

Es una metodología que permite establecer jerarquías entre:

- ✓ Instalaciones.
- ✓ Sistemas.
- ✓ Equipos.
- ✓ Elementos de un equipo.

De acuerdo con su impacto total en el negocio, obtenido del producto de la frecuencia de fallas por la severidad de su ocurrencia, sumándole sus efectos en la población, daños al personal, impacto ambiental, pérdida de producción y daños en la instalación.

Además, apoya la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento, ejecución de proyectos de mejora, rediseños con base en el impacto en la confiabilidad actual y en los riesgos.

- **Definición Activo**

Término contable para cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja. Puede ser humano, físico y financiero intangible. Por ejemplo: el personal, Centros de trabajo, Plantas y equipos entre otros.

- **Acción/ recomendación**

Es la asignación para ejecutar una tarea o serie de tareas para resolver una causa identificada en la investigación de una falla o problema.

- **Análisis de criticidad de modo de falla y efectos (FMECA, failure mode, effects and criticality analysis)**

Es un método que permite cuantificar las consecuencias o impacto de las fallas de los componentes de un sistema, y la frecuencia con que se presentan para establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando mayor repercusión en la funcionalidad, confiabilidad, mantenibilidad, riesgos y costos totales, con el fin de mitigarlas o eliminarlas por completo.

- **Causa de falla**

Circunstancias asociadas con el diseño, manufactura, instalación, uso y mantenimiento que hayan conducido a una falla.

- **Confiabilidad operacional**

Es la capacidad de un activo (representado por sus procesos, tecnología y gente) para cumplir sus funciones o el propósito que se espera de este, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional determinado.

- **Consecuencia**

Resultado de un evento. Puede existir una o más consecuencias de un evento, las cuales sean expresadas cualitativa o cuantitativamente. Por ello, los modelos para el cálculo deben considerar los impactos en seguridad, higiene, ambiente, producción, costos de reparación e imagen de la empresa. (Pistarelli, 2010)

- **Consecuencia de una falla**

Se define en función a los aspectos que son de mayor importancia para el operador, como el de seguridad, el ambiental y el económico.

- **Contexto operacional**

Conjunto de factores relacionados con el entorno; incluyen el tipo de operación, impacto ambiental, estándares de calidad, niveles de seguridad y existencia de redundancias.

- **Criticidad**

Es un indicador proporcional al riesgo que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, y permite direccionar el esfuerzo y los recursos a las áreas donde es más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad y administrar el riesgo.

- **Defecto**

Causa inmediata de una falla: desalineación, mal ajuste, fallas ocultas en sistemas de seguridad, entre otros.

- **Efecto de falla**

Describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla.

- **Falla**

Terminación de la habilidad de un ítem para ejecutar una función requerida.

- **Falla funcional**

Es cuando el ítem no cumple su función de acuerdo con el parámetro que el usuario requiere.

- **Jerarquización**

Ordenamiento de tareas de acuerdo con su prioridad.

- **Modo de falla**

Es la forma por la cual una falla es observada. Describe de forma general como ocurre y su impacto en la operación del equipo. Efecto por el cual una falla es observada en un ítem fallado. Hechos que pueden haber causado cada estado de falla.

- **Mecanismo de falla**

Proceso físico, químico u otro que ha conducido un deterioro hasta llegar a la falla.

- **Prioridad**

La importancia relativa de una tarea en relación con otras tareas.

- **Riesgo**

Este termino de naturaleza probabilística está definido como la “Probabilidad de tener una perdida”. Comúnmente se expresa en unidades monetaria. Matemáticamente se expresa como:

Ecuación 9.

$$R(t) = P(t) \times C$$

Donde:

$R(t)$ es el riesgo en función del tiempo, $P(t)$ es la probabilidad de ocurrencia de un evento en función del tiempo, y C sus consecuencias.

- **Flexibilidad operacional**

Este factor sirve como elemento corrector del factor de producción. Su inclusión está fundamentada en recoger la redundancia operacional de los equipos, es decir, la existencia de equipos de respaldo. Cuando mayor sea este factor menor será el riesgo para la producción.

2.2 Descripción de la metodología de análisis de criticidad

Para realizar el análisis de criticidad se deben seguir los siguientes pasos:

- **Paso 1. Definir el nivel de análisis:**

Se deberán definir los niveles en donde se efectuará el análisis: instalación, sistema, equipo o elemento, de acuerdo con los requerimientos o necesidades de jerarquización de activos.

En nuestro caso será a nivel de equipos. En futuros trabajos se espera desarrollarlo a nivel de componentes. Los niveles de análisis se pueden visualizar en la figura 7.

Información necesaria:

Se requiere contar con la siguiente información para realizar el análisis:

- Relación de las instalaciones (se refiere al tipo de instalaciones).
- Relación de sistema y equipo por instalación (se refiere a diferentes tipos de sistemas y equipo).
- Ubicación (área geográfica, región) y servicio.
- Filosofía de operación de la instalación y equipo.
- Diagramas de flujo de procesos.
- Registros disponibles de eventos no deseados o fallas funcionales.
- Frecuencia de ocurrencia de los eventos no deseados o las fallas consideradas en el análisis.
- Registros de los impactos en producción (% de pérdida de producción debido a la falla del elemento, equipo, sistema o instalación en estudio, producción diferida y costos relacionados).
- Registros en los impactos en la seguridad de los procesos.

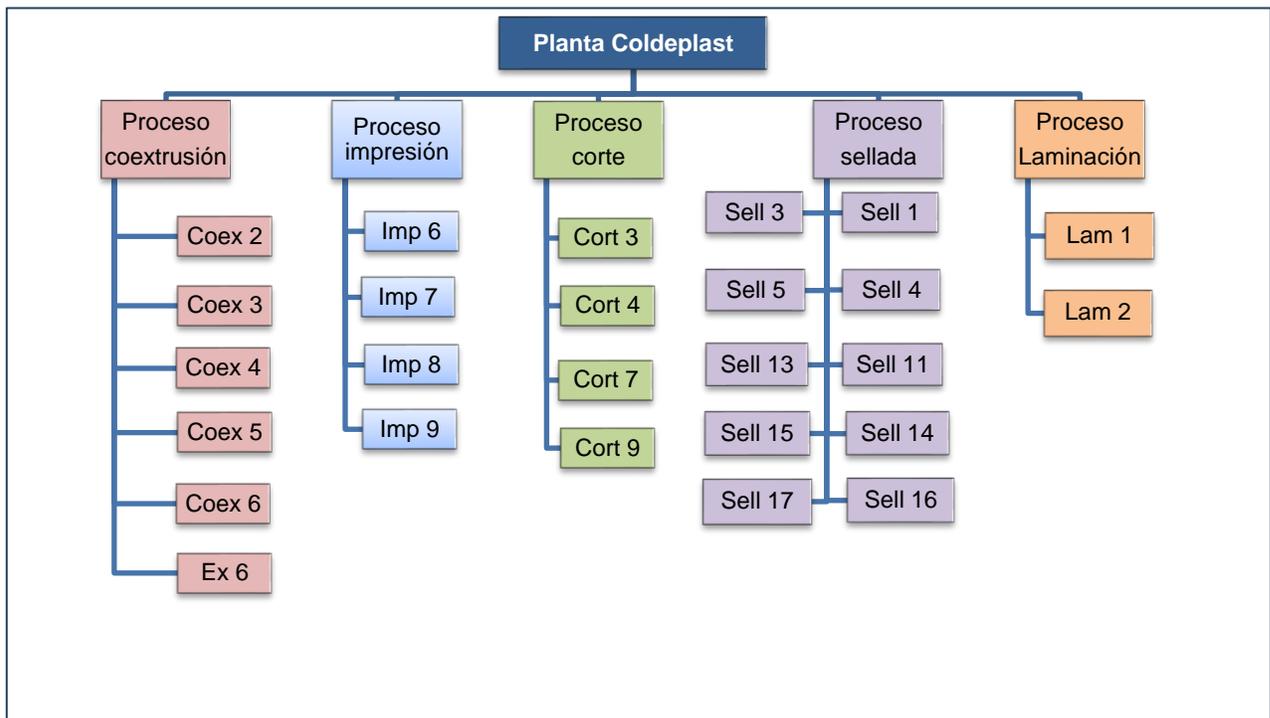


Figura 7. Estructura procesos productivos.

- **Paso 2. Valoración de la deficiencia con los controles actuales.**

ESCALA DE DEFICIENCIA	
Descriptor	Descripción
0	Los controles actuales mitigan por completo el peligro o amenaza.
2	Los controles actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.
6	Los controles actuales dejan una alta probabilidad de ocurrencia del peligro.
10	Los controles actuales no son eficaces contra el peligro reportado y no se controla la ocurrencia de este.

Tabla 3. Escala de deficiencia.

Esta tabla es exponencial como sería el nivel de probabilidad del riesgo en el caso de materializarse para hacer más crítico lo que no se pueda controlar.

- **Paso 3. Estimación escala de exposición:**

La estimación de la frecuencia de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas se realiza utilizando criterios y rangos preestablecidos.

Estimación de la frecuencia de la falla funcional: para cada equipo puede existir más de un modo de falla, el más representativo será el de mayor impacto en el proceso o sistema. La frecuencia de ocurrencia del evento se determina por el número de eventos por mes y años.

La siguiente tabla muestra los criterios para estimar la escala de exposición.

Se utiliza el tiempo promedio entre fallas (MTBF por su siglas en inglés, mean time between failure) o la frecuencia de falla en un número de eventos por meses, en caso de no contar con esta información se recomienda utilizar bases de datos con equipos similares o componentes y si no está disponible basarse en la opinión de expertos.

ESCALA DE EXPOSICIÓN				
Descriptor	Descripción	Tiempo promedio entre fallas MTBF, en meses	Numero de fallas por meses	Interpretación
1	Remoto	10 \leq MTBF < 20	$0,05 < \lambda$ $\leq 0,1$	Es probable que ocurran varias fallas en 20 meses, pero poco probable que ocurran en 10 meses.
2	Posible	$5 \leq$ MTBF < 10	$0,1 < \lambda$ $\leq 0,2$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 meses, pero poco probable que ocurran en 5 meses.
3	Frecuente	$1 \leq$ MTBF < 5	$0,2 < \lambda$ ≤ 1	Es probable que ocurran varias fallas en 5 meses, pero es poco probable que ocurran en 1 mes.
4	Recurrente	MTBF < 1	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un mes

Tabla 4. Criterios para estimación de la escala de exposición.

- **Paso 4. Valoración de la frecuencia.**

Es la multiplicación de la deficiencia (Probabilidad) por la exposición (ocurrencia), obteniendo un numero cuyo mayor valor es 40.

Nivel de Probabilidad (NP)	NP	Significado
Muy Alto (MA)	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continua, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
Alto (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en la vida laboral.
Medio (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez.
Bajo (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica, o situación sin anomalía destacable con cualquier nivel de exposición. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible.

Tabla 5. Nivel de probabilidad.

- **Paso 5. Estimación de las consecuencias.**

Para la estimación de las consecuencias o impactos de la falla, se emplean los siguientes criterios y sus rasgos preestablecidos.

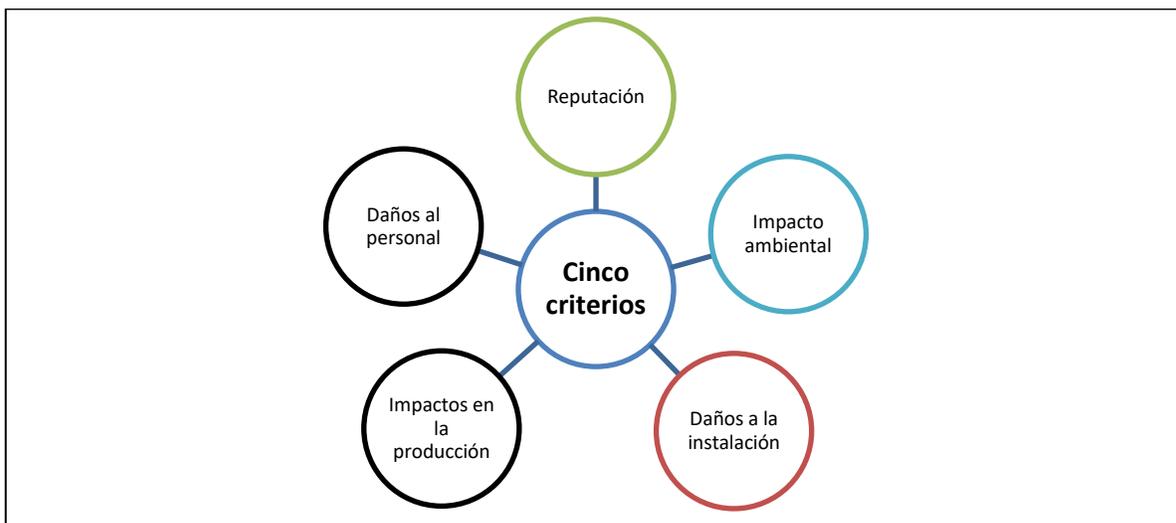


Figura 8. Criterios para la estimación de consecuencias.

Los daños al personal, al ambiente, reputación, impactos en la producción y daños a la instalación serán categorizados considerando los criterios que se indican en la tabla categoría de los impactos.

Los impactos en la producción IP cuantifican las consecuencias que los eventos no deseados generan sobre el negocio. Este criterio se evaluará considerando los siguientes factores: tiempo medio para reparar MTTR (por sus siglas en inglés, mean time to repair), producción diferida, costos de producción.

IP = (Producción diferida x MTTR x Costo unitario del producto x Factor Flexibilidad operacional)

El valor resultante permitirá categorizar el IP de acuerdo con los criterios de la tabla Categoría de los impactos.

Los impactos asociados a daños de las instalaciones (DI) se evaluarán considerando los siguientes factores:

- Equipos afectados.
- Costos de reparación.
- Costos de reposición de equipos.

DI = (Costos de reparación + Costos de reposición de equipos)

El valor resultante permitirá categorizar el DI de acuerdo con los criterios de la tabla de categoría de los impactos.

ESCALA DE IMPACTO						
NIVEL DE CONSECUENCIA (NC)		Daños al personal	Reputación	Impacto ambiental	Impactos en la producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
Crítico	100	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Conocimiento externo y divulgación adversa en medios y Redes Sociales de Amplia cobertura o Líderes de opinión.	Daños irreversibles al medio ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Disminución en el EBITDA presupuestado superior al 6%.	Disminución en el EBITDA presupuestado superior al 6%.

Grave	60	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Conocimiento o externo y divulgación adversa en medios y Redes Sociales de baja cobertura.	Daños reversibles en el medio ambiente, pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	Disminución en el EBITDA presupuestado o mayor al 3% e inferior o igual al 6%.	Disminución en el EBITDA presupuestado o mayor al 3% e inferior o igual al 6%.
Moderado	25	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión Laboral.	Conocimiento o interno, o Externo por terceros diferentes a medios de comunicación.	Daños ambientales reversibles, sin violación de leyes y regulaciones. La restauración puede ser acumulada.	Disminución en el EBITDA presupuestado o mayor al 1% e inferior o igual al 3%	Disminución en el EBITDA presupuestado o mayor al 1% e inferior o igual al 3%
Leve	10	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Conocimiento o interno	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	Disminución en el EBITDA presupuestado o menor o igual a 1%	Disminución en el EBITDA presupuestado o menor o igual a 1%

Tabla 6. Categoría de los impactos.

De la tabla categoría de los impactos, el valor ubicado en la columna categoría se asignará a las consecuencias, y este se empleará para realizar el cálculo del nivel de criticidad. El impacto o consecuencia total de una falla se determina sumando los valores de las categorías correspondientes a cada columna o criterio multiplicado por el valor de la categoría obtenida de la tabla que determina la frecuencia de ocurrencia de falla.

- **Paso 6. Calculo criticidad.**

Para determinar la criticidad de una unidad o un equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla.

En un eje se representa nivel de probabilidad (**NP**) de fallas y en otro los impactos o nivel de consecuencias (**NC**) en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla.

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el valor de criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

MATRIZ DE CRITICIDAD					
Nivel de Riesgo y de intervención NR = NP X (SUMA-NC)		Nivel de Probabilidad (NP)			
		40-24	20-10	8-6	4-2
Nivel de Consecuencias (NC)	500	I 20000 -12000	I 10000-5000	I 4000-3000	II- III 2000-1000
	300	I 12000-7200	I 6000-3000	II 2400-1800	II - III 1200 - 600
	125	I 5000-3000	II 2500-1250	III 1000-750	III 500-250
	50	II 2000-1200	III - II 1000-500	III 400-300	III - IV 200- 100

Tabla 7. Matriz de criticidad

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de esta, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Una vez obtenido el valor de la criticidad, se busca en la matriz de criticidad diseñada, para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos.

- **Paso 7. Interpretación del nivel de riesgo.**

INTERPRETACIÓN DEL NIVEL DEL RIESGO	NR	Significado
I	20000-3000	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
II	2500-1000	Corregir y adoptar medidas de control inmediato.
III	1000-500	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	500 - 100	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aún es tolerable.

Tabla 8. Interpretación del nivel de riesgo.

Riesgo I: Se entenderá un riesgo de categoría I cuando el nivel de la valoración sea mayor o igual a 3000.

Riesgo II: Se entenderá un riesgo de categoría II cuando el nivel de la valoración este entre 1000 y 2500.

Riesgo III: Se entenderá un riesgo de categoría III cuando el nivel de la valoración este entre 500 y 1000.

Riesgo IV: Se entenderá un riesgo de categoría IV cuando el nivel de la valoración sea menor o igual a 500.

- **Paso 8. Análisis y validación de los resultados:**

Los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir acciones para minimizar los impactos asociados a los modos de falla identificados que causan la falla funcional.

Este análisis final permitirá validar los resultados obtenidos, a fin de detectar cualquier posible desviación que amerite la reevaluación de la criticidad.

- **Paso 9. Definir el nivel de análisis:**

El resultado obtenido de la frecuencia de ocurrencia por el impacto permite “jerarquizar” los problemas, componentes, equipos, sistemas o procesos, basado en la criticidad. El cuál es el objetivo de la aplicación de la metodología.

La valoración del nivel de criticidad y la identificación de los activos más críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo ameriten, así como gerenciar las acciones de mitigación del riesgo en elementos y subsistemas, considerando su impacto en el proceso.

- **Paso 10. Determinar la criticidad:**

Permite complementar la metodología, sin formar parte de esta. Cuando en la evaluación de un activo obtenemos frecuencias de ocurrencias altas, las acciones recomendadas para llevar la criticidad de un valor más tolerable deben orientarse a reducir la frecuencia de ocurrencia del evento. Si el valor de criticidad se debe a valores altos en alguna de las categorías de consecuencias, las acciones deben orientarse a mitigar los impactos que el evento (modo de falla o falla funcional) puede generar.

Dentro de las acciones o actividades que se recomiendan, se pueden incluir la aplicación de otras metodologías de Confiabilidad, con el objeto de:

Identificar las causas raíz de los eventos no deseados, y recomendar acciones que las eliminen mediante el análisis de causa raíz.

Mitigar los efectos y consecuencias de los modos de falla y frecuencia de las fallas por medio de las herramientas como; mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) e inspección basada en riesgo (IBR).

Complementar y/o validar los resultados mediante el CDM (análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad).

- **Paso 11. Sistema de seguimiento de control:**

Después de la selección de las mejoras de las acciones de mejora en las frecuencias de ocurrencia de los eventos y mitigación de impactos se debe crear y establecer en seguimiento y control, para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones consecuentes.

Los objetivos de seguimiento y control son:

Asegurar la continuidad en el tiempo de la aplicación de los planes de acción resultantes de la aplicación de la metodología Análisis de Criticidad.

Promover la cultura de la recolección de datos en todos los niveles de la empresa.

Monitorear los cambios o mejoras que pueden derivarse de la aplicación de las acciones generadas como resultados de los análisis para determinar si requiere un nuevo análisis.

- **Paso 12. Análisis y validación de los resultados:**

Se debe crear un expediente, con los registros y documentos resultantes de la aplicación de los análisis de criticidad realizados a las instalaciones, sistemas, equipos y componentes.

3. Ajuste distribuciones de probabilidad para el MTBF y MTTR

Para el modelamiento de la ruta crítica de la compañía de acuerdo con los niveles de confiabilidad y disponibilidad, se utilizará el software Stat Graphics con el fin de determinar la distribución que más se adapte al perfil de fallas de cada equipo productivo.

El análisis estadístico se realiza con base en los datos históricos de las máquinas, usando la información recopilada de 5 años atrás. La información depositada en el sistema de mantenimiento es la siguiente:

- Numero de fallas
- Tiempo maquina programada
- Tiempo paros por razones de mantenimiento
- Tiempo medio entre fallas (MTBF)

- Tiempo medio entre reparaciones (MTTR)

Una vez recopilada y depurada toda la información procederemos a tabular los datos en el Software STATGRAPHICS y ajustar las distribuciones buscando la curva de probabilidad que más se adapte al perfil de fallas de los equipos y al tiempo medio para reparar.

4. Generación diagramas de bloques de confiabilidad

Para la generación de los diagramas de bloques de fiabilidad utilizaremos la herramienta Raptor. El cual, es un software que nos permite mediante diagramas de flujo establecer cuáles son las rutas críticas de los procesos con el fin de identificar donde están las debilidades del sistema y su comportamiento en el tiempo.

Con este tipo de gráficos y con el impacto que generan para la compañía los comportamientos indeseados de los equipos considerados de alto impacto, se establecerán las rutas críticas y los planes de contingencia a seguir para evitar consecuencias negativas como: accidentes en personas, desperdicios, tiempo improductivo y afectación de la imagen corporativa por incumplimiento en las entregas.

Los equipos productivos estarán ligados a un bloque que los caracteriza, estos bloques serán configurados en el software de acuerdo con las necesidades, es decir en serie o paralelo o representando la dependencia o independencia de los procesos contiguos.

5. Simulación de la confiabilidad proyectada para los equipos en un tiempo definido

La simulación de la confiabilidad en el tiempo pretende determinar en varios intervalos de producción definidos, la confiabilidad de cada equipo y de la planta en general. En nuestro caso se realizará la simulación utilizando herramientas ofimáticas, donde se ingresarán los parámetros de las curvas de distribución que mejor se ajustan a los equipos de acuerdo a la tasa de fallas obtenida de las bases de datos en 5 años. La configuración de los bloques de fiabilidad dependerá de las necesidades productivas.

Para el análisis de confiabilidad se deben determinar fronteras o límites que permitan definir los alcances con el fin de obtener datos cercanos a la realidad. Varios de los límites impuestos en este análisis son. Primero, se asumieron repuestos infinitos de tal manera que no se tiene en cuenta la afectación de la cadena de suministros en la velocidad de respuesta del departamento de mantenimiento. Segundo, se estimó que la confiabilidad humana es del 100% y que no se cometerían errores en las reparaciones y por lo tanto no se vería afectada la eficacia de los trabajos. Tercero, se asumió que los bloques que representan cada equipo son independientes. Este supuesto quiere decir que si uno de los equipos falla no tendría afectación en el otro y por lo contrario continuaría operando sin ningún problema. En el entorno empresarial real existen interacciones fuertes en los sistemas conformados por equipos, y la afectación en uno de estos puede opacar el desempeño de una línea entera si no se tiene una configuración que permita la flexibilidad operacional y la capacidad de reaccionar ante eventos indeseados.

Se realizarán simulaciones de los diagramas de bloques de fiabilidad conectados en paralelo para el caso de las máquinas, en el caso de los procesos se realizará la salida de la planta configurándolos en serie.

De acuerdo con el contexto operacional de la compañía, se configurarán los tiempos de simulación de confiabilidad y disponibilidad desde 100 horas hasta 500 horas, en intervalos de 100 horas. El número de veces que se espera simular es de 30 corridas, esto representa que durante cada simulación entraran en efecto los parámetros de probabilidad que se ajustaron para cada equipo y permitirán visualizar en un resumen el número de caídas del sistema y los valores de confiabilidad y disponibilidad.

Resultados

1. Definición procesos

Los procesos por los cuales está conformada la empresa Coldeplast se describen a continuación:

1.1 Proceso coextrusión

El proceso de extrusión hace referencia a cualquier operación de transformación en la que un material fundido es forzado a atravesar una boquilla para producir un artículo de sección transversal constante y, en principio, longitud indefinida. Además de los plásticos, muchos otros materiales se procesan mediante extrusión, como los metales, cerámicas o alimentos. La extrusión es claramente uno de los procesos más importantes de transformación. El proceso de extrusión de plásticos se lleva a cabo en máquinas denominadas extrusoras o extrusores. Aunque existen extrusoras de diversos tipos, las más utilizadas son las de tornillo o de husillo simple. (Valle, 2012)

En el proceso de extrusión, por lo general, el polímero se alimenta en forma sólida y sale de la extrusora en estado fundido.

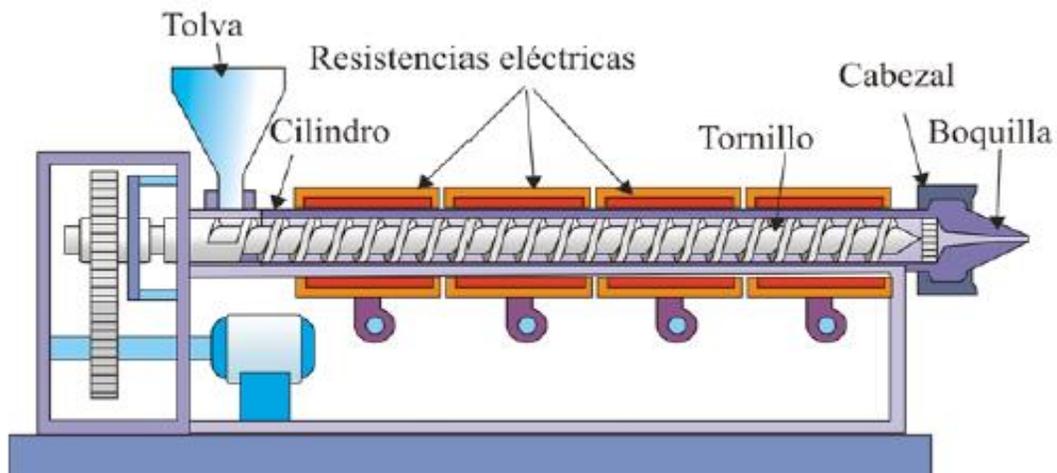


Figura 9. Representación esquemática de una extrusora de husillo sencillo. (Valle, 2012)

1.2 Proceso impresión flexográfica

La flexografía (flexography) es un sistema de impresión en altorrelieve (las zonas de la plancha que imprimen están más altas que aquellas que no deben imprimir). Al igual que

en la tipografía, xilografía o linograbado, la tinta se deposita sobre la plancha, que a su vez presiona directamente el sustrato imprimible, dejando la mancha allí donde ha tocado la superficie a imprimir. Lo que distingue la flexografía de la tipografía (de la que es un derivado) es que la plancha es de un material gomoso y flexible (de ahí su nombre de flexografía). Este sistema de impresión se conocía en principio como "impresión a la anilina" o impresión con goma. Tras algunos intentos en Inglaterra, nació definitivamente en Francia a finales del siglo XIX como método para estampar envases y paquetes de diverso tipo a partir del uso de prensas tipográficas en las que se sustituyeron las planchas usuales por otras a base de caucho. Gracias al desarrollo de los tintes a la anilina, de gran colorido, y de materiales plásticos como el celofán, la impresión a la anilina tuvo una gran aplicación en el mundo de los envases de todo tipo. Después de la II Guerra Mundial, las tintas de base alcohólica y acuosa fueron sustituyendo a las de anilina (que es tóxica) y el proceso pasó a denominarse flexografía. La aparición de sistemas entintadores de cámara (chambered systems) y de planchas basadas en fotopolímeros (en lugar de las tradicionales de caucho) y los avances en las tintas de base acuosa y de los cilindros anilox de cerámica han mejorado enormemente este sistema de impresión, que en la actualidad ha sustituido casi por completo a la tipografía tradicional en trabajos de gran volumen. Cómo funciona la flexografía En el siguiente esquema (muy simplificado), podemos ver cómo funciona una rotativa flexográfica: Se prepara la plancha (1) con un material flexible y gomoso; la imagen impresa de forma invertida (en espejo). Las zonas que van a imprimir van en relieve con respecto a las zonas no imprimibles. La plancha se ajusta al cilindro porta forma o por aplancha (2). Se engancha el papel o sustrato (3) al sistema. Las celdillas del rodillo anilox. Un cilindro de cerámica o acero (4) (el cilindro anilox), cubierto de miles de huecos en forma de celdillas, recibirá la tinta. La rasqueta se halla en una cámara con el depósito de tinta para entintar el rodillo anilox. Una vez en marcha, una cámara cerrada (5) proporciona tinta a un cilindro anilox (4). Una rasqueta (6) extremadamente precisa, elimina el sobrante de tinta del cilindro e impide que la tinta escape de la cámara. Al girar, el cilindro anilox entra a su vez en contacto directo con la plancha, situada en el cilindro porta plancha (2) y le proporciona tinta en las zonas de relieve. Las zonas más bajas quedan secas. El uso del cilindro anilox es esencial para distribuir la tinta de forma uniforme y continuada sobre la plancha. La plancha, ya entintada, sigue girando y entra en suave contacto directo con el sustrato (que puede ser papel, cartón o algún tipo de celofán). El cilindro de impresión (7) sirve para mantener el sustrato en posición. El sustrato recibe la imagen de tinta de la plancha y sale ya impreso (secándose de forma muy rápida). Ese proceso imprime un color. Cada sistema de cilindros/plancha/mojado/entintado es un cuerpo de rotativa capaz de imprimir un color. Para imprimir cuatro colores hacen falta cuatro cuerpos, aunque las variantes y posibilidades son muy numerosas. (Paula, 2018)

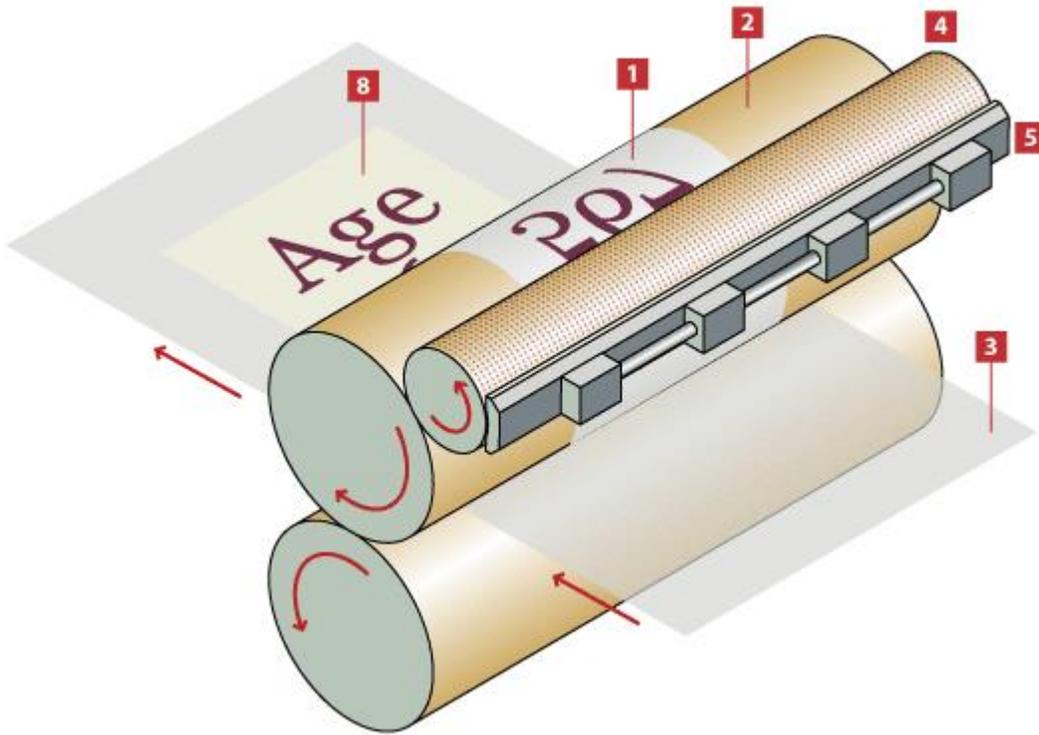


Figura 10. Como funciona la flexografía. (Paula, 2018)

1.3 Proceso laminación

La amplia variedad de productos presente hoy en la industria de empaques flexibles no sería posible hoy si no existieran los sistemas modernos de adhesivos. La evolución de la industria del empaque flexible ha estado muy ligada al desarrollo de los nuevos materiales para la fabricación de adhesivos, y de los avances en los procesos de producción. Estas tendencias han conducido a estructuras de alta calidad y técnicamente exigentes por parte del consumidor.

Para muchas aplicaciones de empaques flexibles, el uso de un solo material puede no satisfacer todas las propiedades exigidas por un producto. En estos casos, una estructura compleja de dos o más capas de material puede suministrar el desempeño esperado. Una forma común de crear esta situación compleja es laminar varias películas poliméricas a otras películas, aluminio, papel, etcétera, con un adhesivo polimérico.

Esta solución es normalmente empleada en la industria del empaque donde el producto final requiere propiedades multifuncionales, tales como un alto esfuerzo de tensión y alta permeabilidad a los gases. Estas son llamadas generalmente películas de barrera. La construcción del laminado puede ser complicada debido a la naturaleza de la aplicación específica. Un laminado típico utilizado en la industria del empaque para alimentos, por

ejemplo, puede ser una estructura multicapa formada por Poliéster, adhesivo, aluminio, adhesivo, polietileno, o en la industria de cuidado del hogar o personal Poliéster/adhesivo/polietileno. (Wilmer, El empaque + conversión, 2016)

Los adhesivos para empaque flexible están disponibles en una gran variedad de tecnologías, viscosidades y concentración de sólidos. Existen tres categorías básicas de adhesivos para laminación en las cuales estaremos enfocados. (Wilmer, El empaque + conversión, 2016)

- Base solvente
- Base sin solvente (100% sólidos)
- Base agua

Cada categoría tiene un número aplicable de polímeros base, y una amplia variedad de posibilidades de formulación. Las formulaciones específicas dependerán mucho de la naturaleza de los procesos empleados para la laminación, la naturaleza de la película base, y de las propiedades físicas finales deseadas.

Discutiremos primero los principios de la laminación en húmedo (*wet bonding*), y en seco (*dry bonding*), para luego seguir con una discusión general y básica de la química de los principales sistemas de adhesivos que usualmente se emplean. (Wilmer, El empaque + conversión, 2016)

Laminación en húmedo y en seco

La manufactura de películas laminadas es, relativamente, un proceso continuo de recubrimiento y unión de estas. Posteriormente se muestran ilustraciones genéricas de líneas de producción típicas de laminados flexibles; los procesos específicos difieren principalmente de cómo el adhesivo es aplicado y convertido de un líquido a un sólido.

Estos procesos son generalmente clasificados ya sea como procesos de laminación en seco, o como procesos de laminación en húmedo. (Wilmer, El empaque + conversión, 2016)

Los aspectos básicos e importantes en laminación son: las embobinadoras y desembobinadoras de las películas, el aplicador del adhesivo y la unidad de laminación. En este punto es muy importante definir una palabra que utilizaremos mientras hablemos de laminación de dos sustratos: **NIP de laminación**, que se define como un conjunto de rodillos paralelos que hacen presión el uno sobre el otro. En la laminación el NIP de laminación es el encargado de unir uno o más sustratos ejerciendo presión una vez el adhesivo haya sido aplicado entre éstos.

Laminación en húmedo

La laminación en húmedo es un proceso utilizado para laminar dos sustratos, donde normalmente uno de ellos es poroso, tal como el papel. Por ejemplo, una laminación de un *foil* de aluminio a papel puede ser llevada a cabo a través de un proceso de laminación

en húmedo. Una vez los dos sustratos están unidos pasan por un horno para llevar a cabo el proceso de secado. (Wilmer, El empaque + conversión, 2016)

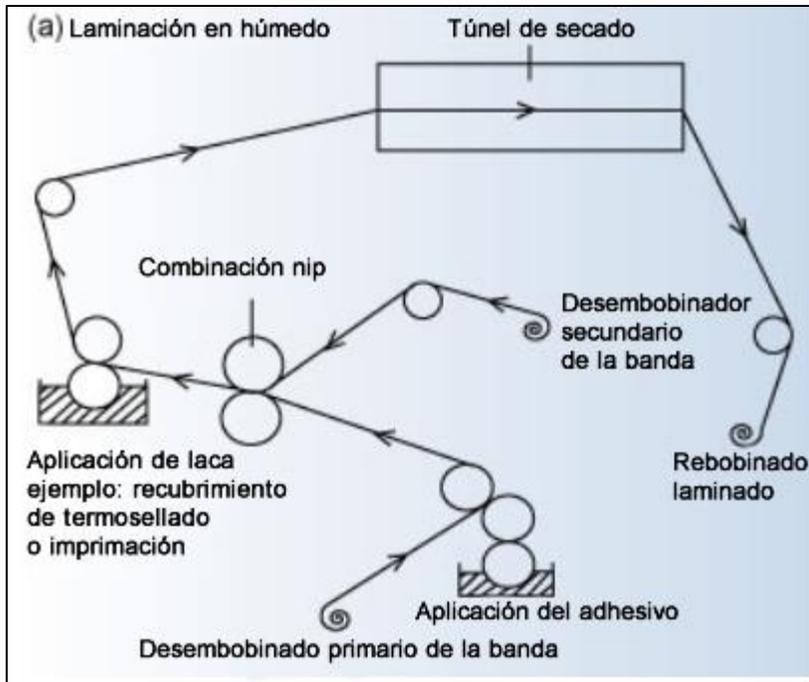


Figura 11. Proceso laminación en húmedo. (Wilmer, El empaque + conversión, 2016)

Laminación en seco

La laminación en seco es aquella en la cual el adhesivo es primero secado antes de la laminación. El adhesivo es aplicado a uno de los sustratos y secado en un horno antes de unirse al otro sustrato, la fuerza de laminación es alcanzada en un NIP de laminación con temperatura y presión.

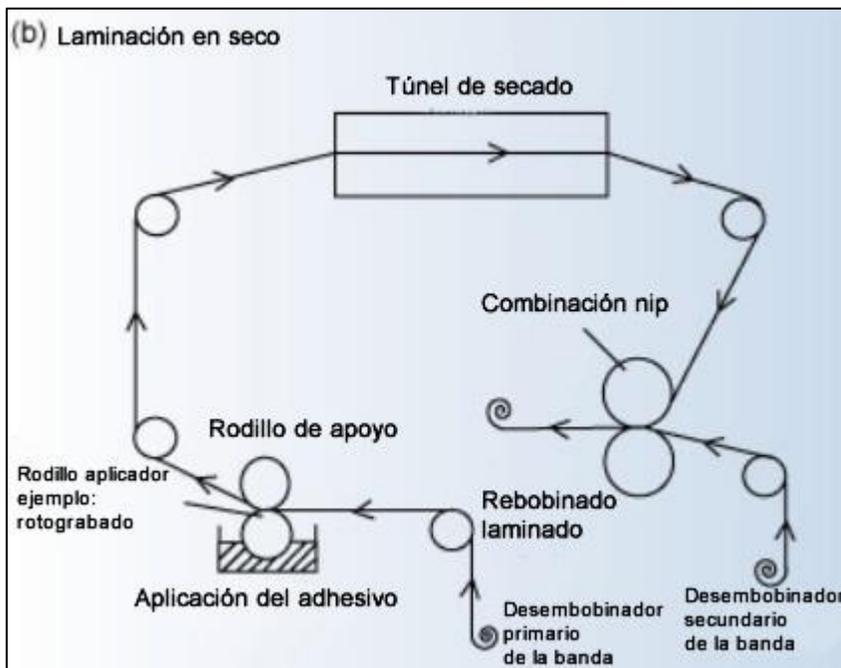


Figura 12. Proceso laminación en seco. (Wilmer, El empaque + conversión, 2016)

1.4 Proceso de corte

El proceso de corte y rebobinado es el último proceso que se lleva a cabo en la producción de laminado para empaques flexibles.

Es el proceso mediante el cual se toma el rollo madre de un material laminado o impreso y es transformado en bobinas o rollos individuales, los cuales posteriormente van a ser procesados en las máquinas selladoras o en las máquinas empacadoras donde los fabricantes de productos pueden elaborar su empaque final.

Estas bobinas o rollos individuales son cortados de acuerdo con las especificaciones del cliente según las especificaciones requeridas en las máquinas empacadoras (ancho de rollo, diámetro de core o núcleo, número de pegas o uniones y nivel final de tensión).

Las cortadoras son los caballos de batalla de la industria de la conversión, raramente vistas al mismo nivel de atención como sus más cercanos procesos: laminación, impresión, extrusión. En estos procesos de fabricación es donde el valor más obvio es agregado al producto, pero una vez el valor está agregado, cualquier proceso posterior debe ser tratado con el mismo respeto. El desperdicio creado en las cortadoras tiene el mismo valor que el desperdicio de los procesos anteriores. (Wilmer, El empaque + conversión, 2018)

A continuación, se puede visualizar las partes por las cuales está conformada una cortadora.

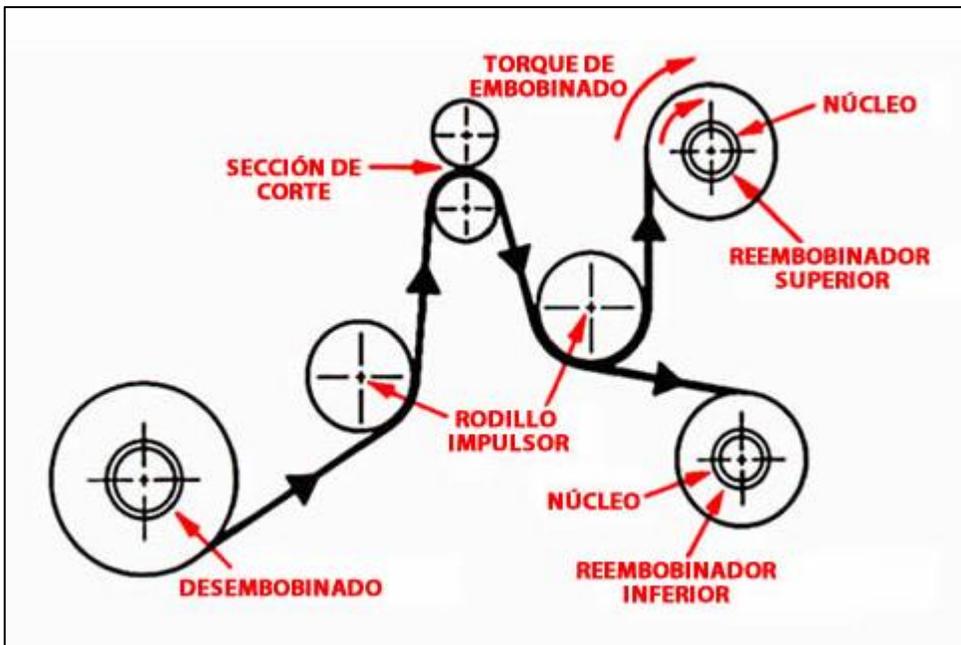


Figura 13. Partes de una cortadora. (Wilmer, El empaque + conversión, 2018)

1.5 Proceso de sellado

Es la etapa final en la reconversión de los plásticos flexibles, en este proceso se utilizan maquinas que reciben las bobinas madre y son sometidas mediante rodillos que transportan la película hasta el modulo sellador donde por termofusión se logra unir la estructura del plástico garantizando la hermeticidad del empaque.

En la medida que los hábitos de las personas cambian, las industrias se acomodan a los nuevos retos, necesidades, expectativas y exigencias que dichas transformaciones plantean, y el sector de la conversión de empaques no es ajeno a ese movimiento.

En ese sentido, las tendencias actuales en fabricación de empaques flexibles apuntan hacia el desarrollo de envases que preserven completamente higienizados y frescos los alimentos ya procesados y listos para el consumo.

De acuerdo con lo anterior, uno de los elementos que determina el cumplimiento de las expectativas al momento de crear y perfeccionar un envase es el sellado, un proceso que independientemente de la técnica con que se logre, resulta clave en el empaque de barrera, pues las fugas causan costos adicionales y disminuyen la calidad de los productos.



Figura 14. Selladora Hudson Sharp planta Coldeplast.

2. Taxonomía en nivel 2 planta Coldeplast

A continuación, se describe en resumen como están conformados los procesos de la planta Coldeplast. Para más información ver anexo 23.

Coldeplast	COL	EMPLAZAMIENTO EQUIPO
Sistemas de producción	SP	
Planta coextrusión	COEX	
Extrusora 6	EX6	COL-PLAN-COEX-EX6
Coextrusora 2	COEX2	COL-PLAN-COEX-COEX2
Coextrusora 3	COEX3	COL-PLAN-COEX-COEX3
Coextrusora 4	COEX4	COL-PLAN-COEX-COEX4
Coextrusora 5	COEX5	COL-PLAN-COEX-COEX5
Coextrusora 6	COEX6	COL-PLAN-COEX-COEX6

Tabla 9. Taxonomía equipos productivos Coldeplast.

3. Resultados matriz de criticidad

En la figura 15 se puede visualizar la matriz de criticidad creada en Excel que permite determinar los valores que toman los equipos evaluando los aspectos que son críticos para la compañía. Con esta herramienta se pueden realizar análisis futuros a nivel de módulos y elementos que requieren ser mantenidos.

MATRIZ DE CRITICIDAD COLDEPLAST		Escala de exposición			Evaluación de la frecuencia			Evaluación de la gravedad (Costo de Impacto)			Criticidad						
Equipos	Nivel de deficiencia	Interpretación escala de deficiencia	Tasa de fallas por mes	Descripción	Interpretación escala de exposición	Número de unidades (hrs)	Nivel de prioridad	Interpretación	Deficiencia general	Reparación	Impacto ambiental	Deficiencia de producción	Deficiencia de calidad	Suma consecutiva	Calculo criticidad	Nivel de riesgo	Interpretación del riesgo
Coldeplasta 2	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	3	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	100	60	10	180	1440	II	Se requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 3	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	3.1	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	80	30	10	90	720	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 4	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	3.31	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	100	60	10	180	1440	II	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 5	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	3.72	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	24	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	100	60	10	180	1440	II	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 6	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	3.54	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	25	10	10	45	360	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 7	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	4.27	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	25	10	10	45	360	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 8	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	3.57	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	25	10	10	45	360	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 9	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	5.05	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	25	10	10	45	360	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 10	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	3	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	25	10	10	45	360	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 11	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	2.2	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	10	10	10	30	240	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 12	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	2.4	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	24	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	10	10	10	30	240	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 13	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	2.6	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	10	10	10	30	240	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 14	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	3.1	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	10	10	10	30	240	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 15	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	3.11	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	10	10	10	30	240	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 16	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	4.41	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	25	10	10	45	360	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.
Coldeplasta 17	2	Las controlas actuales dejan una probabilidad baja de ocurrencia del fenómeno.	4.64	Secuente	Es probable que ocurran varias fallas en un año.	8	Medio	Se puede definir con un equipo controlas. Al ser necesario puede ser reemplazado con facilidad. Requiere que se mantenga el equipo.	10	Reparación	25	10	10	45	360	III	Requiere un equipo para controlar fallas en el sistema.

Figura 15. Matriz de criticidad equipos productivos Coldeplast.

En la figura 16 se muestra el diagrama de Pareto de los equipos críticos. Los equipos representados en las barras a la izquierda tienen los mayores valores de criticidad. Las barras rojas indican que son muy críticos o como se llamó en la metodología son CLASE I. Las barras color naranja indican que son medianamente críticos o CLASE II. Las barras color amarillo indican que son equipos poco críticos o CLASE III y las barras color verde, indican que NO son equipos críticos o CLASE IV.

El diagrama de Pareto nos permite identificar fácilmente donde debemos concentrar los esfuerzos para controlar o mitigar los impactos que tienen los equipos críticos para la compañía. Como se evidencia en el gráfico el 53% de los puntos de criticidad, están distribuidos tan solo en 5 equipos.

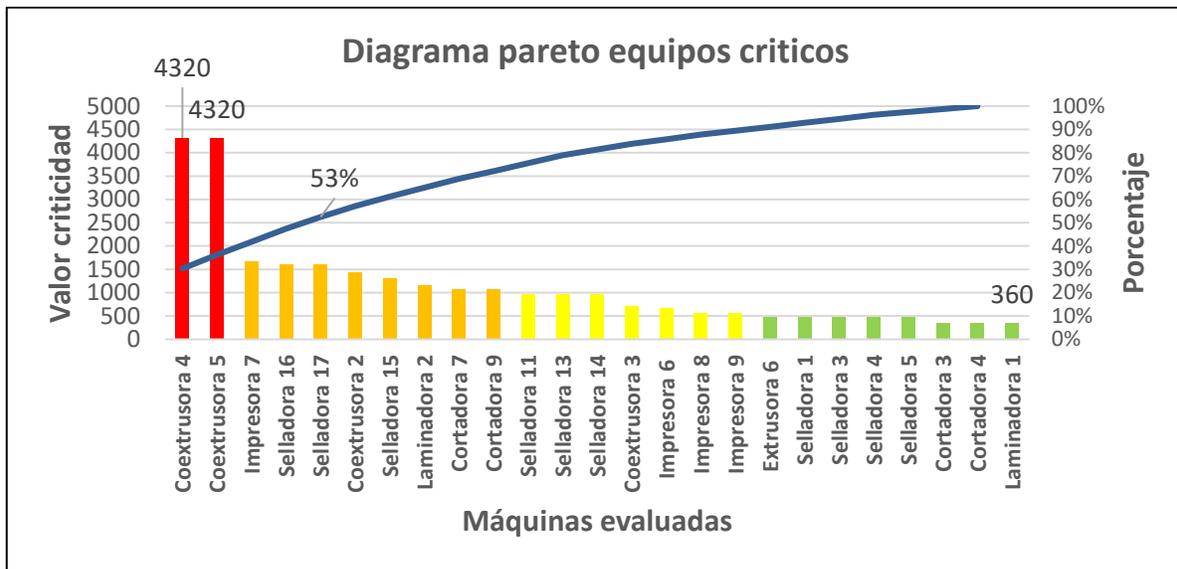


Figura 16. Diagrama Pareto equipos críticos Coldeplast.

4. Resultados ajuste distribuciones de probabilidad tiempo medio entre fallas

En la tabla 10 se puede visualizar los parámetros obtenidos con la herramienta ofimática del ajuste de distribución del tiempo medio entre fallas de cada equipo en un periodo de 5 años. Las distribuciones que mejor describen el comportamiento de la tasa de fallas están en la columna "Failure". Estas distribuciones y sus parámetros se utilizarán para ingresarlas en el modelo de confiabilidad.

Tabla distribuciones de falla equipos Coldeplast					
Block Name	Order	Failure	Par1	Par2	Par3
MTTR	1	Log - Normal	1,519	0,329	NA
Extrusora 6	2	Gama	3,9888	0,016	NA
Coextrusora 2	3	Weibull	1,3142	262,22	NA
Coextrusora 3	4	Weibull	1,3142	262,22	NA
Coextrusora 4	5	Log - Normal	213,54	160,33	NA
Coextrusora 5	6	Log - Normal	269,43	249,23	NA
Impresora 6	7	Log - Normal	31,9	15,69	NA
Impresora 7	8	Log - Normal	19,44	12,56	NA
Impresora 8	9	Log - Normal	37,25	27,67	NA
Impresora 9	10	Log - Normal	39,22	26,16	NA
Cortadora 3	11	Log - Normal	130,44	83,08	NA
Cortadora 4	12	Triangular	16,16	48,09	464,89
Cortadora 7	13	Empírica	Valores ingresados manual		

Cortadora 9	14	Gama	6,22	0,043	NA
Selladora 1	15	Log - Normal	163,169	142,123	NA
Selladora 3	16	Log - Normal	74,03	30,43	NA
Selladora 4	17	Log - Normal	140,1	120,65	NA
Selladora 5	18	Log - Normal	57,4	32,37	NA
Selladora 11	19	Log - Normal	32,4	18,06	NA
Selladora 13	20	Log - Normal	33,25	19,08	NA
Selladora 14	21	Log - Normal	39,5	26,7	NA
Selladora 15	22	Log - Normal	52,62	32,3	NA
Selladora 16	23	Gama	4,49	0,068	NA
Selladora 17	24	Log - Normal	61,38	41,58	NA
Laminadora 1	25	Weibull	1,877	171,6	NA
Laminadora 2	26	Gama	3,27	0,05	NA

Tabla 10. Distribuciones de falla equipos Coldeplast.

En la figura 17 se observa el ajuste de distribuciones para la Laminadora 1. En este caso las distribuciones que mejor se ajustaron fueron la Exponencial, Gamma, Log-normal, Normal y Weibull. Siendo la última la que tiene el 92% de confianza.

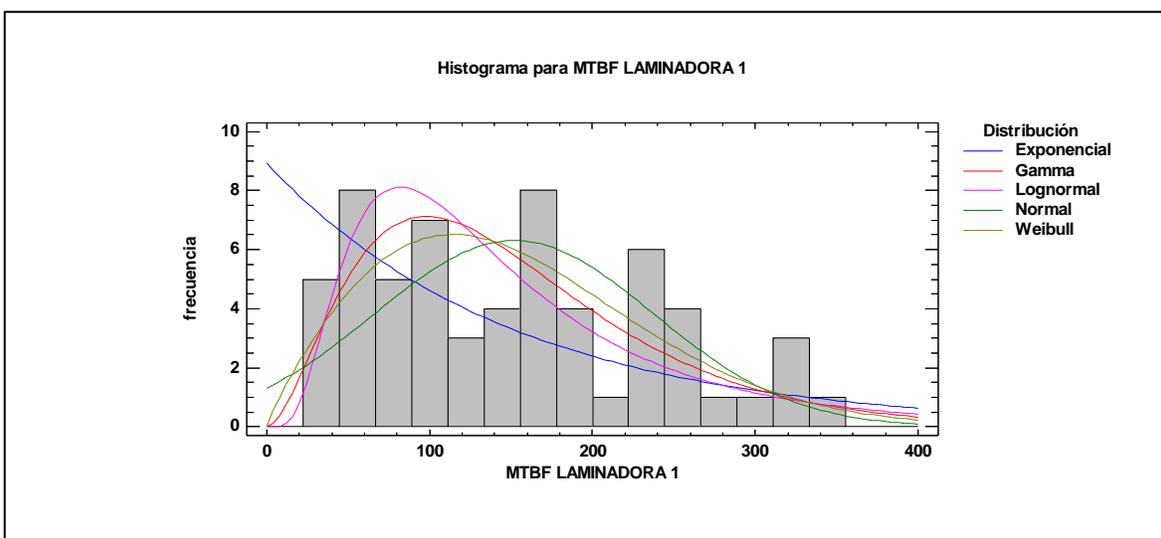


Figura 17. Histograma y ajuste de distribuciones Laminadora 1.

5. Resultados diagramas de bloques de confiabilidad

En la figura 18 se puede observar el diagrama de bloques de confiabilidad representando el proceso de coextrusión. En nuestro caso, se tiene una configuración en paralelo que permite al sistema evaluar en el nodo de salida llamado “Salida_Proceso_Coex” cual es la confiabilidad del sistema para una misión de tiempo productivo programado de 460 horas. En este tiempo el sistema presenta analizando las curvas de distribución de cada equipo que la confiabilidad será del 85%.

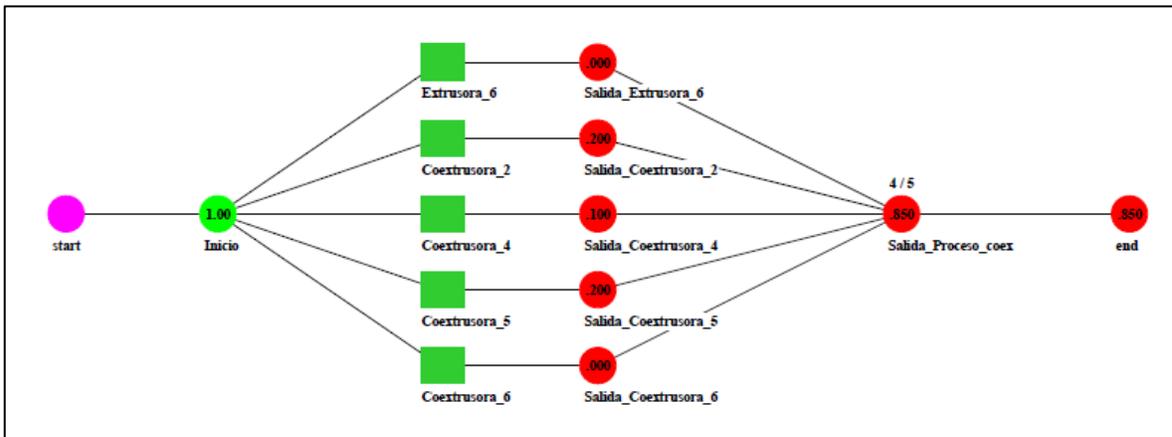


Figura 18. Diagrama de bloques de confiabilidad proceso coextrusión

En la figura 19 se tienen configurados todos los procesos de la planta Coldeplast. Para el análisis de confiabilidad se instalaron los bloques representando cada equipo y se agruparon por familias de máquinas o áreas productivas específicas. Los nodos de salida representados por un círculo muestran el valor de confiabilidad que tiene cada máquina para una misión encomendada de tiempo productivo durante 400 horas. Pese a que el nodo de salida asume en el software que para completar la misión satisfactoriamente se deben alcanzar en todas las salidas del proceso una confiabilidad igual o superior al 90%, no en todos los casos se requieren estos niveles. Incluso en algunos sistemas como el de impresión, basta con que la confiabilidad tome valores cercanos al 35% ya que las consecuencias de las caídas en el sistema no tienen el mismo impacto que otro tipo de sistema. Esto se debe a consecuencias como el aumento del lucro cesante de los equipos o incluso por el desperdicio que se genera luego de que se materialice una avería y el sistema entre en falla total.

Si comparamos los datos obtenidos de confiabilidad con los resultados de la matriz de criticidad, se puede notar que los equipos con mayor nivel de criticidad para la compañía no necesariamente son todos aquellos que tienen valores bajos de confiabilidad. También se debe tener en cuenta los impactos que generan estas caídas o fallas en el sistema. En nuestro caso, por la naturaleza del proceso de Coextrusión y las pérdidas asociadas a cada avería ambas metodologías (Análisis de confiabilidad y Matriz de criticidad) se relacionarían coincidiendo por completo con los datos de confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

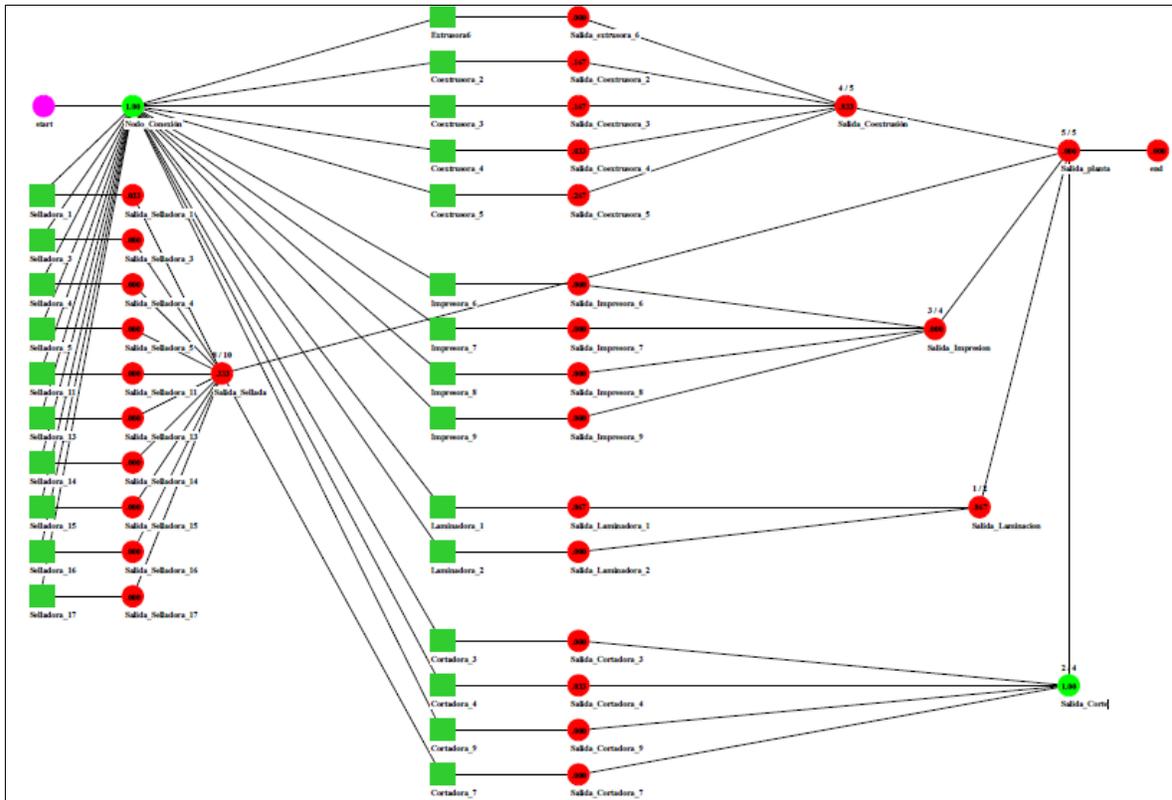


Figura 19. Diagrama de bloques de confiabilidad proceso productivos Coldeplast.

6. Resultados modelo de confiabilidad y disponibilidad en intervalos de tiempo definidos.

En la figura 20 están los resultados de disponibilidad arrojados en un tiempo programado de 100 horas. En promedio la disponibilidad vista por equipo está en el 98% lo que quiere decir que solo 2 horas de las 98 programadas estarán indisponibles por razones de mantenimiento no programado. Estos datos arrojados por el software, pese a que se asumieron límites en el análisis. Concuerdan con la realidad que se tiene en la planta en la actualidad y en los históricos.

Con los valores obtenidos de disponibilidad, se pueden iniciar una serie de toma de decisiones en el departamento como lo son. Poner en la balanza la capacidad de tolerar el riesgo en la compañía por la afectación en los procesos o si es necesario asumir costos mayores en el mantenimiento de los equipos y sistemas, todo esto con el firme propósito de no afectar la rentabilidad del producto y que desde el área de mantenimiento se agregue valor aportando los criterios de ingeniería que impongan límites en el nivel de mantenimiento apropiado para cada equipo. Las malas decisiones dentro de la operación

de mantenimiento pueden llegar a tener un impacto adverso en el retorno de la inversión sobre cada activo a causa de los sobrecostos.

Average node data across 30 run(s) :								
Node Name	Availability	Color Ranking	Green	Yellow	Red	Blue	Dk Green	Grey
Nodo_Conexión	1.000000000	Green	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusión	1.000000000	Green	97.90	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_2	0.993541053	Red	99.35	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_3	0.995984472	Red	99.60	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_4	0.996010331	Red	99.60	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_5	0.998014426	Red	99.80	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_3	0.991266601	Red	99.13	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_4	0.996323671	Red	99.63	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_7	0.996619496	Red	99.66	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_9	0.997186681	Red	99.72	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00
Salida_Corte	1.000000000	Green	98.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_extrusora_6	0.995457569	Yellow	99.55	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresion	0.990082072	Red	83.65	15.36	0.99	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_6	0.959937380	Red	95.99	0.00	4.01	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_7	0.936147086	Red	93.61	0.00	6.39	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_8	0.966361589	Red	96.64	0.00	3.36	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_9	0.963498929	Red	96.35	0.00	3.65	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminacion	0.998259109	Yellow	95.07	4.75	0.17	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_1	0.992068848	Red	99.21	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_2	0.956932680	Red	95.69	0.00	4.31	0.00	0.00	0.00
Salida_planta	0.986582458	Red	98.66	0.00	1.34	0.00	0.00	0.00
Salida_Sellada	0.998241276	Red	79.98	19.84	0.18	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_1	0.993254809	Red	99.33	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_11	0.962150381	Red	96.22	0.00	3.78	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_13	0.961948536	Red	96.19	0.00	3.81	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_14	0.968635072	Red	96.86	0.00	3.14	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_15	0.973949994	Red	97.39	0.00	2.61	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_16	0.985802777	Red	98.58	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_17	0.979281963	Red	97.93	0.00	2.07	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_3	0.983093964	Red	98.31	0.00	1.69	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_4	0.990685038	Red	99.07	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_5	0.978033960	Red	97.80	0.00	2.20	0.00	0.00	0.00

Figura 20. Tabla análisis de nodos.

En la figura 21, los datos obtenidos de confiabilidad muestran la capacidad e incapacidad de los sistemas para completar una misión encomendada durante 100 horas de tiempo productivo en línea, sin que se presente ninguna caída en el sistema. La confiabilidad a la salida de la planta quizás no sea un dato que agregue mucho valor, ya que en nuestro caso por configuraciones o restricciones en los procesos no necesariamente uno depende del otro en todo momento. Esto obedece a que las capacidades instaladas en las líneas productivas son diferentes, lo que permite tolerar averías o pérdidas de disponibilidad de acuerdo con los sistemas que mejor flexibilidad operacional tengan.

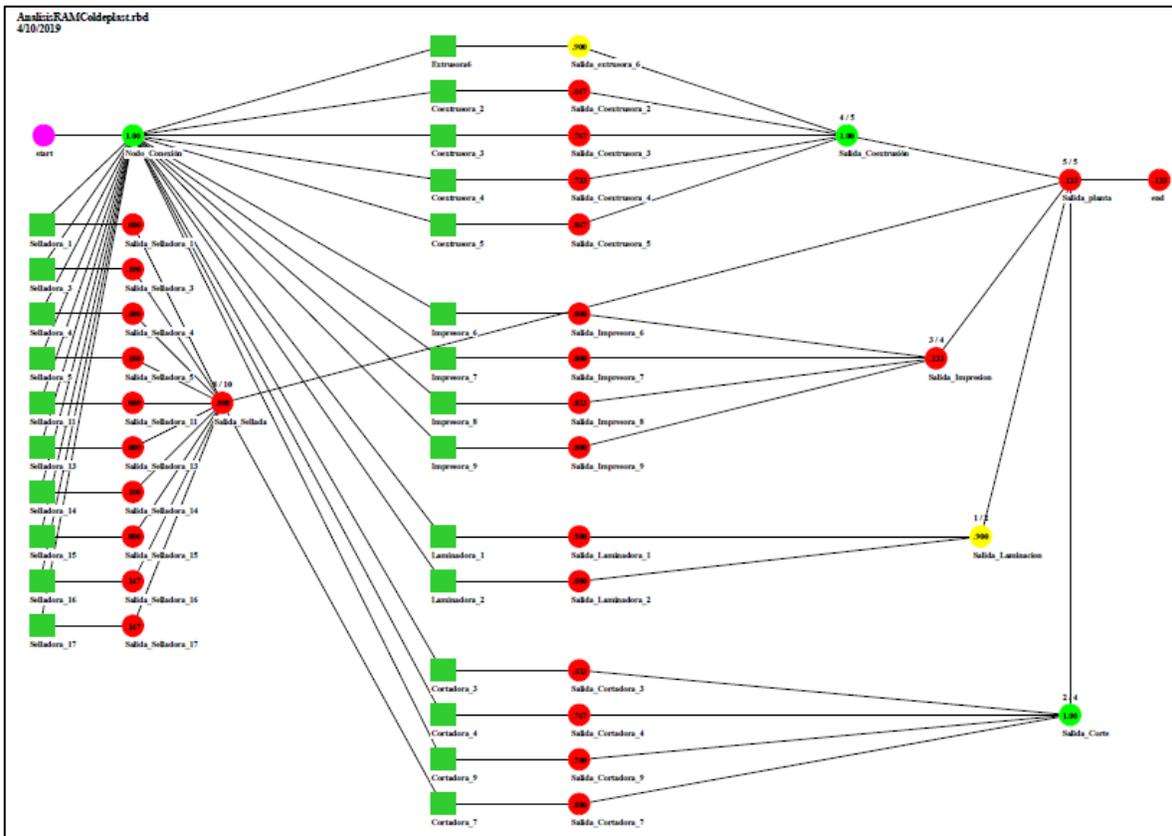


Figura 21. Análisis de confiabilidad en un tiempo de 100 horas.

En la tabla 11 se depositaron los datos de disponibilidad y confiabilidad obtenidos en la simulación a partir de las curvas de distribución del tiempo medio entre fallas y tiempo medio entre reparaciones que se ajustaron con mayor valor de confianza. Esta máquina por el impacto económico que tiene en la operación y por otras variables que se analizaron anteriormente en la matriz de criticidad, toma la mayor puntuación lo cual la convierte en un equipo que se debe tratar de manera especial y ahondar en los estudios de modos de falla y planes de acción que permitan la eliminación de las fuentes de riesgo o por defecto la mitigación de las consecuencias.

Como se puede observar en la tabla, pese a que los valores de disponibilidad se sostienen en el tiempo con poca variación, la confiabilidad se degrada a medida que aumentan las metas de tiempo sin caídas en el sistema. Esta máquina a diferencia de otras genera un impacto considerable en la rentabilidad del producto cuando se presenta una falla. No importa que tan simple sea y si toma poco tiempo en reestablecer la condición básica de funcionamiento, el solo hecho de que se detenga el sistema por 2 segundos representa la ruptura en la secuencia de producción.

La pérdida de confiabilidad se debe básicamente a que varios de los módulos que componen esta máquina no garantizan la operación continua durante el tiempo requerido. Esto nos lleva a pensar en la necesidad en otra etapa del análisis, en descomponer el equipo y realizar de acuerdo con el Pareto de averías histórico un ajuste de distribuciones de probabilidad para cada uno. Luego un análisis de confiabilidad utilizando la misma metodología y evaluando que tan viable sería plantear la estrategia del mantenimiento centrado en confiabilidad.

Análisis disponibilidad y confiabilidad Coextrusora 4		
Tiempo simulación [horas]	% Disponibilidad	% Confiabilidad
100	99,8%	90%
200	99,4%	27%
300	99,4%	20%
400	99,3%	13%
500	99,2%	6,70%

Tabla 11. Análisis de confiabilidad y disponibilidad coextrusora 4

Para mayor entendimiento del comportamiento de todos los equipos en los intervalos de tiempo definidos en el software, se recomienda consultar los anexos 24 – 43.

Conclusiones

- El análisis de confiabilidad global que se ejecutó en la planta productiva Coldeplast nos permitió tener una visión panorámica del comportamiento de los equipos configurados en los diferentes sistemas, la forma gráfica facilita la interacción del analista con los procesos y genera un nivel de confianza alto en los resultados. Este nivel de confianza es aceptable siempre y cuando la información que se recopile sea confiable y de calidad.
- Es importante conocer la relación que se tiene entre la disponibilidad y la confiabilidad de un equipo, de manera tal que facilite la toma de decisiones dentro de los departamentos de mantenimiento. Una de las grandes conclusiones de este análisis nos lleva a afirmar que no en todos los casos amerita centrar la estrategia de mantenimiento en confiabilidad. Ya que se puede incidir en sobrecostos y afectación en la rentabilidad de la compañía.
- Definiendo los conceptos e interpretando desde el área de mantenimiento, cuáles son esas restricciones que tiene la compañía referente a capacidades instaladas o de flexibilidad operacional, se pueden presentar aportes valiosos para la organización. En nuestro caso se logró concientizar al área de producción y planeación de acuerdo con la disponibilidad que se pueden tener en los equipos y los niveles de confiabilidad que se pueden manejar. Esto permitirá configurar los sistemas de manera tal que no se afecten entregas y por ende la imagen de la compañía ante los clientes.
- La matriz de criticidad se convierte en una herramienta valiosa siempre y cuando participen en la construcción de los datos un grupo interdisciplinario que tengan la visión de la compañía desde diferentes ángulos, de lo contrario será una herramienta subutilizada por el desconocimiento que tiene el personal de mantenimiento en tema de costos, presupuestos, planeación, seguridad y medio ambiente.
- La herramientas de análisis de criticidad nos permiten evaluar al nivel que se requiera en las organizaciones, en nuestro caso se analizó el impacto que tienen los equipos de forma general. Sin embargo, pese a que esto nos da una idea de cómo se encuentran los sistemas y si están protegidos lo suficiente. No suple la necesidad de conocer la causa raíz de los problemas y por consiguiente es necesario analizar a los niveles requeridos para realizar una toma de decisiones efectiva y con información confiable.
- Pese a que las herramientas ofimáticas permiten un ajuste de distribuciones de probabilidad para los datos que deseamos analizar, no necesariamente tiene que ser esta la forma de hacerlo. Quizás para muchas personas no sea una tarea sencilla o no cuentan con el conocimiento suficiente sobre el tema. En mi caso pude evidenciar que si se manejan indicadores sencillos en mantenimiento como lo son el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio entre reparaciones (MTTR) basta para conocer el perfil de fallas de los equipos y la velocidad de respuesta del área para atenderlas. Si se da la interpretación adecuada de estos dos indicadores se pueden identificar oportunidades de mejora y plantear los planes de acción.

- Con la construcción de los diagramas de bloques de fiabilidad se pueden obtener resultados fácil y rápidamente del comportamiento de los sistemas de acuerdo con su configuración. Es decir, permite identificar incluso a nivel de componentes la dependencia de uno respecto al otro y que en un diagrama de bloques configurado en serie basta con tener un elemento de baja confiabilidad para que se afecte el sistema por completo. Es ahí donde se deben tomar decisiones como, por ejemplo, se requiere una redundancia activa o pasiva o podemos llevar el elemento a falla porque nuestro sistema lo puede tolerar.
- Luego de correr el sistema con la configuración de los diagramas de bloques de confiabilidad, se pudo notar evidentemente la degradación de la confiabilidad en el tiempo. Sin embargo, una de las conclusiones más importantes de este trabajo, es que debe existir una estrecha relación entre la confiabilidad y la consecuencia que puede ocasionar un fallo. Notamos que pese a que en algunos sistemas la confiabilidad a partir de las 50 horas era de cero no representaban un nivel crítico debido al impacto que generan en la organización y a que se facilita el restablecimiento de las condiciones básicas de funcionamiento. Es decir, son equipos con una buena mantenibilidad.
- Luego de tener identificados y jerarquizados los equipos de acuerdo con su nivel de criticidad y baja confiabilidad, se puede plantear una ruta de trabajo donde se realice el análisis a nivel de módulos y componentes. Es recomendable en futuros trabajos tener en cuenta que a medida que quitamos limitaciones al sistema como lo son: repuestos infinitos, confiabilidad humana y dependencia entre sistemas. Vamos a obtener un mejor modelo de confiabilidad lo cual limitará el error y permitirá un mantenimiento consciente de la afectación en la operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 00-40, D. S. (1994). *Management Responsibilities and Requirements for Programmes and Plans*. USA: DEF STAN.
- AENOR. (1 de 10 de 2016). UNE-EN ISO 14224. *Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recogida e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos*. España.
- Barlat, R. M. (2013). Análisis de criticidad integral de activos físicos. *Investigaciones científicas*, 5 - 34.
- Denning, R. (2012). *Applied R&M Manual for Defence Systems*. Bristol reino unido .
- Montilla M, C. A. (01 de 01 de 2007). Caso aplicación mantenimiento centrado en confiabilidad. Ciudad de mexico , Mexico.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Lillington, North Carolina: Edwards Brothers.
- Paula, G. L. (15 de 5 de 2018). *Arts Grafiques*. Obtenido de <http://www.ub.edu/artsgrafiques/node/377>
- Pistarelli, A. J. (2010). *Manual de mantenimiento: ingeniería, gestión y organización*. Buenos Aires: Master graf.
- Tavares, L. (2000). *Administración Moderna de Mantenimiento*. Rio de janeiro: Novo Polo Publicaciones.
- Universidad Nacional de Colombia . (2003). Confiabilidad: Historia, estado del arte y desafíos futuros. *Dyna*, vol. 70, núm. 140, 1-18.
- Valle, L. F. (2012). *Extrusión de plásticos principios básicos*. Saltillo, Coahuila, México: Limusa.
- Wilmer. (16 de 05 de 2016). *El empaque + conversión*. Obtenido de <http://www.elempaque.com/blogs/Laminacion-por-adhesivo-de-sustratos-para-empaques-flexibles+112708>
- Wilmer. (30 de 08 de 2018). *El empaque + conversión*. Obtenido de <http://www.elempaque.com/blogs/Corte-y-rebobinado-en-la-conversion-de-empaques-flexibles+127078>

ANEXOS

Anexo 1. Ajuste distribuciones MTBF Extrusora 6

Datos/Variable: MTBF EXTRUSORA 6 (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS)

62 valores con rango desde 55,77 a 507,59

Tabla 12. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF EXTRUSORA 6

	Exponencial	Gamma	Normal	Triangular	Weibull
DMAS	0,120352	0,0693339	0,136612	0,0940719	0,103217
DMENOS	0,282262	0,071486	0,0790896	0,0591375	0,0721201
DN	0,282262	0,071486	0,136612	0,0940719	0,103217
Valor-P	0,000102449	0,9093	0,197786	0,6428	0,538762

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF EXTRUSORA 6 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF EXTRUSORA 6 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

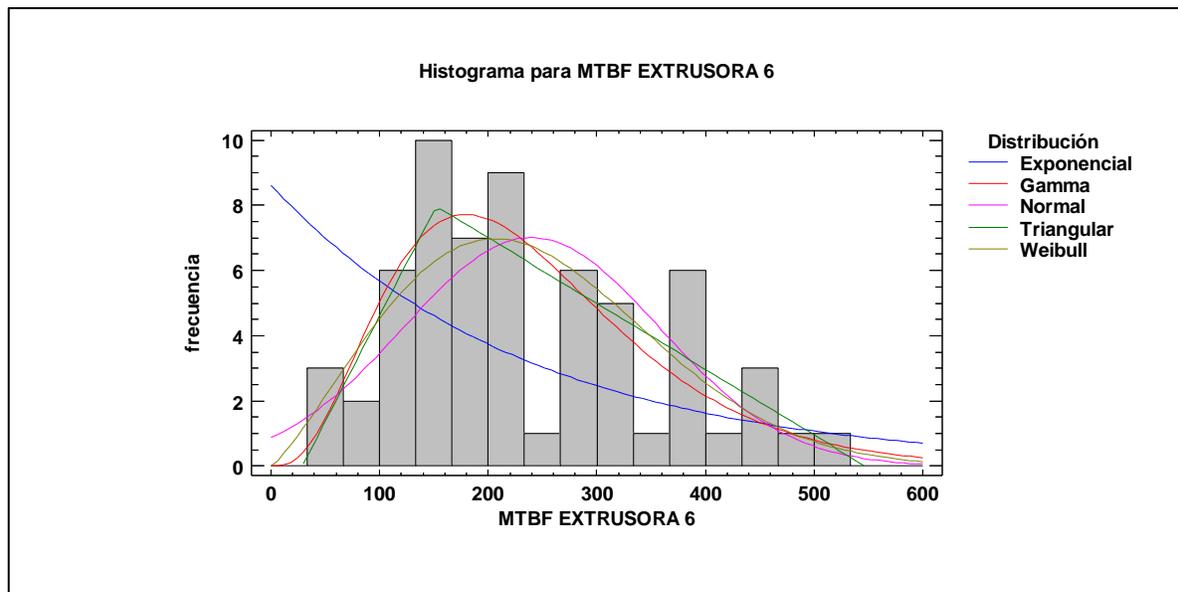


Figura 22. Histograma y ajuste de distribuciones MTBF Extrusora 6.

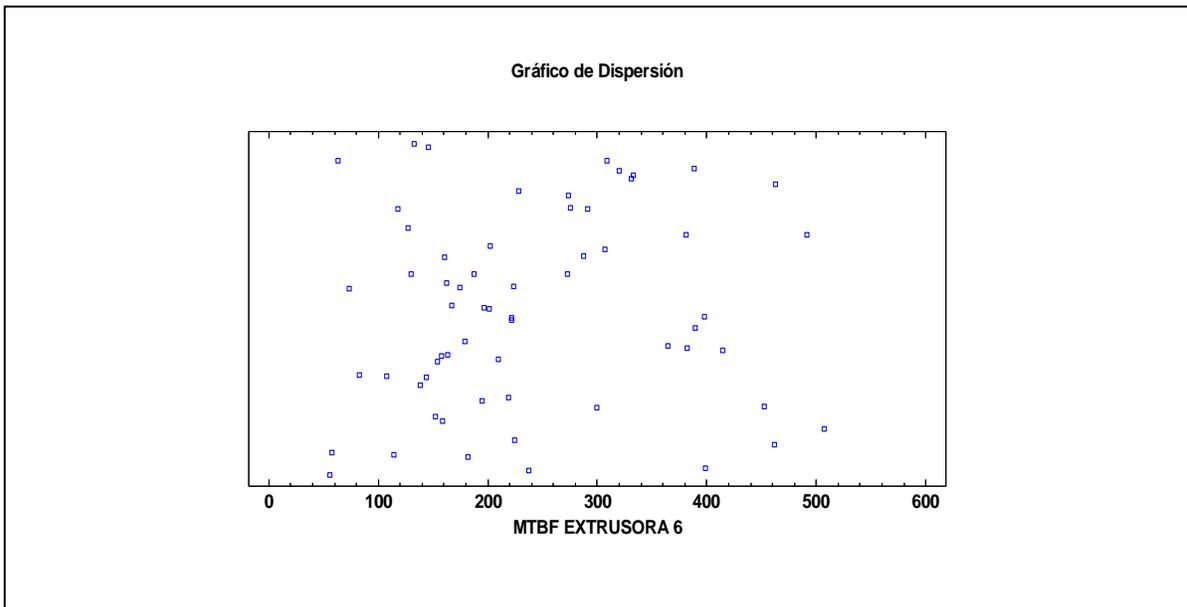


Figura 23. Dispersión MTBF Extrusora 6.

Anexo 2. Ajuste distribución MTBF Coextrusora 2

Datos/Variable: MTBF COEXTRUSORA 2

62 valores con rango desde 36,95 a 685,22

Tabla 13. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF COEXTRUSORA 2

	Exponencial	Exponencial (2 Parámetros)	Gamma	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
DMAS	0,0651014	0,073234	0,121548	0,117767	0,0754143
DMENOS	0,159265	0,0719417	0,0854907	0,081753	0,0557291
DN	0,159265	0,073234	0,121548	0,117767	0,0754143
Valor-P	0,086113	0,893615	0,320854	0,359244	0,872368

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF COEXTRUSORA 2 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF COEXTRUSORA 2 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

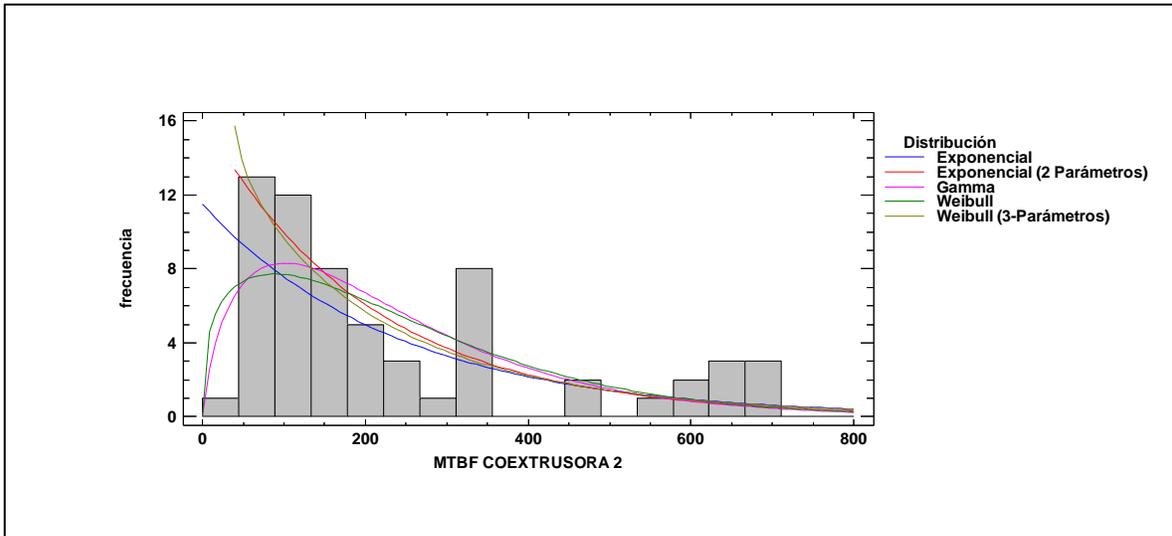


Figura 24. Histograma y ajuste de distribuciones MTBF Coextrusora 2.

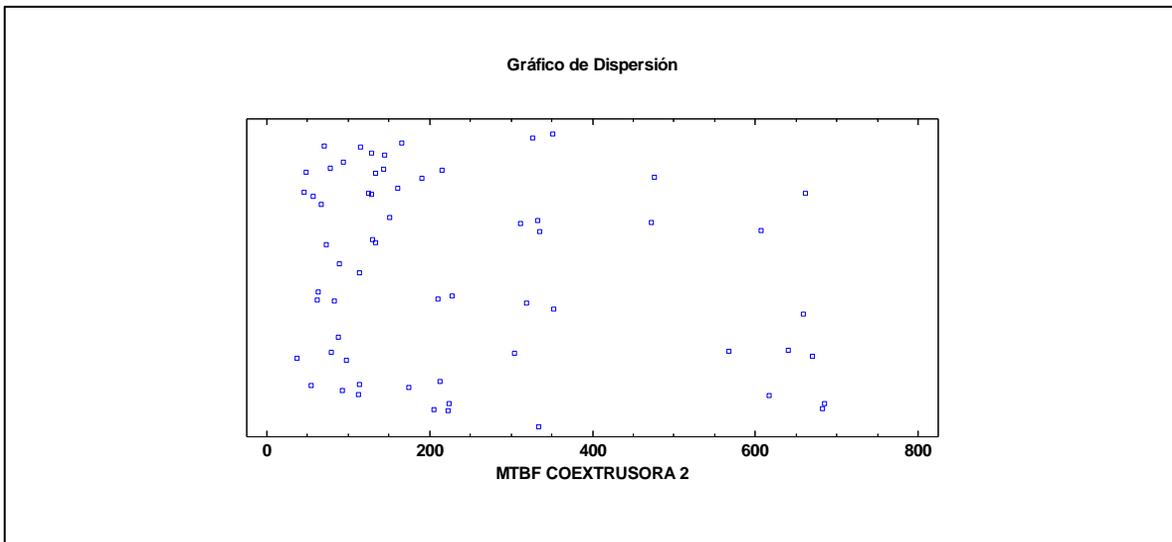


Figura 25. Dispersión MTBF Coextrusora 2.

Anexo 3. Ajuste distribución MTBF Coextrusora 3

Datos/Variable: MTBF COEXTRUSORA 3

51 valores con rango desde 45,86 a 714,95

Tabla 14. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF COEXTRUSORA 3

	Gaussiana Inversa	Laplace	Log-logística	Log-logística (3-Parámetros)
DMAS	0,163047	0,0882553	0,164215	0,156745
DMENOS	0,100125	0,172924	0,108456	0,0998953
DN	0,163047	0,172924	0,164215	0,156745
Valor-P	0,13288	0,0947157	0,127795	0,163227

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF COEXTRUSORA 3 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF COEXTRUSORA 3 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

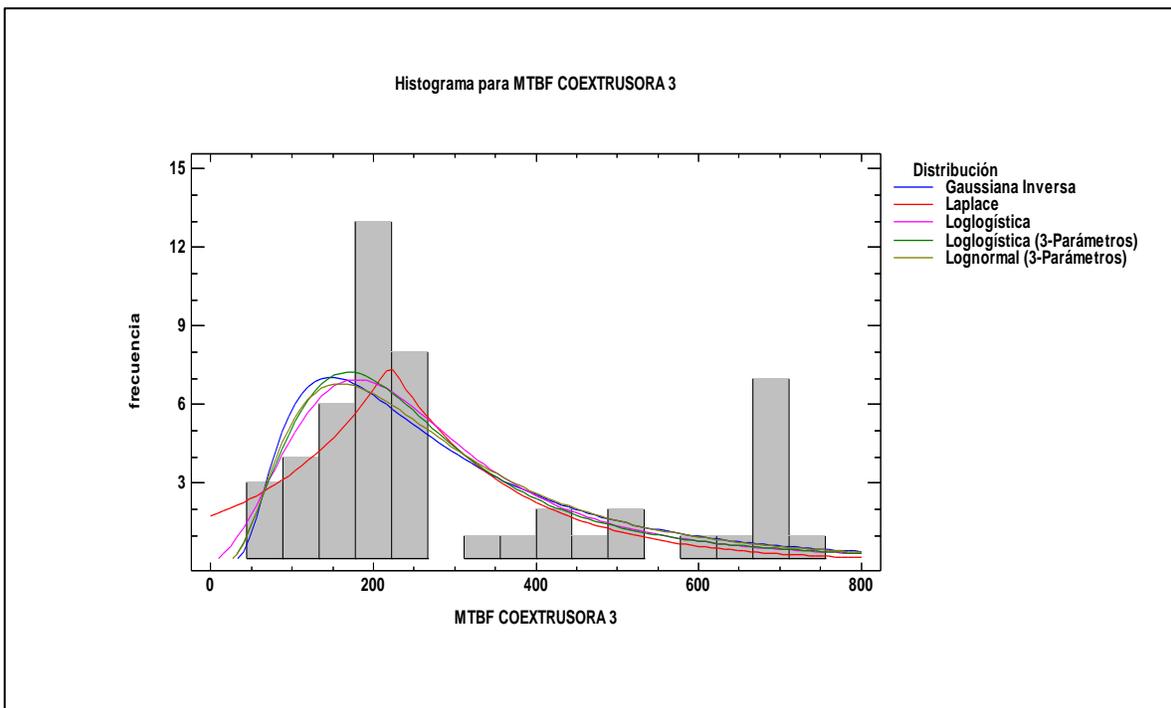


Figura 26. Histograma y ajuste de distribuciones MTBF Coextrusora 3.

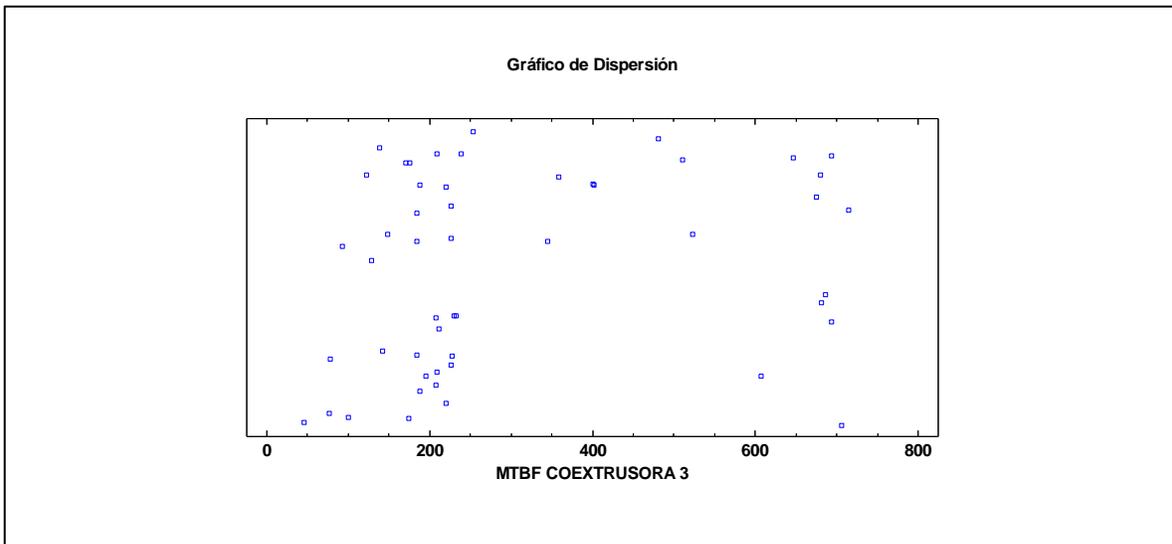


Figura 27. Dispersión MTBF Coextrusora 3.

Anexo 4. Ajuste distribución MTBF Coextrusora 4

Datos/Variable: MTBF COEXTRUSORA 4

62 valores con rango desde 44,49 a 706,2

Tabla 15. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF COEXTRUSORA 4

	Exponencial (2 Parámetros)	Log-logística (3-Parámetros)	Lognormal	Weibull
DMAS	0,118324	0,0852881	0,135713	0,18226
DMENOS	0,115461	0,0686659	0,0728597	0,114433
DN	0,118324	0,0852881	0,135713	0,18226
Valor-P	0,353386	0,757908	0,203894	0,0325171

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF COEXTRUSORA 4 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF COEXTRUSORA 4 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

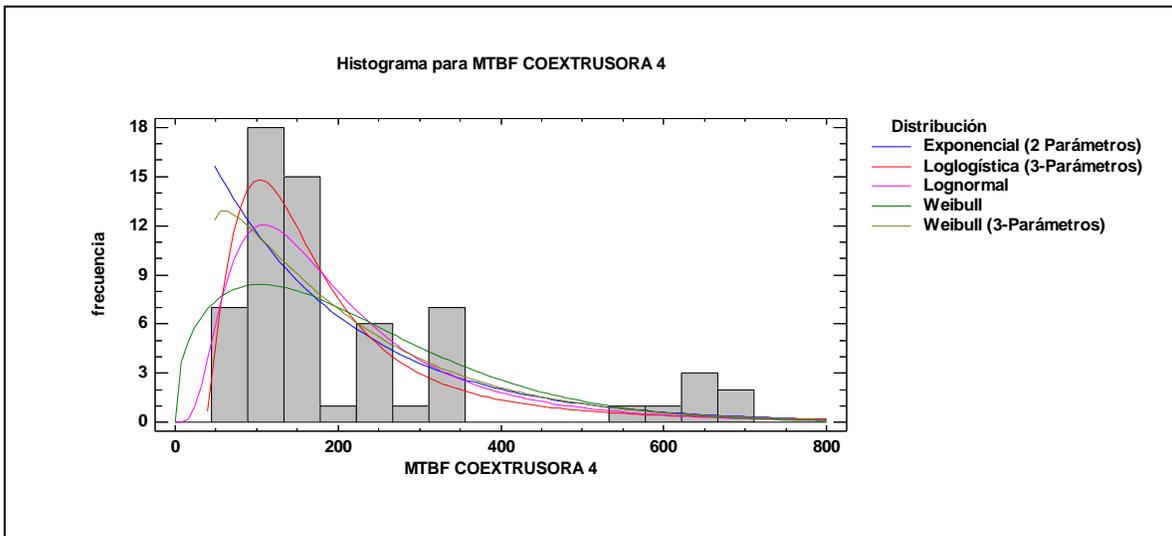


Figura 28. Histograma y ajuste de distribuciones MTBF Coextrusora 4.

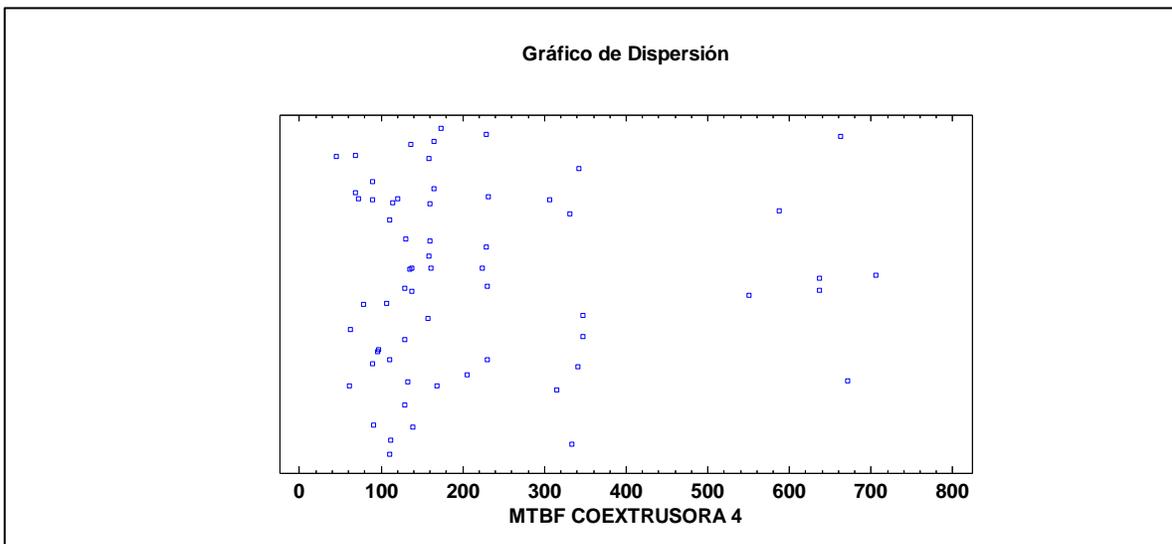


Figura 29. Dispersión MTBF Coextrusora 4.

Anexo 5. Ajuste distribución MTBF Coextrusora 5

Datos/Variable: MTBF COEXTRUSORA 5

42 valores con rango desde 49,89 a 706,24

Tabla 16. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF COEXTRUSORA 5

	Exponencial (2 Parámetros)	Gamma	Lognormal	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
DMAS	0,08564	0,128456	0,100469	0,122879	0,0656321
DMENOS	0,074038	0,0878881	0,0820859	0,0872778	0,0710026
DN	0,08564	0,128456	0,100469	0,122879	0,0710026
Valor-P	0,917696	0,504013	0,790288	0,550097	0,98394

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF COEXTRUSORA 5 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF COEXTRUSORA 5 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

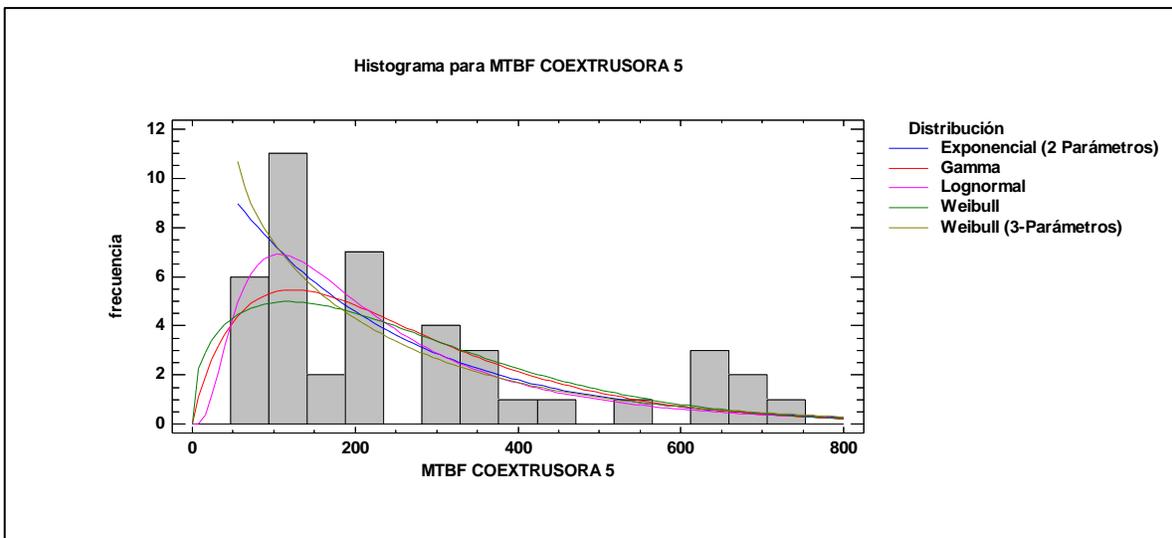


Figura 30. Histograma y ajuste de distribuciones MTBF Coextrusora 5.

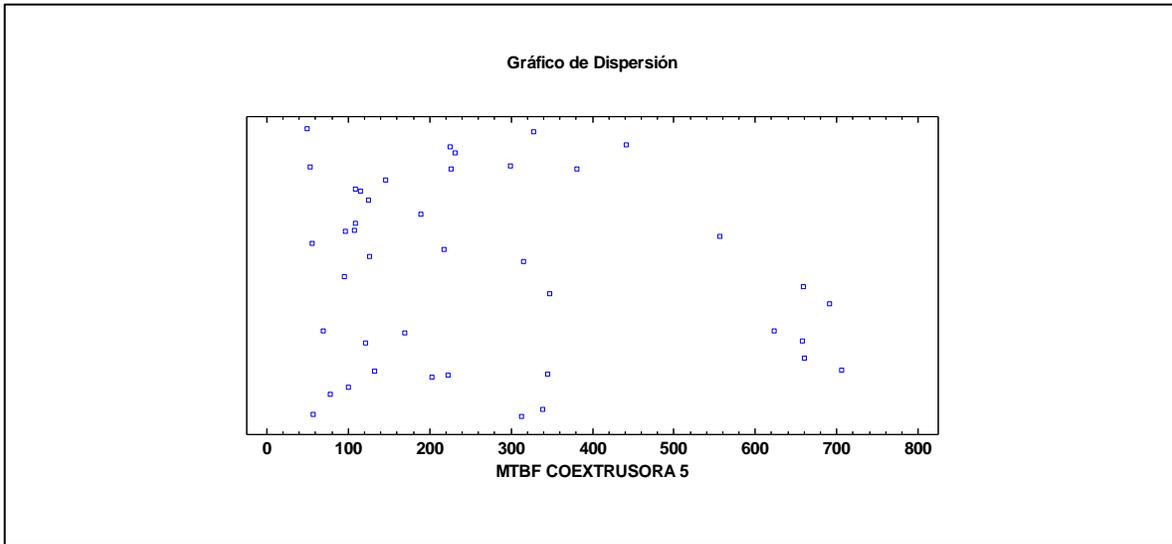


Figura 31. Dispersión MTBF Coextrusora 5.

Anexo 6. Ajuste distribución MTBF Impresora 6

Datos/Variable: MTBF IMPRESORA 6

62 valores con rango desde 11,79 a 98,9

Tabla 17. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF IMPRESORA 6

	Exponencial (2 Parámetros)	Gamma	Lognormal	Normal	Weibull
DMAS	0,0813743	0,121305	0,0898028	0,166461	0,126582
DMENOS	0,123369	0,0683952	0,0470826	0,135101	0,123463
DN	0,123369	0,121305	0,0898028	0,166461	0,126582
Valor-P	0,303497	0,323222	0,699372	0,0643902	0,274606

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF IMPRESORA 6 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF IMPRESORA 6 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

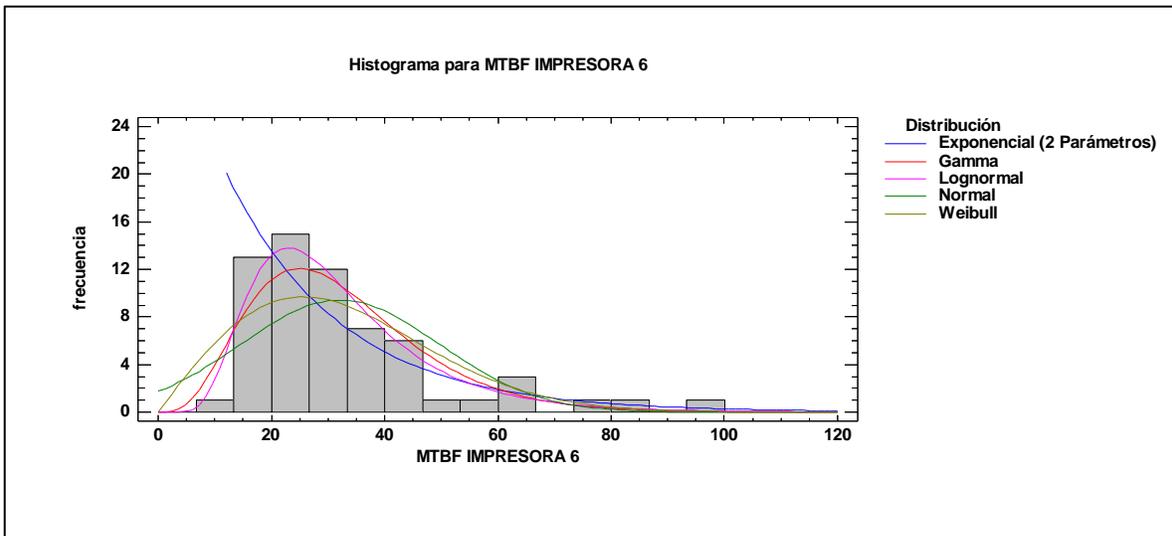


Figura 32. Histograma y ajuste de distribuciones MTBF Impresora 6.

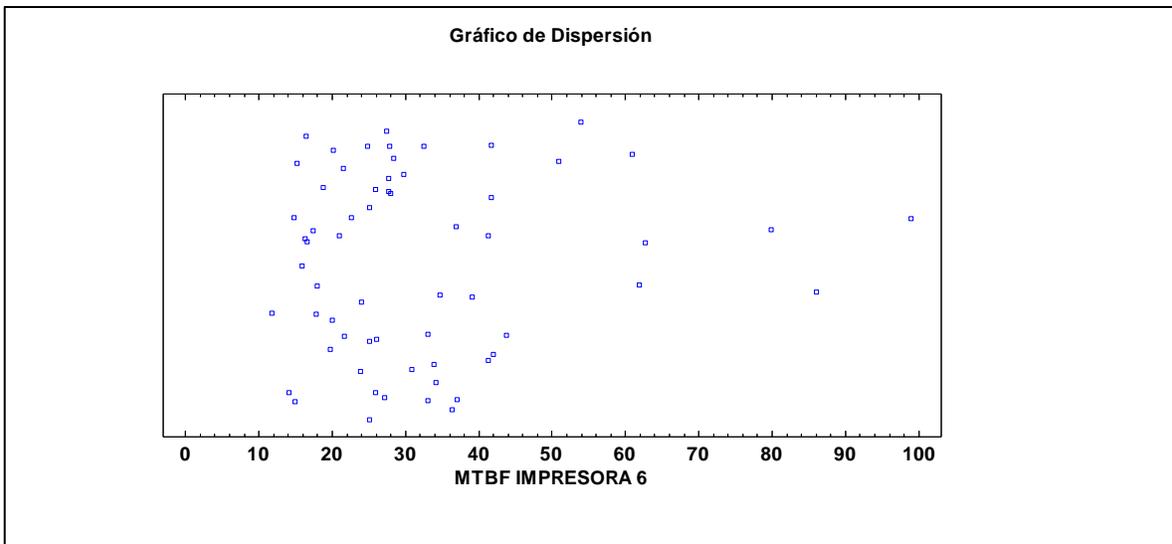


Figura 33. Dispersión MTBF Impresora 6.

Anexo 7. Ajuste distribución MTBF Impresora 7

Datos/Variable: MTBF IMPRESORA 7

62 valores con rango desde 4,24 a 113,32

Tabla 18. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF IMPRESORA 7

	Gamma	Lognormal	Lognormal (3-Parámetros)	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
DMAS	0,135206	0,0848328	0,0743075	0,152063	0,115626
DMENOS	0,0932113	0,0761655	0,0775189	0,15297	0,136221
DN	0,135206	0,0848328	0,0775189	0,15297	0,136221
Valor-P	0,207405	0,76367	0,850242	0,109883	0,200427

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF IMPRESORA 7 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF IMPRESORA 7 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

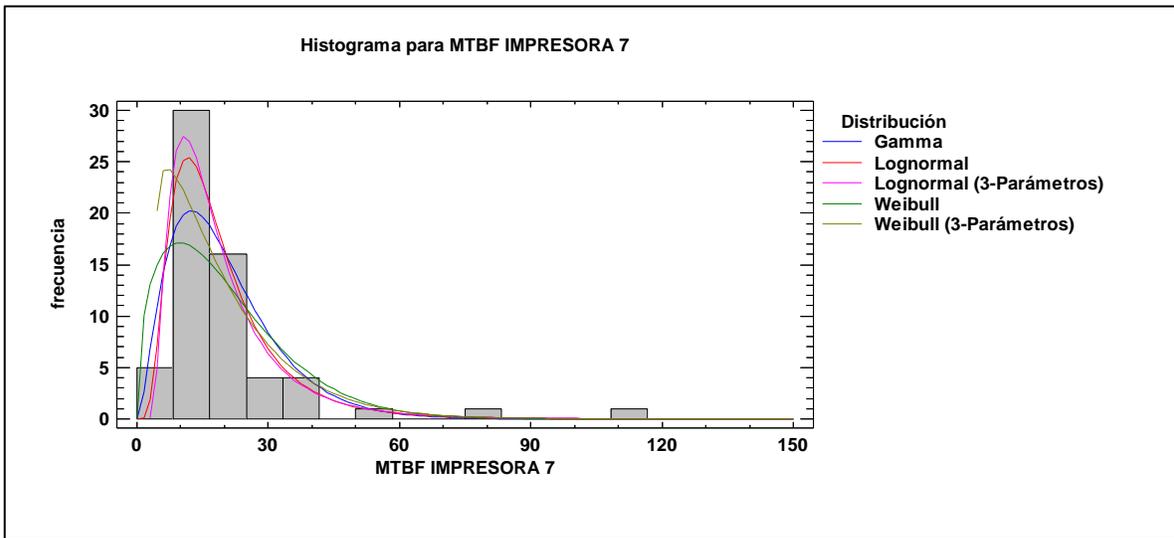


Figura 34. Histograma y ajuste de distribuciones MTBF Impresora 7.

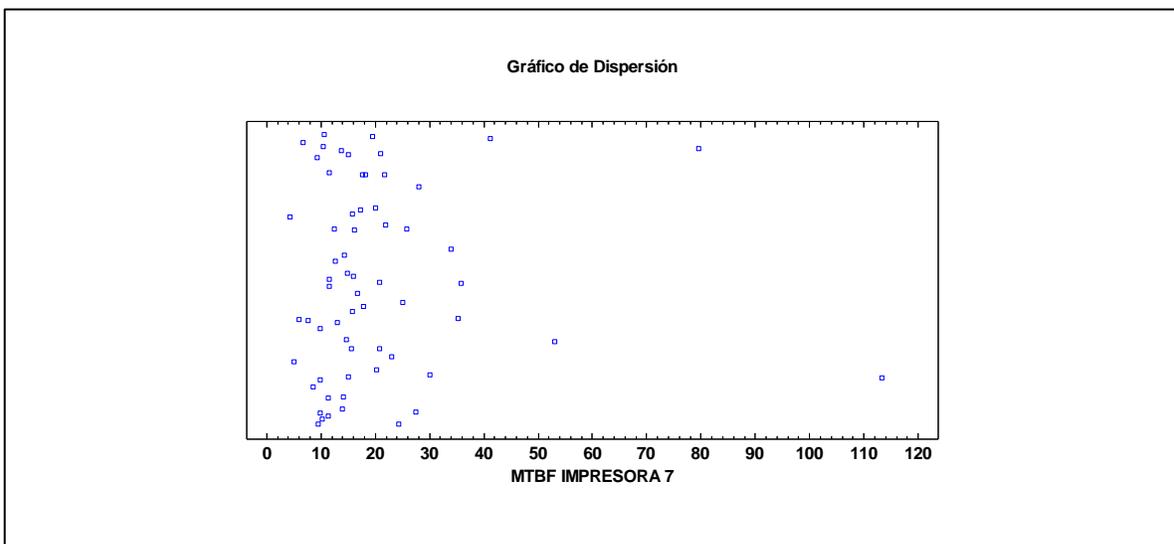


Figura 35. Dispersión MTBF Impresora 7.

Anexo 8. Ajuste distribución MTBF Impresora 8

Datos/Variable: MTBF IMPRESORA 8

62 valores con rango desde 10,23 a 198,33

Tabla 19. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF IMPRESORA 8

	Exponencial (2 Parámetros)	Gamma	Lognormal	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
DMAS	0,0884761	0,117041	0,0790505	0,131322	0,0898784
DMENOS	0,0427275	0,0893028	0,0527613	0,138563	0,0946679
DN	0,0884761	0,117041	0,0790505	0,138563	0,0946679
Valor-P	0,716786	0,366986	0,833244	0,185034	0,634889

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF IMPRESORA 8 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF IMPRESORA 8 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

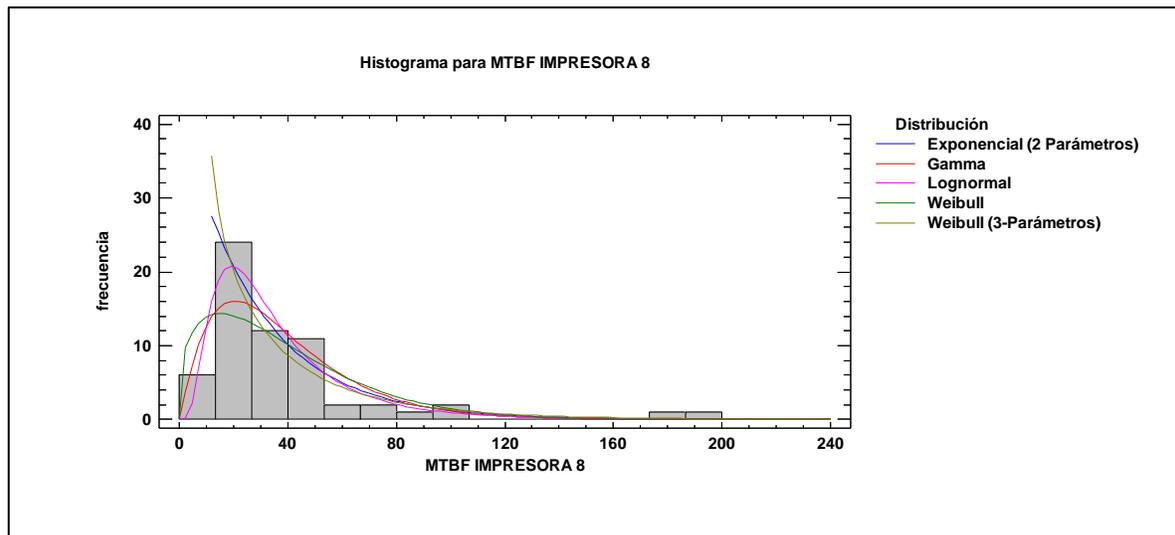


Figura 36. Histograma y ajuste de distribuciones MTBF Impresora 8.

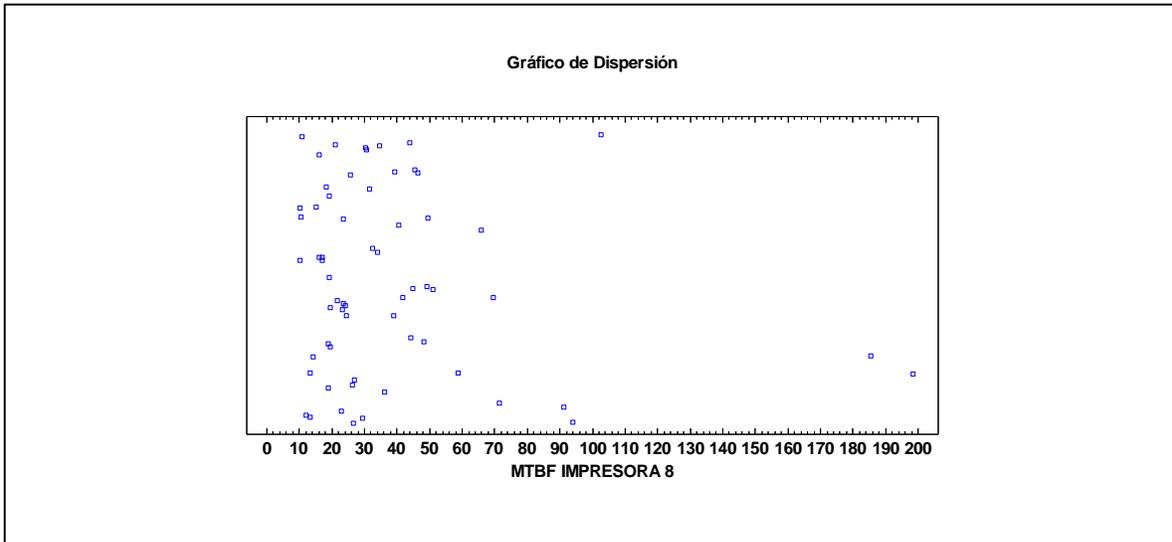


Figura 37. Dispersión MTBF Impresora 8.

Anexo 9. Ajuste distribución MTBF Impresora 9

Datos/Variable: MTBF IMPRESORA 9

62 valores con rango desde 10,51 a 178,37

Tabla 20. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF IMPRESORA 9

	Gamma	Lognormal	Lognormal (3-Parámetros)	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
DMAS	0,086957	0,0565726	0,0573723	0,108863	0,0806919
DMENOS	0,0689272	0,0410547	0,0512715	0,116862	0,0626861
DN	0,086957	0,0565726	0,0573723	0,116862	0,0806919
Valor-P	0,736532	0,988777	0,986855	0,368917	0,814285

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF IMPRESORA 9 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF IMPRESORA 9 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

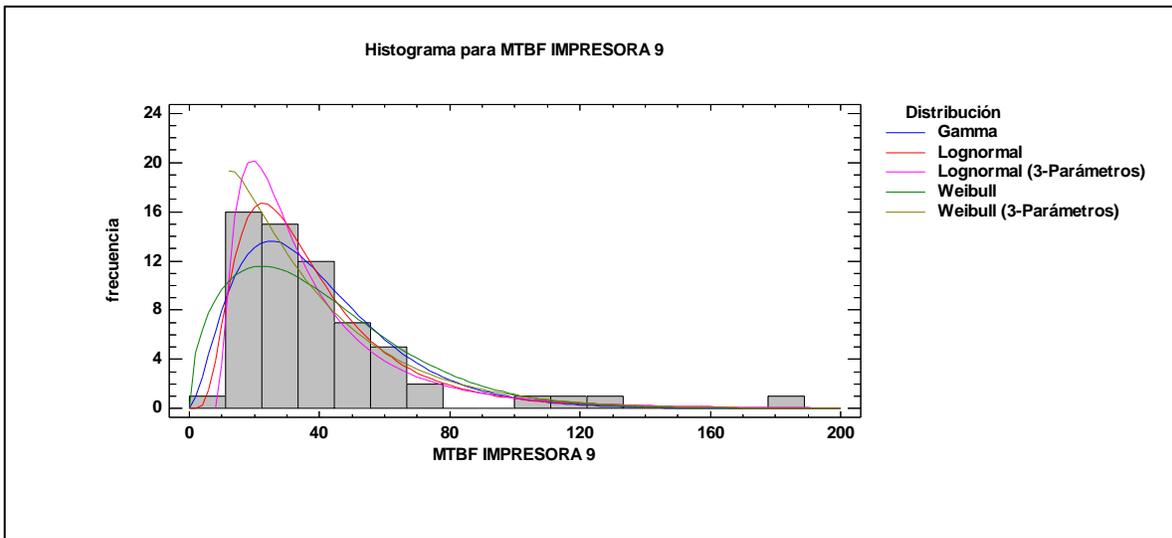


Figura 37. Histograma y ajuste de distribuciones MTBF Impresora 9.

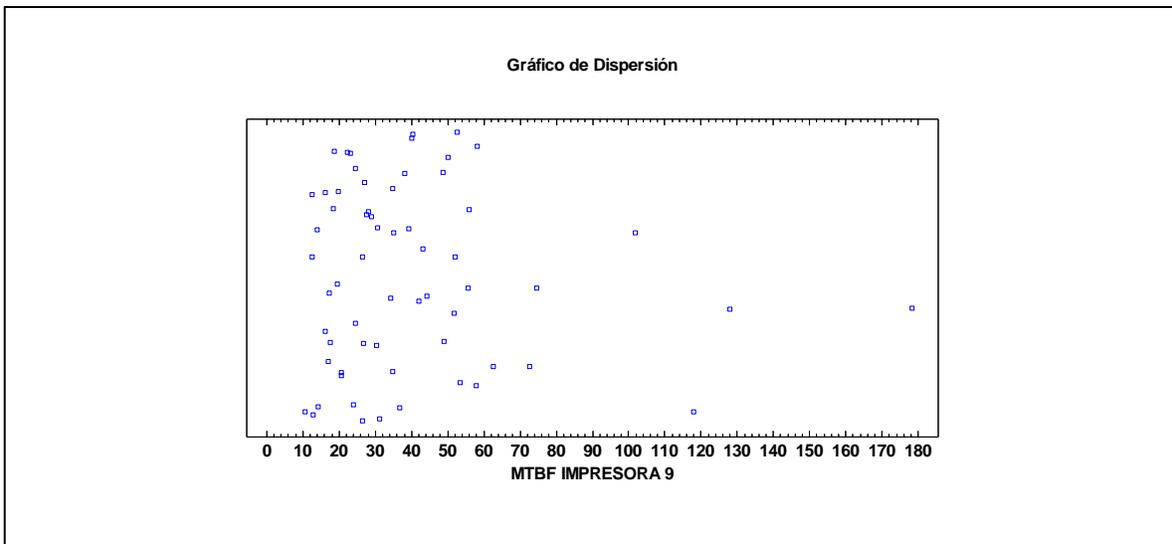


Figura 38. Dispersión MTBF Impresora 9.

Anexo 10. Ajuste distribución MTBF Cortadora 3

Datos/Variable: MTBF CORTADORA 3

61 valores con rango desde 31,76 a 347,01

Tabla 21. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF CORTADORA 3

	Gamma	Lognormal	Normal	Weibull	Weibull (3-Parámetros)
--	-------	-----------	--------	---------	------------------------

DMAS	0,0914527	0,0656685	0,161052	0,119544	0,0835428
DMENOS	0,0618186	0,0750036	0,105801	0,0642546	0,0954419
DN	0,0914527	0,0750036	0,161052	0,119544	0,0954419
Valor-P	0,68737	0,882512	0,0844806	0,350757	0,634874

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF CORTADORA 3 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF CORTADORA 3 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

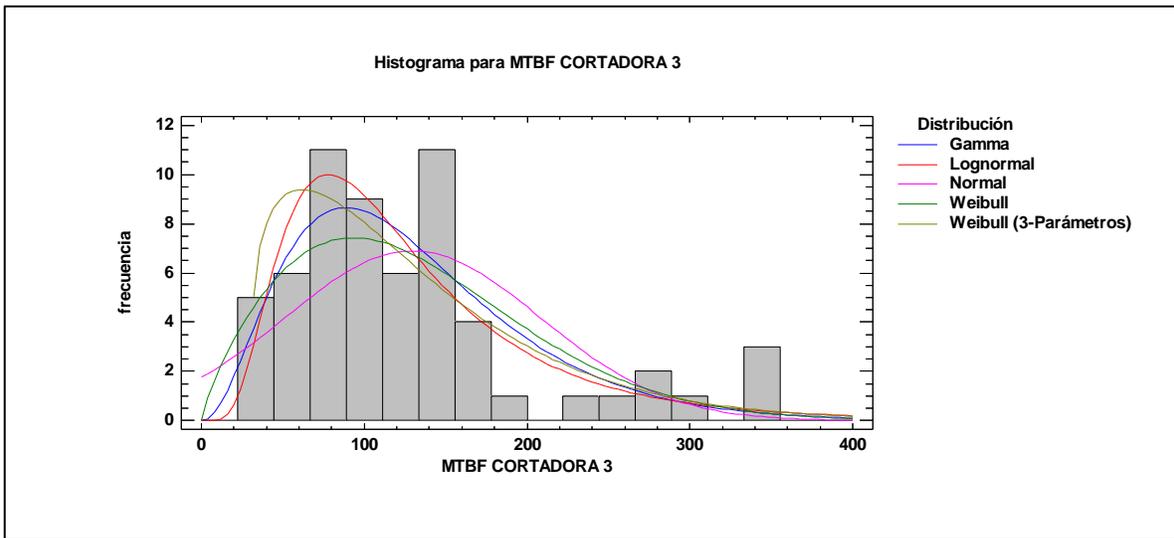


Figura 39. Histograma y ajuste de distribuciones Cortadora 3.

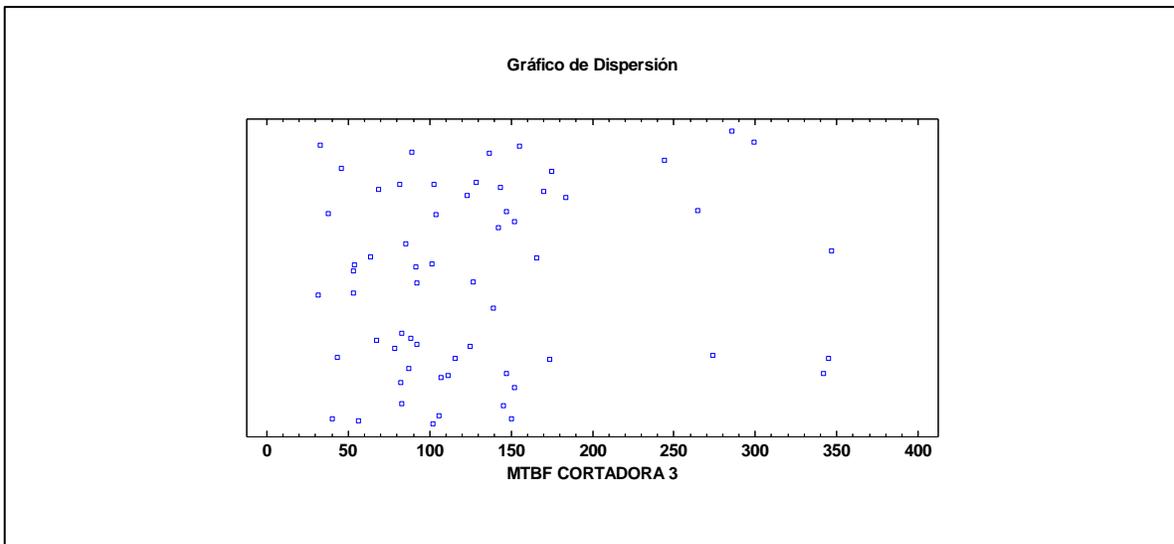


Figura 40. Dispersión MTBF Cortadora 3.

Anexo 11. Ajuste distribución MTBF Cortadora 4

Datos/Variable: MTBF CORTADORA 4

62 valores con rango desde 23,13 a 447,68

Tabla 22. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF CORTADORA 4

	Exponencial (2 Parámetros)	Gamma	Normal	Triangular	Weibull
DMAS	0,108129	0,109741	0,142882	0,121027	0,123392
DMENOS	0,154439	0,134939	0,0985416	0,075999	0,122175
DN	0,154439	0,134939	0,142882	0,121027	0,123392
Valor-P	0,103896	0,209267	0,159119	0,325956	0,303285

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF CORTADORA 4 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF CORTADORA 4 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

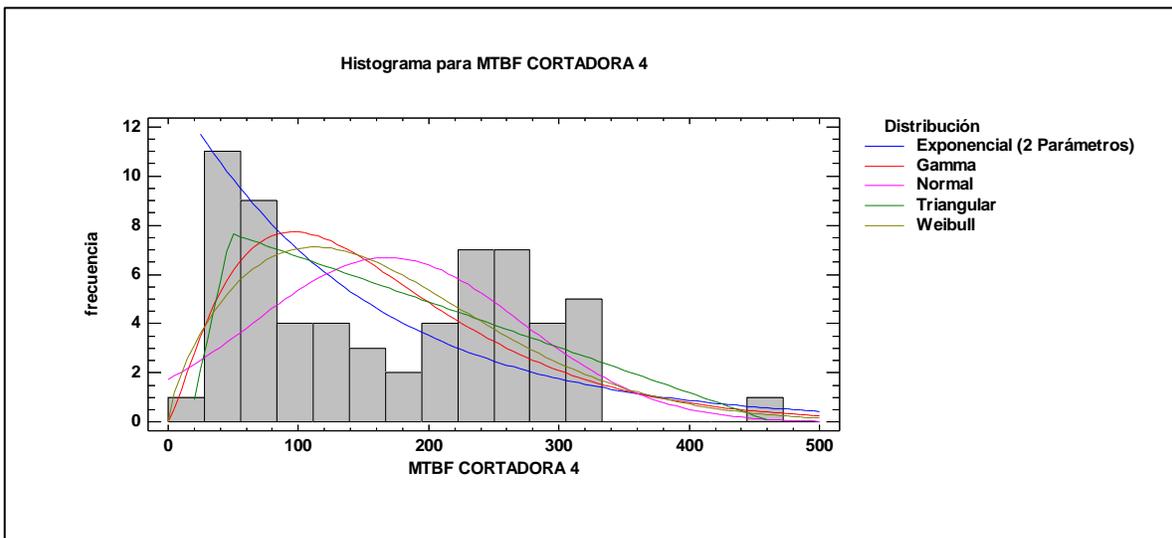


Figura 41. Histograma y ajuste de distribuciones Cortadora 4.

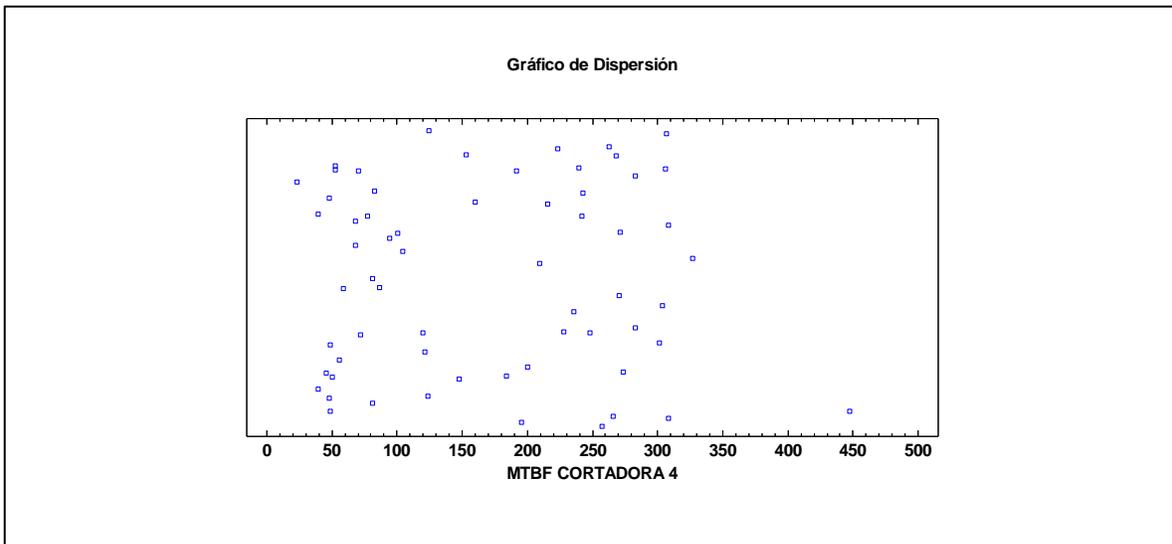


Figura 42. Dispersión MTBF Cortadora 4.

Anexo 12. Ajuste distribución MTBF Cortadora 7.

Datos/Variable: MTBF CORTADORA 7

62 valores con rango desde 44,35 a 443,37

Tabla 23. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF CORTADORA 7

	Exponencial	Gamma	Logística Generalizada	Normal	Weibull
DMAS	0,207416	0,150944	0,130029	0,114253	0,118008
DMENOS	0,308768	0,278709	0,119431	0,2392	0,26047
DN	0,308768	0,278709	0,130029	0,2392	0,26047
Valor-P	0,0000146843	0,000131171	0,245989	0,00165871	0,000444043

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF CORTADORA 7 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF CORTADORA 7 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

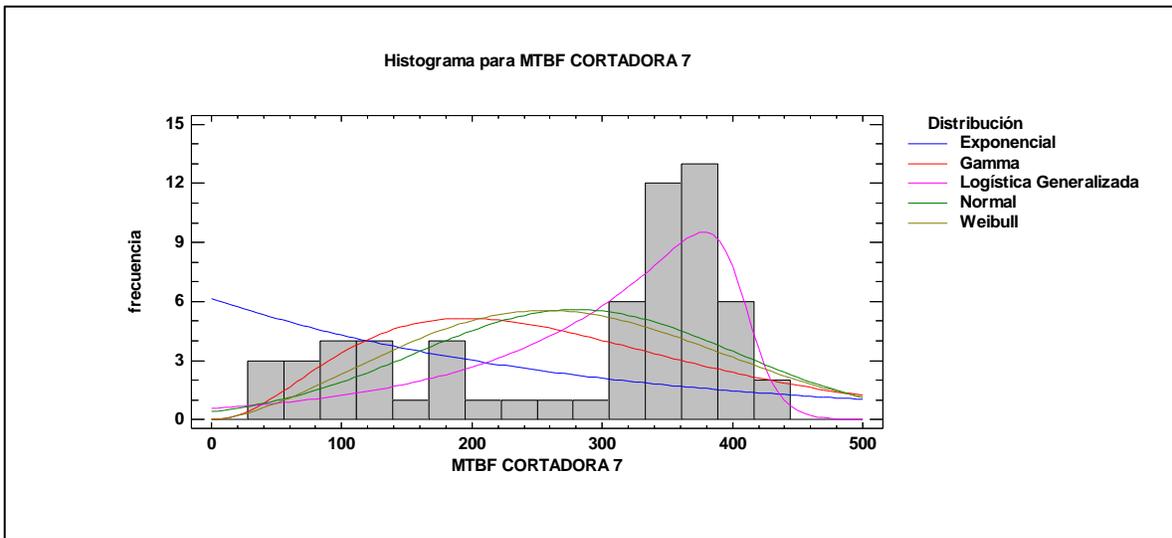


Figura 43. Histograma y ajuste de distribuciones Cortadora 7.

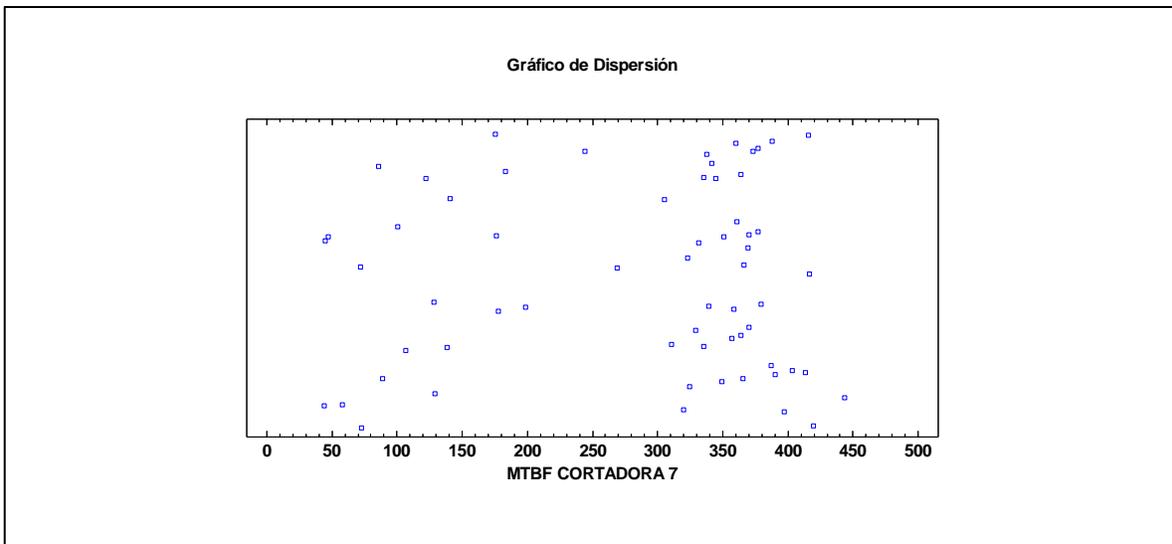


Figura 44. Dispersión MTBF Cortadora 7.

Anexo 13. Ajuste distribución MTBF Cortadora 9.

Datos/Variable: MTBF CORTADORA 9

8 valores con rango desde 76,27 a 231,87

Tabla 24. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF CORTADORA 9

	Exponencial	Exponencial (2 Parámetros)	Gamma	Normal	Weibull
--	-------------	----------------------------	-------	--------	---------

DMAS	0,196448	0,190511	0,251366	0,267886	0,262409
DMENOS	0,414503	0,22928	0,234775	0,211763	0,221179
DN	0,414503	0,22928	0,251366	0,267886	0,262409
Valor-P	0,128	0,794328	0,692902	0,614226	0,6403

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF CORTADORA 9 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF CORTADORA 9 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

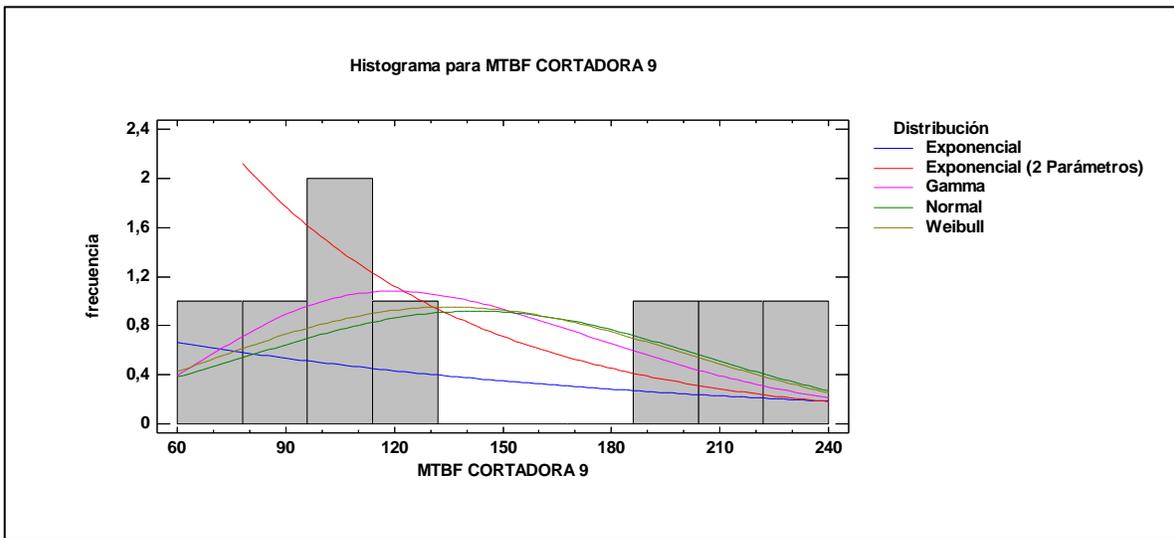


Figura 45. Histograma y ajuste de distribuciones Cortadora 9.

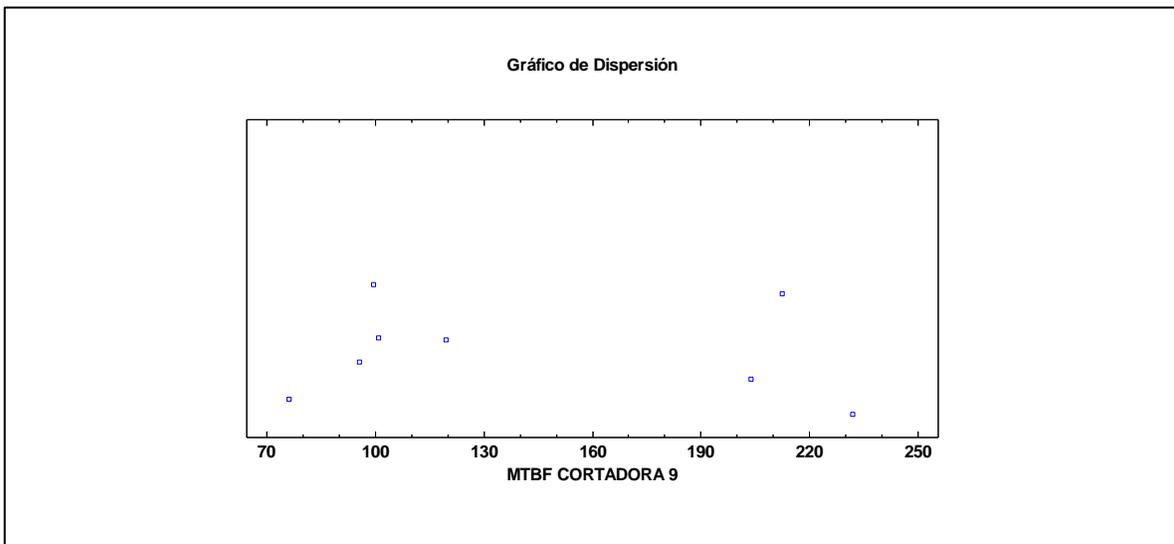


Figura 46. Dispersión MTBF Cortadora 9.

Anexo 14. Ajuste distribución MTBF Selladora 1

Datos/Variable: MTBF SELLADORA 1

52 valores con rango desde 34,97 a 438,33

Tabla 25. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF SELLADORA 1

	Exponencial (2 Parámetros)	Gamma	Lognormal	Lognormal (3-Parámetros)	Weibull
DMAS	0,115841	0,148313	0,132236	0,0863386	0,13999
DMENOS	0,107128	0,118023	0,110296	0,0987591	0,113436
DN	0,115841	0,148313	0,132236	0,0987591	0,13999
Valor-P	0,49913	0,20311	0,325202	0,690905	0,26084

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF SELLADORA 1 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF SELLADORA 1 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

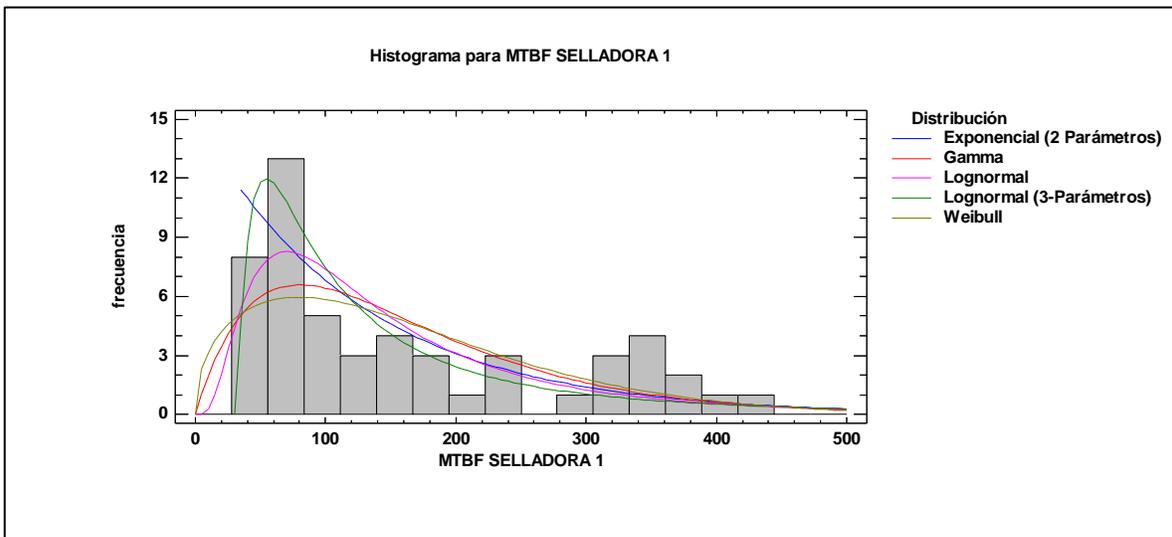


Figura 47. Histograma y ajuste de distribuciones Selladora 1.

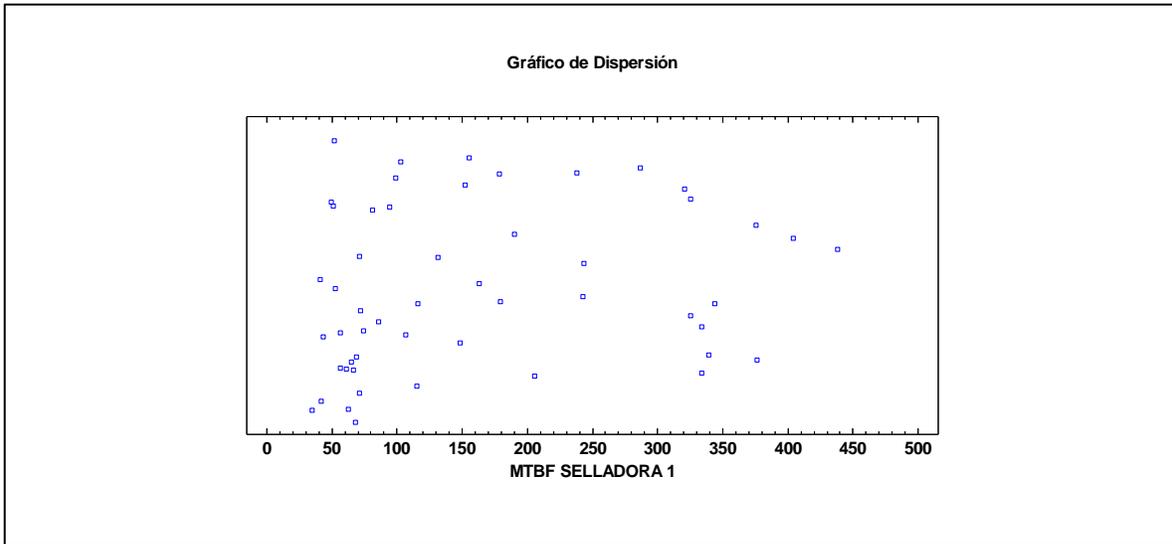


Figura 48. Dispersión MTBF Selladora 1.

Anexo 15. Ajuste distribución MTBF Selladora 13

Datos/Variable: MTBF SELLADORA 13

62 valores con rango desde 10,88 a 103,96

Tabla 26. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF SELLADORA 13

	Exponencial	Gamma	Lognormal	Normal	Weibull
DMAS	0,107626	0,107158	0,0696858	0,173554	0,125377
DMENOS	0,278493	0,0541596	0,0391853	0,1287	0,0964503
DN	0,278493	0,107158	0,0696858	0,173554	0,125377
Valor-P	0,00013314	0,484921	0,92411	0,0477468	0,285183

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF SELLADORA 13 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF SELLADORA 13 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

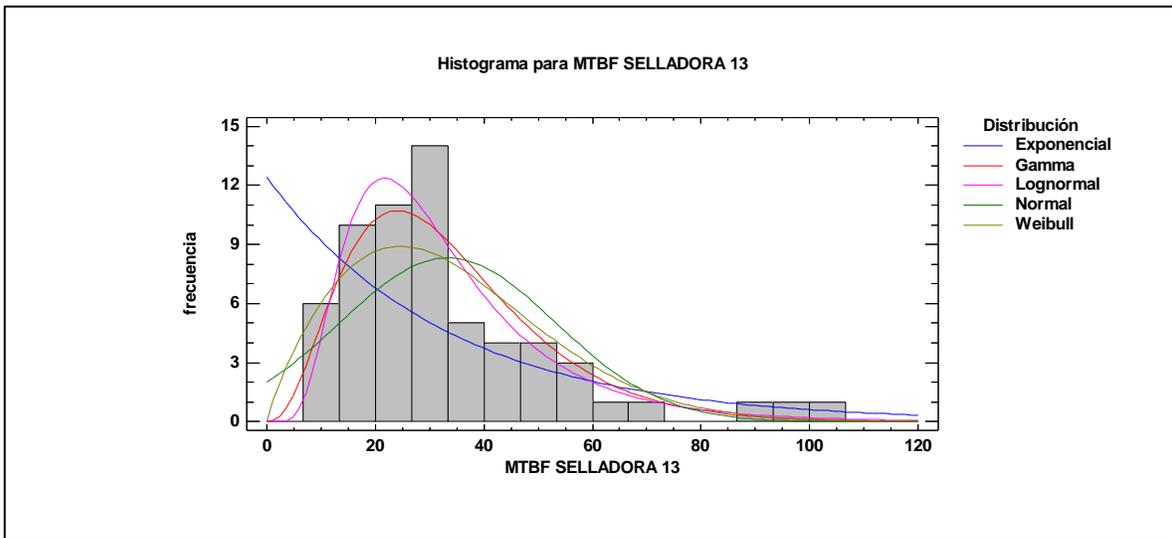


Figura 49. Histograma y ajuste de distribuciones Selladora 13.

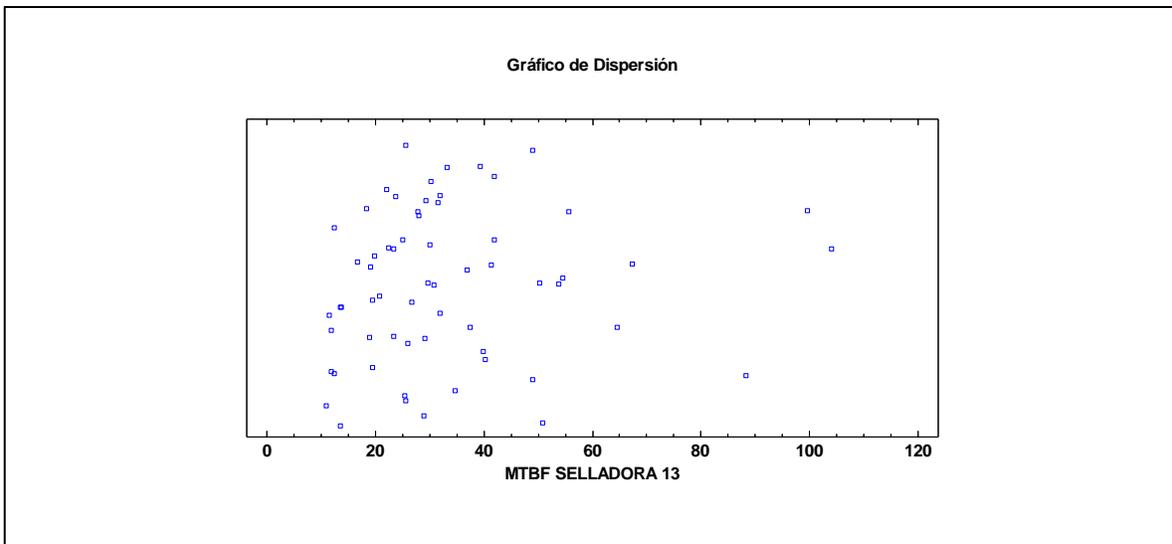


Figura 50. Dispersión MTBF Selladora 13.

Anexo 16. Ajuste distribución MTBF Selladora 14

Datos/Variable: MTBF SELLAORA 14

62 valores con rango desde 11,76 a 264,1

Tabla 27. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF SELLADORA 14

	Exponencial	Gamma	Lognormal	Normal	Weibull
--	-------------	-------	-----------	--------	---------

DMAS	0,108645	0,109955	0,0836566	0,206314	0,123561
DMENOS	0,262927	0,0917087	0,0665057	0,218268	0,151933
DN	0,262927	0,109955	0,0836566	0,218268	0,151933
Valor-P	0,000378586	0,449116	0,778396	0,00543809	0,114277

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF SELLADORA 14 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF SELLADORA 14 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

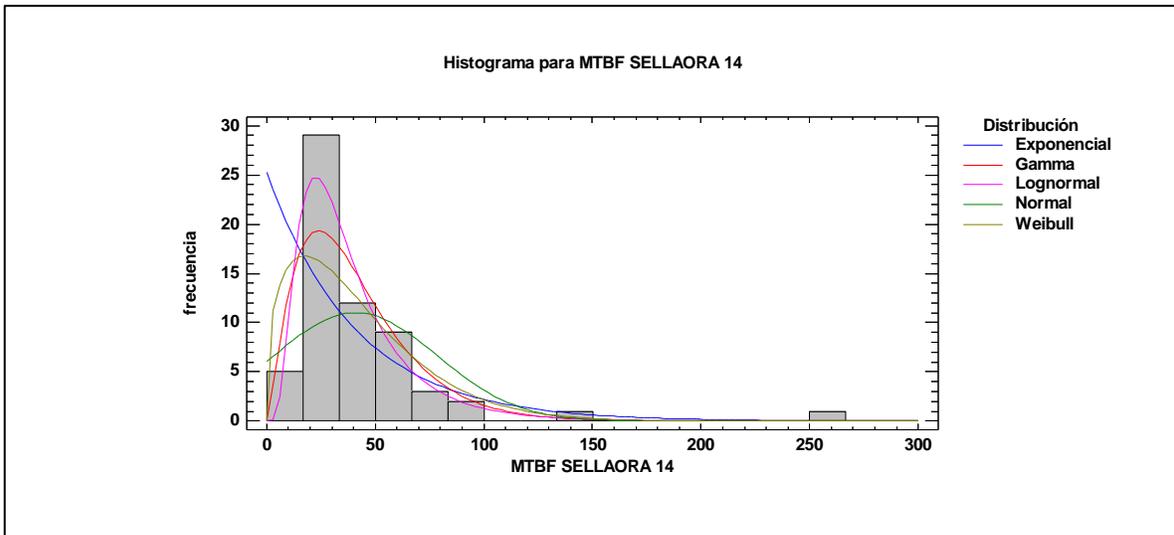


Figura 51. Histograma y ajuste de distribuciones Selladora 14.

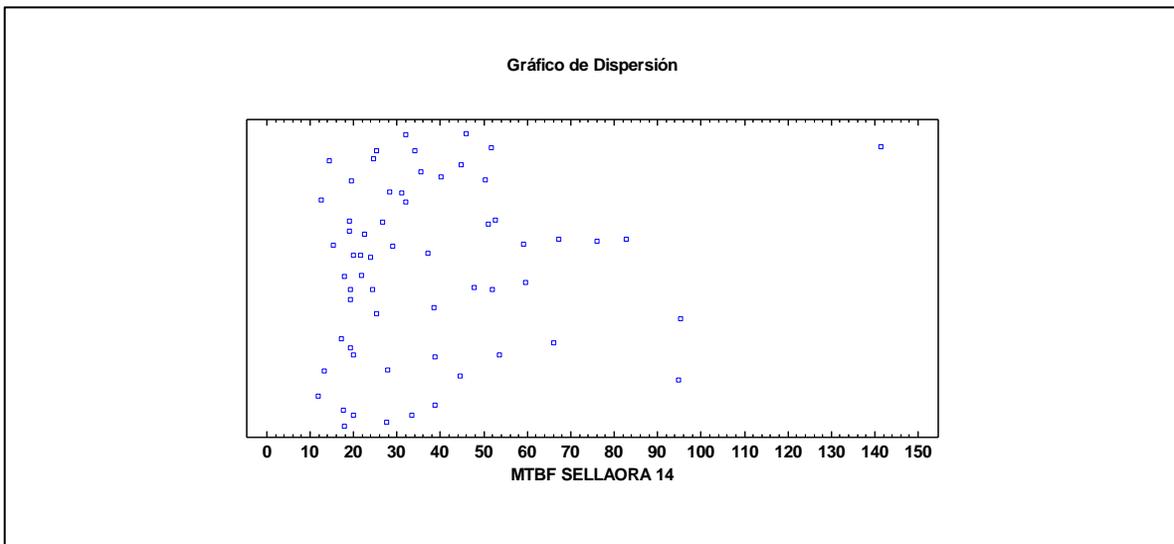


Figura 52. Dispersión MTBF Selladora 14.

Anexo 17. Ajuste distribución MTBF Selladora 15

Datos/Variable: MTBF SELLAODRA 15

55 valores con rango desde 16,73 a 370,53

Tabla 28. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF SELLAODRA 15

	Exponencial (2 Parámetros)	Gamma	Loglogística	Lognormal	Weibull
DMAS	0,136327	0,188502	0,0742484	0,134883	0,189713
DMENOS	0,125043	0,106004	0,0632595	0,0722161	0,179778
DN	0,136327	0,188502	0,0742484	0,134883	0,189713
Valor-P	0,259209	0,0401362	0,922172	0,270663	0,038164

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF SELLAODRA 15 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF SELLAODRA 15 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

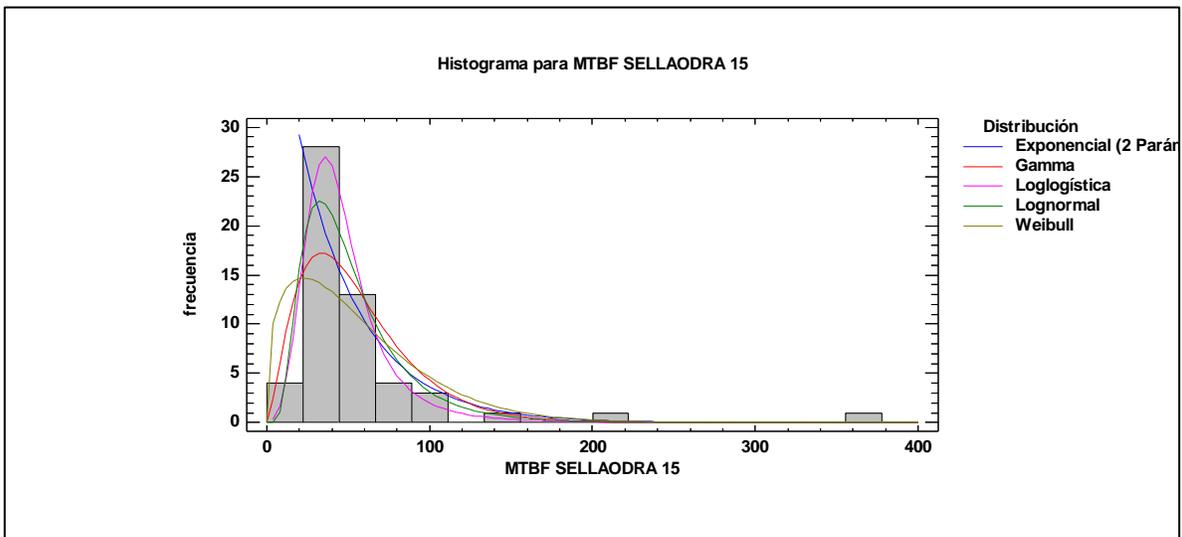


Figura 53. Histograma y ajuste de distribuciones Selladora 15.

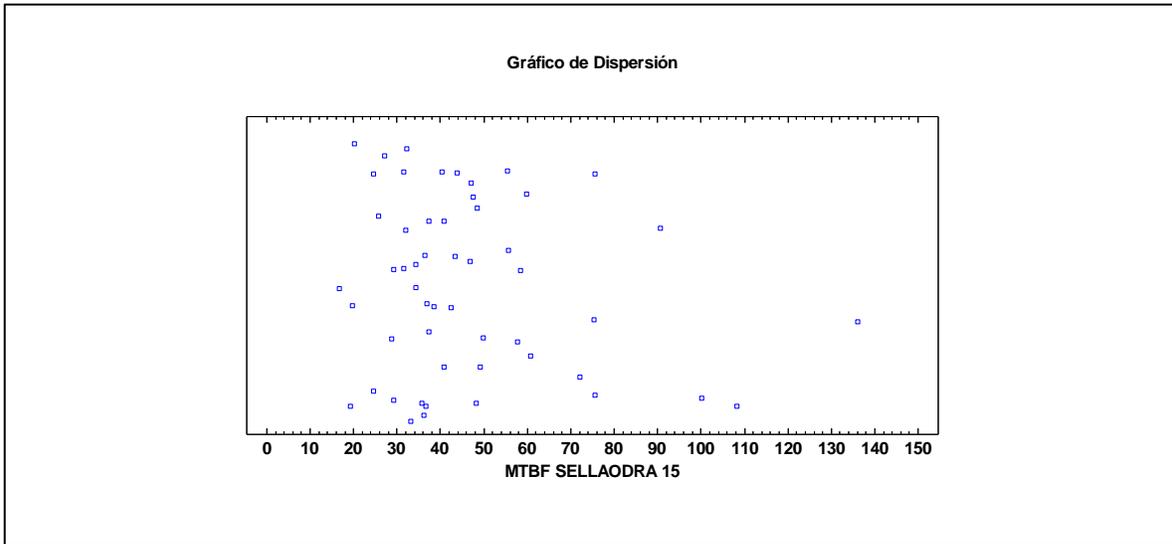


Figura 54. Dispersión MTBF Selladora 15.

Anexo 18. Ajuste distribución MTBF Selladora 16

Datos/Variable: MTBF SELLADORA 16

18 valores con rango desde 20,3 a 129,25

Tabla 29. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF SELLADORA 16

	Exponencial	Gamma	Lognormal	Normal	Weibull
DMAS	0,14226	0,139568	0,126435	0,197451	0,171517
DMENOS	0,313989	0,123011	0,149755	0,124578	0,116868
DN	0,313989	0,139568	0,149755	0,197451	0,171517
Valor-P	0,0574953	0,874522	0,814302	0,495097	0,664789

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF SELLADORA 16 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF SELLADORA 16 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

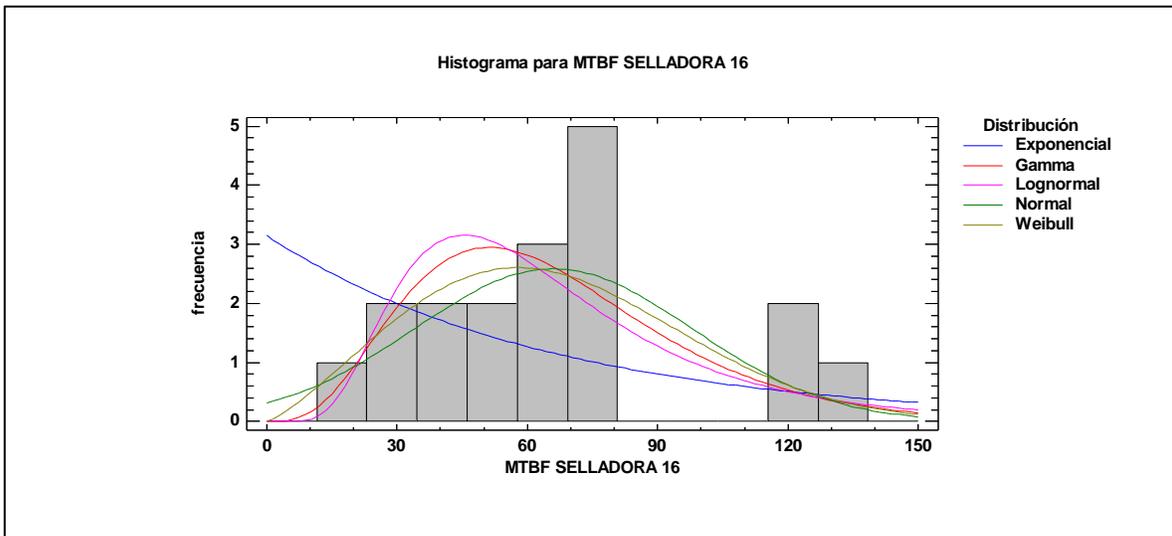


Figura 55. Histograma y ajuste de distribuciones Selladora 16.

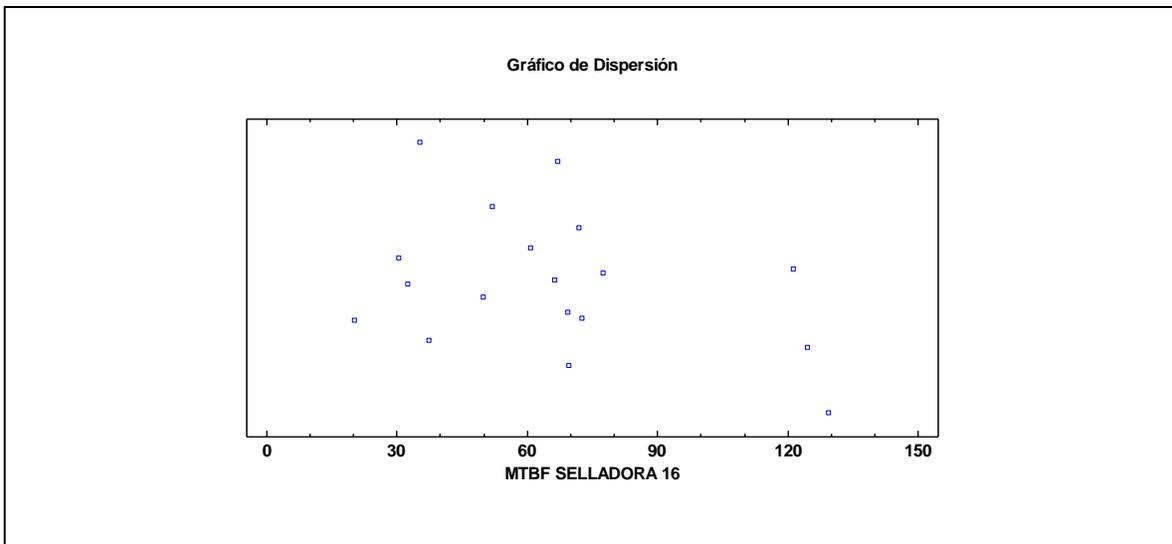


Figura 56. Dispersión MTBF Selladora 16.

Anexo 19. Ajuste distribución MTBF Selladora 17

Datos/Variable: MTBF SELLADORA 17

18 valores con rango desde 17,24 a 180,31

Tabla 30. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF SELLADORA 17

	Exponencial	Gamma	Lognormal	Normal	Weibull
--	-------------	-------	-----------	--------	---------

DMAS	0,152057	0,167543	0,136231	0,249576	0,193297
DMENOS	0,24993	0,0682508	0,0837517	0,145003	0,0951119
DN	0,24993	0,167543	0,136231	0,249576	0,193297
Valor-P	0,21119	0,693148	0,89203	0,212538	0,52563

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF SELLADORA 17 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF SELLADORA 17 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

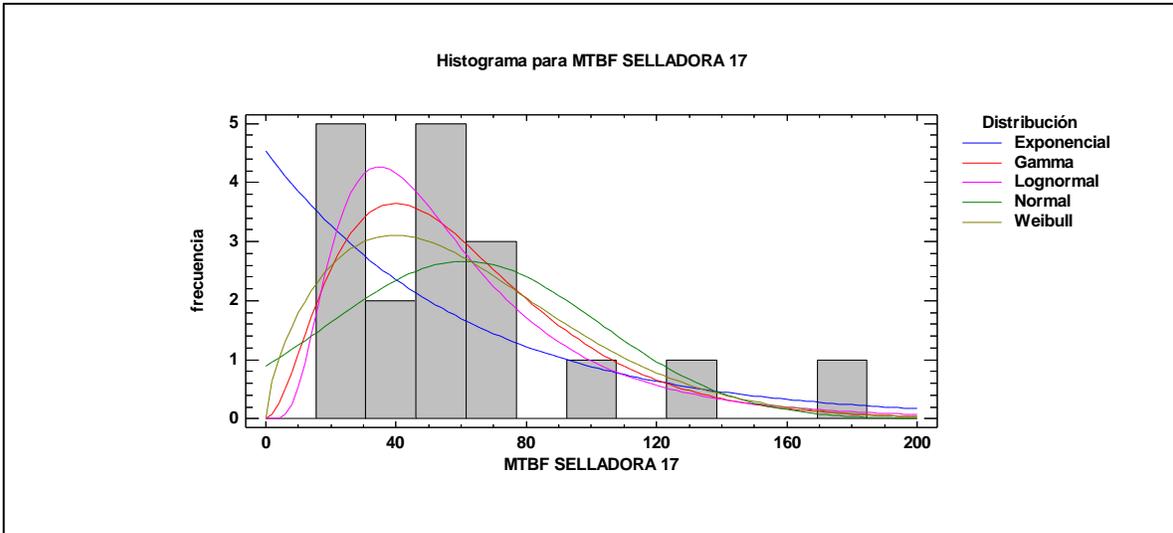


Figura 57. Histograma y ajuste de distribuciones Selladora 17.

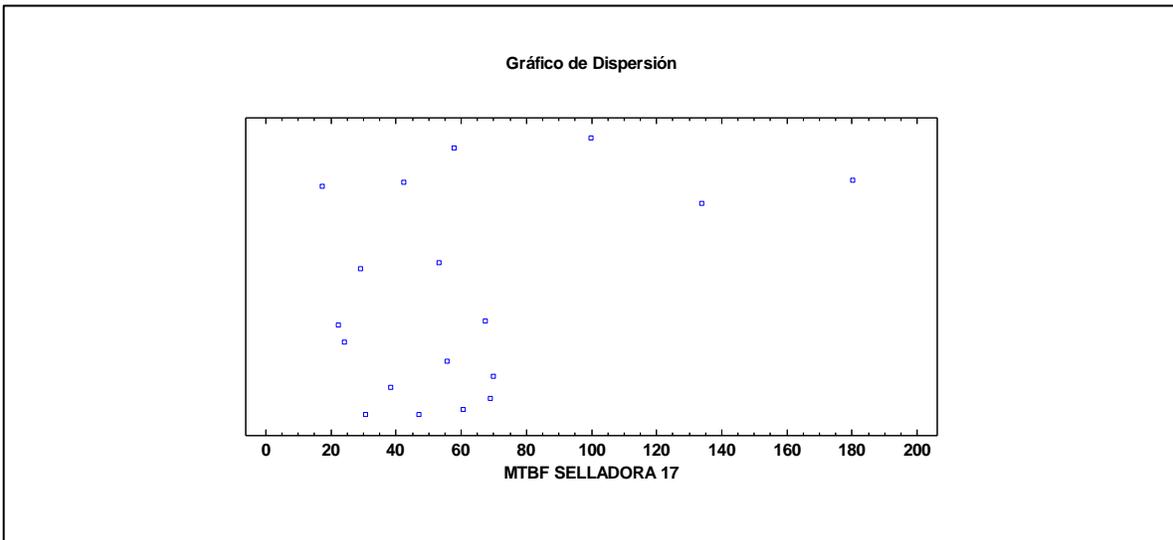


Figura 58. Dispersión MTBF Selladora 17.

Anexo 20. Ajuste distribución MTBF Laminadora 1

Datos/Variable: MTBF LAMINADORA 1

61 valores con rango desde 27,42 a 346,15

Tabla 31. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF LAMINADORA 1

	Exponencial	Gamma	Lognormal	Normal	Weibull
DMAS	0,104617	0,0684854	0,0617658	0,0954002	0,0762109
DMENOS	0,191937	0,0779085	0,108701	0,0732802	0,0698436
DN	0,191937	0,0779085	0,108701	0,0954002	0,0762109
Valor-P	0,0223411	0,852852	0,476256	0,635422	0,87054

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF LAMINADORA 1 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF LAMINADORA 1 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

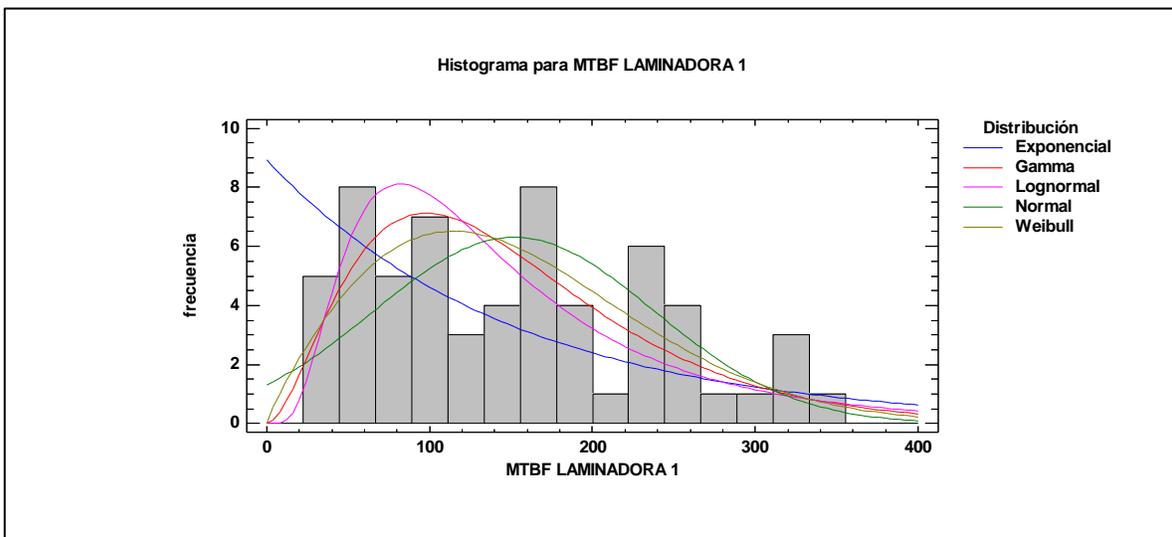


Figura 59. Histograma y ajuste de distribuciones Laminadora 1.

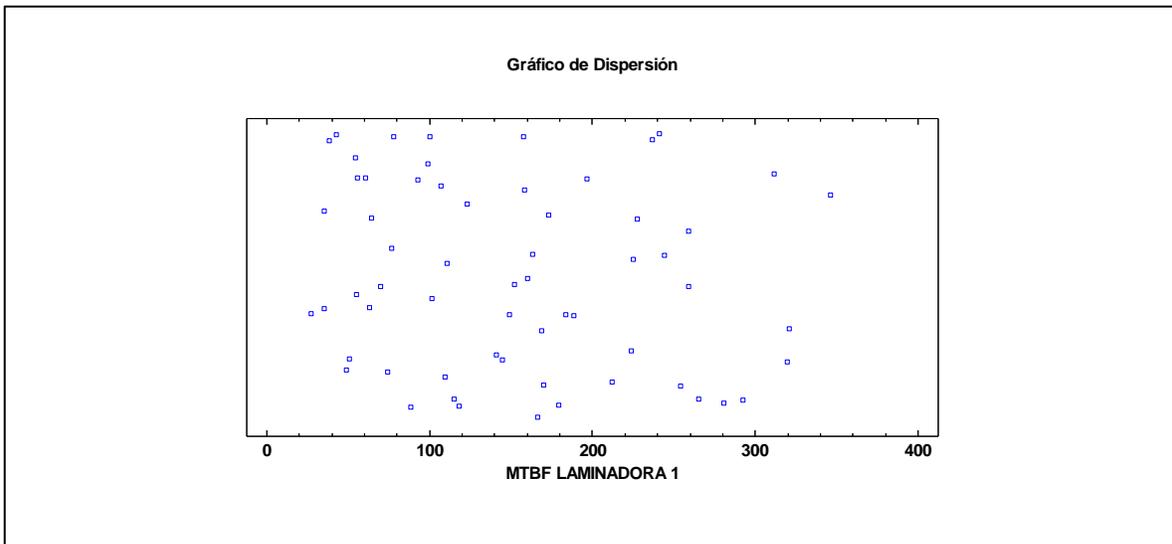


Figura 60. Dispersión MTBF Laminadora 1.

Anexo 21. Ajuste distribución MTBF Laminadora 2

Datos/Variable: MTBF LAMINADORA 2

6 valores con rango desde 25,6 a 139,7

Tabla 32. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTBF LAMINADORA 2

	Exponencial (2 Parámetros)	Gamma	Lognormal	Normal	Weibull
DMAS	0,166667	0,226942	0,188551	0,273286	0,239083
DMENOS	0,121326	0,128267	0,10406	0,176529	0,136144
DN	0,166667	0,226942	0,188551	0,273286	0,239083
Valor-P	0,996255	0,916777	0,983297	0,761364	0,882718

Esta ventana muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTBF LAMINADORA 2 puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTBF LAMINADORA 2 no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

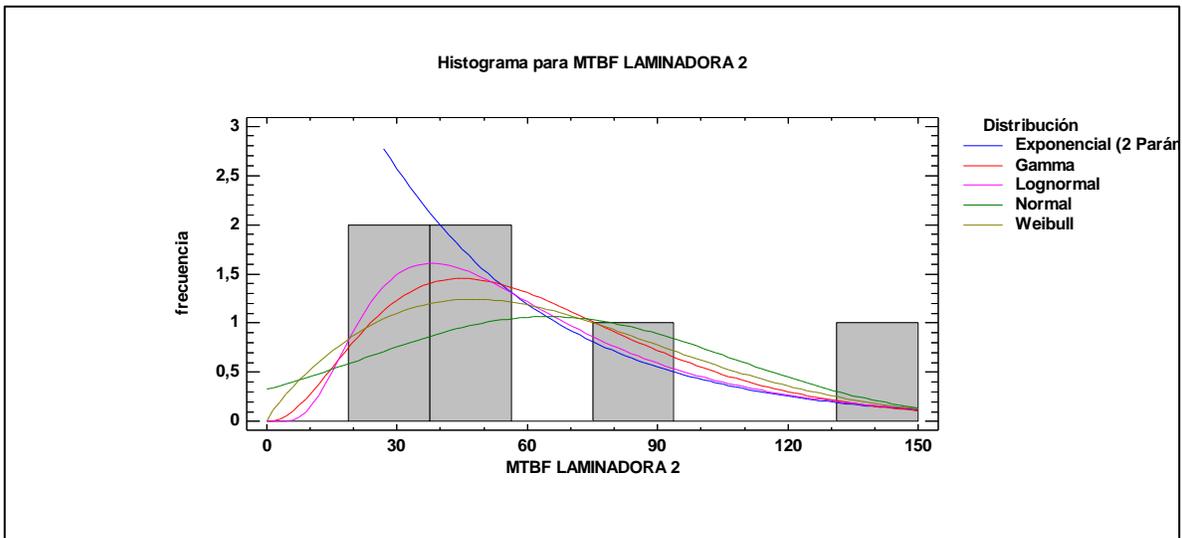


Figura 61. Histograma y ajuste de distribuciones Laminadora 2.

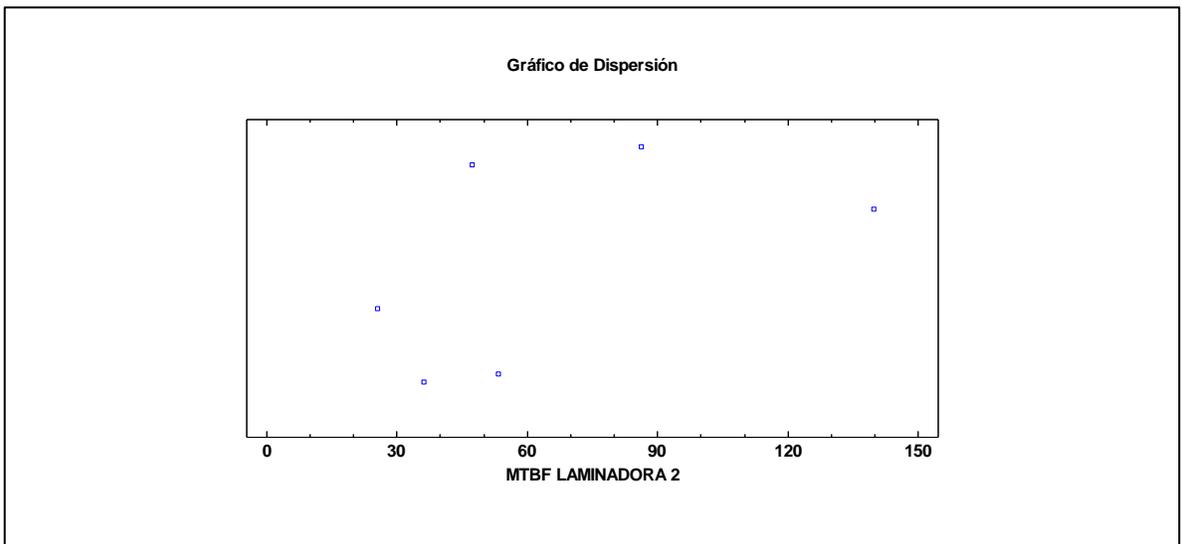


Figura 62. Dispersión MTBF Laminadora 2.

Anexo 22. Ajuste distribución MTTR equipos Coldeplast

Tabla 33. Pruebas de Bondad-de-Ajuste para MTTR COLDEPLAST

	Gamma	Laplace	Lognormal	Normal	Weibull
DMAS	0,0886235	0,0732219	0,0722647	0,126031	0,141535
DMENOS	0,0561941	0,076264	0,0516023	0,0897007	0,161572

DN	0,0886235	0,076264	0,0722647	0,126031	0,161572
Valor-P	0,714858	0,863616	0,902467	0,279405	0,0785585

Esta tabla muestra los resultados de las pruebas realizadas para determinar si MTTR COLDEPLAST puede ser modelada adecuadamente por varias distribuciones.

Valores-P menores que 0,05 indicarían que MTTR COLDEPLAST no proviene de la distribución seleccionada con 95% de confianza.

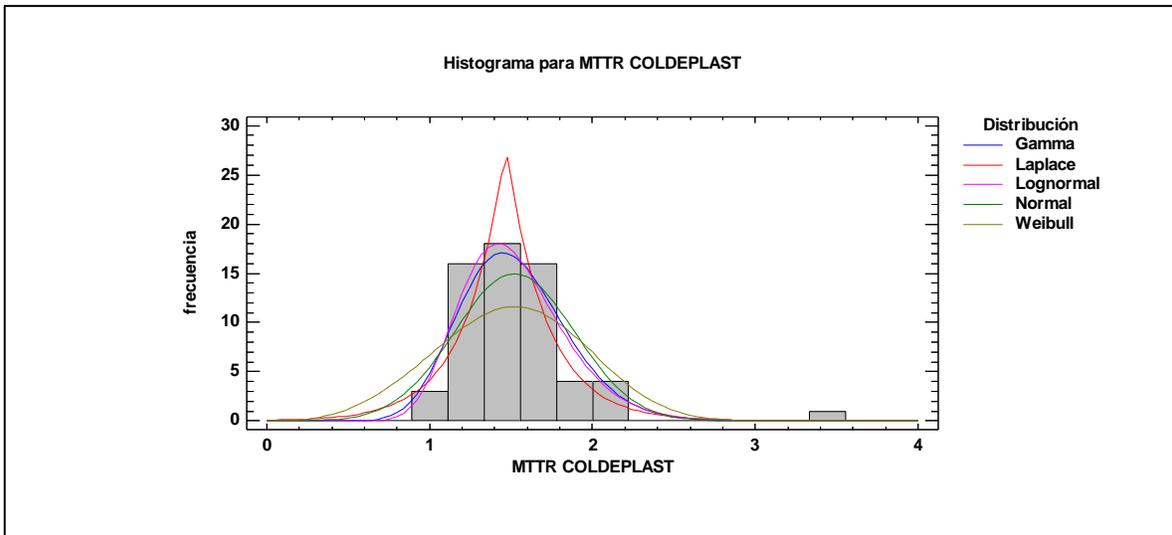


Figura 63. Histograma y ajuste de distribuciones MTTR equipos Coldeplast.

Tabla 34. Resumen Estadístico para MTTR COLDEPLAST

Recuento	62
Promedio	1,5211
Desviación Estándar	0,367391
Coefficiente de Variación	24,1529%
Mínimo	0,938
Máximo	3,441
Rango	2,503
Sesgo Estandarizado	7,99673
Curtosis Estandarizada	18,0659

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para MTTR COLDEPLAST. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor de sesgo estandarizado no se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. El valor de curtosis

estandarizada no se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Tabla 35. Frecuencias para MTTR COLDEPLAST

	Límite	Límite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	0		0	0,0000	0	0,0000
1	0	0,222222	0,111111	0	0,0000	0	0,0000
2	0,222222	0,444444	0,333333	0	0,0000	0	0,0000
3	0,444444	0,666667	0,555556	0	0,0000	0	0,0000
4	0,666667	0,888889	0,777778	0	0,0000	0	0,0000
5	0,888889	1,111111	1,0	3	0,0484	3	0,0484
6	1,111111	1,333333	1,222222	16	0,2581	19	0,3065
7	1,333333	1,555556	1,444444	18	0,2903	37	0,5968
8	1,555556	1,777778	1,666667	16	0,2581	53	0,8548
9	1,777778	2,0	1,888889	4	0,0645	57	0,9194
10	2,0	2,222222	2,111111	4	0,0645	61	0,9839
11	2,222222	2,444444	2,333333	0	0,0000	61	0,9839
12	2,444444	2,666667	2,555556	0	0,0000	61	0,9839
13	2,666667	2,888889	2,777778	0	0,0000	61	0,9839
14	2,888889	3,111111	3,0	0	0,0000	61	0,9839
15	3,111111	3,333333	3,222222	0	0,0000	61	0,9839
16	3,333333	3,555556	3,444444	1	0,0161	62	1,0000
17	3,555556	3,777778	3,666667	0	0,0000	62	1,0000
18	3,777778	4,0	3,888889	0	0,0000	62	1,0000
	mayor de	4,0		0	0,0000	62	1,0000

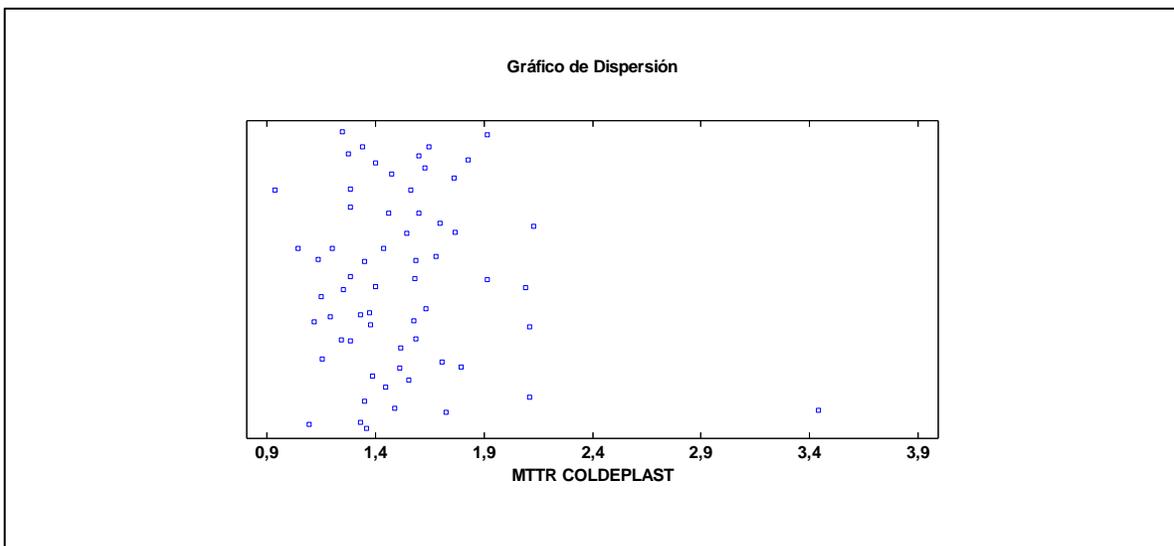


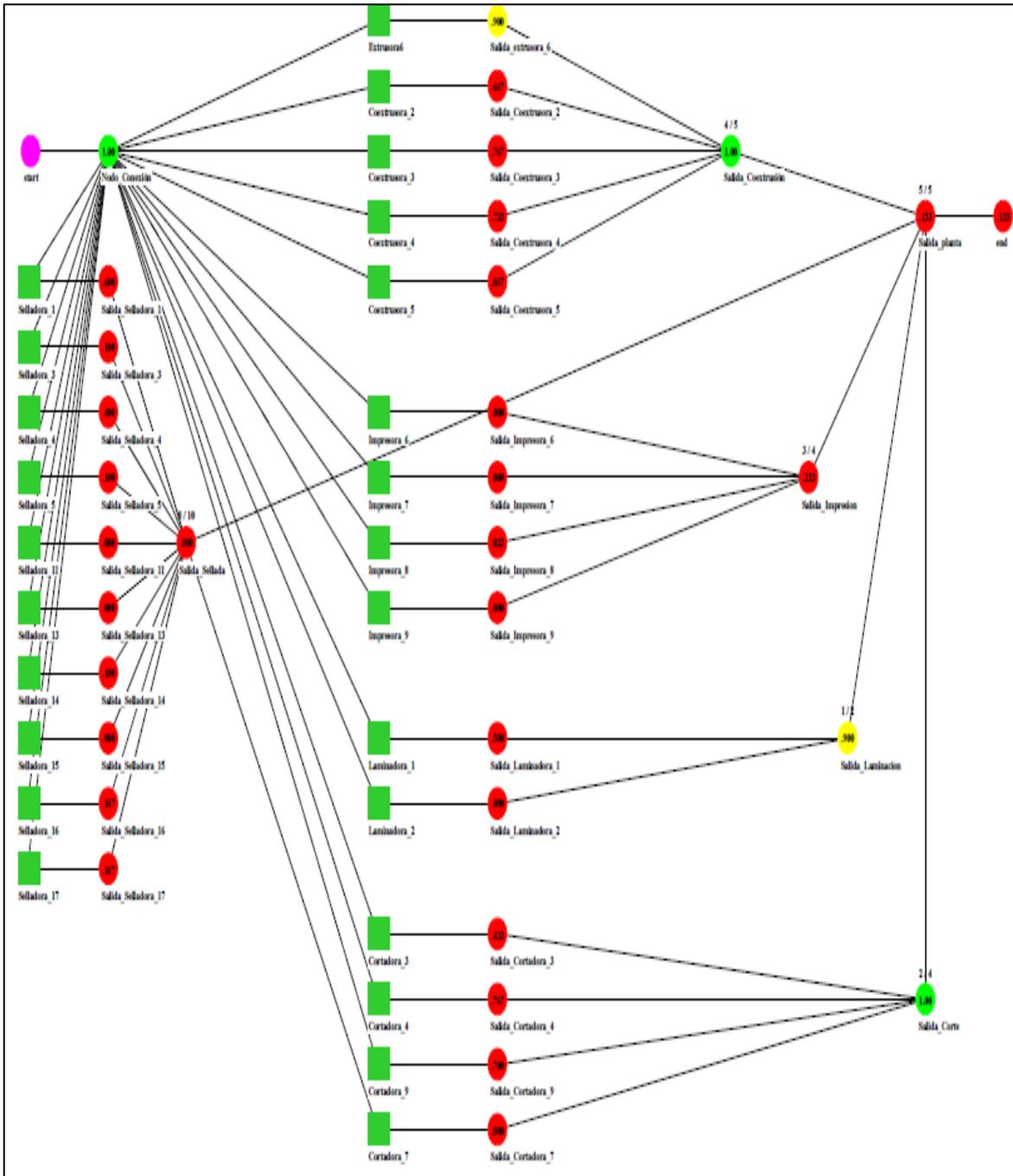
Figura 64. Dispersión MTTR equipos Coldeplast.

Anexo 23. Taxonomía de equipos nivel 6 planta Coldeplast

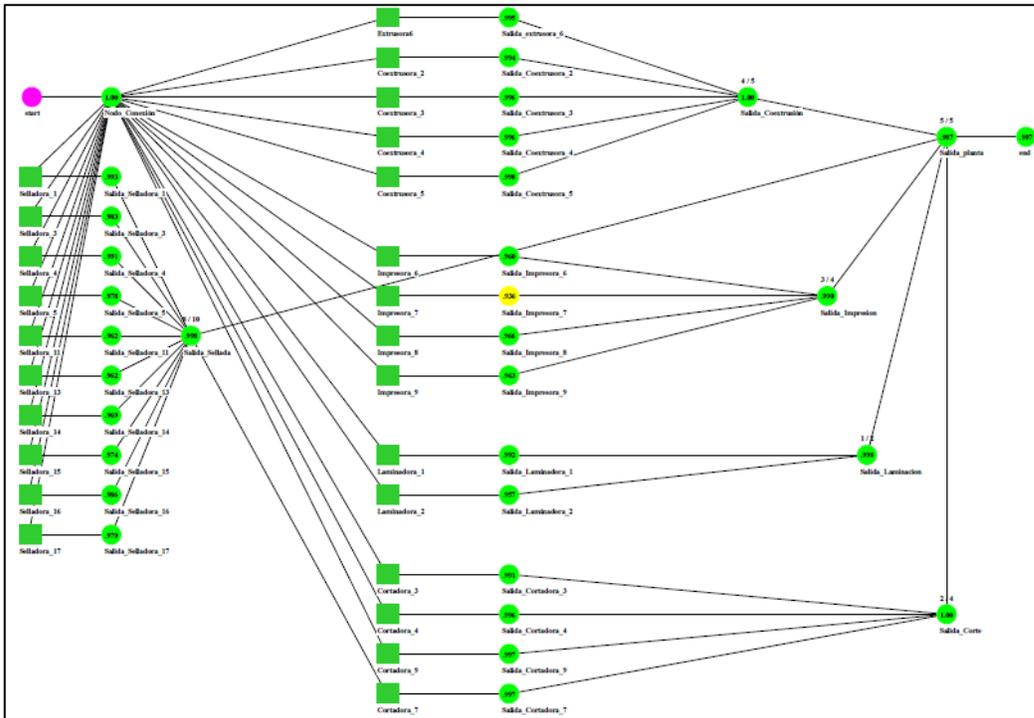
Coldeplast	COL	Emplazamiento equipo
Sistemas de producción	SP	
Planta coextrusión	COEX	
Extrusora 6	EX6	COL-PLAN-COEX-EX6
Coextrusora 2	COEX2	COL-PLAN-COEX-COEX2
Coextrusora 3	COEX3	COL-PLAN-COEX-COEX3
Coextrusora 4	COEX4	COL-PLAN-COEX-COEX4
Coextrusora 5	COEX5	COL-PLAN-COEX-COEX5
Coextrusora 6	COEX6	COL-PLAN-COEX-COEX6
Planta impresión	IMP	
Impresora 6	IMP6	COL-PLAN-IMP-IMP6
Impresora 7	IMP7	COL-PLAN-IMP-IMP7
Impresora 8	IMP8	COL-PLAN-IMP-IMP8
Impresora 9	IMP9	COL-PLAN-IMP-IMP9
Planta corte	CORT	
Cortadora 3	CORT3	COL-PLAN-CORT-CORT3
Cortadora 4	CORT4	COL-PLAN-CORT-CORT4
Cortadora 7	CORT7	COL-PLAN-CORT-CORT7
Cortadora 9	CORT9	COL-PLAN-CORT-CORT9
Planta sellada	SELL	
Selladora 1	SELL1	COL-PLAN-SELL-SELL1
Selladora 3	SELL3	COL-PLAN-SELL-SELL3
Selladora 4	SELL4	COL-PLAN-SELL-SELL4
Selladora 5	SELL5	COL-PLAN-SELL-SELL5
Selladora 11	SELL11	COL-PLAN-SELL-SELL11
Selladora 13	SELL13	COL-PLAN-SELL-SELL13
Selladora 14	SELL14	COL-PLAN-SELL-SELL14
Selladora 15	SELL15	COL-PLAN-SELL-SELL15
Selladora 16	SELL16	COL-PLAN-SELL-SELL16
Selladora 17	SELL17	COL-PLAN-SELL-SELL17
Planta laminación	LAM	
Laminadora 1	LAM1	COL-PLAN-IMP-LAM1
Laminadora 2	LAM2	COL-PLAN-IMP-LAM2

Tabla 36. Taxonomía de equipos nivel 6.

Anexo 24. RBD confiabilidad 100 horas



Anexo 25. RBD Disponibilidad 100 horas



Anexo 26. Tabla análisis de nodos 100 horas.

Node Analysis Output Table									
Average node data across 30 run(s) :									
Node Name	Availability	Color	Ranking	Green	Yellow	Red	Blue	Dk Green	Grey
Nodo_Conexión	1.000000000	Green		100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusión	1.000000000	Green		97.90	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_2	0.993541053	Red		99.35	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_3	0.995984472	Red		99.60	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_4	0.996010231	Red		99.60	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_5	0.998014426	Red		99.80	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_3	0.991266601	Red		99.13	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_4	0.996323671	Red		99.63	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_7	0.996619496	Red		99.66	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_9	0.997186681	Red		99.72	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00
Salida_Corte	1.000000000	Green		98.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_extrusora_6	0.995487569	Yellow		99.55	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresion	0.990082072	Red		89.65	15.36	0.99	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_6	0.959937380	Red		95.99	0.00	4.01	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_7	0.936147086	Red		93.61	0.00	6.39	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_8	0.966361589	Red		96.64	0.00	3.36	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_9	0.963498929	Red		96.35	0.00	3.65	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminacion	0.998259109	Yellow		95.07	4.75	0.17	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_1	0.992068848	Red		99.21	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_2	0.956932680	Red		95.69	0.00	4.31	0.00	0.00	0.00
Salida_planta	0.986582458	Red		98.66	0.00	1.34	0.00	0.00	0.00
Salida_Sellada	0.998241276	Red		79.98	19.84	0.18	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_1	0.993254809	Red		99.33	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_11	0.962150281	Red		96.22	0.00	3.78	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_13	0.961948536	Red		96.19	0.00	3.81	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_14	0.968635072	Red		96.86	0.00	3.14	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_15	0.973949994	Red		97.39	0.00	2.61	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_16	0.985802777	Red		98.58	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_17	0.979281963	Red		97.93	0.00	2.07	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_3	0.983093964	Red		98.31	0.00	1.69	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_4	0.990685038	Red		99.07	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_5	0.978033960	Red		97.80	0.00	2.20	0.00	0.00	0.00

Anexo 27. Tabla resumen 100 horas

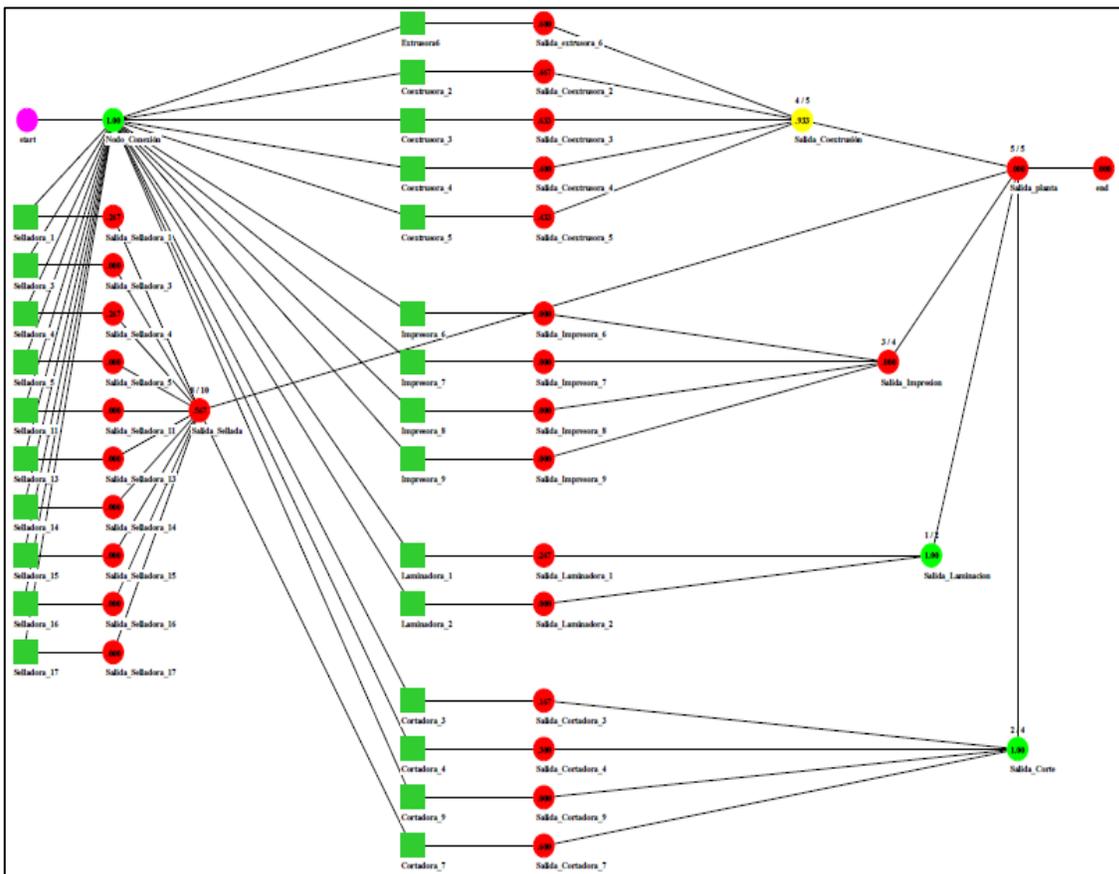
Output Summary Table

Results from 30 run(s):

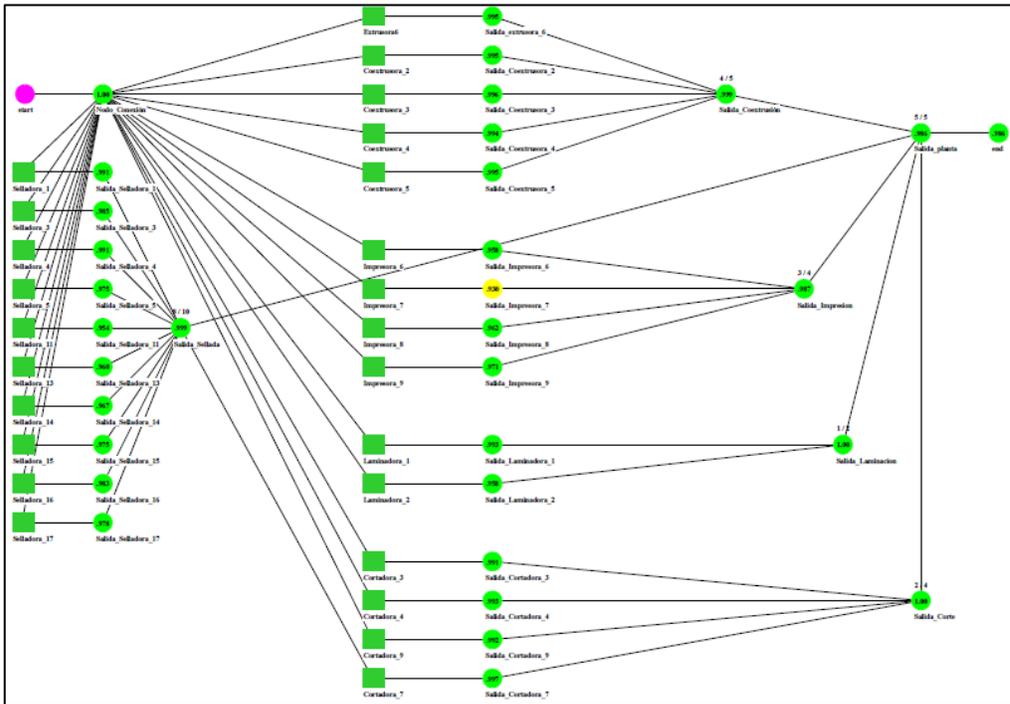
Parameter	Minimum	Mean	Maximum	Standard Dev
Availability	0.960035415	0.986582457	1.000000000	0.010101580
MTBDE	19.352123	>72.223153	>100.000000	N/A
MDT (26-runs)	0.244789	0.896362	1.919265	0.433482
MTBM	2.682373	3.176252	4.347826	0.408886
MRT	1.403593	1.571391	1.913902	0.135375
GreenPercent	52.289964	61.484555	69.395667	4.510768
YellowPercent	30.020917	37.173690	46.957832	4.682042
RedPercent	0.000000	1.341754	3.996458	1.010158
System Failures	0	1.633333	5	1.245221

R(t=100.000000) =0.133333

Anexo 28. RBD confiabilidad 200 horas



Anexo 29. RBD disponibilidad 200 horas



Anexo 30. Tabla análisis de nodos 200 horas

Node Analysis Output Table									
Average node data across 30 run(s) :									
Node Name	Availability	Color Ranking	Green	Yellow	Red	Blue	Dk Green	Grey	
Nodo_Conexión	1.000000000	Green	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusión	0.999774450	Green	97.54	2.43	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_2	0.994874551	Green	99.49	0.00	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_3	0.995720812	Green	99.57	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_4	0.994388547	Green	99.44	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_5	0.994773632	Green	99.48	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_2	0.990768681	Green	99.08	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_4	0.992581139	Green	99.26	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_7	0.996755303	Green	99.68	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_9	0.992392715	Green	99.24	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Corte	1.000000000	Green	97.14	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_extrusora_6	0.995444255	Green	99.54	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impronta	0.987250720	Green	82.38	15.35	1.27	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impronta_6	0.958109488	Green	95.81	0.00	4.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impronta_7	0.929897889	Yellow	92.99	0.00	7.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impronta_8	0.961704625	Green	96.17	0.00	3.82	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impronta_9	0.970970622	Green	97.10	0.00	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminacion	1.000000000	Green	95.07	4.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_1	0.992940184	Green	99.29	0.00	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_2	0.987759618	Green	95.78	0.00	4.22	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_planta	0.985758862	Green	98.58	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora	0.998733692	Green	78.58	21.29	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_1	0.990963788	Green	99.10	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_11	0.954333479	Green	95.44	0.00	4.56	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_13	0.960090793	Green	96.01	0.00	3.99	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_14	0.967183060	Green	96.72	0.00	3.28	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_15	0.975162636	Green	97.52	0.00	2.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_16	0.982851595	Green	98.29	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_17	0.978070112	Green	97.81	0.00	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_3	0.984586133	Green	98.46	0.00	1.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_4	0.990748168	Green	99.07	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_5	0.975416214	Green	97.54	0.00	2.46	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 31. Tabla análisis de nodos confiabilidad 200 horas

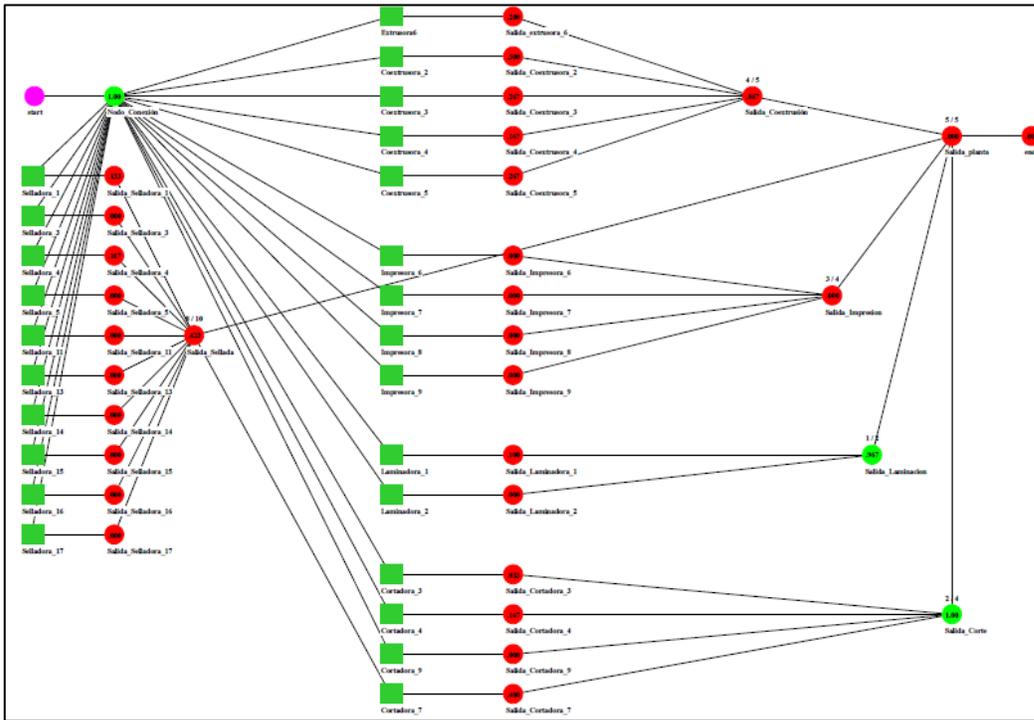
Node Analysis Output Table									
Average node data across 30 run(s) :									
Node Name	Reliability	Color Ranking	Green	Yellow	Red	Blue	Dk Green	Grey	
Node_Conexión	1.000000000	Green	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_1	0.933333333	Yellow	97.54	2.43	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_2	0.466666667	Red	99.49	0.00	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_3	0.633333333	Red	99.57	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_4	0.400000000	Red	99.44	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_5	0.433333333	Red	99.48	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_3	0.166666667	Red	99.08	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_4	0.300000000	Red	99.26	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_7	0.600000000	Red	99.68	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_9	0.000000000	Red	99.24	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Corte	1.000000000	Green	97.14	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_extrusora_6	0.600000000	Red	99.54	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresion	0.000000000	Red	83.38	15.35	1.27	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_6	0.000000000	Red	95.81	0.00	4.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_7	0.000000000	Red	92.99	0.00	7.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_8	0.000000000	Red	96.17	0.00	3.83	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_9	0.000000000	Red	97.10	0.00	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminacion	1.000000000	Green	95.07	4.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_1	0.266666667	Red	99.29	0.00	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_2	0.000000000	Red	95.78	0.00	4.22	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_planta	0.000000000	Red	98.58	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Sellada	0.566666667	Red	78.58	21.29	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_1	0.266666667	Red	99.10	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_11	0.000000000	Red	95.44	0.00	4.56	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_13	0.000000000	Red	96.01	0.00	3.99	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_14	0.000000000	Red	96.72	0.00	3.28	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_15	0.000000000	Red	97.52	0.00	2.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_16	0.000000000	Red	98.29	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_17	0.000000000	Red	97.81	0.00	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_3	0.000000000	Red	98.46	0.00	1.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_4	0.266666667	Red	99.07	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_5	0.000000000	Red	97.54	0.00	2.46	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 32. Tabla resumen 200 horas

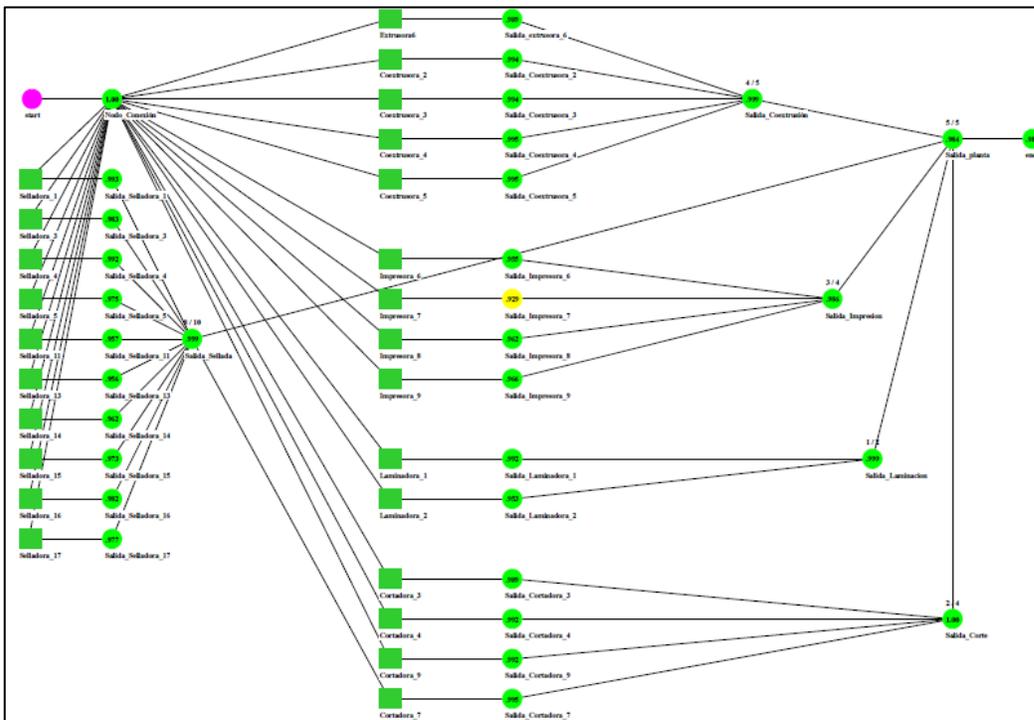
Output Summary Table				
Results from 30 run(s) :				
Parameter	Minimum	Mean	Maximum	Standard Dev
Availability	0.964491556	0.985758862	0.999758488	0.008782141
MTBDE	24.548549	74.110177	199.951698	54.651850
MDT	0.048302	0.754902	1.422776	0.299784
MTEB	2.492921	2.939920	3.401016	0.230990
MRT	1.375513	1.549380	1.652982	0.058527
GreenPercent	53.054848	59.239301	64.003866	2.978734
YellowPercent	34.625586	39.336585	44.548463	2.722872
RedPercent	0.024151	1.424114	3.550844	0.878214
System Failures	1	3.866667	8	2.063364

R(t=200.000000) =0.000000

Anexo 33. RBD confiabilidad 300 horas



Anexo 34. RBD disponibilidad 300 horas



Anexo 35. Tabla análisis de nodos 300 horas

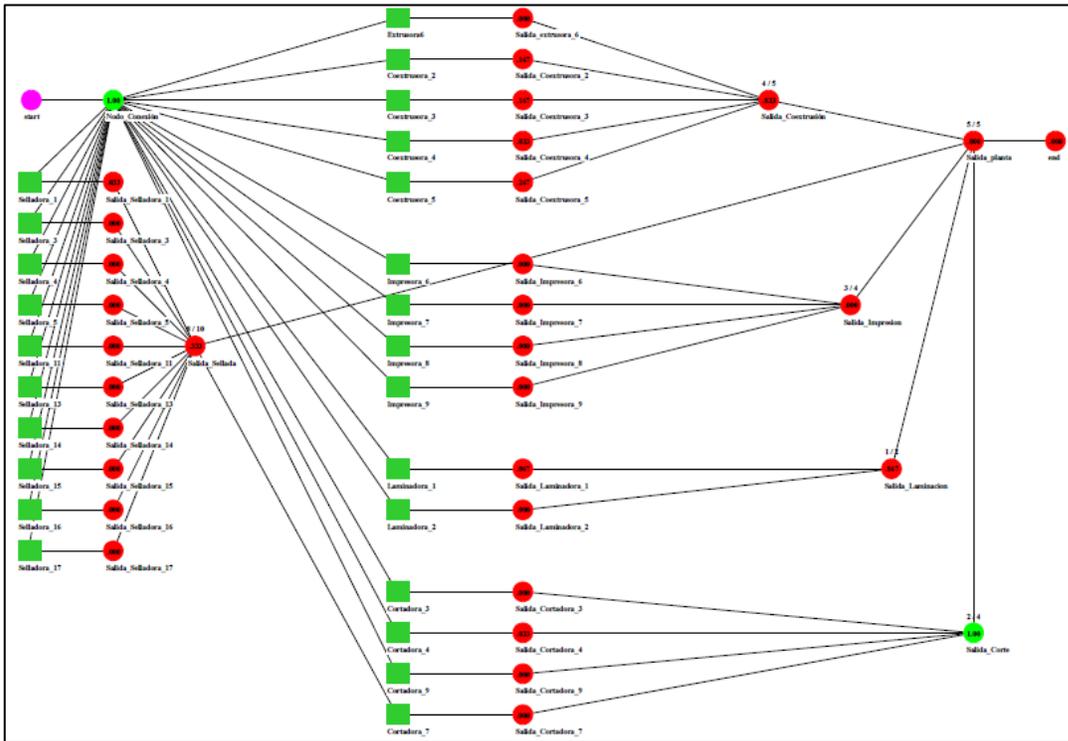
Node Analysis Output Table								
Average node data across 30 run(s) :								
Node Name	Availability	Color Ranking	Green	Yellow	Red	Blue	Dk Green	Grey
Nodo_Conexión	1.000000000	Green	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusión	0.999549944	Green	96.74	3.22	0.05	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_2	0.994279978	Green	99.43	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_3	0.993876562	Green	99.39	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_4	0.994601064	Green	99.46	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_5	0.994657911	Green	99.47	0.00	0.53	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_3	0.988580667	Green	98.86	0.00	1.14	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_4	0.991705655	Green	99.17	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_7	0.995284213	Green	99.53	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_9	0.991622476	Green	99.16	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00
Salida_Corte	1.000000000	Green	96.66	3.34	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_extrusora_6	0.989488944	Green	98.95	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresion	0.985920960	Green	82.59	16.00	1.41	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_6	0.954622428	Green	95.46	0.00	4.54	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_7	0.928730741	Yellow	92.87	0.00	7.13	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_8	0.961902996	Green	96.19	0.00	3.81	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_9	0.965931301	Green	96.59	0.00	3.41	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminacion	0.999772194	Green	94.62	5.36	0.02	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_1	0.992476071	Green	99.25	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_2	0.953472808	Green	95.35	0.00	4.65	0.00	0.00	0.00
Salida_planta	0.984178697	Green	98.42	0.00	1.58	0.00	0.00	0.00
Salida_Sellada	0.998911143	Green	77.65	22.24	0.11	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_1	0.992521992	Green	99.25	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_11	0.957455177	Green	95.75	0.00	4.25	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_13	0.956474936	Green	95.65	0.00	4.35	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_14	0.962485010	Green	96.25	0.00	3.75	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_15	0.973021354	Green	97.30	0.00	2.70	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_16	0.981753629	Green	98.18	0.00	1.82	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_17	0.977357683	Green	97.74	0.00	2.26	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_3	0.982705185	Green	98.27	0.00	1.73	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_4	0.991573744	Green	99.16	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_5	0.974723297	Green	97.47	0.00	2.53	0.00	0.00	0.00

Anexo 36. Tabla resumen 300 horas

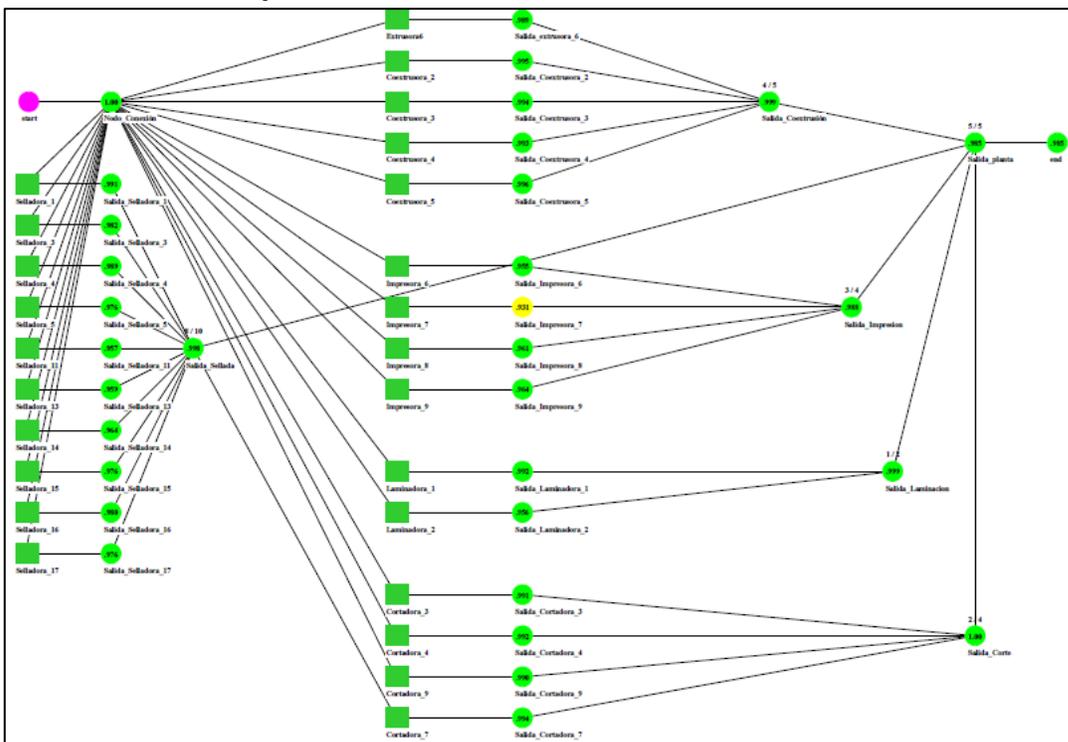
Output Summary Table				
Results from 30 run(s) :				
Parameter	Minimum	Mean	Maximum	Standard Dev
Availability	0.972085049	0.984178697	0.996208846	0.006274668
MTBDE	29.274070	56.403957	149.431327	30.043608
MDT	0.271080	0.766678	1.380029	0.195228
MTEM	2.419345	2.777102	3.246137	0.174444
MRT	1.487045	1.574791	1.684256	0.050615
GreenPercent	52.464457	57.196544	60.331426	2.067671
YellowPercent	37.488048	41.221325	45.556385	1.968846
RedPercent	0.379115	1.582130	2.791495	0.627467
System Failures	2	6.233333	10	2.223438

R(t=300.000000) =0.000000

Anexo 37. RBD confiabilidad 400 horas



Anexo 38. RBD disponibilidad 400 horas



Anexo 38. Tabla análisis de nodos 400 horas

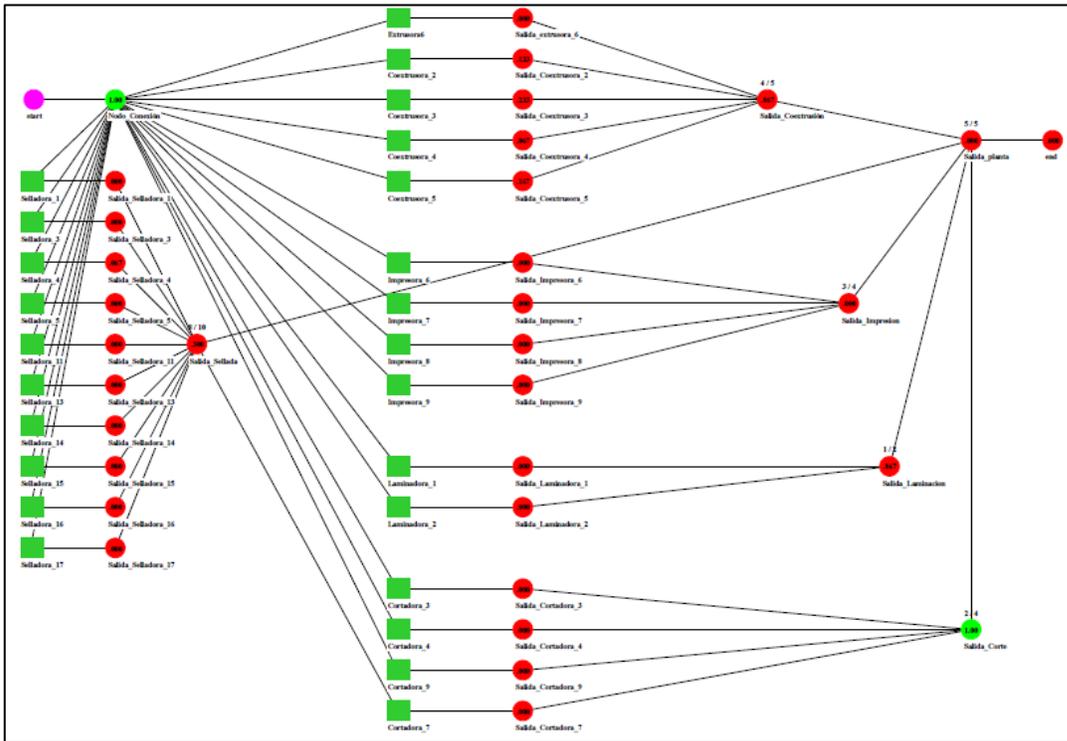
Node Analysis Output Table									
Average node data across 30 run(s) :									
Node Name	Availability	Color	Ranking	Green	Yellow	Red	Blue	Dk Green	Grey
Nodo_Conexión	1.000000000		Green	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusión	0.999454431		Green	96.83	3.12	0.05	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_2	0.994738294		Green	99.47	0.00	0.53	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_3	0.994452070		Green	99.45	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_4	0.993469842		Green	99.35	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_5	0.996245494		Green	99.62	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_3	0.990513967		Green	99.05	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_4	0.991916763		Green	99.19	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_7	0.994094098		Green	99.41	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_9	0.990281641		Green	99.03	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00
Salida_Corte	1.000000000		Green	96.55	3.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_extrusora_6	0.988846466		Green	98.88	0.00	1.12	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresion	0.987639540		Green	82.41	16.38	1.24	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_6	0.984795579		Green	95.48	0.00	4.52	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_7	0.991236658		Yellow	93.12	0.00	6.88	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_8	0.961094324		Green	96.11	0.00	3.89	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_9	0.963947738		Green	96.39	0.00	3.61	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminacion	0.999505226		Green	94.80	5.15	0.05	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_1	0.992034451		Green	99.20	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_2	0.955511578		Green	95.55	0.00	4.45	0.00	0.00	0.00
Salida_planta	0.984942922		Green	98.49	0.00	1.51	0.00	0.00	0.00
Salida_Sellada	0.998343725		Green	77.55	22.29	0.17	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_1	0.991250444		Green	99.13	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_11	0.957387801		Green	95.74	0.00	4.26	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_13	0.958558171		Green	95.86	0.00	4.14	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_14	0.963681307		Green	96.37	0.00	3.63	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_15	0.976164143		Green	97.62	0.00	2.38	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_16	0.979973266		Green	98.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_17	0.975522519		Green	97.55	0.00	2.45	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_3	0.981583696		Green	98.16	0.00	1.84	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_4	0.988981745		Green	98.90	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_5	0.975686974		Green	97.57	0.00	2.43	0.00	0.00	0.00

Anexo 39. Tabla resumen 400 horas

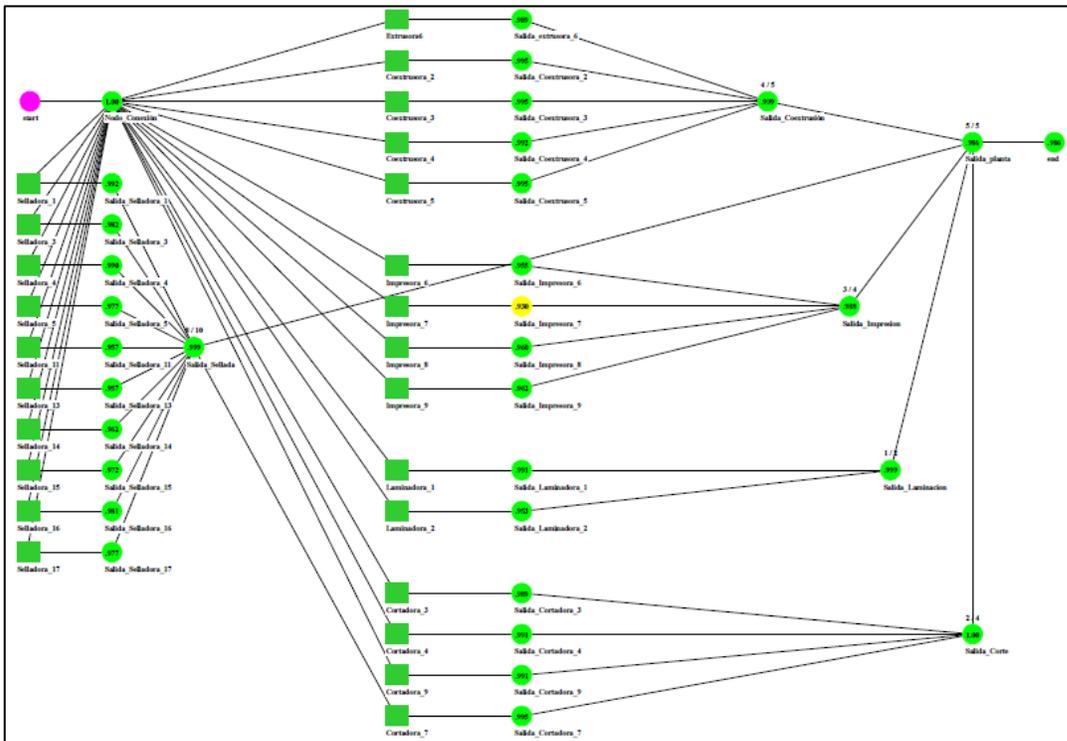
Output Summary Table				
Results from 30 run(s) :				
Parameter	Minimum	Mean	Maximum	Standard Dev
Availability	0.972320195	0.984942922	0.994825379	0.004417979
MTBDE	32.410673	58.370828	132.251234	22.443139
MDT	0.517462	0.825901	1.288539	0.203145
MTEB	2.478481	2.773073	3.084320	0.136643
MRT	1.474541	1.568862	1.708925	0.056455
GreenPercent	51.325993	57.161773	61.115754	2.319982
YellowPercent	37.437720	41.332519	47.019712	2.300883
RedPercent	0.517462	1.505708	2.767980	0.441798
System Failures	3	7.533333	12	2.285386

R(t=400.000000) =0.000000

Anexo 40. RBD confiabilidad 500 horas



Anexo 41. RBD disponibilidad 500 horas



Anexo 41. Tabla análisis de nodos 500 horas

Node Analysis Output Table									
Average node data across 30 run(s) :									
Node Name	Availability	Color Ranking	Green	Yellow	Red	Blue	Dk Green	Grey	
Nodo_ConexiDn	1.000000000	Green	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusión	0.999731245	Green	96.73	3.24	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_2	0.995351859	Green	99.54	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_3	0.995182031	Green	99.52	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_4	0.992148397	Green	99.21	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_5	0.995097180	Green	99.51	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_3	0.989477563	Green	99.95	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_4	0.990503068	Green	99.05	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_7	0.994778185	Green	99.48	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_9	0.990744558	Green	99.07	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Corte	1.000000000	Green	96.46	3.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_extrusora_6	0.989250676	Green	98.93	0.00	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresion	0.987993422	Green	81.97	16.83	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_6	0.954528866	Green	95.45	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_7	0.930140663	Yellow	93.01	0.00	6.99	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_8	0.960341632	Green	96.03	0.00	3.97	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_9	0.962350985	Green	96.24	0.00	3.76	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminacion	0.999707246	Green	94.36	5.61	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_1	0.990553964	Green	99.06	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_2	0.952715615	Green	95.27	0.00	4.73	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_planta	0.985954487	Green	98.60	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Sellada	0.998504345	Green	77.32	22.83	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_1	0.991987913	Green	99.20	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_11	0.957432733	Green	95.74	0.00	4.26	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_13	0.957027630	Green	95.70	0.00	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_14	0.961709370	Green	96.17	0.00	3.83	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_15	0.972173470	Green	97.22	0.00	2.78	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_16	0.980740823	Green	98.07	0.00	1.93	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_17	0.976850034	Green	97.69	0.00	2.31	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_3	0.981632347	Green	98.16	0.00	1.84	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_4	0.989518677	Green	98.95	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_5	0.976636020	Green	97.66	0.00	2.34	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 42. Tabla confiabilidad 500 horas

Node Analysis Output Table									
Average node data across 30 run(s) :									
Node Name	Reliability	Color Ranking	Green	Yellow	Red	Blue	Dk Green	Grey	
Nodo_ConexiDn	1.000000000	Green	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_CoextrusiDn	1.000000000	Green	97.90	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_2	0.666666667	Green	99.35	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_3	0.766666667	Green	99.60	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_4	0.733333333	Green	99.60	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Coextrusora_5	0.866666667	Green	99.80	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_3	0.433333333	Green	99.13	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_4	0.766666667	Green	99.63	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_7	0.800000000	Green	99.66	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Cortadora_9	0.700000000	Green	99.72	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Corte	1.000000000	Green	98.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_extrusora_6	0.900000000	Green	99.55	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresion	0.233333333	Green	83.65	15.36	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_6	0.000000000	Green	95.99	0.00	4.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_7	0.000000000	Yellow	93.61	0.00	6.39	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_8	0.033333333	Green	96.64	0.00	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Impresora_9	0.000000000	Green	96.35	0.00	3.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminacion	0.900000000	Green	95.07	4.75	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_1	0.500000000	Green	99.21	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Laminadora_2	0.000000000	Green	95.69	0.00	4.31	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_planta	0.133333333	Green	98.66	0.00	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Sellada	0.800000000	Green	79.98	19.84	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_1	0.600000000	Green	99.33	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_11	0.000000000	Green	96.22	0.00	3.78	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_13	0.000000000	Green	96.19	0.00	3.81	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_14	0.100000000	Green	96.86	0.00	3.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_15	0.000000000	Green	97.39	0.00	2.61	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_16	0.166666667	Green	98.58	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_17	0.166666667	Green	97.93	0.00	2.07	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_3	0.100000000	Green	98.31	0.00	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_4	0.400000000	Green	99.07	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00
Salida_Selladora_5	0.100000000	Green	97.80	0.00	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 43. Tabla resumen 500 horas

Output Summary Table				
Results from 30 run(s) :				
Parameter	Minimum	Mean	Maximum	Standard Dev
Availability	0.977867800	0.985954487	0.996003848	0.004680696
MTBDE	30.627625	58.640565	166.000641	23.593180
MDT	0.454313	0.761075	1.088130	0.168522
MTEM	2.482448	2.696602	2.989680	0.122875
MRT	1.480066	1.561664	1.632820	0.039064
GreenPercent	52.539170	56.172742	60.489017	2.020543
YellowPercent	37.336484	42.422707	45.765785	2.092297
RedPercent	0.399615	1.404551	2.213220	0.468070
System Failures	3	9.233333	16	2.555364

R(t=500.000000) =0.000000