



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“INVESTIGACIÓN DEL INCREMENTO DE
PRODUCTIVIDAD EN LA FÁBRICA DE PERNOS EN LA
EMPRESA GALO G. ORBEA O. CÍA. LTDA. MEDIANTE
EL ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD EN LAS ETAPAS DE
SU PROCESO PRODUCTIVO”**

MAYORGA TRUJILLO ALEXIS FABIAN

TRABAJO DE TITULACIÓN

Para la obtención del título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA-ECUADOR

2017

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-05-12

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

MAYORGA TRUJILLO ALEXIS FABIAN

Titulado:

**“INVESTIGACIÓN DEL INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD EN LA
FÁBRICA DE PERNOS EN LA EMPRESA GALO G. ORBEA O. CÍA. LTDA.
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD EN LAS ETAPAS DE SU
PROCESO PRODUCTIVO”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Eduardo Hernández Dávila
TUTOR

Ing. Ángel Ramírez Alomía
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MAYORGA TRUJILLO ALEXIS FABIAN

TRABAJO DE TITULACIÓN: “INVESTIGACIÓN DEL INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD EN LA FÁBRICA DE PERNOS EN LA EMPRESA GALO G. ORBEA O. CÍA. LTDA. MEDIANTE EL ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD EN LAS ETAPAS DE SU PROCESO PRODUCTIVO”

Fecha de Examinación: 2017-02-02

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán G. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Eduardo Hernández D. DIRECTORA			
Ing. Ángel Ramírez A. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán G.
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El presente Trabajo de Titulación, es original y basado en el proceso de investigación establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Mayorga Trujillo Alexis Fabian

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Mayorga Trujillo Alexis Fabián, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente, están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Mayorga Trujillo Alexis Fabian
Cédula de Identidad: 060358480-6

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño dedico esta tesis a todos los integrantes de mi familia, quienes han sido una inspiración y un apoyo constante en toda mi carrera universitaria, en especial a mis padres José y Delia por alentarme a ser mejor persona todos los días, y por ser un excelente ejemplo a seguir.

Mayorga Trujillo Alexis Fabian

AGRADECIMIENTO

Doy gracias primero a Dios por sobre todas las cosas, por darme el entendimiento y la perseverancia para haber llegado hasta este punto, por poner personas maravillosas en mi vida que realmente son una guía y un apoyo en todo momento.

A la empresa Galo G. Orbea O. Cía. Ltda. por abrirme sus puertas, y permitirme desarrollar mi trabajo de titulación, en especial al jefe de producción el Sr. Luis Vaca y al gerente nacional de ventas el Lcdo. Modesto Vasco por toda la ayuda brindada.

A mi tutor de tesis el Ing. Eduardo Hernández y a mi asesor el Ing. Ángel Ramírez, que con su ayuda y conocimientos, concluiré mis estudios dentro de la ESPOCH con éxito.

Mayorga Trujillo Alexis Fabian

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Alcance.....	4
1.4 Delimitación	4
1.5 Objetivos	4
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.5.3 <i>Hipótesis</i>	5
1.5.3.1 <i>Variable dependiente</i>	5
1.5.3.2 <i>Variable independiente</i>	5
2. MARCO REFERENCIAL	
2.1 Definiciones de mantenimiento.....	6
2.2 Clasificación del mantenimiento	6
2.3 Términos de mantenimiento.....	7
2.3.1 <i>Activo físico</i>	7
2.3.2 <i>Ciclo de vida de un activo físico</i>	7
2.3.3 <i>Función primaria</i>	8
2.3.4 <i>Función o funciones secundarias</i>	9
2.3.5 <i>Función requerida</i>	9
2.3.6 <i>Falla funcional</i>	9
2.3.7 <i>Modos de falla</i>	9
2.3.8 <i>Efectos de falla</i>	9
2.3.9 <i>Consecuencias de las fallas</i>	10
2.3.9.1 <i>Consecuencias de fallas ocultas</i>	10
2.3.9.2 <i>Consecuencias medioambientales y de seguridad</i>	10
2.3.9.3 <i>Consecuencias operativas</i>	10
2.3.9.4 <i>Consecuencias no operativas</i>	10
2.3.10 <i>Disponibilidad</i>	10
2.4 Elementos reparables y no reparables	12
2.4.1 <i>Elementos reparables</i>	13
2.4.2 <i>Elementos no reparables</i>	14
2.5 Velocidad de operación.....	14
2.5.1 <i>Velocidad de operación en los sistemas en serie</i>	14
2.6 Diagrama de bloques.....	15
2.6.1 <i>Diagrama de bloques de un sistema en serie</i>	15
2.7 Matemáticas de la disponibilidad.....	15
2.7.1 <i>Disponibilidad operacional</i>	15
2.7.2 <i>Disponibilidad de los sistemas en serie en función de la disponibilidad de sus etapas</i>	16
2.7.3 <i>Disponibilidad de los sistemas en paralelo pasivo en función de la disponibilidad de sus etapas</i> ..	16
2.7.4 <i>Tolerancia a la indisponibilidad</i>	17

2.8	Productividad laboral	17
3.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA, ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD, CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD, TOLERANCIA A LA INDISPONIBILIDAD, Y CAUSAS QUE PROVOCAN INDISPONIBILIDAD EN LOS SISTEMAS EN SERIE	
3.1	Situación actual de la empresa G.O. Cía. Ltda.....	18
3.1.1	<i>Logística en repuestos</i>	19
3.1.2	<i>Descripción del proceso</i>	20
3.1.3	<i>Materia prima</i>	21
3.1.4	<i>Decapado</i>	21
3.1.5	<i>Trefilado</i>	22
3.1.6	<i>Preformado</i>	24
3.1.7	<i>Recorte</i>	24
3.1.8	<i>Roscado</i>	25
3.1.9	<i>Acabado superficial</i>	26
3.1.10	<i>Pavonado</i>	27
3.1.11	<i>Galvanizado</i>	27
3.1.12	<i>Almacén</i>	28
3.1.13	<i>Diagrama de operación para la fabricación de pernos</i>	29
3.2	Descripción de los sistemas completos en el proceso de fabricación de pernos.....	30
3.3	Distribución física de la maquinaria dentro de la fábrica.....	31
3.4	Estimación de tiempos no requeridos.....	32
3.4.1	<i>Tiempo por incapacidad externa</i>	32
3.4.2	<i>Tiempo de reposo</i>	33
3.5	Estimación de tiempos requeridos.....	33
3.5.1	<i>Tiempo de indisponibilidad</i>	33
3.5.2	<i>Tiempos de disponibilidad</i>	33
3.6	Evaluación inicial del sistema en serie #1.....	34
3.6.1	<i>Disponibilidad general del sistema en serie # 1</i>	35
3.6.1.1	<i>Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 1</i>	37
3.6.1.2	<i>Productividad laboral general del sistema en serie #1</i>	37
3.6.2	<i>Caso de investigación</i>	38
3.6.2.1	<i>Velocidades de producción</i>	38
3.6.2.2	<i>Diagrama de bloques</i>	38
3.6.2.3	<i>Disponibilidad del sistema en serie # 1, en el caso de investigación</i>	41
3.6.2.4	<i>Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #1</i> ..	43
3.6.2.5	<i>Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #1</i>	43
3.7	Evaluación inicial del sistema en serie #2.....	44
3.7.1	<i>Disponibilidad general del sistema en serie # 2</i>	45
3.7.1.1	<i>Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 2</i>	47
3.7.1.2	<i>Productividad laboral general del sistema en serie #2</i>	47
3.7.2	<i>Caso de investigación</i>	48
3.7.2.1	<i>Velocidades de producción</i>	48
3.7.2.2	<i>Diagrama de bloques</i>	48
3.7.2.3	<i>Cálculo de la disponibilidad del sistema en serie # 2, en el caso de investigación</i>	51
3.7.2.4	<i>Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #2</i> ..	53

3.7.2.5	<i>Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #2</i>	54
3.8	<i>Evaluación inicial sistema en serie #3</i>	54
3.8.1	<i>Disponibilidad general del sistema en serie # 3</i>	55
3.8.1.1	<i>Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 3</i>	57
3.8.1.2	<i>Productividad laboral general del sistema en serie #3</i>	58
3.8.2	<i>Caso de investigación</i>	58
3.8.2.1	<i>Velocidades de producción</i>	59
3.8.2.2	<i>Diagrama de bloques</i>	59
3.8.2.3	<i>Disponibilidad del sistema en serie # 3, en el caso de investigación</i>	61
3.8.2.4	<i>Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #3</i> ...	64
3.8.2.5	<i>Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #3</i>	65
3.9	<i>Evaluación inicial del sistema en serie #4</i>	66
3.9.1	<i>Disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 4</i>	67
3.9.1.1	<i>Cálculo de disponibilidad del sistema en serie # 4</i>	69
3.9.1.2	<i>Productividad laboral general del sistema en serie #4</i>	69
3.9.2	<i>Caso de investigación</i>	70
3.9.2.1	<i>Velocidades de producción</i>	70
3.9.3	<i>Diagrama de bloques</i>	70
3.9.3.1	<i>Disponibilidad del sistema en serie # 4, en el caso de investigación</i>	73
3.9.3.2	<i>Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #4</i> ...	75
3.9.3.3	<i>Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #4</i>	75
3.10	<i>Causas que provocan la indisponibilidad de los sistemas en serie en la fabricación de pernos en G. O. Cía. Ltda</i>	76
3.10.1	<i>Condiciones de operación</i>	76
3.10.2	<i>Condiciones de mantenimiento</i>	77
3.10.3	<i>Condiciones de logística</i>	78
3.10.4	<i>Condiciones del sistema</i>	78
4.	IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO, ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD FINAL, CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD, Y TOLERANCIA A AL INDISPONIBILIDAD EN LOS SISTEMAS EN SERIE.	
4.1	<i>Planteamiento y ejecución de estrategias en gestión de mantenimiento</i>	81
4.1.1	<i>Mejoras en las condiciones de operación</i>	81
4.1.1.1	<i>Ambientes de trabajo saludables</i>	82
4.1.1.2	<i>Capacitación al personal</i>	83
4.1.1.3	<i>Implementación da la metodología 5S</i>	84
4.1.2	<i>Mejora en las condiciones de mantenimiento</i>	85
4.1.3	<i>Mejora en las condiciones de logística</i>	87
4.1.4	<i>Mejora en las condiciones del sistema</i>	87
4.2	<i>Estimación de tiempos no requeridos</i>	87
4.2.1	<i>Tiempo por incapacidad externa</i>	87
4.2.2	<i>Tiempo de reposo</i>	87
4.3	<i>Estimación de tiempos requeridos</i>	88
4.3.1	<i>Tiempo de indisponibilidad</i>	88
4.3.2	<i>Tiempo de disponibilidad</i>	88
4.4	<i>Evaluación final del sistema en serie # 1</i>	88
4.4.1	<i>Disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 1</i>	89
4.4.1.1	<i>Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 1</i>	91

4.4.1.2	<i>Productividad laboral general del sistema en serie #1.....</i>	92
4.4.2	<i>Caso de investigación.....</i>	92
4.4.2.1	<i>Velocidades de producción.</i>	93
4.4.2.2	<i>Diagrama de bloques.</i>	93
4.4.2.3	<i>Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #1... ..</i>	97
4.4.2.4	<i>Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #1.....</i>	98
4.5	<i>Evaluación final sistema en serie # 2</i>	98
4.5.1	<i>Disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 2.....</i>	99
4.5.1.1	<i>Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 2.....</i>	101
4.5.1.2	<i>Productividad laboral general del sistema en serie #2.....</i>	102
4.5.2	<i>Caso de investigación.....</i>	102
4.5.2.1	<i>Velocidades de producción.</i>	103
4.5.2.2	<i>Diagrama de bloques.</i>	103
4.5.2.3	<i>Cálculo de la disponibilidad del sistema en serie # 2.....</i>	106
4.5.2.4	<i>Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #2.</i>	108
4.5.2.5	<i>Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #2.....</i>	108
4.6	<i>Evaluación final del sistema en serie #3</i>	109
4.6.1	<i>Disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 3.....</i>	110
4.6.1.1	<i>Cálculo de la indisponibilidad general del sistema en serie # 3.....</i>	111
4.6.1.2	<i>Productividad laboral general del sistema en serie #3.....</i>	112
4.6.1.3	<i>Velocidades de producción.</i>	113
4.6.1.4	<i>Diagrama de bloques..</i>	113
4.6.1.5	<i>Disponibilidad del sistema en serie # 3, en el caso de investigación.. ..</i>	116
4.6.1.6	<i>Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #3.</i>	119
4.6.1.7	<i>Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #3.....</i>	120
4.7	<i>Evaluación final sistema en serie #4</i>	120
4.7.1	<i>Disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 4.....</i>	121
4.7.1.1	<i>Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 4.....</i>	123
4.7.1.2	<i>Productividad laboral general del sistema en serie #4.....</i>	124
4.7.2	<i>Caso de investigación.....</i>	124
4.7.2.1	<i>Velocidades de producción.</i>	125
4.7.2.2	<i>Diagrama de bloques.</i>	125
4.7.2.3	<i>Cálculo de la disp. del sistema en serie # 4.Caso de investigación.</i>	128
4.7.2.4	<i>Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #4.</i>	130
4.7.2.5	<i>Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie 4.....</i>	130
4.8	<i>Evaluación de la hipótesis</i>	131
4.8.1	<i>Evaluación de la hipótesis en el sistema en serie #1.</i>	131
4.8.2	<i>Evaluación de la hipótesis en el sistema en serie #2.</i>	132
4.8.3	<i>Evaluación de la hipótesis en el sistema en serie #3.</i>	133
4.8.4	<i>Evaluación de la hipótesis en el sistema en serie #4.</i>	134
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	Conclusiones	136
5.2	Recomendaciones.....	137

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1. Sistema #1	30
2. Sistema #2.....	30
3. Sistema #3.....	31
4. Sistema #4.....	31
5. Averías en el sistema en serie # 1	34
6. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 1	36
7. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 1	40
8. Averías en el sistema en serie # 2	44
9. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie #2.	46
10. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 2	51
11. Averías en el sistema en serie # 3.	55
12. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa.	57
13. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 3	61
14. Averías en el sistema en serie # 4	66
15. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 4	68
16. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 4	72
17. Tabla averías sistema en serie #1	89
18. Cálculo de la disponibilidad operacional en cada etapa del sistema en serie #1.91	
19. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 1	95
20. Averías en el sistema en serie #2.	98
21. Cálculo de la disponibilidad operacional en las etapas del sistema en serie #2	101
22. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 2.	105
23. Tabla de averías sistema en serie #3.	109
24. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa del sistema en serie #3...111	
25. Cálculo de la disponibilidad operacional del sistema en serie #3.....	115
26. Averías en el sistema en serie #4.	121
27. Cálculo de la disponibilidad operacional en las etapas del sistema en serie #4	123
28. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie #4.	127
29. Incremento de la disponibilidad operacional, etapas del sistema en serie #1... 131	
30. Validación de la hipótesis. Sistema en serie #1	131
31. Incremento de la disponibilidad operacional, etapas del sistema en serie #2... 132	
32. Validación de la hipótesis. Sistema en serie #2.	132

33. Incremento de la disponibilidad operacional, etapas del sistema en serie #3...	133
34. Validación de la hipótesis. Sistema en serie #3.	133
35. Incremento de la disponibilidad operacional, etapas del sistema en serie #4...	134
36. Validación de la hipótesis. Sistema en serie #4.	134
37. Relación de incrementos entre disponibilidad y productividad, casos de investigación	135

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Tipos de mantenimiento.....	6
2. Descripción del funcionamiento de un radiador.....	8
3. Correlación entre los tiempos relativos a la disponibilidad.....	11
4. Transición de estado de un componente.....	13
5. Velocidades de producción del sistema.....	14
6. Diagrama de bloque.....	15
7. Diagrama de bloque del sistema 1.....	17
8. Repuesto.....	19
9. Bodega de repuestos (almacen).....	19
10. Materia prima.....	21
11. Balanza.....	22
12. Disminución de sección mediante trefilado.....	23
13. Alambre trefilado.....	23
14. Perno preformado, de cabeza hexagonal (izq.), de carrocería (der.).....	24
15. Recorte de la cabeza del perno.....	25
16. Viruta del recorte.....	25
17. Proceso de roscado.....	26
18. Perno de carrocería antes y después del roscado.....	26
19. Perno pavonado.....	27
20. Perno galvanizado.....	28
21. Almacenaje de producto.....	28
22. Diagrama de proceso.....	29
23. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3.....	35
24. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-12.....	36
25. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-8.....	36
26. Esquema inicial del sistema 1.....	38
27. Velocidades de producción del sistema #1.....	38
28. Diagrama de bloques sistema en serie #1.....	39
29. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3. Caso de investigación.....	39
30. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-12. Caso de investigación.....	40
31. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-8. Caso de investigación.....	40
32. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3.....	45
33. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-10LS.....	45
34. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CGT-408.....	46
35. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12S.....	46
36. Esquema inicial del sistema #2.....	48
37. Velocidades de producción.....	48
38. Diagrama de bloques del sistema #2.....	49
39. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3. Caso de investigación.....	49
40. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-10LS. Caso de investigación.....	50

41.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CGT-408. Caso de investigación.	50
42.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12S. Caso de investigación.	51
43.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3	56
44.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CBF-83. Fuente: Autor.....	56
45.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina SRM-6.....	57
46.	Esquema inicial del sistema #3.....	58
47.	Velocidades de producción.....	59
48.	Diagrama de bloques sistema en serie #3.....	59
49.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3	60
50.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CBF-83....	60
51.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina SMR-6.....	61
52.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3	67
53.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina H-10.....	67
54.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CT-8L.....	68
55.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12.....	68
56.	Esquema inicial del sistema #4.....	70
57.	Velocidades de producción.....	70
58.	Diagrama de bloques del sistema #4.	70
59.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3, caso de investigación.	71
60.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina H-10, caso de investigación.	71
61.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CT-8L, caso de investigación.	72
62.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12, caso de investigación.	72
63.	Porcentaje en las condiciones que causan tiempos de indisponibilidad.	79
64.	Implementación de un manual de calibración en la etapa de preformado.....	81
65.	Charla de seguridad, higiene y salud ocupacional.....	82
66.	Enseñanza del uso del extintor	83
67.	Charlas para solucionar conflictos personales.....	83
68.	Charla sobre indicadores de mantenimiento.....	84
69.	Aplicación de la metodología 5S.....	85
70.	Letrero referencia de las 5 S	85
71.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3	90
72.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-12.....	90
73.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina PDR-8	91
74.	Esquema inicial del sistema #1	92
75.	Velocidades de producción del sistema #1	93
76.	Diagrama de bloques del sistema #1	93
77.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3, caso de investigación.	94
78.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-12, caso de investigación.	94
79.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina PDR-8, caso de investigación.	95
80.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3	99

81.	Gráfica de los tiempos relativos a disponibilidad de la máquina CH-10LS ...	100
82.	Gráfica de los tiempos relativos a disponibilidad de la máquina CGT-408... ..	100
83.	Gráfica de los tiempos relativos a disponibilidad de la máquina DPR-12S. ...	101
84.	Esquema inicial del sistema #2..... ..	102
85.	Velocidades de producción..... ..	103
86.	Diagrama de bloques del sistema #2	103
87.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3, caso de investigación.	104
88.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-10LS, caso de investigación.	104
89.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CGT-408, caso de investigación.	105
90.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12S, caso de investigación.	105
91.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3. ...	110
92.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CBF-83..	110
93.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina SRM-6... ..	111
94.	Esquema inicial del sistema #3..... ..	113
95.	Velocidades de producción del sistema en serie #3..... ..	113
96.	Diagrama de bloques del sistema #3.	114
97.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3, caso de investigación.	114
98.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CBF-83, caso de investigación.	115
99.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina SRM-6, caso de investigación.	115
100.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3	121
101.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina H-10.	122
102.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CT-8L....	122
103.	Gráfica de los tiempos relativos a disponibilidad de la máquina DPR-12.	123
104.	Esquema inicial del sistema #4..... ..	124
105.	Velocidades de producción..... ..	125
106.	Diagrama de bloques del sistema #4.	125
107.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3, caso de investigación.	126
108.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina H-10, caso de investigación.	126
109.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CT-8L, caso de investigación.	127
110.	Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12, caso de investigación.	127

LISTA DE ABREVIATURAS

RCM	Mantenimiento centrado en la confiabilidad
TD	Tiempo de Disponibilidad
TR	Tiempo Requerido
TI	Tiempos de Indisponibilidad
TE	Tiempo de espera
TO	Tiempo Operativo
Do	Disponibilidad operacional
5S	Metodología Japonesa: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke

ANEXOS

- A Lay out de la planta (distribución física de la maquinaria)
- B Fichas técnicas de las maquinas inmersas en la investigación
- C Contenido charla “ESTRATEGIA 5S”
- D Manual de calibración para las cabezadoras CH-12, CH-10LS, H10
- E Contenido charla “Disponibilidad”
- F Productos de fabricación en los 4 sistemas de la investigación, con sus precios

RESUMEN

En el presente trabajo denominado: “Investigación del incremento de productividad en la fábrica de pernos en la empresa Galo G. Orbea O. Cía. Ltda. mediante el análisis de disponibilidad de las etapas de su proceso productivo.” Se realizó una investigación por un tiempo de 5 meses en la empresa mencionada, en dicho lapso se inició con la evaluación de la situación actual de la empresa, posteriormente se aplicó el método de análisis de la disponibilidad en los 4 sistemas existentes, mediante diagramas de bloque se realizaron los esquemas que reflejan dichos sistemas, encontrando así, las causas que provocan paradas imprevistas en los equipos, y su tolerancia a la indisponibilidad. El análisis de disponibilidad es una metodología planteada por el Ing. Eduardo Hernández, docente de la Facultad de Mecánica, este resulta ser una excelente herramienta de gestión de mantenimiento para localizar puntualmente dentro de los sistemas de producción las oportunidades de mejora, es por ello que luego de su aplicación se pudieron establecer estrategias que incrementarían la disponibilidad en los sistemas en serie y consecuentemente su productividad. Se concluye en este trabajo que es de vital importancia visualizar correctamente mediante un diagrama de bloques a los sistemas productivos, este esquema debe estar bien estructurado siendo el resultado del análisis del contexto operacional que posee cada sistema. Las condiciones que más afectan a la disponibilidad de las etapas en los sistemas productivos son las de operación y mantenimiento, se recomienda a la empresa en la cual se desarrolló esta investigación que las capacitaciones deben ser constantes, especialmente en el área técnica y de mantenimiento, además se recomienda realizar nuevas investigaciones con diferentes sistemas al mostrado en este trabajo, para considerar la mejora de la disponibilidad como una meta dentro de la gestión operacional y del mantenimiento.

PALABRAS CLAVE: <DISPONIBILIDAD OPERACIONAL>, <TOLERANCIA A LA INDISPONIBILIDAD>, <SISTEMA EN SERIE>, <DIAGRAMA DE BLOQUES>, <PRODUCTIVIDAD>, <ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO>, <GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO>, <ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD>.

ABSTRACT

This research is called “Investigation of the increase in the productivity in a bolt factory in the enterprise Galo G. Orbea O. Cía. Ltda. through the availability analysis of the stages in the production process.” The investigation lasted 5 months. In this time, the first step to follow was to evaluate the current state of the company. After that, the availability analysis method was applied in the four existing systems. Through block diagrams, the schemes of the systems were showed. This action helped to find the causes why the equipment was not working properly as well as its tolerance for unavailable. The availability analysis was proposed by the engineer Eduardo Hernandez, who is a professor at the Mechanic Faculty, this proposal is an excellent maintenance management tool to find out what can be enhanced within the production systems. Therefore, after applying this method, it was possible to state some strategies in order to increase the availability in the serial systems and its production. The conclusion of this research is to highlight the importance of visualizing the production systems through the block diagrams. This schema should be well structured because this will be the result of the operational context that every system owns. The conditions which most affect the stages of the production systems are the operations and maintenance. The suggestion for this company is to attend to workshops constantly, especially for the maintenance and technical area. Another suggestion is making research with different systems form the ones mentioned in this investigation in order to improve the availability as a goal within the operational management and maintenance.

KEY WORDS <OPERATIONAL READINESS>, <TOLERANCE FOR UNAVAILABILITY>, <SERIAL SYSTEMS>, <BLOCK DIAGRAM>, <PRODUCTIVITY>, <MAINTENANCE STRATEGIES>, <MAINTENANCE MANAGEMENT>, <AVAILABILITY ANALYSIS>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

GALO G. ORBEA O. CÍA. LTDA, es una empresa ecuatoriana dedicada a la fabricación de elementos roscados en el país, caracterizándose siempre sus productos por su calidad y excelencia, cumpliendo y superando todas las expectativas de sus clientes.

La solidez lograda por la empresa, se fortifica en cada producto que sale al mercado, es por ello que cada elemento o producto lleva una marca distintiva **G. O.** que hace identificar el trabajo de la industria ecuatoriana, esta marca no solo es una identificación del nombre nuestro sino de la “**GARANTIA ORBEA**”, con la que marcamos el progreso.

La planta industrial de **G.O.** fue inaugurada el 15 de Julio de 1981 en la ciudad de Latacunga, ubicada en las afueras de la ciudad específicamente en la Panamericana Norte km 15, y sus oficinas en Quito en la Av. Gualberto Pérez 1006 y Napo, desde ese instante la contribución al campo técnico industrial y comercial a todo el país, ha sido diaria y con un anhelo cada vez más ferviente de multiplicar y diversificar los productos a ofrecer, siempre conscientes de que la calidad es primordial en cada uno de sus productos. Por cuestiones estratégicas su planta industrial se traslada también a la ciudad de Quito el 20 de agosto de 1996 ubicada desde ese entonces en la Av. Huayanay y Panamericana Sur (sector de la ecuatoriana), ahorrándose en costos de transporte de la materia prima e invirtiendo en áreas de producción.

- **Misión.** Somos una empresa líder en la comercialización al por mayor y menor de materiales para la construcción y ferretería en general, preocupados por brindar una atención eficiente a nuestros clientes.
- **Visión.** Continuar siendo la empresa líder en la importación y comercialización al por mayor y menor de materiales para la construcción y ferretería en general para satisfacer las más exigentes expectativas de nuestros clientes, con productos de alta calidad y respaldos con un excelente servicio.

- Valores. Todos los colaboradores estamos comprometidos con la empresa en alcanzar la misión y visión institucional mediante el trabajo honesto, ético e íntegro con el fin de lograr los objetivos organizacionales.
- Productos. En la empresa G.O. CIA. LTDA, se ofrecen materiales de construcción y ferretería que son comercializados en sus almacenes a toda la zona centro del país, que son de producción nacional e importados, por otro lado tenemos a los productos que son fabricados dentro de su planta industrial, la variedad de productos que ofrece G.O Cía. Ltda. son fabricados con procedimientos estandarizados para elementos roscados destacados por su calidad y bajo costo, estos productos son pernos de varias medidas y de diferentes materiales según la necesidad del cliente.

La empresa G.O. Cía. Ltda. dentro de su organización cuenta con varios departamentos que desempeñan sus funciones de buena manera, que han hecho de la empresa una de las más grandes de la zona centro del país, sin embargo en el área de mantenimiento no ha existido ninguna clase de tecnificación, ni cuenta con personal profesional adecuado.

El mantenimiento dentro de la empresa es netamente empírico es decir solo se basan en experiencias propias del personal, carecen de ideas acerca de planificación, evaluación y control. No existen planes de mantenimiento por lo que tampoco se tiene claro cuál es el costo real de la reparación de cualquier avería o fallo.

La delimitación de funciones del personal, así como la gestión misma de mantenimiento, no son delegadas por un gerente de mantenimiento, el encargado de ver cumplirse dichas funciones, es el mismo jefe de producción quien tiene varios roles dentro de la fábrica ya que el mismo en muchos casos tiende a manejar la bodega de repuestos, inventarios, ordenes de trabajos, entregas, facturación y elaboración de guías de remisión.

Los resultados de una buena gestión de mantenimiento, son una alta disponibilidad y un buen estado técnico de las máquinas, cada máquina tiene su propio responsable que es su operador, él es el encargado de la realización del mantenimiento rutinario y también de servir de apoyo en trabajos que requieran de una mayor experiencia y pericia, las personas operativas no llevan un control adecuado de los trabajos realizados en las máquinas, en la mayoría de casos no se sabe, que ni cuanto se utilizó en cada intervención, peor aún no

se toma en cuenta el tiempo de paralización de la producción, por ende no tienen clara la tolerancia a la indisponibilidad del proceso, que conlleva a que el personal de mantenimiento no encuentre un equilibrio entre eficacia y eficiencia en sus intervenciones

1.2 Justificación

Este estudio permitirá definir cuáles son los equipos críticos que necesitarán ser intervenidos, se debe estar consciente que la disponibilidad es un indicador de gran importancia al momento de evaluar la eficacia de un sistema productivo. De esta manera se busca alternativas para mejorar el análisis de este parámetro.

El trabajo de investigación del ingeniero Eduardo Segundo Hernández Dávila titulado como “MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE SISTEMAS EN SERIE Y PARALELO EN FUNCIÓN DE LAS CONSECUENCIAS OPERACIONALES PARTICULARES DE LA INDISPONIBILIDAD INDIVIDUAL DE CADA ETAPA” presentado como requisito parcial para la obtención del grado de Magíster en Gestión de Mantenimiento Industrial, desprendió resultados positivos determinando que la eficacia de un sistema productivo depende de su capacidad, y de su disponibilidad, concluyendo que la cantidad de producción que se logre, depende de la velocidad de operación intrínseca que tenga cuyo proceso, bajo determinadas condiciones de operación y del tiempo total efectivo, en el cual el mismo trabaje sin falla, la investigación se desarrolló de forma teórica, y su aplicación se materializa en este trabajo que está enfocado en el aumento de la productividad en un sistema real. Por este motivo se planteó el trabajo de investigación titulado “INVESTIGACIÓN DEL INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD EN LA FABRICACIÓN DE PERNOS EN LA EMPRESA GALO G. ORBEA O. CÍA. LTDA. MEDIANTE EL ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE LAS ETAPAS DE SU PROCESO PRODUCTIVO.”, que aprovecha los métodos propuestos por el ingeniero Eduardo Hernández.

Este estudio se desarrollará como una investigación no experimental de tipo aplicado, planteando alternativas que solucionen los problemas presentes en la empresa, ahorrando recursos, reduciendo costos de fabricación, y exponiendo los fundamentos de un plan de acción para optimizar el desarrollo de las distintas actividades productivas del proceso, basado en el correcto análisis de la disponibilidad en cada etapa del sistema, aumentando

así directamente la productividad en la fabricación de pernos de la empresa mencionada.

1.3 Alcance

El estudio se realizará en la fábrica de pernos de la empresa GALO ORBEA G.O. CIA LTDA. y abarcará realizar un análisis de disponibilidad dentro del proceso en la fabricación de pernos, para poder determinar sus equipos críticos, plantear estrategias de mantenimiento que permita preservar el correcto funcionamiento de los equipos, y así poder aumentar la productividad en el debido proceso.

1.4 Delimitación

Dentro de los equipos que operan y permanecerán en operación en G.O. son once (11), y están distribuidos en las siguientes etapas:

- Trefilado
- Preformado
- Recorte
- Roscado

La investigación comprenderá en realizar un análisis de disponibilidad en cada una de las etapas del proceso en la fabricación de pernos, que podrá evidenciar cuales son los equipos más críticos, y por lo tanto que necesitan una mayor atención, a los cuales se les aplicarán estrategias de mantenimiento enfocadas en aumentar la disponibilidad en las etapas.

1.5 Objetivos

1.5.1 *Objetivo general.* Investigar el incremento de productividad en la fábrica de pernos en la empresa GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda. mediante el análisis de disponibilidad en las etapas de su proceso productivo.

1.5.2 *Objetivos específicos.*

Aplicar el método para el análisis de la disponibilidad en el proceso determinado.

Realizar el diagrama de bloques del proceso determinado, implicado en el estudio.

Encontrar las causas que provocan la indisponibilidad en los equipos de la fabricación de pernos en G. O. Cía. Ltda.

Encontrar la tolerancia a la indisponibilidad en el proceso determinado.

Plantear estrategias de gestión de mantenimiento que mejoren la disponibilidad de los equipos.

Evaluar la productividad después de la aplicación de las estrategias encontradas mediante el análisis de la disponibilidad en las etapas del proceso determinado.

1.5.3 *Hipótesis.* La mejora de la disponibilidad de sistemas en serie en la fabricación de pernos en GALO G. ORBEA O Cía. Ltda., incrementa la productividad.

1.5.3.1 *Variable dependiente.*

La disponibilidad del sistema en serie en la fabricación de pernos en GALO G. ORBEA O Cía. Ltda.

1.5.3.2 *Variable independiente.*

Velocidad de operación de cada etapa.

Disponibilidad operacional individual de cada etapa.

Tiempo de espera de cada etapa.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Definiciones de mantenimiento

Combinaciones de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida. (UNE-EN-13306, 2001)

Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española definen al mantenimiento como: El conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que las instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente. (DRAE, 2014)

2.2 Clasificación del mantenimiento



Fuente: UNE-EN13306

Dentro de la clasificación del mantenimiento se distinguen dos subdivisiones importantes el mantenimiento preventivo y el correctivo, el preventivo busca alternativas enfocadas en la disponibilidad, fiabilidad, y productividad, antes de que ocurra un fallo, el correctivo por otro lado solo se concentra en las acciones que se deben dar una vez que ya ha ocurrido la avería, que pueden ser inmediatas o programables.

2.3 Términos de mantenimiento

La importancia del incremento de la productividad se entiende por medio del conocimiento de los siguientes términos: Activo físico, ciclo de vida de un activo físico, función primaria, función o funciones secundarias, falla funcional, modo de falla, efecto de falla, consecuencia de falla y disponibilidad. Estos términos se relacionan directamente con la productividad, puesto que si no se posee disponibilidad en los equipos estos no pueden producir y por tal motivo no puede existir productividad.

2.3.1 *Activo físico.* Es un ítem que tiene un valor real o potencial para una organización. Los activos físicos por lo general se refieren a equipos, inventario y propiedades de la organización. (ISO-55000, 2014)

Los activos dentro de una empresa generan valor a cambio de su utilización muchos de estos actúan directamente en la generación de un producto o la prestación de un servicio, ya sea una trefiladora reduciendo la sección de la materia prima o una bomba para fluido caliente para la pasteurización de la leche.

2.3.2 *Ciclo de vida de un activo físico.* Un elemento puede ser un activo de varias organizaciones durante su vida útil. La vida del activo físico se define como el período desde su concepción o adquisición hasta su eliminación o adquisición por la otra organización responsable. (UNE-EN-16646, 2014)

La vida de un elemento se define como el período desde su concepción hasta su eliminación. (UNE-EN-13306, 2010)

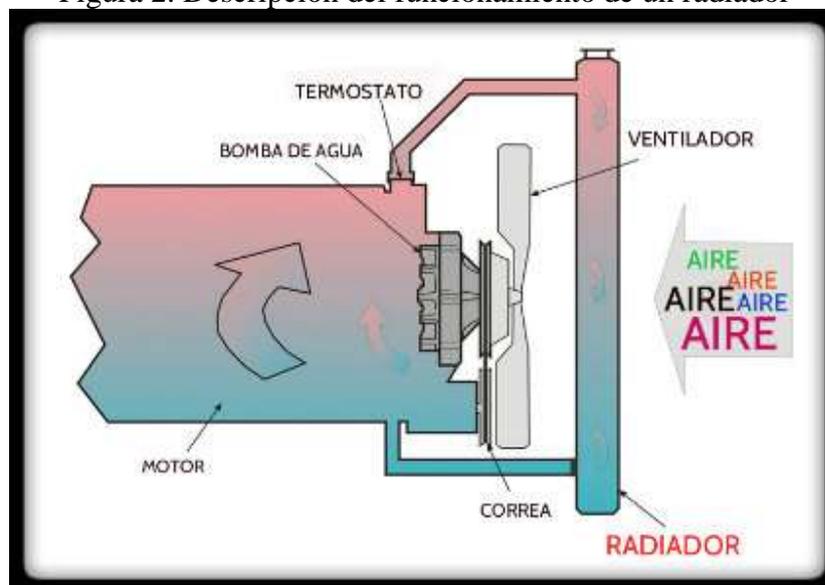
El ciclo de vida se resume en los siguientes puntos:

- *Adquisición del activo.* En esta etapa se compra o consigue el activo como una forma de inversión por medio de un distribuidor, o empresa destinada a la construcción de maquinaria y equipos.
- *Instalación del activo.* En la instalación se refiere al tiempo que se demora en colocar en un estado permisible para iniciar con el arranque y operación de los equipos o maquinarias.

- *Operación del activo.* Refiere al funcionamiento del equipo, esto se realiza con la finalidad de generar valor a la empresa, compañía o persona que adquirió el activo.
- *Mantenimiento del activo.* Son las tareas y actividades destinadas a devolverle al activo la función para la cual fue diseñada.
- *Repotenciación.* Refiere una modernización o actualización que permita continuar desarrollando las funciones para las cuales un activo fue diseñado.
- *Eliminación del activo.* El desmantelamiento o baja de los equipos que ya no cumplen sus respectivas funciones.

2.3.3 Función primaria. Es la actividad o acción que realizará un equipo, es la razón por la cual fue diseñado, por ejemplo la función primaria de un refrigerador es refrigerar. Una función primaria sintetiza porqué el bien fue adquirido en primer lugar. Esta categoría de funciones cubren temas tales como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente.

Figura 2. Descripción del funcionamiento de un radiador



Fuente: sapiensman.com

Cuando un motor se enciende y alcanza cerca de los 97° C, el refrigerante (producto químico utilizado como medio transmisor de calor) comienza a circular a través del motor, absorbiendo el calor y regresando a las “celdas de intercambiadores de calor” del

radiador. Estas celdas, al estar en contacto con el aire frío que proviene del exterior del auto, reducen la temperatura del fluido que contienen

2.3.4 *Función o funciones secundarias.* Una función secundaria es aquella que se realiza intrínsecamente y en conjunto de la función primaria, por ejemplo en una lámpara incandescente, la función primaria es alumbrar, pero adicionalmente brinda calor, esta segunda es una función secundaria. Los usuarios también tienen expectativas en áreas como ser seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con las normas medioambientales, y hasta la estética o apariencia del bien.

2.3.5 *Función requerida.* Es la función o combinación de funciones de un elemento que se consideran necesarias para proporcionar un servicio explícito o tácito. (UNE-EN-13306, 2010)

2.3.6 *Falla funcional.* En el mundo de RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, porque ocurren cuando un bien es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario, hecho similar ocurre con las funciones secundarias.

Dentro del RCM y gracias al sin número de herramientas con las cuales se cuenta es importante determinar primeramente el tipo de falla, este proceso se realiza de dos maneras:

- Identificando qué circunstancias llevaron a un estado fallido al equipo.
- Investigando qué situaciones son las causantes de que un bien caiga en ese estado de falla.

2.3.7 *Modos de falla.* Son todas las posibles causas de este estado de error. Estas causas se deben identificar de manera clara para evitar desperdiciar tiempo y recursos en tratar síntomas en lugar de causas.

2.3.8 *Efectos de falla.* Lo que sucede cuando se presenta cada modo de falla. La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para respaldar la

evaluación de las consecuencias de falla que se realiza posteriormente a través de:

- Evidencias de que ocurrió la falla.
- De qué manera representa una amenaza para el medio ambiente.
- De qué modo afecta a la producción u operación.
- Qué debe hacerse para reparar la falla

2.3.9 *Consecuencias de las fallas.* Cada falla afectan a la organización en alguna escala, pero en cada caso los efectos son diferentes. Pueden afectar la operatividad. También pueden afectar la calidad del producto, servicio al cliente, seguridad del medioambiente. Todas significarán el gasto de tiempo y dinero para repararlas. El RCM clasifica a las consecuencias de las fallas de la siguiente manera:

2.3.9.1 *Consecuencias de fallas ocultas.* Las fallas ocultas no causan un impacto directo, pero exponen a la empresa a fallas múltiples, con consecuencias serias y frecuentemente catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas con sistemas de protección no libres de fallas)

2.3.9.2 *Consecuencias medioambientales y de seguridad:* Una falla trae consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar o causar la muerte. Tiene consecuencias medioambientales si provoca la violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional.

2.3.9.3 *Consecuencias operativas.* Una falla trae consecuencias operativas cuando afecta la producción (rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación.)

2.3.9.4 *Consecuencias no operativas.* Las fallas evidentes que conforman esta categoría, no tienen consecuencias ni de seguridad, ni de protección, de modo que sólo implican el costo de reparación (UNE-EN-13306, 2010).

2.3.10 *Disponibilidad.* Es la “Aptitud de un elemento para encontrarse en un estado

en que pueda realizar su función, cuándo y cómo se requiera, bajo condiciones dadas, asumiendo que se dispone de los recursos externos necesarios. (UNE-EN-13306, 2010)

Contar con elementos, equipos, herramientas, sistemas y maquinaria disponible garantiza la generación de productos, sin embargo estos deben a su vez contar con un nivel necesario de fiabilidad y mantenibilidad que garanticen la productividad en cualquier tipo de proceso, sea cual sea el producto o servicio que se lleve a cabo.

Existen varios tiempos denotados como en términos relativos como tiempos relacionados con el estado de disponibilidad e indisponibilidad. Estos son el tiempo de reposo, tiempo de espera, tiempo operativo, tiempo de incapacidad, tiempo no requerido, tiempo requerido, elementos reparables, no reparables, etc.

Figura 3. Correlación entre los tiempos relativos a la disponibilidad



Fuente: UNE EN 13306

Dónde:

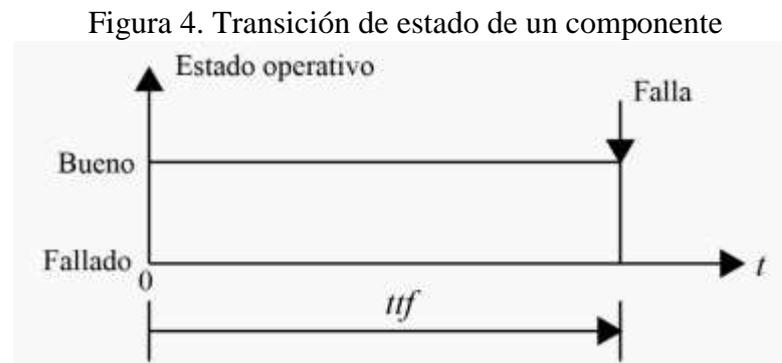
- *Tiempo requerido.* Es el intervalo de tiempo durante el cual se requiere que el elemento se encuentre en estado de disponibilidad.
- *Tiempo no requerido.* Es el intervalo de tiempo durante el cual no se requiere que el elemento se encuentre en estado de disponibilidad.
- *Tiempo de disponibilidad.* Es el intervalo de tiempo durante el cual un elemento se encuentra en estado en el que puede realizar la función requerida, asumiéndose que se proporcionan los recursos externos si fuesen necesarios.

- *Tiempo de indisponibilidad.* Es el intervalo de tiempo durante el cual un elemento se encuentra en estado de avería o con una posible incapacidad para realizar una función requerida durante el mantenimiento preventivo. Mientras mayor sea el tiempo de indisponibilidad durante el tiempo requerido, menor es el valor de la disponibilidad, que bajo ninguna circunstancia podrá salirse del intervalo comprendido entre 0 y 100%.
- *Tiempo de incapacidad (parada).* Es el intervalo de tiempo durante el cual un elemento no puede realizar la función requerida, por cualquier causa. Un estado de incapacidad puede ser un estado de disponibilidad o un estado de indisponibilidad.
- *Tiempo de incapacidad externa.* Es el subconjunto del tiempo de incapacidad en la que el elemento se encuentra en un estado de disponibilidad, pero faltan los recursos externos requeridos como la suspensión de la alimentación de energía eléctrica, falta de materia prima, tiempos de alistamientos, recambios en la configuración del proceso o cualquier otra incapacidad causada por motivos distintos de los de mantenimiento.
- *Tiempo operativo.* Es el intervalo de tiempo durante el cual un elemento está funcionando según lo requerido.
- *Tiempo de reposo.* Es el intervalo de tiempo durante el cual un elemento que está en estado de disponibilidad, se encuentra sin funcionar durante el tiempo no requerido.
- *Tiempo de espera.* Es el intervalo de tiempo durante el cual un elemento que está en estado de disponibilidad, se encuentra sin funcionar durante el tiempo requerido. Este es el caso por ejemplo de los activos físicos redundantes o de emergencia. (UNE-EN-13306, 2010)

2.4 Elementos reparables y no reparables

Para que un equipo pase de una secuencia operativa normal, a un estado de fallo este ocurre en un tiempo de fallo aleatorio *t_{tf}* conocido también como *time of failure*, el cual

entre otras palabras indica cuanto vive el componente. Con la siguiente gráfica se explica de manera más detallada lo aquí descrito.



La transición de estados de un componente determina si este es reparable o no reparable.

2.4.1 *Elementos reparables.* Son aquellos que operan continuamente y ante la ocurrencia de una falla, pueden ser restaurados.

En los elementos reparables, se considera que:

- Los tiempos consecutivos de disponibilidad son variables aleatorias con esperanzas finitas, estadísticamente independientes, distribuidas idénticamente, positivas y continuas.
- Los tiempos consecutivos de indisponibilidad son variables aleatorias con esperanzas finitas, estadísticamente independientes, distribuidas idénticamente y no negativas. En el caso de que la duración de la indisponibilidad sea no nula, las variables aleatorias son continuas con una función de densidad de probabilidad común.
- Los tiempos de disponibilidad son estadísticamente independientes de los tiempos de indisponibilidad. (IEC-61703, 2001)

Después de una reparación de un elemento, podría alcanzar cinco posibles estados:

- Tan bueno como nuevo.

- Tan malo como antes de reparar.
- Mejor que antes de reparar pero peor que cuando estaba nuevo.
- Mejor que cuando estaba nuevo.
- Peor que antes de reparar. (MOUBRAY, 2004)

2.4.2 Elementos no reparables. Son aquellos que operan continuamente y deben ser reemplazados al fallar por primera vez, ya que su condición operativa no puede ser restaurada.

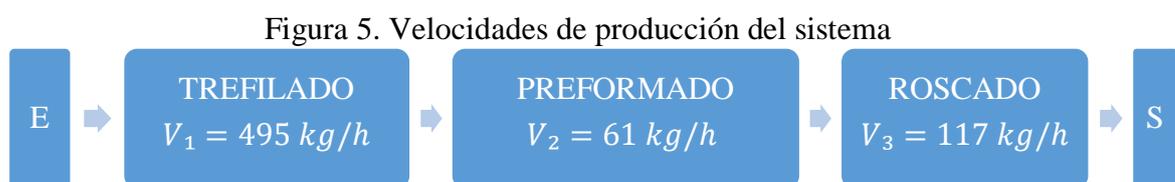
Para establecer el estado operativo, no se tienen en cuenta las averías latentes. En los elementos no reparables, el tiempo hasta el fallo es una variable aleatoria positiva y continua con esperanza finita. (IEC-61703, 2001)

Entre los elementos no reparables más usualmente encontrados se tiene a: rodamientos, lámparas, fusibles, etc. Dentro del proceso de producción de pernos hay la ocurrencia de fallos que inducen a paradas no planeadas, las actividades preventivas planificadas aplicadas a las diversas máquinas tales como: cambio de elementos, rodamientos, conmutadores, etc., serán considerados como elementos no reparables.

2.5 Velocidad de operación.

Según el tipo de sistema operacional sea en serie, paralelo o mixto, existe una variable de proceso que mide su capacidad operacional, esta se la conoce como velocidad de operación, según el diseño de cada máquina este parámetro puede variarse o ser fijo, en esta investigación se tiene los dos casos dentro de los sistemas.

2.5.1 Velocidad de operación en los sistemas en serie. Para los sistemas en serie, la velocidad de operación del sistema es igual a la velocidad de la etapa más lenta. (GOLDRATT, 2004)



Fuente: Autor

2.6 Diagrama de bloques

2.6.1 *Diagrama de bloques de un sistema en serie.* Un sistema en serie es aquel que funciona, siempre que sus todos sus componentes funcionen. (PHAM, 2003)

Se considera que un componente o etapa se encuentra configurado en serie cuando su indisponibilidad, produce la indisponibilidad de todo el sistema.

Figura 6. Diagrama de bloque



Fuente: Autor

2.7 Matemáticas de la disponibilidad

Para alcanzar el cálculo correcto de la disponibilidad se requiere conocer la participación de ciertos tiempos que van de la mano de innegables condiciones de funcionamiento, antes de la aplicación de fórmulas se debe realizar un exhaustivo análisis del contexto operacional de cada etapa, dependiendo de la bibliografía los parámetros que intervienen en las formulas pueden tener distintas nomenclaturas y hasta en ciertos casos nombres distintos, previo al cálculo en las siguientes formulas presentadas para esta investigación, se detallan las siguientes nomenclaturas como definitivas para encontrar la disponibilidad en los sistemas y posteriormente su productividad.

2.7.1 *Disponibilidad operacional.* Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo bajo condiciones de operación normales, en un entorno real de soportes logísticos, en base a esta definición se la puede expresar de la siguiente manera:

$$Do = \frac{TD}{TR} * 100 \quad (1)$$

Dónde:

TD = Tiempo de disponibilidad

TR = Tiempo de disponibilidad

2.7.2 *Disponibilidad de los sistemas en serie en función de la disponibilidad de sus etapas.* La siguiente ecuación establece claramente que la disponibilidad de los sistemas en serie está en función de la sumatoria de la disponibilidad individual de cada etapa disminuido en $(k - 1)$, que es el número total de etapas en serie menos uno (1). (HERNÁNDEZ, 2015)

$$D_s = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1) \quad (2)$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

2.7.3 *Disponibilidad de los sistemas en paralelo pasivo en función de la disponibilidad de sus etapas.* Son sistemas de alta disponibilidad que no requieren que todas sus etapas en paralelo cumplan su función simultáneamente durante el tiempo requerido. (RAUSAND, 2004); Es decir, no todas las etapas son activas, alguna podría ser pasiva o redundante, su cálculo se lo hace mediante la siguiente formula:

$$D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m} (D_{ep_i} * V_{ep_i})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m (TE_{epp_i} * V_{epp_i})}{TR * V_{sis}} \quad (3)$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{ep_i} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{ep_i} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

TE_{epp} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

El tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo. Y si la disponibilidad de la etapa en

paralelo pasivo es igual al 100%, entonces el tiempo de espera es igual al tiempo requerido menos el tiempo operativo de la misma.

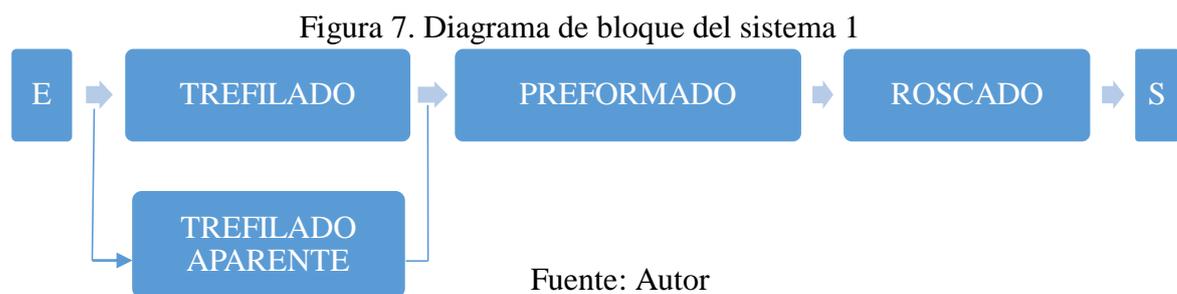
$$TE_{epp} = TR - TO_{epp} \quad (4)$$

Dónde:

TO_{epp} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

2.7.4 Tolerancia a la indisponibilidad. Tanto para sistemas en serie como para sistemas en paralelo, la tolerancia a la indisponibilidad hace referencia a la ausencia de consecuencias operacionales, no operacionales, seguridad y medio ambiente. En donde el desarrollo de una falla no produzca indisponibilidad en el sistema. Existen procesos en los cuales una falla no produce consecuencias de tipo operacional a estas se las conoce como tolerancia a la indisponibilidad.

Para efecto de estudio se tiene que en la etapa del trefilado tiene una producción excedente de 434 kg/h con respecto al preformado en este sistema, por lo que la maquina WD-3 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso de tiempo de 7,1 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema.



2.8 Productividad laboral.

Es un indicador que permite medir la eficiencia de producción de un sistema en una empresa o proceso productivo. Asocia varios factores según la necesidad sea: producción, tiempo de realización del producto, recursos, horas de trabajo del personal, etc.

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas} \quad (5)$$

CAPÍTULO III

3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA, ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD, CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD, TOLERANCIA A LA INDISPONIBILIDAD, Y CAUSAS QUE PROVOCAN INDISPONIBILIDAD EN LOS SISTEMAS EN SERIE

3.1 Situación actual de la empresa Galo G. Orbea O. Cía. Ltda.

Es necesario mencionar que dentro de la empresa no tienen conocimiento de lo que es ingeniería de mantenimiento, sus acciones se basan en experiencias del personal operativo, y la mayoría de ellas se tratan de acciones correctivas, es decir se interviene una vez que la falla ya se ha dado, lo incorrecto es que después de realizar los trabajos de mantenimiento correctivo estos no se registran en una bitácora de cada máquina, no existen historiales ni datos estadísticos que indiquen las acciones de mantenimiento realizadas por el personal, a los activos de la empresa.

Al no poseer registros de reparaciones ni planes de mantenimiento, las acciones solo se basan en experiencias e intervenciones correctivas lo que hace que la disponibilidad en las máquinas sea baja, dándose a menudo paros de producción. Los fallos más comunes o averías son cortos pero fáciles de reparar (su tiempo de reparación es corto), es muy diferente, cuando ocurre los fallos son graves, así tenemos cuando se rompió el cigüeñal de una recortadora parando la máquina por 65 días laborables ya que no se disponía del repuesto y tomo mucho tiempo importarlo.

La fábrica cuenta con un taller muy bien equipado donde se realizan algunos de los trabajos correctivos, este taller también sirve para elaborar repuestos (matrices o dados especiales) que no se encuentran en el mercado, sin embargo la mayoría de repuestos y piezas de las maquinas si se las tiene en stock en la bodega ubicada cerca del área de producción. En conclusión el mantenimiento correctivo basado en experiencias del personal operativo que se realiza a las máquinas y equipos, no es el más adecuado, pero si el que por el momento ha dado resultados ya que resultaría difícil estimar un periodo óptimo de funcionamiento de las piezas que comúnmente se dañan, por otro lado si se

puede mejorar cambiando la manera en que se operan las máquinas, la falta de sentido de apropiación por parte del personal es un serio problema.

3.1.1 *Logística en repuestos.* Dentro de la empresa de G.O. los repuestos son directamente importados desde Taiwán de la fábrica de Chun Zu Machinery Industry Co. Ltda. los mismos son traídos con anterioridad y los tienen en el almacén con el respectivo inventario.

Figura 8. Repuesto



Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

Figura 9. Bodega de repuestos (almacén)



Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

Para el caso de la matricera algunas de ellas también son traídas desde el fabricante, sin embargo en ciertos trabajos que no se hayan previsto de los repuestos con anterioridad, se pide al taller de la empresa que se las elabore.

Los repuestos existentes dentro del almacén de la empresa, son de las piezas pequeñas que son las más comunes en averiarse sin embargo, piezas fundamentales y grandes como cigüeñales, bielas, poleas, engranes, etc. no se tienen en stock por su alto costo de

adquisición, esto representa un alto riesgo en la producción ya que cuando uno de estos elementos se averían o se rompen, la administración en ese momento mandar a importar el repuesto correspondiente, el tiempo estimado en traer el repuesto mencionado se demora de 2 a 3 meses indica el jefe de producción, en ese lapso de tiempo no solo queda imposibilitada la maquina si no todo el sistema al que pertenece.

3.1.2 *Descripción del proceso.* En esta sección, se presenta el proceso productivo actual de la empresa G.O. para poder comprender los equipos y técnicas que se emplean en su operación, para poder ejecutar adecuadamente la metodología de análisis de disponibilidad. Para efecto del presente estudio se analizará el proceso productivo de la fabricación de pernos, que consta de 5 etapas para pernos de cabeza hexagonal, y 4 etapas para pernos de carrocería, estas etapas se encuentra en serie y están bien definidas para ambos casos desde la entrada de materia prima hasta la salida del producto terminado.

La empresa utiliza el sistema inglés como unidad de medida para la mayoría de productos, sin embargo también fabrican productos utilizando el sistema internacional de unidades, para cubrir toda la demanda de la zona centro del país.

Las etapas para pernos hexagonales son los siguientes:

- Trefilado
- Preformado
- Recorte
- Roscado
- Acabado superficial

Los pernos de cabeza hexagonal de medidas pequeñas en su largo, es decir en el sistema ingles de $\frac{1}{2} in$ hasta $1\frac{1}{2} in$, y en el sistema internacional de $12mm$ hasta $25mm$ (aproximado), pasan por 4 etapas físicas, ya que existe una máquina que realiza dos de ellas en su interior, la de preformado y la de recorte, se consideraría que para este peculiar caso también son solo 4 etapas, para el resto de pernos de cabeza hexagonal si pasan por las mencionadas 5 etapas detalladas.

Las etapas para pernos de carrocería (cabeza redonda) son los siguientes:

- Trefilado
- Preformado
- Roscado
- Acabado superficial

Antes de ingresar la materia prima dentro del proceso a la primera etapa que es el trefilado, el material se somete a un lavado químico donde se desprende de suciedades, incrustaciones, óxidos, etc. A continuación detallaremos por completo cada una de las etapas dentro del proceso productivo:

3.1.3 *Materia prima.* La materia prima ocupada para la fabricación de pernos en G. O. Cía. Ltda. es proveniente de Brasil de la empresa **ARCELOR MITTAL**, el alambroón de acero sin alea viene en rollos de 2200 kg a 2500 kg dependiendo el diámetro y la composición del material solicitado, la composición química del acero más común dentro de la producción es la siguiente: 0,08% *C*, 0,37% *Mn*, 0,018% *P*, 0,012% *S*. Que corresponde a un acero SAE No. 1008. Avalado y certificado por la empresa quiteña **SIDERÚRGICA MENDES JÚNIOR SA.** para controles de calidad internos.

Figura 10. Materia prima



Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

3.1.4 *Decapado.* En esta etapa, el alambroón de acero no aleado recibe un lavado químico para eliminar óxidos y cuerpos extraños incrustados en el mismo, esta fase solo se la realiza 3 veces al año en febrero, junio, y octubre, para así aprovechar el número máximo de paradas que resistan o que todavía sean efectivos los químicos, y así optimizar al máximo los insumos utilizados.

El alambrión pasa por 6 etapas para estar en óptimas condiciones y entrar al área de maquinado, que a continuación detallaremos:

- Se sumerge el material por un lapso de 20 a 60 minutos en una piscina de ácido clorhídrico mezclado con agua en una concentración de: 40% HCl y 60% H₂O.
- Recibe un enjagüe simple con agua en la segunda piscina.
- Se introduce en la tercera piscina por 1 minuto en el neutralizante (sal alcalina) NEUTRALOX.
- Se introduce en la cuarta piscina donde se encuentra el fosfatizante por 30 minutos.
- Recibe otro enjagüe simple con agua en la quinta piscina.
- Se le da un baño en la sexta y última piscina del sellante, una mezcla de agua y ácido crómico, en una concentración de: 5% H₂CrO₄ y 95% H₂O.

Todos los químicos utilizados en esta etapa son adquiridos de QUIMICAMP DEL ECUADOR SA.

3.1.5 Trefilado. El rollo de alambrión pesado y totalmente seco del lavado químico pasa a la máquina trefiladora.

Figura 11. Balanza

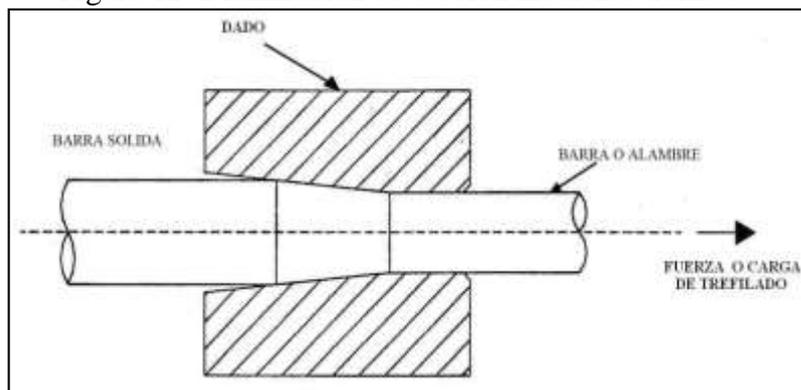


Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

El trefilado es un trabajo de conformación, que consiste en reducir la sección de la materia prima entrante a la medida deseada, dicha materia prima pasa a través de dados o trefilas de carburo de tungsteno que están cubiertos por un lubricante solido de tipo sódico en polvo, cuyo diámetro es paulatinamente menor al del alambión, el material entrante sufre un estiramiento en frio, lógicamente la deformación mecánica provoca un calentamiento del material este es casi imperceptible ya que saliendo de la maquina trefiladora se enrolla en bobinas y no entran en contacto directo con el personal operativo, los parámetros más importantes de esta etapa son:

- Grado de reducción o secuencia de reducciones.
- Nivel de lubricante en polvo.
- Peso del material trefilado.

Figura 12. Disminución de sección mediante trefilado.



Fuente:<http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2008/articulos/A3/A.pdf>

Figura 13. Alambión trefilado.



Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

Las reducciones del material pueden variar, algunos trabajos suelen ser simplemente para mejorar el acabado superficial reduciendo en si el alambre en 1mm, para otros tamaños más pequeños se puede reducir el material hasta en un 50%, y en otros casos hasta en un 80% en pasadas sucesivas.

3.1.6 *Preformado.* En esta operación como su nombre lo indica, consiste en preformar o ya dar la forma predeterminada a dichos productos mediante un prensado, en el caso de los pernos de carrocería (cabeza redonda) en esta etapa ya se le da la forma definitiva, los productos pasan directamente al roscado y al pavonado o zincado, para los pernos de cabeza hexagonal los productos pasan a la siguiente etapa que es la de recorte, existen 3 máquinas en operación para esta etapa, y su proceso es automatizado, una vez que el operario ha regulado y preparado su máquina (calibración de pinzas y revisión de matrices), la maquina comienza el prensado de pernos, teniendo el operario solo que revisar, controlar, y verificar que tenga un correcto funcionamiento.

Figura 14. Perno preformado, de cabeza hexagonal



Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

3.1.7 *Recorte.* Esta etapa solo comprende para pernos de cabeza hexagonal ya que todos los productos que salen de la etapa anterior tienen su cabeza redonda, el recorte es la única manera para dar ya la forma hexagonal definitiva a las cabezas de los pernos, de ahí pasan de igual forma al roscado y al pavonado o galvanizado, la etapa posee 3 máquinas en operación y también es un proceso automatizado una vez que el operario ha regulado y preparado su máquina (calibración de pinzas y revisión de cuchillas), la maquina comienza el recorte mediante el prensado, teniendo el operario solo que revisar, controlar, y verificar que tenga un correcto funcionamiento, el material sobrante del

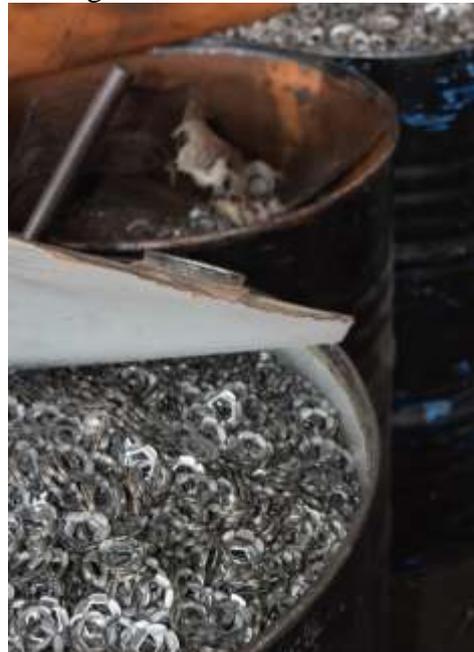
recorte cae en contenedores que pasan a almacenarse, para luego ser reciclados.

Figura 15. Recorte de la cabeza del perno



Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

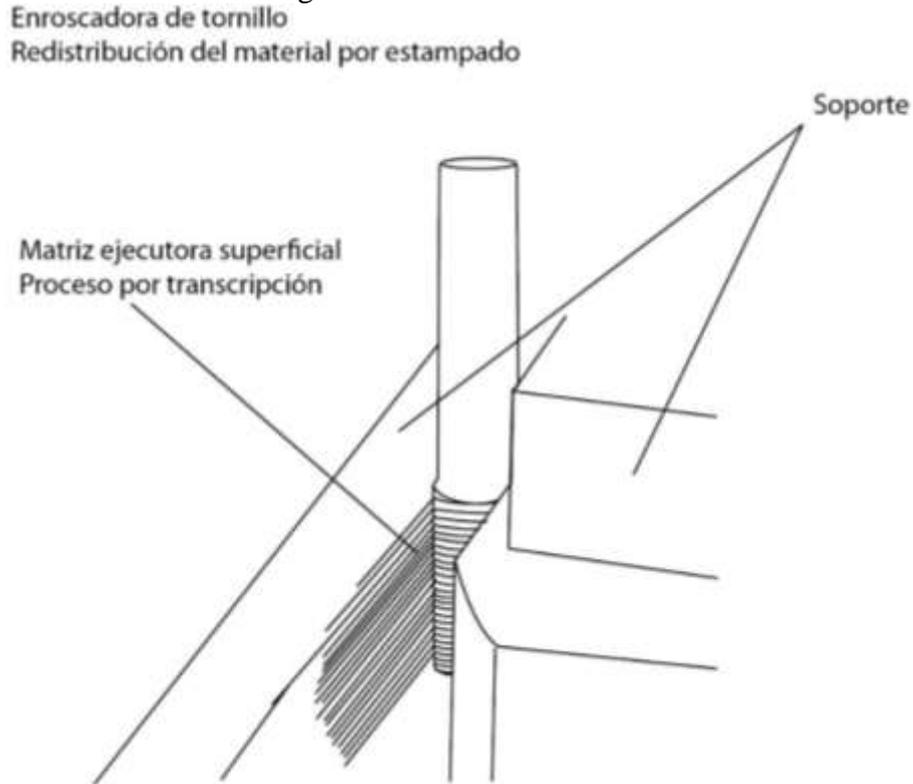
Figura 16. Viruta del recorte.



Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

3.1.8 Roscado. Una vez prensados los pernos y ya con su forma definitiva pasan al roscado, esta etapa cuenta con 4 laminadoras en operación que se encargan de deformar el vástago (eje) del perno por laminación para conseguir la rosca específica que se necesite, todo los pernos que estén listos para el roscado se los pone en el recipiente de la misma máquina y trabaja sin ninguna novedad, por lo que este proceso también es automatizado, el operario solo tiene que revisar que exista material, observar que no haya atascamientos , y verificar que la rosca esté perfectamente realizada.

Figura 17. Proceso de roscado



Fuente: http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Procesos_de_fabricaci%C3%B3n_de_tuercas_y_tornillos

Figura 18. Perno de carrocería antes y después del roscado.



Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

3.1.9 Acabado superficial. Este último proceso es netamente superficial y consiste en que a todos los productos que hayan salido de la etapa de roscado se les dé un recubrimiento que les permita protegerlos de óxidos, y que tengan una buena presentación, son dos acabados superficiales que maneja la empresa y son los siguientes:

- Pavonado

- Galvanizado

Los acabados superficiales se hacen en paradas conjuntas de diferentes productos, es decir no se los hace por separado más bien esperan a tener un lote de cierto peso para poder pavonarlos o galvanizarlos, teniendo en cuenta esto, cada hora salen 70 kg de productos galvanizados, en el caso del pavonado cada 3 horas aproximadamente 800 kg.

3.1.10 Pavonado. Este proceso consiste en calentar mediante un horno al producto a una temperatura aproximada de 450° C, por alrededor de 60 minutos para luego darle un baño de aceite, el producto mediante esta manipulación adquiere un color negro, como se mencionó antes este recubrimiento lo protege de los óxidos, pero el producto no puede ser usado en exteriores ni en condiciones de trabajo húmedas.

Figura 19. Perno pavonado



Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

3.1.11 Galvanizado. Consiste primero en limpiar el producto, sumergiéndolos en detergentes a base de agua por 10 minutos que limpian completamente la superficie de los materiales, más adelante los mismos productos secados completamente, se sumergen en los tanques donde se encuentra una solución fundida en zinc por 45 minutos dándole el recubrimiento anticorrosivo a los pernos.

Su enjuague es realizado otra vez con agua, pasa por un baño de cromatizado y se introduce el lote en la maquina centrifuga que seca por completo al producto mediante aire caliente, este recubrimiento tiene varias ventajas entre ellas menor costo de mantenimiento, mayor durabilidad, es un proceso simple y directo de fácil inspección, siendo así que si el revestimiento parece continuo y perfecto, realmente lo es.

Figura 20. Perno galvanizado



Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

3.1.12 Almacén. Luego de que el proceso esté completamente terminado los productos pasan al área de empaqueo donde todos los productos son pesados y empacados para llevarlos a las bodegas de productos terminados.

Figura 21. Almacenaje de producto



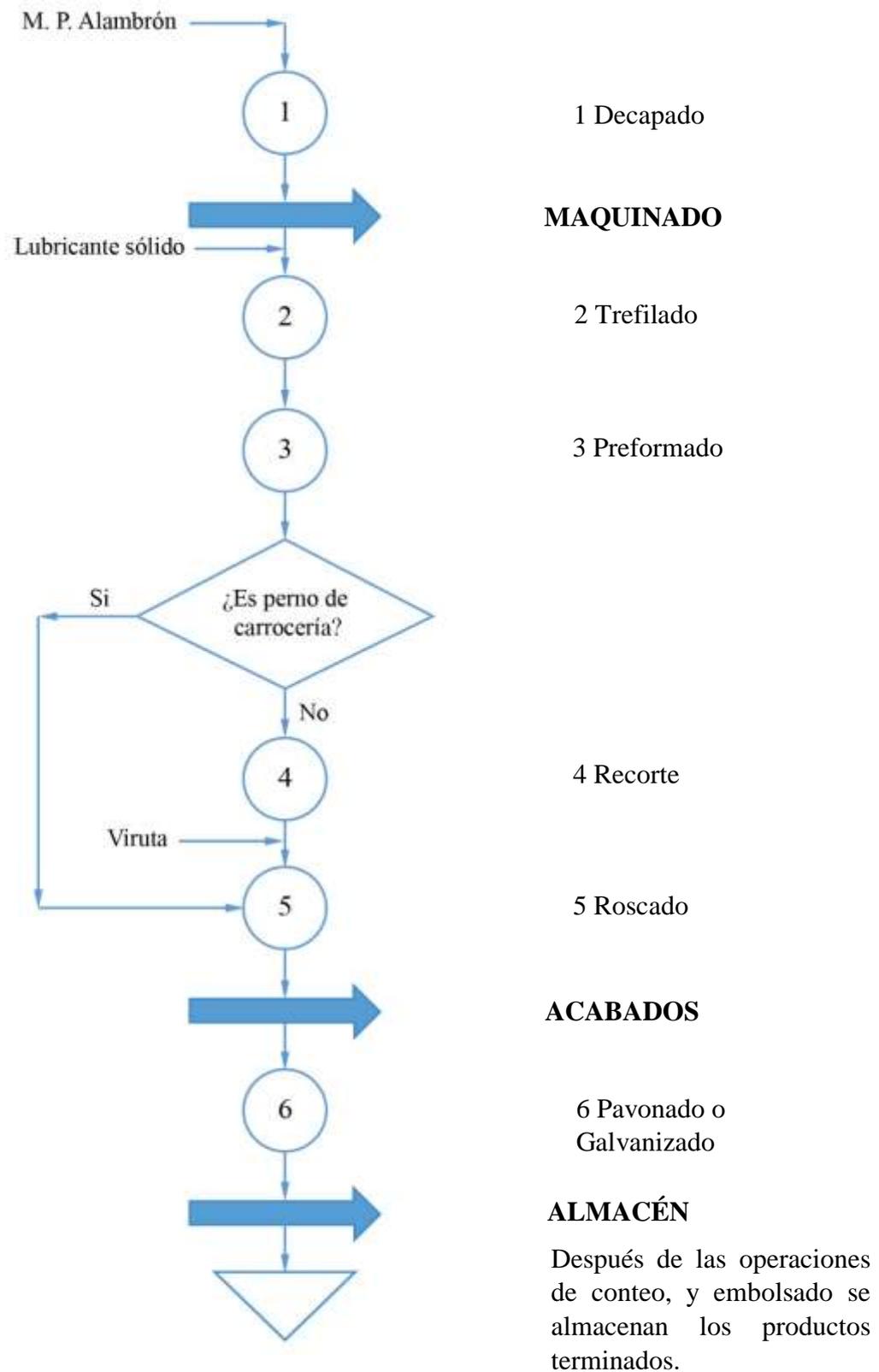
Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

El peso de los productos terminados, sumados al material metálico reciclado del recorte (en caso de ser pernos de cabeza hexagonal), debe ser igual o aproximado al peso inicial de toda la materia prima que al inicio entro al proceso de trefilado, si este peso señalado no coincide o no se aproxima, el lote obviamente no está completo y no puede almacenarse ni empaquetarse.

Ya que si bien es cierto que una parte del lote ya está listo, la otra parte que falta no, y por lo general el personal operativo comenta que debido al descuido es que esa parte no se llega a completar y esta se transforma en una pérdida para la empresa.

3.1.13 Diagrama de operación para la fabricación de pernos.

Figura 22. Diagrama de proceso



Fuente: Autor

3.2 Descripción de los sistemas completos en el proceso de fabricación de pernos

Para la facilitar la localización de maquinaria dentro de la fábrica lo más óptimo es conocerlas por sus códigos, y en qué etapa del proceso se encuentran, referirse a una máquina mediante sus códigos ayuda a mejorar la comunicación entre el personal, y simplifica conversaciones para actuar de manera inmediata en el caso de una avería o fallo, o un mantenimiento programado.

Es necesario también conocer el conjunto de máquinas que realicen un proceso completo, es decir el sistema donde se fabriquen los pernos, razón por la cual, se detalla las diversas máquinas según el sistema en donde se encuentren, adjuntando los datos en las siguientes tablas:

Tabla 1. Sistema #1

	<i>Equipos para la fabricación de pernos de carrocería (cabeza redonda) en la empresa Galo G. Orbea O. Cía. Ltda.</i>	
	Código	Equipo
	WD-3	Trefiladora
	CH-12	Cabezadora
	DPR-8	Laminadora
		Etapa
		Trefilado
		Preformado
		Roscado

Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

Tabla 2. Sistema #2

	<i>Equipos para la fabricación de pernos de cabeza hexagonal en la empresa Galo G. Orbea O. Cía. Ltda.</i>	
	Código	Equipo
	WD-3	Trefiladora
	CH-10LS	Cabezadora
	CGT-408	Recortadora
DPR-12S	Laminadora	
		Etapa
		Trefilado
		Preformado
		Recorte
		Roscado

Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

Tabla 3. Sistema #3

	<p><i>Equipos para la fabricación de pernos de largo entre 1/2" a 1 1/4" en la empresa Galo G. Orbea O. Cía. Ltda.</i></p>	
	Código	Equipo
WD-3	Trefiladora	Trefilado
CBF-83	Cabezadora y recortadora	Preformado y Recorte
SRM-6	Laminadora	Roscado

Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

Tabla 4. Sistema #4

	<p><i>Equipos para la fabricación de pernos de cabeza hexagonal en la empresa Galo G. Orbea O. Cía. Ltda.</i></p>	
	Código	Equipo
WD-3	Trefiladora	Trefilado
H-10	Cabezadora	Preformado
CT-8L	Recortadora	Recorte
DPR-12	Laminadora	Roscado

Fuente: GALO G. ORBEA O. Cía. Ltda.

3.3 Distribución física de la maquinaria dentro de la fábrica.

El área total del galpón donde se fabrican los pernos es de $1540 m^2$, teniendo como dimensiones $55 m$ de largo, por $28 m$ de ancho, espacio suficiente donde se encuentran muy bien ubicadas las 11 maquinas que componen los 4 sistemas de producción, la bodega o almacén de repuestos, y las áreas de: pavonado, galvanizado, productos no acabados, material trefilado, materia prima. De mejor manera se podrá observar esta distribución en el lay out de la planta. Anexo 1.

Fichas técnicas de datos y características de cada máquina. Las fichas técnicas generadas son un resultado del trabajo conjunto de los operadores de cada máquina y el autor de este trabajo, los datos que estas contienen son los necesarios para facilitar la información que se requiera obtener de cada equipo al momento de realizarse un mantenimiento, sea

correctivo o preventivo. Anexo 2. La información prescrita en las fichas viene de la siguiente manera:

- *Datos principales:* nombre del equipo, código del mismo.
- *Datos de fabricación:* fabricante, modelo, proveedor, fecha de adquisición, valor de la adquisición.
- *Datos generales:* dimensiones del equipo, dimensiones del área, otros.
- *Especificaciones:* productos que se pueden fabricar en la máquina.
- *Estructura de grupos:* grupo principal, grupo de alimentación, sistema de lubricación, sistema de refrigeración, sistema eléctrico.
- *Motores:* descripción de motor, voltaje, amperaje, RPM, número de fases.

Para continuar con estudio de este proyecto se procede a realizar el cálculo inicial de la disponibilidad y productividad de los sistemas en serie.

3.4 Estimación de tiempos no requeridos

3.4.1 *Tiempo por incapacidad externa.* Dentro de esta evaluación, en el lapso de tiempo estimado por razones climáticas (lluvias) en la ciudad de Quito se produjeron 3 apagones, o cortes de energía eléctrica los días 05,13, 19 de julio con una duración total de 4 horas, causando **tiempos por incapacidades externas**, los mismos que se trasladan a tiempos no requeridos ya que según la norma UNE-EN 13306, dice que un estado de disponibilidad es el “*Estado de un elemento caracterizado por el hecho de que puede realizar una función requerida, asumiéndose que se proporcionan los recursos externos si fuesen necesarios.*”

Si bien las máquinas de los sistemas están en un estado de disponibilidad, éstas no pueden operar ya que no hay el recurso externo de la energía eléctrica, por lo tanto no es requerido su funcionamiento, es por ello que este tiempo de incapacidad externa se lo posiciona dentro del tiempo no requerido.

3.4.2 *Tiempo de reposo.* Dentro del tiempo no requerido también se encuentran los **tiempos de reposo**, según la norma UNE-EN 13306, un estado de reposo es el “*Estado de un elemento que está en estado de disponibilidad y sin funcionar durante el tiempo no requerido.*” Los tiempos de reposo son intervalos de tiempo en los cuales las máquinas o equipos están en estado de reposo, estos tiempos se dan o existen gracias a los mismos operarios, cuando suspenden la fabricación de un producto **X** en algún sistema, por solicitudes de urgencia de otro producto **Y** en otro sistema, esto causa que las máquinas que pertenecen al sistema que estaba en operación provoquen tiempos de reposo ya que están en un estado de disponibilidad pero dentro de un tiempo que no se requiere su funcionamiento.

3.5 **Estimación de tiempos requeridos**

3.5.1 *Tiempo de indisponibilidad.* En las tablas de averías que se presenten en cada sistema a continuación, se podrá observar que los **tiempos de paro** no son iguales a los tiempos de reparación, esto es debido a que los operadores no les dan solución o una intervención inmediata a la maquinaria después que ocurre una avería, una vez que la máquina o equipo entra en estado de indisponibilidad los trabajadores buscan otras actividades en los otros sistemas o simplemente no realizan la reparación puesto que no lo desean, incluso puede pasar de un día a otro la máquina sin ser reparada por realizar actividades diferentes a las de mantenimiento, se entiende por estado de indisponibilidad según la norma UNE-EN 13306 que es el “*estado de un elemento caracterizado por una avería o por una posible incapacidad para realizar una función requerida durante el mantenimiento preventivo.*” Este estado genera los tiempos de indisponibilidad, es por ello, que, para los cálculos posteriores se tomará en cuenta como **tiempo de indisponibilidad** al tiempo de paro indicado en la tabla de averías de cada sistema.

3.5.2 *Tiempos de disponibilidad.* Los tiempos de disponibilidad se dan a partir de que una máquina o equipo se encuentre en estado de disponibilidad que según la norma UNE-EN 13306 es aquel “*Estado de un elemento caracterizado por el hecho de que puede realizar una función requerida, asumiéndose que se proporcionan los recursos externos si fuesen necesarios.*” Dentro del tiempo de disponibilidad, se encuentra el tiempo operativo y el tiempo de espera obviamente estos tiempos pertenecen a los estados operativos y de espera respectivamente, para cálculos posteriores el **tiempo de**

disponibilidad = tiempo operativo + tiempo de espera. Un estado operativo según la norma UNE-EN 13306 es aquel “Estado en que un elemento está funcionando según lo requerido.” Es decir cuando está en pleno funcionamiento y un estado de espera según la norma UNE-EN 13306 es aquel “Estado de un elemento que está en estado de disponibilidad y sin funcionar durante el tiempo requerido.” Estos tiempos existen o se dan ya que en los sistemas en serie para la fabricación de pernos, cada etapa tiene que fabricar la materia prima para la siguiente y un paro imprevisto en alguna de ellas provocan en el resto tiempos de espera.

3.6 Evaluación inicial del sistema en serie #1

Evaluación general: del 04 al 29 de julio 2016, 160 horas (20 días laborables), producción alcanzada = 5300 kg (53 qq). Dentro de esta evaluación solo se tomó en cuenta los tiempos relacionados con el tiempo requerido.

En los 20 días de evaluación se dieron las siguientes averías:

Tabla 5. Averías en el sistema en serie # 1

Fecha	Tiempo de paro (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Causa
WD-3			
06/07/2016	1	0,75	Atascamiento de la bobina del material ya trefilado.
22/07/2016	0,5	0,4	Fisura en el dado formador o trefila de tungsteno.
CH-12			
06/07/2016	7	0	Atascamiento de material en el dado formador.
07/07/2016	2	2	Atascamiento de material en el dado formador.
11/07/2016	2	1.5	Fisura en el primer punzón.
12/07/2016	1.5	1	Agarraderas del material rotas.
18/07/2016	5	3.5	Deformación en el segundo punzón.
28/07/2016	3	2	Atascamiento en los rodillos de alimentación.
DPR-8			
12/07/2016	1	0,25	Atascamiento en la bandeja de alimentación
14/07/2016	1	0,50	Des calibración por restos de material anterior.

Tabla 5. (Continuación)

26/07/2016	3	1	Taponamiento de la cañería de refrigeración.
------------	---	---	--

Fuente: Autor

Tanto los tiempos de disponibilidad, como los tiempos de indisponibilidad para cada máquina del sistema en serie #1 van a ser diferentes, por la misma razón se va a analizar cada uno de sus tiempos por separado, los mismos que se detallan a continuación a partir de la Figura 20, las cuales son la simplificación del esquema de los estados de un elemento de la norma UNE-EN 13306 (Figura 3), y de la correlación entre los tiempos relativos a la disponibilidad, en la que se van a suprimir el tiempo de incapacidad externa y tiempo no requerido, por no tener relación con las actividades de mantenimiento. (HERNÁNDEZ, 2015).

3.6.1 Disponibilidad general del sistema en serie # 1. Los tiempos en común para todas las máquinas del sistema en serie son el tiempo de evaluación, tiempo requerido y tiempo no requerido.

Máquina: WD-3 **Etapas:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 134 horas **Tiempo no requerido:** 26 horas

Figura 23. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3



Fuente: Autor

En la figura 23, así como en las siguientes se muestran explícitamente todos los tiempos referentes al tiempo de disponibilidad e indisponibilidad para cada una de las etapas en los sistemas para la fabricación de pernos.

Máquina: CH-12 **Etapa:** Preformado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 134 horas

Tiempo no requerido: 26 horas

Figura 24. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-12.



Fuente: Autor

Máquina: DPR-8 **Etapa:** Roscado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 134 horas

Tiempo no requerido: 26 horas

Figura 25. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-8



Fuente: Autor

Tabla 6. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 1

Máquina	Etapa	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	134	132,5	1,5	0,98880597
CH-12	Preformado	134	113,5	20,5	0,847014925

Tabla 6. (Continuación)

DPR-8	Roscado	134	129	5	0,962686567
-------	---------	-----	-----	---	-------------

Fuente: Autor

3.6.1.1 Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 1.

$$D_1 = 0,9888$$

$$D_2 = 0,8470$$

$$D_3 = 0,9626$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (0,9888 + 0,8470 + 0,9626) - (2)$$

$$D_S = 0,7984 = 79,84\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

3.6.1.2 Productividad laboral general del sistema en serie #1.

Producción alcanzada = 5300 kg

Horas hombre trabajadas = 160 h

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas}$$

$$Productividad\ laboral = \frac{5300\ kg}{160\ h}$$

$$Productividad\ laboral = 33,12\ kg/h$$

La disponibilidad general del sistema en serie 1, durante el tiempo de análisis 160 horas, (20 días laborables) es del **79,84%**, y su productividad laboral es de **33,12 kg/h**. Pero para poder analizar y poder determinar las causas que hacen que decaigan estos

indicadores, se procede a investigar un caso en especial ya que el sistema en este lapso de tiempo ha trabajado varios productos, a continuación se presenta el caso:

3.6.2 *Caso de investigación.* Perno de carrocería (cabeza redonda), $\frac{5}{16}$ " \times $\frac{3}{4}$ ", rosca UNC gruesa. Lote de 2358 Kg (23,58 qq), un rollo completo de alambón de acero sin alear SAE No 1008, diámetro $\varnothing = 10mm$, tiempo de producción 72 horas (9 días laborables), del 05/07/2016 al 15/07/2016.

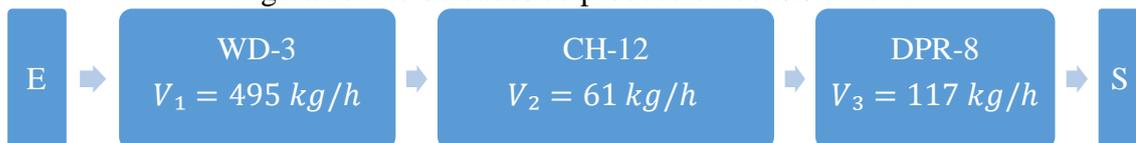
Figura 26. Esquema inicial del sistema 1



Fuente: Autor

3.6.2.1 *Velocidades de producción.* Las velocidades de producción obtenidas para el caso de investigación pertenecen a este producto específico, para el caso de la evaluación general no se logró determinar una velocidad de producción en cada etapa puesto que durante las 160 horas (20 días) de evaluación en este sistema se fabricaron varios productos.

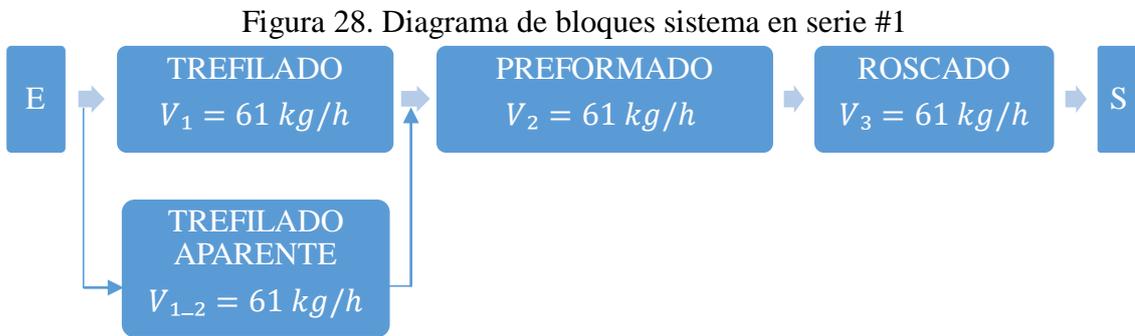
Figura 27. Velocidades de producción del sistema #1



Fuente: Autor

3.6.2.2 *Diagrama de bloques.* En la etapa de trefilado se puede decir que se encuentra o simula estar en paralelo pasivo, esto se da ya que la máquina trefiladora WD-3 posee una velocidad de operación mucho mayor que las otras etapas, la producción excedente en este caso el material trefilado se almacena y se tiene listo para que las etapas siguientes puedan continuar con la fabricación del lote completo, se dejó de lado el esquema inicial del sistema en serie #1 y se trabajó con el diagrama de bloques, en el cual se pudo apreciar de mejor manera el verdadero esquema del sistema, es preciso mencionar que para la realización del mismo no se tomó en cuenta la ubicación física de las máquinas.

Es también necesario aclarar que la velocidad del sistema es igual a la de la etapa más lenta en este caso la del preformado. $V_2 = 61 \text{ kg/h}$.



Fuente: Autor

Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 72 horas

Tiempo requerido: 58 horas **Tiempo no requerido:** 14 horas

Figura 29. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3. Caso de investigación.



Fuente: Autor

Tanto los tiempos de disponibilidad, como los tiempos de indisponibilidad para cada máquina del sistema van a ser diferentes, por la misma razón se va a analizar cada uno de sus tiempos por separado, los mismos que se detallan a continuación a partir de la Figura 29, las cuales son la simplificación del esquema de los estados de un elemento de la norma UNE-EN 13306 (Figura 3), y de la correlación entre los tiempos relativos a la disponibilidad, en la que se van a suprimir el tiempo de incapacidad externa y tiempo no requerido, por no tener relación con las actividades de mantenimiento. (HERNÁNDEZ, 2015).

Máquina: CH-12 **Etapa:** Preformado **Tiempo de evaluación:** 72 horas

Tiempo requerido: 58 horas **Tiempo no requerido:** 14 horas

Figura 30. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-12. Caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: DPR-8 **Etapa:** Roscado **Tiempo de evaluación:** 72 horas

Tiempo requerido: 58 horas **Tiempo no requerido:** 14 horas

Figura 31. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-8. Caso de investigación.



Fuente: Autor

Tabla 7. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 1

Máquina	Etapa	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	58	57	1	0,982758621

Tabla 7. (Continuación)

CH-12	Preformado	58	40,5	17,5	0,698275862
DPR-8	Roscado	58	56	2	0,965517241

Fuente: Autor.

3.6.2.3 Disponibilidad del sistema en serie # 1, en el caso de investigación. Para el cálculo correcto de la disponibilidad del sistema en serie se debe calcular primero la disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , como se mencionó antes esta etapa al tener una velocidad de producción mayor a las demás, y sabiendo que nunca deja de trabajar, su producción excedente se almacena simulando estar en un sistema de paralelo pasivo para cualquier eventualidad que pueda pasar en la máquina.

Disponibilidad en la etapa de trefilado. La disponibilidad en la etapa en paralelo pasivo del trefilado es del 100%, ya que la velocidad de producción de esta etapa es 8 veces mayor que la etapa de preformado y esta nunca estuvo en estado de indisponibilidad, entonces aplicamos la fórmula para calcular el tiempo de espera de esta etapa.

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

$$TE_{epp} = (58 - 1,5)h$$

$$TE_{epp} = 56,5 h$$

Dónde:

TE_{epp} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

TO_{epp} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

Se debe tomar en cuenta que el tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo en este caso 1,5 horas.

La disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , va a ser igual a la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo D_{pp} , que se calcula mediante la siguiente fórmula:

Teniendo:

$$D_{epa} = 0,9827$$

$$D_{epi} = 1,0000$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m}(D_{epi} * V_{epi})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m(TE_{epi} * V_{epi})}{TR * V_{sis}}$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{(0,9827 * 61 \text{ kg/h}) + (1 * 61 \text{ kg/h})}{61 \text{ kg/h}} - \frac{(56,5 \text{ h} * 61 \text{ kg/h})}{58 \text{ h} * 61 \text{ kg/h}}$$

$$D_1 = D_{pp} = 1,9827 - 0,9741$$

$$D_1 = D_{pp} = 1,0086 \approx 1$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{epi} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{epi} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

Una vez hallada la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo del trefilado procedemos a encontrar la disponibilidad del sistema en serie D_S

Teniendo:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 0,6983$$

$$D_3 = 0,9655$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (D_1 + D_2 + D_3) - (3 - 1)$$

$$D_S = (1 + 0,6983 + 0,9655) - (2)$$

$$D_S = 0,6638 = 66,38\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

3.6.2.4 Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #1.

Producción alcanzada = 2358kg

Horas hombre trabajadas = 72 h

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas}$$

$$Productividad\ laboral = \frac{2358\ kg}{72\ h}$$

$$Productividad\ laboral = 32,75\ kg/h$$

Para este caso de investigación la disponibilidad es del **66,38%**, y su productividad laboral es de **32,75 kg/h**, se puede observar que la causa de la baja en la disponibilidad y por lo tanto en la productividad del sistema es la etapa de preformado, las condiciones con las que trabaja la cabezadora CH-12, serán analizadas posteriormente con las máquinas que presenten problemas de los otros sistemas.

3.6.2.5 Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #1. El sistema en serie número #1, si presenta una tolerancia a la indisponibilidad en su primera etapa, la etapa del trefilado simula tener una etapa en paralelo pasivo, al poseer una velocidad de operación mayor que la etapa siguiente (preformado), su producción excedente se almacena y se tiene lista y dispuesta para poder reemplazar total o parcialmente a la etapa activa, todas la etapas pasivas tienen una tolerancia a la indisponibilidad por que evitan que el sistema sufra consecuencias operacionales, las etapas siguientes del preformado y roscado no presentan ninguna tolerancia a la indisponibilidad ya que tienen velocidades

de operación nominal semejantes, y no poseen etapas redundantes.

La etapa del trefilado tiene una producción excedente de 434 kg/h con respecto al preformado en este sistema, por lo que la maquina WD-3 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso de tiempo de 7,1 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema.

3.7 Evaluación inicial del sistema en serie #2

Evaluación general: del 04 al 29 de julio 2016, 160 horas (20 días laborables), producción alcanzada 4805 kg (48.05qq). Dentro de esta evaluación solo se tomó en cuenta los tiempos relacionados con el tiempo requerido.

En los 20 días de evaluación se dieron las siguientes averías:

Tabla 8. Averías en el sistema en serie # 2

Fecha	Tiempo de paro (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Causa
WD-3			
06/07/2016	1	0,75	Atascamiento de la bobina del material ya trefilado.
22/07/2016	0,5	0,4	Fisura en el dado formador o trefila de tungsteno.
CH-10LS			
04/07/2016	3	2	Cuchilla de corte rota
06/07/2016	1.5	0	Dado de corte trabado con material
07/07/2016	5	1.5	Dado de corte trabado con material
08/07/2016	2.25	2	Cambio de agarraderas
13/07/2016	1	1	Fisura en el segundo punzón.
15/07/2016	2	1	Descalibración de los punzones
20/07/2016	3.75	3.5	Pin de expulsión trabado
CGT-408			
13/07/2016	3	2.5	Fisura en el punzón de golpe
26/07/2016	3.75	2.5	Atascamiento de en el dado de forma.
DPR-12S			
18/07/2016	1	1	Taponamiento de la cañería de refrigeración.

Fuente: Autor

Tanto los tiempos de disponibilidad, como los tiempos de indisponibilidad para cada máquina de este sistema en serie #2 van a ser diferentes, por la misma razón se va a analizar cada uno de sus tiempos por separado.

3.7.1 Disponibilidad general del sistema en serie # 2.

Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 142 horas **Tiempo no requerido:** 18 horas

Figura 32. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3.



Fuente: Autor

Máquina: CH-10LS **Etapa:** Preformado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 142 horas **Tiempo no requerido:** 18 horas

Figura 33. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-10LS.



Fuente: Autor

Máquina: CGT-408

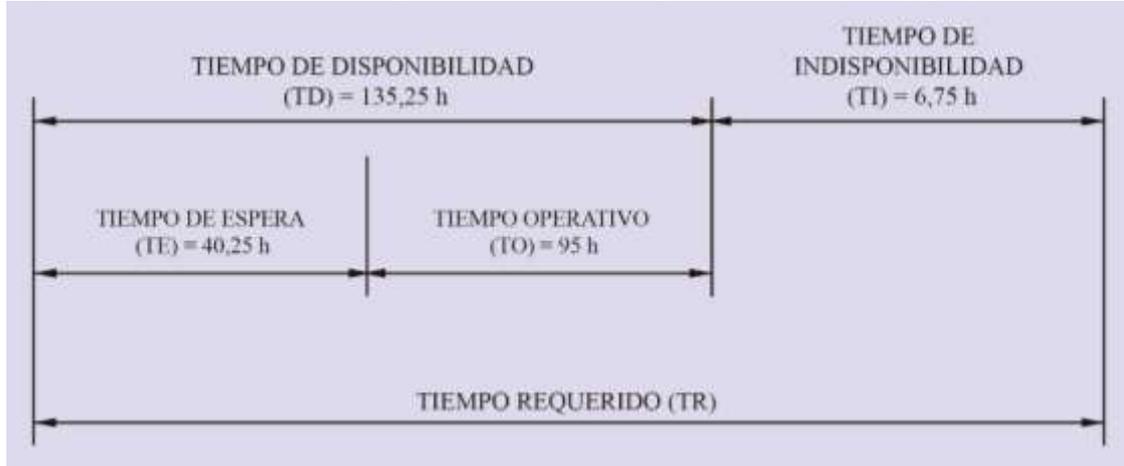
Etapa: Recorte

Tiempo de evaluación: 160 horas

Tiempo requerido: 142 horas

Tiempo no requerido: 18 horas

Figura 34. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CGT-408.



Fuente: Autor

Máquina: DPR-12S

Etapa: Roscado

Tiempo de evaluación: 160 horas

Tiempo requerido: 142 horas

Tiempo no requerido: 18 horas

Figura 35. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12S



Fuente: Autor

Tabla 9. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie #2.

Máquina	Etapa	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	142	140,5	1,5	0,98943662
CH-10LS	Preformado	142	123,5	18,5	0,86971831

Tabla 9. (Continuación)

CGT-408	Recorte	142	135,25	6,75	0,952464789
DPR-12S	Roscado	142	141	1	0,992957746

Fuente: Autor

3.7.1.1 Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 2.

Teniendo que:

$$D_1 = 0,9894$$

$$D_2 = 0,8697$$

$$D_3 = 0,9524$$

$$D_4 = 0,9929$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (0,9894 + 0,8697 + 0,9524 + 0,9929) - (3)$$

$$D_S = 0,8044 = 80,44\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

3.7.1.2 Productividad laboral general del sistema en serie #2.

Producción alcanzada = 4805 kg

Horas hombre trabajadas = 160 h

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas}$$

$$Productividad\ laboral = \frac{4805\ kg}{160\ h}$$

$$Productividad\ laboral = 30,03\ kg/h$$

La disponibilidad general del sistema en serie 2, durante el tiempo de análisis 160 horas, (20 días laborables) es del **80,44%** y su productividad laboral es de **30,03 kg/h**. Pero para poder analizar y poder determinar las causas que hacen que decaigan estos indicadores, investigaremos un caso en especial ya que el sistema en este lapso de tiempo ha trabajado varios productos, a continuación el caso:

3.7.2 *Caso de investigación.* Tirafondo (Cabeza hexagonal), $\frac{1}{4}$ " x 3". Lote de 2340 Kg (23.4 qq), un rollo completo de alambro de acero sin alear SAE No 1008, diámetro $\varnothing = 8mm$, tiempo de producción 60 horas (7.5 días laborables), 07/07/2016 al 18/07/2016.

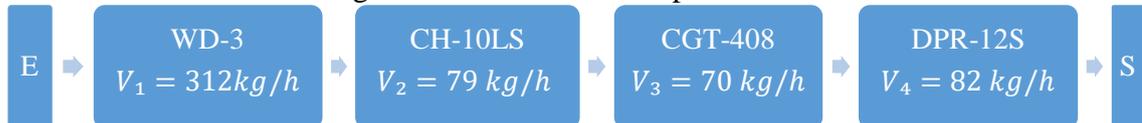
Figura 36. Esquema inicial del sistema #2



Fuente: Autor

3.7.2.1 *Velocidades de producción.*

Figura 37. Velocidades de producción



Fuente: Autor

3.7.2.2 *Diagrama de bloques.* En la etapa de trefilado se puede decir que se encuentra o simula estar en paralelo pasivo, esto se da ya que la máquina trefiladora WD-3 posee una velocidad de operación mucho mayor que las otras etapas, la producción excedente en este caso el material trefilado se almacena y se tiene listo para que las etapas siguientes puedan continuar con la fabricación del lote completo, se dejó de lado el esquema inicial del sistema en serie #2 y se trabajó con el diagrama de bloques, en el cual se pudo apreciar de mejor manera el verdadero esquema del sistema, es preciso mencionar que para la realización del mismo no se tomó en cuenta la ubicación física de las máquinas.

Es también necesario aclarar que la velocidad del sistema es igual a la de la etapa más lenta en este caso la del recorte, $V_3 = 70 \text{ kg/h}$.

Figura 38. Diagrama de bloques del sistema #2



Fuente: Autor

Tanto los tiempos de disponibilidad, como los tiempos de indisponibilidad para cada máquina del sistema van a ser diferentes, por la misma razón se va a analizar cada uno de sus tiempos por separado, los mismos que se detallan a continuación a partir de la Figura 39, las cuales son la simplificación del esquema de los estados de un elemento de la norma UNE-EN 13306 (Figura 3), y de la correlación entre los tiempos relativos a la disponibilidad, en la que se van a suprimir el tiempo de incapacidad externa y tiempo no requerido, por no tener relación con las actividades de mantenimiento. (HERNÁNDEZ, 2015).

Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 60 horas

Tiempo requerido: 45 horas **Tiempo no requerido:** 15 horas

Figura 39. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3. Caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: CH-10LS **Etapa:** Preformado **Tiempo de evaluación:** 60 horas

Tiempo requerido: 45 horas

Tiempo no requerido: 15 horas

Figura 40. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-10LS. Caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: CGT-408

Etapa: Recorte

Tiempo de evaluación: 60 horas

Tiempo requerido: 45 horas

Tiempo no requerido: 15 horas

Figura 41. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CGT-408. Caso de investigación.



Fuente: Autor

No se debe confundir en la etapa de roscado la laminadora DPR-12S de este sistema, con la laminadora DPR-12 del sistema #4, por su parecido en sus nombres.

Máquina: DPR-12S

Etapa: Roscado

Tiempo de evaluación: 60 horas

Tiempo requerido: 45 horas

Tiempo no requerido: 15 horas

Figura 42. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12S. Caso de investigación.



Fuente: Autor

Tabla 10. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 2

Máquina	Etapas	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional ($D_o = TD/TR$)
WD-3	Trefilado	45	45	0	1
CH-10LS	Preformado	45	34.75	10.25	0,772222222
CGT-408	Recorte	45	42	3	0,933333333
DPR-12S	Roscado	45	44	1	0,977777778

Fuente: Autor

3.7.2.3 Cálculo de la disponibilidad del sistema en serie # 2, en el caso de investigación. Para el cálculo correcto de la disponibilidad del sistema en serie se debe calcular primero la disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , como se mencionó antes esta etapa al tener una velocidad de producción mayor a las demás, y sabiendo que nunca deja de trabajar, su producción excedente se almacena simulando estar en un sistema de paralelo pasivo para cualquier eventualidad que pueda pasar en la máquina.

Disponibilidad en la etapa de trefilado. La disponibilidad en la etapa en paralelo pasivo del trefilado es del 100%, ya que la velocidad de producción de esta etapa es 3,9 veces mayor que la etapa de preformado y esta nunca estuvo en estado de indisponibilidad, entonces aplicamos la fórmula para calcular el tiempo de espera de esta etapa.

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

$$TE_{epp} = (45 - 0)h$$

$$TE_{epp} = TR = 45 h$$

Dónde:

TE_{epp} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

TO_{epp} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

Se debe tomar en cuenta que el tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo en este caso es 0 ya que no se registraron averías o paradas imprevistas en la etapa, por lo tanto el tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo va a ser igual al tiempo requerido.

La disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , va a ser igual a la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo D_{pp} , que se calcula mediante la siguiente fórmula:

Teniendo:

$$D_{epa} = 1,0000$$

$$D_{epp} = 1,0000$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m}(D_{epi} * V_{epi})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m(TE_{eppi} * V_{eppi})}{TR * V_{sis}}$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{(1 * 70 \text{ kg/h}) + (1 * 70 \text{ kg/h})}{70 \text{ kg/h}} - \frac{(45 \text{ h} * 70 \text{ kg/h})}{45 \text{ h} * 70 \text{ kg/h}}$$

$$D_1 = D_{pp} = 2 - 1$$

$$D_1 = D_{pp} = 1$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{ep_i} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{ep_i} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

Una vez hallada la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo del trefilado procedemos a encontrar la disponibilidad del sistema en serie D_S

Teniendo:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 0,7722$$

$$D_3 = 0,9333$$

$$D_4 = 0,9777$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 0,7722 + 0,9333 + 0,9777) - (3)$$

$$D_S = 0,6833 = 68,33\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

3.7.2.4 Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #2.

Producción alcanzada = 2340kg

Horas hombre trabajadas = 60 h

$$\textit{Productividad laboral} = \frac{\textit{Produccion alcanzada}}{\textit{Horas hombre trabajadas}}$$

$$\textit{Productividad laboral} = \frac{2340 \textit{ kg}}{60 \textit{ h}}$$

$$\textit{Productividad laboral} = 39 \textit{ kg/h}$$

Para este caso de investigación la disponibilidad es del **68,33%**, y su productividad laboral es de **39 kg/h**, se puede observar que la causa de la baja en la disponibilidad y por lo tanto de la productividad del sistema es la etapa de preformado, las condiciones con las que trabaja la cabezadora **CH-10LS**, serán analizadas posteriormente con las máquinas que presenten problemas de los otros sistemas.

3.7.2.5 Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #2. El sistema en serie número #2, también presenta tolerancia a la indisponibilidad en su primera etapa, la etapa del trefilado al igual que en el sistema 1 simula tener una etapa en paralelo pasivo, al poseer una velocidad de operación nominal mayor que la etapa siguiente (preformado), su producción excedente se almacena y se tiene lista y dispuesta para poder reemplazar total o parcialmente a la etapa activa, todas la etapas pasivas tienen una tolerancia a la indisponibilidad por que evitan que el sistema sufra consecuencias operacionales, las etapas siguientes del preformado, recorte, y roscado no presentan ninguna tolerancia a la indisponibilidad ya que tienen velocidades de operación semejantes, y no poseen etapas redundantes.

La etapa del trefilado tiene una producción excedente de $233 \textit{ kg/h}$ con respecto al preformado en este sistema, por lo que la maquina WD-3 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso de tiempo de 2,9 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema.

3.8 Evaluación inicial sistema en serie #3

Evaluación general: del 04 de julio al 05 de agosto del 2016, 200 horas (25 días laborables), producción alcanzada = 4455 kg (44.55 qq). Dentro de esta evaluación solo se tomó en cuenta los tiempos relacionados con el tiempo requerido. En los 20 días de evaluación se dieron las siguientes averías:

Tabla 11. Averías en el sistema en serie # 3.

Fecha	Tiempo de paro (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Causa
WD-3			
6/7/2016	1	0,75	Atascamiento de la bobina del material ya trefilado.
22/7/2016	0,5	0,4	Fisura en el dado formador o trefila de tungsteno.
CBF-83			
5/7/2016	3	2,5	Agarraderas rotas, cambio de piezas.
5/7/2016	2,5	2,5	Descalibración de cuchilla de corte.
8/7/2016	2,75	2,5	Atascamiento en los rodillos de alimentación.
13/7/2016	3,25	3	Atascamiento en el dado de corte.
15/7/2016	2	2	Fisura en el dado matriz.
20/7/2016	1	1	Taponamiento de cañería de lubricación y refrigeración.
26/7/2016	1,2	1	Tope de largo del material suelto.
27/7/2016	3	3	Fisura en el punzón de corte
29/7/2016	2	1,75	Deformación del segundo punzón cambio de pieza.
3/8/2016	1	1	Taponamiento de cañería de lubricación y refrigeración.
SRM6			
18/7/2016	0,5	0,4	Taponamiento de cañería de lubricación y refrigeración.
27/7/2016	1,5	1,5	Ruptura de filos en las láminas, cambio de piezas.

Fuente: Autor

3.8.1 Disponibilidad general del sistema en serie # 3.

El sistema #3 es un caso especial dentro de la fabricación de pernos en G. O. Cía. Ltda. este sistema fabrica pernos de cabeza hexagonal de medidas pequeñas en su largo, es decir en el sistema ingles de $\frac{1}{2}in$ hasta $1\frac{1}{2}in$, y en el sistema internacional de 12mm hasta 25mm (aproximado), este sistema posee la maquina CBF-83 única dentro de la empresa que hace dos trabajos en su interior resumiendo la etapa del preformado y la de recorte en una sola etapa que para este caso va a ser la segunda, el material saliente de esta pasa directamente al roscado.

Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 200 horas

Tiempo requerido: 189 horas

Tiempo no requerido: 11 horas

Figura 43. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3



Fuente: Autor

A continuación se muestra la máquina que resume dos etapas en una:

Máquina: CBF-83 **Etapa:** Preformado/Recorte **Tiempo de evaluación:** 200 horas

Tiempo requerido: 189 horas

Tiempo no requerido: 11 horas

Figura 44. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CBF-83.



Fuente: Autor

Máquina: SRM-6 **Etapa:** Recorte **Tiempo de evaluación:** 200 horas

Tiempo requerido: 189 horas

Tiempo no requerido: 11 horas

Figura 45. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina SRM-6



Fuente: Autor

Tabla 12. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa.

Máquina	Etapas	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	189	187,5	1,5	0,992063492
CBF-83	Preformado y Recorte	189	164,3	24,7	0,869312169
SRM-6	Roscado	189	187	2	0,989417989

Fuente: Autor.

3.8.1.1 Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 3.

Teniendo:

$$D_1 = 0,9920$$

$$D_2 = 0,8693$$

$$D_3 = 0,9894$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (0,9920 + 0,8693 + 0,9894) - (2)$$

$$D_S = 0,8507 = 85,07\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

3.8.1.2 Productividad laboral general del sistema en serie #3.

Producción alcanzada = 4455 kg

Horas hombre trabajadas = 200 h

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas}$$

$$Productividad\ laboral = \frac{4455\ kg}{200\ h}$$

$$Productividad\ laboral = 22.27\ kg/h$$

La disponibilidad general del sistema en serie 3, durante el tiempo de análisis 200 horas (25 días laborables) es del **85,07%**, y su productividad laboral es de **22.27 kg/h**. Pero para poder analizar y poder determinar las causas que hacen que decaigan estos indicadores, investigaremos un caso en especial ya que el sistema en este lapso de tiempo ha trabajado varios productos, a continuación el caso:

3.8.2 Caso de investigación. Perno cabeza hexagonal, $\frac{1}{4}$ " x $\frac{1}{2}$ ", rosca UNC gruesa. Lote de 2248 Kg (22.48 qq), un rollo completo de alambón SAE No 1008, $\phi = 8mm$, tiempo de producción 100 horas (12.5 días laborables), del 04/07/2016 al 20/07/2016.

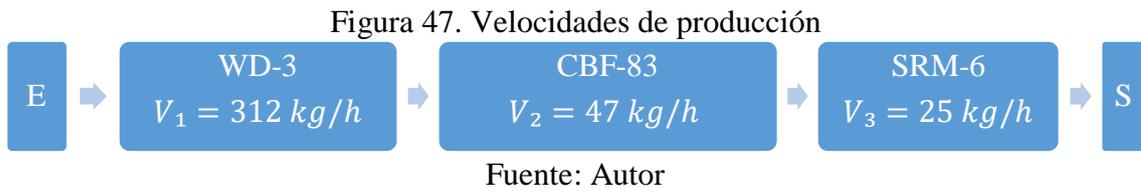
Se puede apreciar de mejor manera en la figura 46 lo mencionado anteriormente de la maquina especial CBF-83, que resume dos trabajos o dos etapas en su interior, sin embargo no se puede trabajar con el esquema inicial, se debe analizar su contexto operacional mediante diagrama de bloques.

Figura 46. Esquema inicial del sistema #3



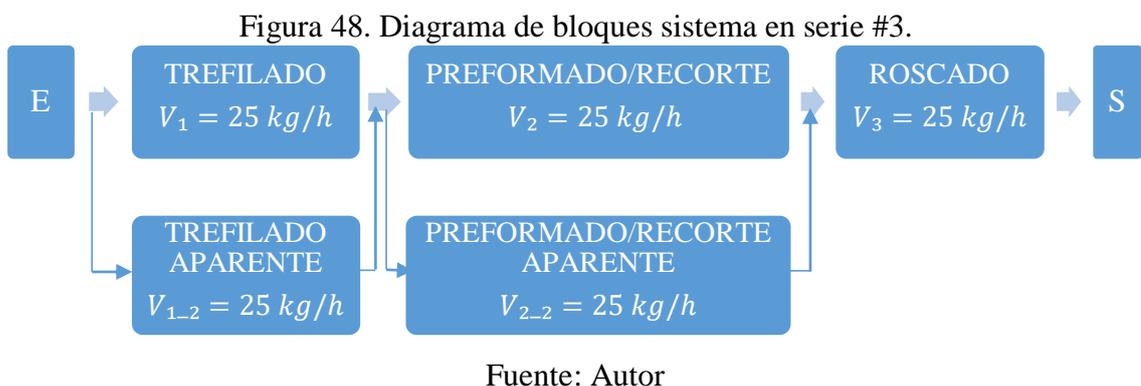
Fuente: Autor

3.8.2.1 Velocidades de producción.



3.8.2.2 Diagrama de bloques. La etapa de trefilado y la del preformado/recorte, se puede decir que se encuentran o simulan estar en paralelo pasivo, esto se da ya que las dos máquinas pertenecientes a estas etapas tienen velocidades mayores de producción a la laminadora del roscado, la trefiladora WD-3 posee una velocidad de operación mucho mayor que las otras 2 etapas, la producción excedente en este caso el material trefilado se almacena y se tiene listo para que las fases restantes puedan continuar con la fabricación del lote completo, la máquina CBF-83 como se mencionó también tiene una velocidad mayor a la de la máquina SRM-6 del roscado, su producción excedente se lo coloca en la estantería perteneciente a la laminadora, y se espera a que esta termine de fabricar el lote completo, como esta máquina tiene una velocidad de producción relativamente baja con respecto a las otras el lote se demora en salir un poco más de lo esperado mientras la misma está en operación las otras dos máquinas de las etapas precedentes entra en estado de reposo, se dejó de lado el esquema inicial del sistema en serie #3 y se trabajó con el diagrama de bloques, en el cual se pudo apreciar de mejor manera el verdadero esquema del sistema, es preciso mencionar que para la realización del mismo no se tomó en cuenta la ubicación física de las máquinas.

Es también necesario aclarar que la velocidad del sistema es igual a la de la etapa más lenta en este caso la del roscado, $V_3 = 25 \text{ kg/h}$.



Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 100 horas

Tiempo requerido: 94 horas **Tiempo no requerido:** 6 horas

Figura 49. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3



Fuente: Autor

Máquina: CBF-83 **Etapa:** Preformado/Recorte **Tiempo de evaluación:** 100 horas

Tiempo requerido: 94 horas **Tiempo no requerido:** 6 horas

Figura 50. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CBF-83



Fuente: Autor

Se puede observar que los tiempos de espera en las dos primeras etapas son demasiado altos, como se dijo anteriormente esto se debe a la baja velocidad de producción en la etapa del roscado.

Máquina: SRM-6 **Etapa:** Recorte **Tiempo de evaluación:** 100 horas

Tiempo requerido: 94 horas

Tiempo no requerido: 6 horas

Figura 51. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina SMR-6



Fuente: Autor

Tabla 13. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 3

Máquina	Etapas	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional ($D_o = TD/TR$)
WD-3	Trefilado	94	93	1	0,989361702
CBF-83	Preformado / Recorte	94	79.5	14.5	0,845744681
SRM-6	Roscado	94	93.5	0.5	0,994680851

Fuente: Autor

3.8.2.3 Disponibilidad del sistema en serie # 3, en el caso de investigación. Para el cálculo correcto de la disponibilidad del sistema en serie se debe calcular primero la disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , y después la disponibilidad de la etapa de preformado y recorte D_2 , como se mencionó antes, estas etapas al tener una velocidad de producción mayor a la etapa de roscado, su producción excedente se almacena simulando estar en un sistema de paralelo pasivo para cualquier eventualidad que pueda pasar en la máquina.

Disponibilidad en la etapa de trefilado. La disponibilidad en la etapa en paralelo pasivo del trefilado es del 100%, ya que la velocidad de producción de esta etapa es 6,8 veces mayor que la etapa de preformado / recorte y esta nunca estuvo en estado de indisponibilidad, entonces aplicamos la fórmula para calcular el tiempo de espera de esta etapa:

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

$$TE_{epp} = (94 - 1)h$$

$$TE_{epp} = 93 h$$

Dónde:

TE_{epp} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

TO_{epp} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

Se debe tomar en cuenta que el tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo en este caso 1 hora.

La disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , va a ser igual a la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo D_{pp} , que se calcula mediante la siguiente formula:

Teniendo:

$$D_{epa} = 0,9893$$

$$D_{epp} = 1,0000$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m}(D_{epi} * V_{epi})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m(TE_{eppi} * V_{eppi})}{TR * V_{sis}}$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{(0,9893 * 25 \text{ kg/h}) + (1 * 25 \text{ kg/h})}{25 \text{ kg/h}} - \frac{(93 \text{ h} * 25 \text{ kg/h})}{94 \text{ h} * 25 \text{ kg/h}}$$

$$D_1 = D_{pp} = 1,9893 - 0,9893$$

$$D_1 = D_{pp} = 1$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{epi} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{epi} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

Disponibilidad en la etapa de preformado y recorte. La disponibilidad en la etapa en paralelo pasivo del preformado / recorte fue del 100%, ya que la velocidad de producción de esta etapa es 1,88 veces mayor que la etapa de roscado y esta etapa nunca estuvo en estado de indisponibilidad, entonces aplicamos la fórmula para calcular el tiempo de espera de esta etapa:

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

$$TE_{epp} = (94 - 14.5)h$$

$$TE_{epp} = 79,5 h$$

Dónde:

TE_{epp} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

TO_{epp} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

Se debe tomar en cuenta que el tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo en este caso 1 hora.

La disponibilidad en la etapa de preformado / recorte D_2 , va a ser igual a la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo D_{pp} , que se calcula mediante la siguiente fórmula:

Teniendo:

$$D_{epa} = 0,8457$$

$$D_{epp} = 1,0000$$

$$D_2 = D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m}(D_{epi} * V_{epi})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m(TE_{eppi} * V_{eppi})}{TR * V_{sis}}$$

$$D_2 = D_{pp} = \frac{(0,8457 * 25 \text{ kg/h}) + (1 * 25 \text{ kg/h})}{25 \text{ kg/h}} - \frac{(79,5 \text{ h} * 25 \text{ kg/h})}{94 \text{ h} * 25 \text{ kg/h}}$$

$$D_2 = D_{pp} = 1,8457 - 0,8457$$

$$D_2 = D_{pp} = 1$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{epi} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{epi} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

Una vez hallada la disponibilidad en las etapas en paralelo pasivo del trefilado y del preformado / recorte procedemos a encontrar la disponibilidad del sistema en serie D_S

Teniendo:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 1,0000$$

$$D_3 = 0,9946$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 1 + 0,9946) - (2)$$

$$D_S = 0,9946 = 99,46\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

3.8.2.4 Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #3.

Producción alcanzada = 2248kg

Horas hombre trabajadas = 100 h

$$\textit{Productividad laboral} = \frac{\textit{Produccion alcanzada}}{\textit{Horas hombre trabajadas}}$$

$$\textit{Productividad laboral} = \frac{2248 \textit{ kg}}{100 \textit{ h}}$$

$$\textit{Productividad laboral} = 22,48 \textit{ kg/h}$$

Para este caso de investigación la disponibilidad es del **99,46%**, y su productividad laboral es del **22,48 kg/h** se puede observar que el sistema no tiene baja disponibilidad aun teniendo un gran historial de averías en la etapa del preformado / recorte, esto se da ya que todo el sistema está ligado a una etapa de roscado muy lenta, la capacidad de producción de la máquina dentro de esta etapa es por mucho la más baja, la recomendación a la gerencia y al jefe de producción es que se adquiera una laminadora de mayor capacidad de producción para que se puedan evidenciar de mejor manera las anomalías que afectan a este sistema, sin embargo la etapa con la más baja disponibilidad individual es la del preformado / recorte, las condiciones con las que trabaja la cabezadora **CBF-83**, serán analizadas posteriormente con las máquinas que presenten problemas de los otros sistemas

3.8.2.5 Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #3. El sistema en serie número #3, si presenta una tolerancia a la indisponibilidad en su primera y segunda etapa, la etapa del trefilado al igual que la del preformado/recorte simulan tener una etapa en paralelo pasivo, al poseer estas etapas una velocidad de operación mayor que la etapa siguiente, su producción excedente se almacena y se tiene lista y dispuesta para poder reemplazar total o parcialmente a la etapa activa, todas la etapas pasivas tienen una tolerancia a la indisponibilidad por que evitan que el sistema sufra consecuencias operacionales, la tercera y última etapa del roscado no presenta ninguna tolerancia a la indisponibilidad ya que no posee etapas redundantes. La etapa del trefilado tiene una producción excedente de $265 \textit{ kg/h}$ con respecto al preformado/recorte en este sistema, por lo que la maquina WD-3 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso tiempo de 7 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema. La etapa del preformado/recorte tiene una producción excedente de $22 \textit{ kg/h}$ con respecto al roscado en este sistema, por lo que la maquina CBF-83 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso de tiempo de 0,9 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema.

3.9 Evaluación inicial del sistema en serie #4

Dentro del tiempo de evaluación no se dieron tiempos por incapacidad externa ni contratiempos que tengan que ver con las actividades de mantenimiento, excepto el feriado nacional del 10 de agosto que fue trasladado al día 12 del mismo mes, que no se laboró dentro de la empresa.

Evaluación general: del 01 al 29 de agosto del 2016, 160 horas, (20 días laborables), producción alcanzada = 4575 Kg (45.75 qq). Dentro de esta evaluación solo se tomó en cuenta los tiempos relacionados con el tiempo requerido.

En los 20 días de evaluación se dieron las siguientes averías:

Tabla 14. Averías en el sistema en serie # 4

Fecha	Tiempo de paro (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Causa
WD-3			
08/08/2016	1	0,75	Atascamiento en el dado formador o trefila de tungsteno.
H-10			
02/08/2016	1	1	Cambio de cuchilla
05/08/2016	2	1.5	Cambio de poleas de motor.
09/08/2016	2	0.75	Deformación de primer punzón
11/08/2016	2	0	Atascamiento en el dado matriz o formador.
12/08/2016	4	2	Atascamiento en el dado matriz o formador.
17/08/2016	2	0.6	Descalibración del primer punzón y segundo punzón.
19/08/2016	2.25	2	Deformación en el dado de corte
22/08/2016	1	1	Descalibración de los rodillos de enderezamiento
25/08/2016	1	1	Taponamiento de la cañería de refrigeración, y lubricación.
CT-8L			
10/07/2016	2	1	Atascamiento en la línea de alimentación.
DPR-12			
12/08/2016	1.5	0.5	Taponamiento de la cañería de refrigeración, y lubricación.

Fuente: Autor

3.9.1 Disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 4.

Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 144 horas **Tiempo no requerido:** 16 horas

Figura 52. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3



Fuente: Autor

Máquina: H-10 **Etapa:** Preformado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 144 horas **Tiempo no requerido:** 16 horas

Figura 53. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina H-10



Fuente: Autor

Máquina: CT-8L **Etapa:** Recorte **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 144 horas **Tiempo no requerido:** 16 horas

Figura 54. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CT-8L



Fuente: Autor

Maquina: DPR-12 **Etapa:** Roscado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 144 horas **Tiempo no requerido:** 16 horas

Figura 55. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12



Fuente: Autor

Tabla 15. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 4

Máquina	Etapa	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	144	143	1	0,993055556
H-10	Preformado	144	126,75	17,25	0,880208333
CT-8L	Recorte	144	142	2	0,986111111
DPR-12	Roscado	144	142,5	1,5	0,989583333

Fuente: Autor

3.9.1.1 Cálculo de disponibilidad del sistema en serie # 4.

$$D_1 = 0,9930$$

$$D_2 = 0,8802$$

$$D_3 = 0,9861$$

$$D_4 = 0,9895$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (0,9930 + 0,8802 + 0,9861 + 0,9895) - (3)$$

$$D_S = 0,8488 = 84,88\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

3.9.1.2 Productividad laboral general del sistema en serie #4.

Producción alcanzada = 4575 kg

Horas hombre trabajadas = 160 h

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas}$$

$$Productividad\ laboral = \frac{4575\ kg}{160\ h}$$

$$Productividad\ laboral = 28,59\ kg/h$$

La disponibilidad general del sistema en serie 1, durante el tiempo de análisis 160 horas, (20 días laborables) es del **84,88%** y su productividad laboral es de **28,59 kg/h**. Pero para poder analizar y poder determinar las causas que hacen que decaigan estos indicadores, investigaremos un caso en especial ya que el sistema en este lapso de tiempo ha trabajado varios productos, a continuación el caso:

3.9.2 *Caso de investigación.* Perno cabeza hexagonal, $\frac{1}{4}'' \times 2 \frac{1}{2}''$, rosca UNC gruesa. Lote de 2243 Kg (22.43 qq), un rollo completo de alambón SAE No 1008, $\phi = 8mm$, tiempo de producción 80 horas (10 días laborables), del 01/08/2016 al 15/08/2016

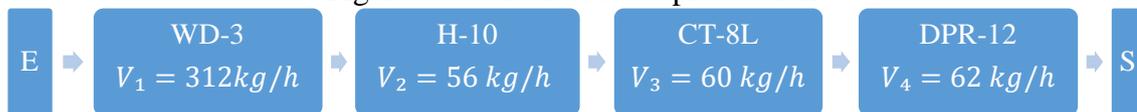
Figura 56. Esquema inicial del sistema #4



Fuente: Autor

3.9.2.1 *Velocidades de producción.*

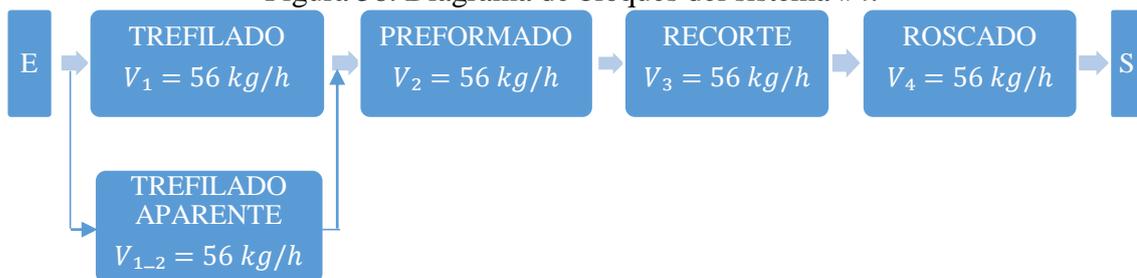
Figura 57. Velocidades de producción



Fuente: Autor

3.9.3 *Diagrama de bloques.* En la etapa de trefilado se puede decir que se encuentra o simula estar en paralelo pasivo, esto se da ya que la maquina trefiladora WD-3 posee una velocidad de operación mucho mayor que las otras etapas, la producción excedente en este caso el material trefilado se almacena y se tiene listo para que las etapas siguientes puedan continuar con la fabricación del lote completo, se dejó de lado el esquema inicial del sistema en serie #4 y se trabajó con el diagrama de bloques, en el cual se pudo apreciar de mejor manera el verdadero esquema del sistema, es preciso mencionar que para la realización del mismo no se tomó en cuenta la ubicación física de las máquinas. Es también necesario aclarar que la velocidad del sistema es igual a la de la etapa más lenta en este caso la del preformado, $V_2 = 56 kg/h$.

Figura 58. Diagrama de bloques del sistema #4.



Fuente: Autor

Máquina: WD-3

Etapa: Trefilado

Tiempo de evaluación: 80 horas

Tiempo requerido: 67 horas

Tiempo no requerido: 13 horas

Figura 59. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: H-10

Etapa: Preformado

Tiempo de evaluación: 80 horas

Tiempo requerido: 67 horas

Tiempo no requerido: 13 horas

Figura 60. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina H-10, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: CT-8L

Etapa: Recorte

Tiempo de evaluación: 80 horas

Tiempo requerido: 67 horas

Tiempo no requerido: 13 horas

Figura 61. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CT-8L, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: DPR-12 **Eta**pa: Roscado **Tiempo de evaluación:** 80 horas

Tiempo requerido: 67 horas **Tiempo no requerido:** 13 horas

Figura 62. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12, caso de investigación.



Fuente: Autor

Tabla 16. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 4

Máquina	Eta	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	67	66	1	0,985074627
H-10	Preformado	67	56	11	0,835820896
CT-8L	Recorte	67	65	2	0,970149254

Tabla 16. (Continuación)

DPR-12	Roscado	67	65,5	1,5	0,97761194
--------	---------	----	------	-----	------------

Fuente: Autor

3.9.3.1 *Disponibilidad del sistema en serie # 4, en el caso de investigación.* Para el cálculo correcto de la disponibilidad del sistema en serie se debe calcular primero la disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , como se mencionó antes esta etapa al tener una velocidad de producción mayor a las demás, y sabiendo que nunca deja de trabajar, su producción excedente se almacena simulando estar en un sistema de paralelo pasivo para cualquier eventualidad que pueda pasar en la máquina.

Disponibilidad en la etapa de trefilado. La disponibilidad en la etapa en paralelo pasivo del trefilado es del 100%, ya que la velocidad de producción de esta etapa es 5,5 veces mayor que la etapa de preformado y esta nunca estuvo en estado de indisponibilidad, entonces aplicamos la fórmula para calcular el tiempo de espera de esta etapa.

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

$$TE_{epp} = (67 - 1)h$$

$$TE_{epp} = 66 h$$

Dónde:

TE_{epp} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

TO_{epp} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

Se debe tomar en cuenta que el tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo en este caso es 0 ya que no se registraron averías o paradas imprevistas en la etapa, por lo tanto el tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo va a ser igual al tiempo requerido. La disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , va a ser igual a la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo D_{pp} , que se calcula mediante la siguiente fórmula:

Teniendo:

$$D_{epa} = 0,9850$$

$$D_{epp} = 1,0000$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m}(D_{epi} * V_{epi})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m(TE_{eppi} * V_{eppi})}{TR * V_{sis}}$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{(0,9850 * 56 \text{ kg/h}) + (1 * 56 \text{ kg/h})}{56 \text{ kg/h}} - \frac{(66 \text{ h} * 56 \text{ kg/h})}{67 \text{ h} * 56 \text{ kg/h}}$$

$$D_1 = D_{pp} = 1,985 - 0,985$$

$$D_1 = D_{pp} = 1$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{epi} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{epi} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

Una vez hallada la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo del trefilado procedemos a encontrar la disponibilidad del sistema en serie D_S

Teniendo:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 0,8358$$

$$D_3 = 0,9701$$

$$D_4 = 0,9776$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 0,8358 + 0,9701 + 0,9776) - (3)$$

$$D_S = 0,7835 = 78,35\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

3.9.3.2 *Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #4.*

Producción alcanzada = 2243kg

Horas hombre trabajadas = 80 h

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas}$$

$$Productividad\ laboral = \frac{2243\ kg}{80\ h}$$

$$Productividad\ laboral = 28,03\ kg/h$$

Para este caso de investigación la disponibilidad es del **78,35%**, y su productividad laboral es de **28,03 kg/h**, se puede observar que la causa de la baja en la disponibilidad y por lo tanto de la productividad del sistema es la etapa de preformado, las condiciones con las que trabaja la cabezadora **H-10**, serán analizadas con las máquinas que presenten problemas de los otros sistemas.

3.9.3.3 Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #4. El sistema en serie número #4, también presenta tolerancia a la indisponibilidad en su primera etapa, la etapa del trefilado al igual que en el sistema 1,2 y 3, simula tener una etapa en paralelo pasivo, al poseer una velocidad de operación nominal mayor que la etapa siguiente (preformado), su producción excedente se almacena y se tiene lista y dispuesta para poder reemplazar total o parcialmente a la etapa activa, todas las etapas pasivas tienen una tolerancia a la indisponibilidad por que evitan que el sistema sufra consecuencias operacionales, las etapas siguientes del preformado, recorte, y roscado no presentan ninguna tolerancia a la

indisponibilidad ya que tienen velocidades de operación semejantes, y no poseen etapas redundantes.

La etapa del trefilado tiene una producción excedente de 256 kg/h con respecto al preformado en este sistema, por lo que la máquina WD-3 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso de tiempo de 4,6 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema.

3.10 Causas que provocan la indisponibilidad de los sistemas en serie en la fabricación de pernos en G. O. Cía. Ltda.

En todas las etapas hay un deficiente mantenimiento preventivo lo cual hace que todas sin excepción tengan paradas involuntarias que afectan directamente a la disponibilidad de cada sistema y por lo tanto en su productividad. En las etapas de trefilado, recorte, y roscado, el principal problema es la falta de mantenimiento preventivo, la escases del mismo hace que sucedan situaciones imprevistas que están dentro de lo normal por así decirlo (operadores), la operación a las máquinas en estas etapas es la adecuada, siguiendo procedimientos estandarizados y realizando supervisiones constantes dentro de su funcionamiento.

La etapa que hace que la disponibilidad de los sistemas en serie decaiga es la del preformado, por lo tanto en las máquinas (CH-12, CH-10LS, CBF-83, H10) no solo recae este parámetro por el escaso mantenimiento preventivo que se les da a los equipos sino también por el contexto operacional de los mismos. Son algunas las causas que afectan directamente a los sistemas de producción y como resultado de la investigación se los ha clasificado en 4 grupos que se detalla a continuación:

3.10.1 Condiciones de operación.

- La manipulación de la velocidad de producción de las máquinas, en manos de los operarios es muy variada, y depende mucho de la urgencia en la que requieren ciertos productos, es por ello que los fallos en ciertas piezas se dan por fatiga ya que no resisten la velocidad aumentada en la que quieren hacer trabajar a los equipos.

- La calibración de las máquinas para cada uno de los productos que allí se fabrican no tienen un procedimiento explícito donde se detallan paso a paso el correcto orden para dejar a punto la máquina, y empezar un trabajo óptimo, en ciertas ocasiones al no tener claro cuales el procedimiento, tardan horas en la calibración y el resultado siempre es el mismo fallos por mala calibración (atascamientos).
- Los tiempos de espera como se explicó se dan a partir de los tiempos de indisponibilidad que se dan en alguna máquina, sin embargo en ocasiones se dan por que los operarios no quieren hacer trabajar a las maquinas poniendo excusas fuera de lugar como que no hay materia prima, esto tiene un efecto contraproducente en la productividad de los sistemas, teniendo como resultado que la velocidad de todo el sistema sea menor que la velocidad de operación de la etapa más lenta.

3.10.2 *Condiciones de mantenimiento.*

- El mantenimiento que se aplica en la etapa de preformado y a todas las maquinas es netamente correctivo no tienen planificación ni mucho menos planes de mantenimiento preventivo.
- Las reparaciones e intervenciones después de que ocurre una avería o falla no son de inmediatos, los operadores realizan otras actividades en otros sistemas o en otras áreas de la empresa y no ejecutan la actividad para poner a funcionar la maquina averiada, esto por falta de interés o falta de personal en el área de maquinado.
- No llevan historiales, ni bitácoras de los trabajos de mantenimiento correctivo que se llevan a cabo.
- Los trabajos de mantenimiento son realizados por la persona quien opera la máquina, basándose en su experiencia y pericia para resolver cualquier altercado.
- No cuentan con personal de mantenimiento calificado o entrenado por lo cual sus intervenciones o reparaciones no duran mucho tiempo ya que la causa que produce el fallo o avería no es atacado directamente.

- En lo que se refiere a mantenibilidad el tiempo promedio en que se tardan en restaurar o reparar la maquina después de una avería es de *1h 45min.*
- El lubricante utilizado en todas las maquinas es reutilizado, a fines de cada año cambian el lubricante por el del año anterior el mismo que a reposando durante los 12 meses dejando en la parte inferior sedimentos y basuras que estaban dentro del mismo, en caso de no alcance el aceite reciclado lo completan con un lubricante nuevo SAE 100.

3.10.3 *Condiciones de logística.*

- Las piezas pequeñas y la matriceria que comúnmente fallan en la etapa, si se tienen en stock en la bodega de la fábrica, sin embargo el pedido y entrega del repuesto es algo demoroso, ya que el encargado de bodega o almacén es el jefe de producción, y sus múltiples ocupaciones hacen que no se lo pueda ubicar inmediatamente.
- En caso de que solo se necesite alguna rectificación en la matriceria o en algún elemento pequeño, se lo lleva al taller existente dentro de la empresa donde el encargado del mismo realiza varios trabajos de la misma índole, esto obviamente también lleva su tiempo y es necesario esperar la disponibilidad del operario para su intervención.
- La falta de personal dentro de los procesos en la fabricación de pernos es evidente ya que 1 solo operador maneja de 3 a 4 máquinas, por lo general el operador trata de hacerlas funcionar al mismo tiempo, es por ello que ya en varias ocasiones más de 2 equipos sufren fallos al mismo tiempo parando así por completo algunos sistemas, en ciertos casos los fallos no son por mala operación sino más bien por falta de inspección y descuidos simples, sin embargo la gerencia no ve necesaria la contratación de más gente y su productividad sigue viéndose afectada.

3.10.4 *Condiciones del sistema.*

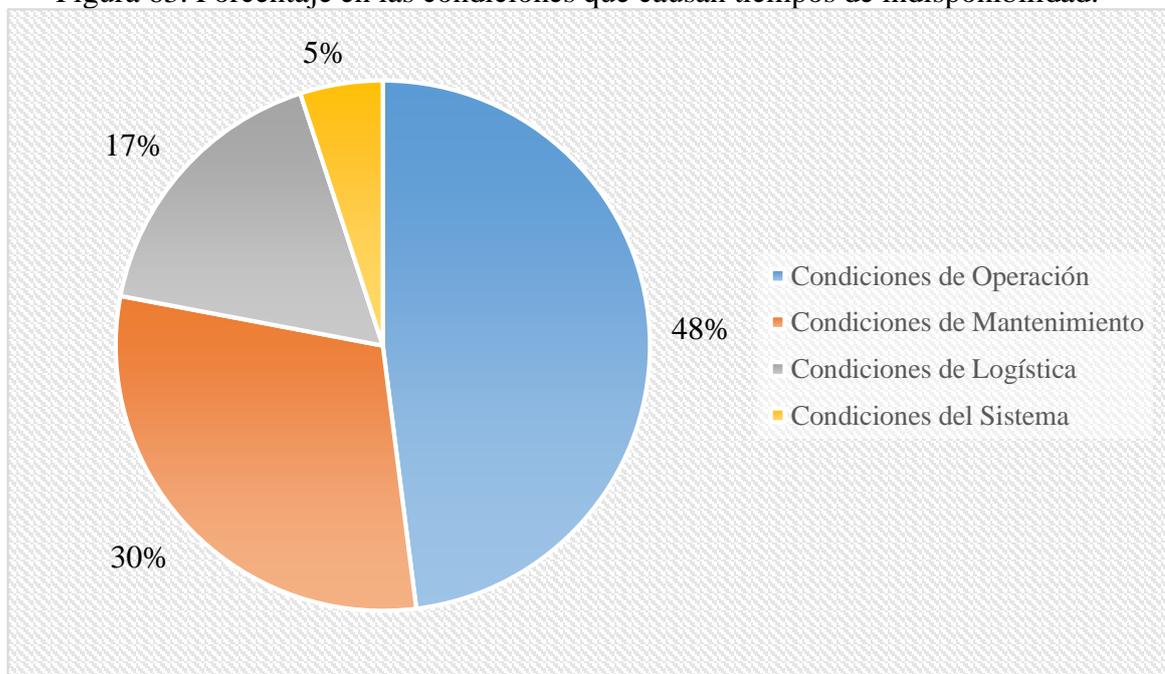
- Errores de requisitos: Cuando el decapado es deficiente por el prolongado uso de los mismos químicos, ni el trefilado puede retirar ciertas incrustaciones en el

material que hacen que en esta etapa, sean los causantes de los constantes atascamientos.

- Errores de instrucción: El personal nuevo que ingresa a la empresa no es correctamente instruido por el personal de operación, simplemente es instruido en los procesos mediante una explicación superficial y conforme pasa el tiempo el personal nuevo tiene q ver por sí mismo cuales son las condiciones del sistema.

En los 2 primeros meses (julio-agosto) de esta investigación, se levantó los primeros datos mediante la evaluación inicial de cada sistema, se registró y se clasificó a todas las averías, fallos, y paros imprevistos de cada máquina de acuerdo a la causa que la suscitó, en este caso se las clasificó mediante las condiciones que detallamos anteriormente, que causaban que las maquinas entraran en un estado de indisponibilidad, toda la información recolectada se la presenta mediante una gráfica porcentual, donde se indica que condición en porcentaje es la que causa mayores problemas en las máquinas y consecuentemente al sistema al que pertenece.

Figura 63. Porcentaje en las condiciones que causan tiempos de indisponibilidad.



Fuente: Autor

Como se puede observar las condiciones que causan más tiempos de indisponibilidad son las condiciones de operación conjuntamente con las condiciones de mantenimiento, cada

una de ellas con porcentajes del 48% y 30% respectivamente, seguidas de las condiciones de logística con un 17% y finalmente las condiciones del sistema con un 5%. Las estrategias y acciones que se tomaran a continuación, mejoraran cada una de estas condiciones para poder ver un incremento en la disponibilidad y consecuentemente en la productividad de cada uno de los sistemas en serie para la fabricación de pernos en G. O. Cía. Ltda.

CAPÍTULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO, ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD FINAL, CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD, Y TOLERANCIA A AL INDISPONIBILIDAD EN LOS SISTEMAS EN SERIE

4.1 Planteamiento y ejecución de estrategias en gestión de mantenimiento

4.1.1 Mejoras en las condiciones de operación. Para realizar un cambio evidente dentro de la planta es necesario atacar las causas que producen la indisponibilidad en los sistemas y una de ellas es pues cambiar las condiciones con las que se vienen operando las maquinas, en especial las de la etapa del preformado.

En conversaciones conjuntas con las 3 personas que operan las maquinas en la etapa de preformado, llegamos a la conclusión que sería un gran aporte elaborar un manual de calibración para las cabezadoras, este documento debería ser muy explícito y entendible, donde cualquier operario pueda guiarse y realizar los trabajos de manera apropiada en las máquinas. Anexo 3.

Figura 64. Implementación de un manual de calibración en la etapa de preformado.



Fuente: Autor

La velocidad ideal de trabajo para cada cabezadora, se pudo establecer mediante pruebas durante el mes de septiembre y conjuntamente con el jefe de producción se concordó que esa velocidad no sería manipulada sin previa consulta con el mismo.

4.1.1.1 *Ambientes de trabajo saludables.* Dentro de las investigaciones en todas las áreas los conflictos interpersonales dentro de los grupos de trabajo son preocupantes, y causan ambientes de trabajo poco agradables, las conversaciones con el departamento de talento humano indican que las actitudes por parte de los colaboradores vienen desde 2 meses atrás que se ha venido despidiendo gente y bajando en un 5% las remuneraciones del personal por la crisis por la cual atraviesa el país, por otro lado los resultados de las reuniones entre los trabajadores, jefe de producción, y jefe de ventas, apuntan que sus actitudes si se deben al despido de personal, y a la baja de sueldos.

La inestabilidad en la administración y la falta de preocupación que demuestran ante el personal, es lo que más molesta a los trabajadores comento el Sr. Luis Vaca (jefe de producción), entendiéndose que solo que fijan en lo que produzca la planta sin importar como lo hagan.

Es por eso que la sugerencia fue tomar acciones inmediatas en coordinación con el departamento de talento humano, tal así que empezamos por planificar cada lunes de cada inicio de semana, dedicar 15 minutos al ingreso a la planta para indicar las necesidades de los trabajadores. La siguiente acción fue planificar charlas de seguridad, higiene, y salud ocupacional el 07 de julio, el 30 de agosto, y el 22 de septiembre del 2016, a cargo del Ing. Raúl Villacres, y el Sr. Carlos Esteves (Ex bombero del DMQ) colaboradores de la empresa, que se llevaron a cabo sin ningún altercado y con la participación de todo el personal, al final de cada jornada de labores.

Figura 65. Charla de seguridad, higiene y salud ocupacional



Fuente: Autor

Figura 66. Enseñanza del uso del extintor



Fuente: Autor

El 29 de septiembre del 2016 se programó una charla de trabajo en equipo y entornos laborales saludables con el fin de mejorar las relaciones entre trabajadores y resolver conflictos interpersonales que existían entre compañeros, esta reunión fue coordinada también con el departamento de talento humano y estuvo a cargo del Ing. Fernando Yépez Villamil, colaborador y amigo del difunto gerente el Sr. GALO ORBEA.

Figura 67. Charlas para solucionar conflictos personales



Fuente: Autor

4.1.1.2 *Capacitación al personal.* Dentro de la empresa de G. O. Cía. Ltda. como antes se mencionó no existe ningún criterio alguno acerca de lo que es ingeniería en mantenimiento, viendo necesario explicar lo que son los indicadores de mantenimiento y

su importancia dentro de cualquier organización, con muchas preguntas y con entusiasmo todos los trabajadores se dieron cita a la capacitación que se dio por mi parte el 09 de septiembre del 2016, estuvo también dentro del salón personal administrativo para poder trabajar conjuntamente y ver si el incremento de la productividad es posible dentro de la planta.

Figura 68. Charla sobre indicadores de mantenimiento



Fuente: Autor

4.1.1.3 Implementación da la metodología 5S. Se vio necesario empezar por la estrategia de las 5 S, metodología de trabajo totalmente comprobada y difundida alrededor del mundo, considerada como una herramienta gerencial con enfoque dirigido hacia la mejora de la calidad y de la productividad, fomentando una cultura de mejoramiento continuo mediante la participación activa del personal, el lunes 19 de septiembre del 2016 al final de la jornada nuevamente se reunió a los trabajadores, esta vez para poder dar el paso más fructífero que se haya dado en años, como lo es la implementación de tan útil estrategia.

Así mismo con el salón lleno y con múltiples preguntas de personas curiosas por la metodología, se pudo captar el compromiso de cada trabajador, su predisposición para trabajar por un objetivo en común era notorio, todo lo positivo de las charlas antes mencionadas se evidencio con un sentido de apropiación de ellos hacia la empresa.

Además de la socialización de la estrategia 5 S, se entregó señalética enfocada a lo que se explicó para que tuvieran presente lo que se puede alcanzar con la mejora continua a partir de estos 5 pasos sencillos, y se la coloco por toda la empresa y en especial a los

lugares que son de mayor atención.

Figura 69. Aplicación de la metodología 5S



Fuente: Autor

Figura 70. Letrero referencia de las 5 S



Fuente: Autor

4.1.2 *Mejora en las condiciones de mantenimiento.* Durante el mes de pruebas (septiembre), las conversaciones tanto con el jefe de producción y con el jefe nacional de ventas fueron constantes, la creación de planes de mantenimiento no era una solución viable aseguraban los directivos ya que los operadores no están acostumbrados a este tipo de acciones, para ellos si la maquina puede seguir en operación pues que así sea, simplemente harían caso omiso y no se lograría nada. El jefe de producción aseguraba que con las acciones que se venían dando, tanto las charlas como la creación del manual de procedimientos eran suficiente, sin embargo si bien podrían ser eficientes esas acciones también se tenía que mejorar las condiciones de mantenimiento.

Luego de haber explicado a todos los colaboradores de la empresa los tiempos relativos

a la disponibilidad, se llegó a la conclusión de que las intervenciones tardías o no oportunas que se dan al momento de una avería, son las más perjudiciales a la productividad. El compromiso de cada operario fue que al darse una avería o un paro imprevisto se la intervienga en ese mismo instante sin dejar que la máquina permanezca en un estado de indisponibilidad por mucho tiempo, con este compromiso por delante los resultados fueron evidentes al instante.

Las inspecciones constantes durante la operación de las máquinas, y las revisiones periódicas de sus elementos, es una gran forma de detectar malos funcionamientos o elementos dañados a tiempo antes de que provoquen una avería mayor, se llegó a la decisión que todos los operadores realizaran estas 2 actividades en todas las máquinas en especial cuando realicen calibraciones, cambios de medida y limpiezas generales, obteniendo como resultado un control de la máquina y respuestas a tiempo sin pérdidas de producción y tiempo.

Llegamos también a la conclusión que el cambio erróneo de lubricante sin duda es la condición que más averías produce a simple vista, este se ha convertido en lodos dentro de las máquinas y explicaba al jefe nacional de ventas que eso es lo que más pérdidas generaba, el deterioro prematuro de la máquina, excesos en recambios de matriceria, taponamientos de cañerías de lubricación, etc. Según los catálogos con los cuales se adquirieron todas las máquinas, los cambios de lubricante se deben realizar cada 800 horas de trabajo, traducido al tiempo que operan las máquinas sería alrededor de cada 6 meses.

El jefe de producción comentaba que la idea de reciclar el lubricante se dio a partir que el Sr. Galo Orbea ex gerente general falleció hace 4 años, los cambios completos de lubricante se lo hacía una vez al año en el mes de diciembre junto a un overhaul de cada máquina, el trabajo duraba alrededor de una semana completa pero que los resultados de trabajo para el siguiente año eran buenas aseguraba el Sr. Luis Vaca. La propuesta concluyo con un cambio de aceite urgente en las máquinas pero no por un reciclado si no por un envasado, un lubricante nuevo. Con ayuda del jefe de producción hacia los dueños de la empresa se pudo explicar la importancia del cambio de lubricante, los hábitos de mantenimiento que solían tener con el ex gerente fallecido, y el grado de deterioro que tiene la maquinaria por la errónea lubricación que se venía dando a los mismos. La idea

no fue acogida por completo por los dueños, la falta de apoyo por parte del jefe nacional de ventas impidió el cambio del 100% del lubricante, sin embargo se hizo el cambio, el 50 % del mismo por uno nuevo, y el otro 50% por el reciclado.

4.1.3 *Mejora en las condiciones de logística.* Los pedidos y entregas de repuestos ya no son receptados solo por el jefe de producción, en este caso se instruyó a un trabajador del área de empaque y embalado para que también pueda receptar y despachar pedidos de repuestos, con esta acción se aprovecha de mejor manera para ahorrar tiempo y evitar sobrecargar de responsabilidades al Sr. Vaca. Con el manual de procedimientos se empezó a instruir a 2 trabajadores que están a cargo de las tuercas para los mismos pernos, que ayudan ya en la intervención de averías en la etapa de preformado, si bien la gerencia no ve necesaria la contratación de más gente pues la instrucción a la ya existente es fundamental para atacar estos problemas de manera definitiva.

4.1.4 *Mejora en las condiciones del sistema.* El decapado en la fabricación de pernos juega un papel muy importante ya que la presencia de incrustaciones en la materia prima son un verdadero problema al ingresar al proceso de maquinado, es por ello que en el decapado del mes de octubre se revisó minuciosamente y progresivamente la concentración de los químicos, para no exceder su uso y realizar un decapado ineficiente. Todo los operadores de la etapa de preformado se familiarizo con el manual de procedimientos e incluso ayudaron a realizarlo y cambiar algunos pequeños pasos que entre si lo olvidamos, todo con el fin de elaborar un documento válido de ayuda completa.

4.2 Estimación de tiempos no requeridos

4.2.1 *Tiempo por incapacidad externa.* No se presentaron dentro de esta evaluación final tiempos de incapacidad externa.

4.2.2 *Tiempo de reposo.* Luego de conceptualizar los tiempos de reposo con los operarios y colaboradores de la empresa, se estimó que la existencia de los mismos dentro de la producción no es nada positivo, sin embargo la urgencia de ciertos productos que no están dentro de los planes productivos de la semana, hacen que se sigan suspendiendo producciones en los sistemas y que estos entren en estados de reposo. La disminución de estos tiempos en las evaluaciones siguientes es notoria, y un efecto de ello es el aumento

de la productividad laboral en cada uno de los sistemas.

4.3 Estimación de tiempos requeridos

4.3.1 *Tiempo de indisponibilidad.* Uno de los avances principales dentro de esta investigación es la disminución de tiempos de indisponibilidad, se mencionó que antes se podía visualizar en las tablas de averías que los tiempos de paro no eran igual a los tiempos de reparación inclusive que las maquinas pasaban averiadas días enteros antes de ser intervenidas, pues esto mediante las capacitaciones cambió, se pudo llegar al acuerdo que la máquina que se averíe o que sufra un fallo que lleve al paro de la misma, se debe intervenir ese mismo instante sin dejar que el tiempo transcurra con el equipo en estado de indisponibilidad, este cambio se lo va a poder percibir en las tablas de averías siguientes de cada sistema, se podrá ver que el tiempo de paro es igual o semejante al tiempo de reparación, los tiempos de indisponibilidad disminuyeron gracias a que las actividades de mantenimiento mejoraron y ahora son mucho más efectivas que antes.

4.3.2 *Tiempo de disponibilidad.* Se habló sobre que el **tiempo de disponibilidad = tiempo operativo + tiempo de espera**, los tiempos operativos van a cambiar poco ya que la investigación se realizó con lotes de producción semejantes o durante un lapso de tiempo fijo, los tiempos de espera por otro lado van a tener una variación considerable, como se explicó anteriormente los tiempos de espera se dan o existen en una etapa cuando otra entra en un estado de indisponibilidad, es por ello que dentro de esta nueva evaluación al disminuir los tiempos de indisponibilidad también disminuirémos los tiempos de espera.

Para constatar si los resultados de la implantación de estrategias de mantenimiento dentro de la empresa fueron positivos, se realizó una nueva evaluación general en un lapso de tiempo igual al inicial para cada sistema, y se analizó muestras de producción similar para cada caso de investigación con el propósito de comparar los resultados, a continuación se mostrara los nuevos datos recolectados luego de la gestión en el área de mantenimiento.

4.4 Evaluación final del sistema en serie # 1

Evaluación general: del 04 al 31 de octubre 2016, 160 horas (20 días laborables),

producción alcanzada = 5835 kg (58,35 qq). Dentro de esta evaluación solo se tomó en cuenta los tiempos relacionados con el tiempo requerido.

En los 20 días de evaluación se dieron las siguientes averías:

Tabla 17. Tabla averías sistema en serie #1

Fecha	Tiempo de paro (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Causa
WD-3			
No se produjeron averías o fallos durante el tiempo de recolección de datos.			
CH-12			
06/10/2016	2	2	Fisura en el segundo punzón.
10/10/2016	2	2	Agarraderas del material atascadas.
17/10/2016	3	2	Atascamiento en los rodillos de enderezamiento.
25/10/2016	1	1	Atascamiento del pin de expulsión.
DPR-8			
12/10/2016	0,25	0,25	Des calibración por restos de material anterior.

Fuente: Autor

Tanto los tiempos de disponibilidad, como los tiempos de indisponibilidad para cada máquina del sistema en serie #1 van a ser diferentes, por la misma razón se va a analizar cada uno de sus tiempos por separado, los mismos que se detallan a continuación a partir de la Figura 20, las cuales son la simplificación del esquema de los estados de un elemento de la norma UNE-EN 13306 (Figura 3), y de la correlación entre los tiempos relativos a la disponibilidad, en la que se van a suprimir el tiempo de incapacidad externa y tiempo no requerido, por no tener relación con las actividades de mantenimiento. (HERNÁNDEZ, 2015). Si bien en las siguientes imágenes se suprimirá los tiempos de incapacidad externa y el tiempo no requerido, se los debe mencionar junto con el tiempo de evaluación.

4.4.1 *Disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 1.* Observamos a simple vista que el número de averías en todas las etapas han disminuido notoriamente, evidenciando el éxito de las estrategias implantadas sin embargo es necesario nuevamente utilizar el análisis de disponibilidad y comparar los resultados.

Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 128 horas **Tiempo no requerido:** 32 horas

Figura 71. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3



Fuente: Autor

En la figura 71 claramente denotamos que el tiempo de indisponibilidad en la maquina WD-3 es igual a 0, sin duda un avance enorme en el desarrollo de esta investigación.

Máquina: CH-12 **Etapa:** Preformado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 128 horas **Tiempo no requerido:** 32 horas

Figura 72. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-12



Fuente: Autor

Máquina: DPR-8 **Etapa:** Roscado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 128 horas **Tiempo no requerido:** 32 horas

Figura 73. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina PDR-8



Fuente: Autor

Tabla 18. Cálculo de la disponibilidad operacional en cada etapa del sistema en serie # 1

Máquina	Etapas	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	128	128	0	1
CH-12	Preformado	128	120	8	0,9375
DPR-8	Roscado	128	127,75	0,25	0,998046875

Fuente: Autor

4.4.1.1 Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 1

Teniendo:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 0,9375$$

$$D_3 = 0,9980$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 0,9375 + 0,9980) - (2)$$

$$D_S = 0,9355 = 93,55\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

4.4.1.2 Productividad laboral general del sistema en serie #1.

Producción alcanzada = 5835 kg

Horas hombre trabajadas = 160 h

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas}$$

$$Productividad\ laboral = \frac{5835\ kg}{160\ h}$$

$$Productividad\ laboral = 36,47\ kg/h$$

La productividad laboral después de la correcta aplicación de estrategias de mantenimiento es superior con **3,35 kg/h** a la inicial teniendo que **36,47 kg/h > 33,12 kg/h**, en este caso se pudo producir más productos durante el mismo tiempo, la disponibilidad final también muestra un incremento ya que es del **93,55%** con respecto al inicial que era de **79,84%**, es decir un **13,71%** mayor a la con que trabajaba el sistema, llegando a la conclusión que las estrategias implantadas han dado resultados positivos, sin embargo la evaluación se realizó a un caso de investigación específico y para constatar un verdadero éxito del desarrollo de esta investigación, se debe realizar una comparación con el mismo caso o alguno similar, a continuación el caso:

4.4.2 Caso de investigación. Perno de carrocería (Cabeza redonda), $\frac{5}{16}$ " x $\frac{3}{4}$ ", rosca UNC gruesa.

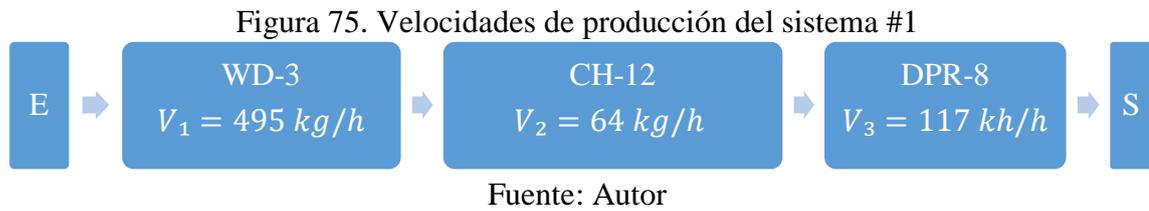
Lote de 2295 Kg (22.95 qq), un rollo completo de alambón de acero sin alear SAE No 1008, diámetro $\emptyset = 10mm$, tiempo de producción 60 horas (7.5 días laborables), del 04/10/2016 al 12/10/2016.

Figura 74. Esquema inicial del sistema #1



Fuente Autor

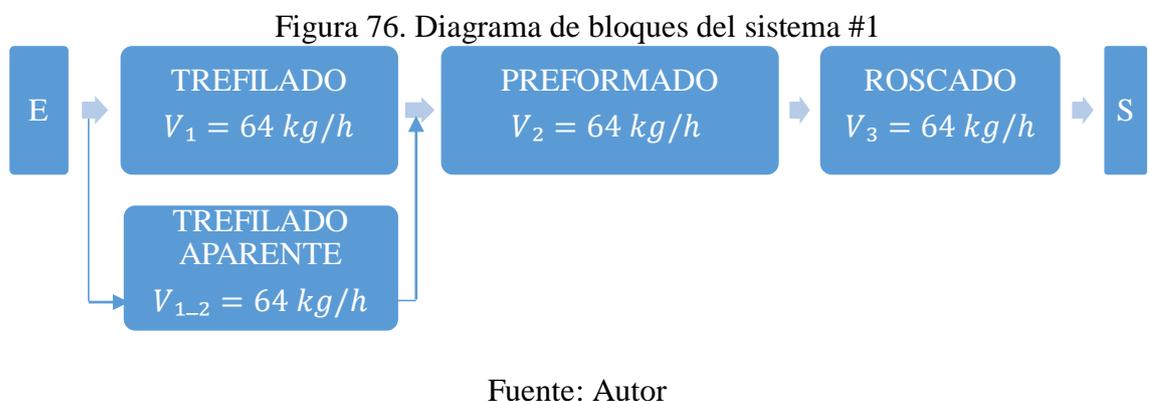
4.4.2.1 Velocidades de producción.



Las velocidades de las etapas del trefilado y del roscado se mantuvieron, ya que las máquinas en ellas no poseen un variador de la misma, en la etapa del preformado en la máquina CH-12 que si se puede variar su velocidad, mediante pruebas se pudo establecer una velocidad estándar que es superior a la anterior mostrada en el mismo caso por tres puntos $64 \text{ kg/h} > 61 \text{ kg/h}$.

4.4.2.2 Diagrama de bloques. En la etapa de trefilado se puede decir que se encuentra o simula estar en paralelo pasivo, esto se da ya que la máquina trefiladora WD-3 posee una velocidad de operación mucho mayor que las otras etapas, la producción excedente en este caso el material trefilado se almacena y se tiene listo para que las etapas siguientes puedan continuar con la fabricación del lote completo, se dejó de lado el esquema inicial del sistema en serie #1 y se trabajó con el diagrama de bloques, en el cual se pudo apreciar de mejor manera el verdadero esquema del sistema, es preciso mencionar que para la realización del mismo no se tomó en cuenta la ubicación física de las máquinas.

Como se mencionó anteriormente la velocidad del sistema es igual a la de la etapa más lenta en este caso sigue siendo la del preformado, $V_2 = 64 \text{ kg/h}$.



Se redujo el tiempo requerido para producir un del lote similar al inicial, de 58 a 46 horas.

Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 60 horas

Tiempo requerido: 46 horas **Tiempo no requerido:** 14 horas

Figura 77. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: CH-12 **Etapa:** Preformado **Tiempo de evaluación:** 60 horas

Tiempo requerido: 46 horas **Tiempo no requerido:** 14 horas

Figura 78. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-12, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: DPR-8 **Etapa:** Roscado **Tiempo de evaluación:** 60 horas

Tiempo requerido: 46 horas **Tiempo no requerido:** 14 horas

Figura 79. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina PDR-8, caso de investigación.



Fuente: Autor

Tabla 19. Cálculo de disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 1

Máquina	Etapas	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	46	46	0	1
CH-12	Preformado	46	42	4	0,913043478
DPR-8	Roscado	46	45,75	0,25	0,994565217

Fuente: Autor

Disponibilidad del sistema en serie # 1, en el caso de investigación. Para el cálculo correcto de la disponibilidad del sistema en serie se debe calcular primero la disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , como se mencionó antes esta etapa al tener una velocidad de producción mayor a las demás, y sabiendo que nunca deja de trabajar, su producción excedente se almacena simulando estar en un sistema de paralelo pasivo para cualquier eventualidad que pueda pasar en la máquina.

Disponibilidad en la etapa de trefilado. La disponibilidad en la etapa en paralelo pasivo del trefilado es del 100%, ya que la velocidad de producción de esta etapa es 7,7 veces mayor que la etapa de preformado y esta nunca estuvo en estado de indisponibilidad, entonces aplicamos la fórmula para calcular el tiempo de espera de esta etapa.

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

$$TE_{epp} = (46 - 0)h$$

$$TE_{epi} = TR = 46 \text{ h}$$

Dónde:

TE_{epi} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

TO_{epi} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

Se debe tomar en cuenta que el tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo en este caso 0 horas, ya que en la etapa en paralelo activo no se han registrado averías o paradas no programadas.

La disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , va a ser igual a la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo D_{pp} , que se calcula mediante la siguiente fórmula:

Teniendo:

$$D_{epa} = 1,0000$$

$$D_{epi} = 1,0000$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m} (D_{epi} * V_{epi})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m (TE_{epi} * V_{epi})}{TR * V_{sis}}$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{(1 * 64 \text{ kg/h}) + (1 * 64 \text{ kg/h})}{64 \text{ kg/h}} - \frac{(46 \text{ h} * 64 \text{ kg/h})}{46 \text{ h} * 64 \text{ kg/h}}$$

$$D_1 = D_{pp} = 2 - 1$$

$$D_1 = D_{pp} = 1$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{epi} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{epi} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

Una vez hallada la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo del trefilado procedemos a encontrar la disponibilidad del sistema en serie D_S

Teniendo:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 0,9130$$

$$D_3 = 0,9945$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 0,9130 + 0,9945) - (2)$$

$$D_S = 0,9075 = 90,75\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

4.4.2.3 Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #1.

Producción alcanzada = 2295kg

Horas hombre trabajadas = 60 h

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas}$$

$$Productividad\ laboral = \frac{2295\ kg}{60\ h}$$

$$Productividad\ laboral = 38,25\ kg/h$$

Se puede evidenciar el incremento en la productividad laboral en el caso de investigación teniendo que: $38,25\ kg/h > 32,75\ kg/h$, que era la productividad inicial con la cual trabajaba el sistema, en este caso la producción fue similar a la inicial, pero el tiempo en realizar el trabajo fue menor, es decir se ha hecho lo mismo en un menor tiempo

aprovechando así de mejor manera todos los recursos, la disponibilidad del sistema en serie también registra un aumento del **24,37%**, observando que **90,75% > 66,38%** para este caso de investigación, indicando que las estrategias de mantenimiento han tenido un efecto positivo en el sistema en serie #1, para la fabricación de pernos dentro de G. O. Cía. Ltda.

4.4.2.4 Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #1. El sistema en serie #1, como se mencionó anteriormente si presenta una tolerancia a la indisponibilidad en su primera etapa, la etapa del trefilado simula tener una etapa en paralelo pasivo, al poseer una velocidad de operación mayor que la etapa siguiente (preformado), su producción excedente se almacena y se tiene lista y dispuesta para poder reemplazar total o parcialmente a la etapa activa, todas la etapas pasivas tienen una tolerancia a la indisponibilidad por que evitan que el sistema sufra consecuencias operacionales, las etapas siguientes del preformado y roscado no presentan ninguna tolerancia a la indisponibilidad ya que tienen velocidades de operación nominal semejantes, y no poseen etapas redundantes.

La etapa del trefilado tiene una producción excedente de 431 kg/h con respecto al preformado en este sistema, por lo que la maquina WD-3 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso de tiempo de 6,7 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema.

4.5 Evaluación final sistema en serie # 2

Evaluación general: del 11 de octubre al 08 de noviembre del 2016, 160 horas (20 días laborables), producción alcanzada = 5578 kg (55,78 qq). Dentro de esta evaluación solo se tomó en cuenta los tiempos relacionados con el tiempo requerido. En los 20 días de evaluación se dieron las siguientes averías:

Tabla 20. Averías en el sistema en serie #2.

Fecha	Tiempo de paro (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Causa
WD-3			
No se produjeron averías o fallos durante el tiempo de recolección de datos.			
CH-10LS			

Tabla 20. (Continuación)

18/10/2016	3	2,75	Descalibración de los punzones
26/10/2016	2	2	Fisura en el primer punzón
31/10/2016	1	1	Material trabado en el dado formador
04/11/2016	1	1	Cuchilla de corte rota
CGT-408			
26/07/2016	2	2	Atascamiento de material en el dado de forma.
DPR-12S			
18/07/2016	0,75	0,75	Descalibración por restos de material anterior.

Fuente: Autor

Observamos a simple vista que el número de averías en todas las etapas han disminuido notoriamente, evidenciando el éxito de las estrategias implantadas sin embargo es necesario nuevamente utilizar el análisis de disponibilidad, comparar los resultados, y corroborar lo mencionado.

4.5.1 Disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 2.

Máquina: WD-3 **Etapas:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 134 horas **Tiempo no requerido:** 26 horas

Figura 80. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3



Fuente: Autor

Máquina: CH-10LS **Etapas:** Preformado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 134 horas

Tiempo no requerido: 26 horas

Figura 81. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-10LS



Fuente: Autor

Desde la figura 81 hacia delante se podrá denotar que los tiempos de espera siguen existiendo en los sistemas, pero son menores a los de la evaluación inicial.

Máquina: CGT-408 **Etapa:** Recorte

Tiempo de evaluación: 160 horas

Tiempo requerido: 134 horas

Tiempo no requerido: 26 horas

Figura 82. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CGT-408.



Fuente: Autor

Máquina: DPR-12S **Etapa:** Roscado

Tiempo de evaluación: 160 horas

Tiempo requerido: 134 horas

Tiempo no requerido: 26 horas

Figura 83. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12S.



Fuente: Autor

Tabla 21. Cálculo de la disponibilidad operacional en las etapas del sistema en serie #2

Máquina	Etapas	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	134	134	0	1
CH-10LS	Preformado	134	127	7	0,947761194
CGT-408	Recorte	134	132	2	0,985074627
DPR-12S	Roscado	134	133,25	0,75	0,994402985

4.5.1.1 Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 2.

Teniendo que:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 0,9477$$

$$D_3 = 0,9850$$

$$D_4 = 0,9944$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 0,9477 + 0,9850 + 0,9944) - (3)$$

$$D_S = 0,9271 = 92,71\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

4.5.1.2 Productividad laboral general del sistema en serie #2.

Producción alcanzada = 5578 kg

Horas hombre trabajadas = 160 h

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas}$$

$$Productividad\ laboral = \frac{5578\ kg}{160\ h}$$

$$Productividad\ laboral = 34,86\ kg/h$$

La productividad laboral después de la correcta aplicación de estrategias de mantenimiento es superior con **4,83 kg/h** a la inicial teniendo que **34,86 kg/h > 30,03 kg/h**, en este caso se pudo producir más productos durante el mismo tiempo, la disponibilidad final también muestra un incremento ya que es del **92,71%** con respecto al inicial que era de **80,44%**, es decir un **12,27%** mayor a la con que trabajaba el sistema, llegando a la conclusión que las estrategias implantadas han dado resultados positivos, sin embargo la evaluación se realizó a un caso de investigación específico y para constatar un verdadero éxito del desarrollo de esta investigación, se debe realizar una comparación con el mismo caso o alguno similar, a continuación el caso:

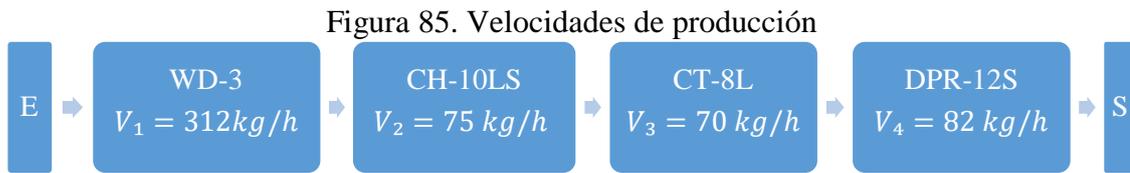
4.5.2 Caso de investigación. Tirafondo (Cabeza hexagonal), $\frac{1}{4}$ " x 3". Lote de 2215 Kg (22,15 qq), un rollo completo de alambón SAE No 1008, diámetro $\varnothing = 8mm$, tiempo de producción 40 horas (5 días laborables), 17/10/2016 al 21/10/2016.

Figura 84. Esquema inicial del sistema #2



Fuente: Autor

4.5.2.1 Velocidades de producción.

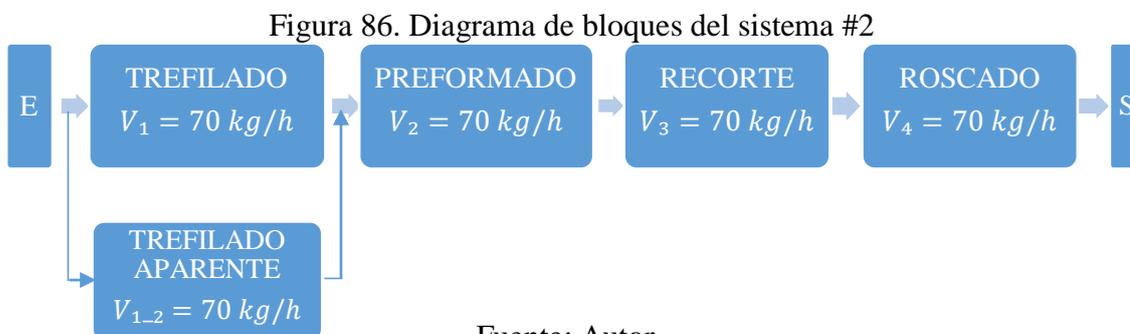


Fuente: Autor

Las velocidades de operación en las etapas del trefilado y del roscado se mantuvieron, ya que las máquinas en ellas no poseen un variador de la misma, en la etapa del preformado en la máquina CH-10LS que si se puede variar su velocidad, mediante pruebas se pudo establecer una velocidad estándar que es menor a la anterior mostrada en el mismo caso por 4 kg , es decir $75\text{ kg/h} < 79\text{ kg/h}$.

4.5.2.2 Diagrama de bloques. En la etapa de trefilado se puede decir que se encuentra o simula estar en paralelo pasivo, esto se da ya que la máquina trefiladora WD-3 posee una velocidad de operación mucho mayor que las otras etapas, la producción excedente en este caso el material trefilado se almacena y se tiene listo para que las etapas siguientes puedan continuar con la fabricación del lote completo, se dejó de lado el esquema inicial del sistema en serie #2 y se trabajó con el diagrama de bloques, en el cual se pudo apreciar de mejor manera el verdadero esquema del sistema, es preciso mencionar que para la realización del mismo no se tomó en cuenta la ubicación física de las máquinas.

Es también necesario aclarar que la velocidad del sistema es igual a la de la etapa más lenta en este caso la del recorte, $V_3 = 70\text{ kg/h}$.



Fuente: Autor

Se redujo el tiempo requerido para producir un del lote similar al inicial, de 45 a 36 horas.

Máquina: WD-3

Etapa: Trefilado

Tiempo de evaluación: 40 horas

Tiempo requerido: 36 horas

Tiempo no requerido: 4 horas

Figura 87. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: CH-10LS

Etapa: Preformado

Tiempo de evaluación: 40 horas

Tiempo requerido: 36 horas

Tiempo no requerido: 4 horas

Figura 88. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CH-10LS, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: CGT-408

Etapa: Recorte

Tiempo de evaluación: 40 horas

Tiempo requerido: 36 horas

Tiempo no requerido: 4 horas

Figura 89. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CGT-408, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: DPR-12S **Etapa:** Roscado **Tiempo de evaluación:** 40 horas

Tiempo requerido: 36 horas **Tiempo no requerido:** 4 horas

Figura 90. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12S, caso de investigación.



Fuente: Autor

Tabla 22. Cálculo de la disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie # 2.

Máquina	Etapa	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	36	36	0	1
CH-10LS	Preformado	36	33	3	0,916666667
CGT-408	Recorte	36	36	0	1

Tabla 22. (Continuación)

DPR-12S	Roscado	36	35,25	0,75	0,979166667
---------	---------	----	-------	------	-------------

Fuente: Autor

4.5.2.3 *Cálculo de la disponibilidad del sistema en serie # 2. Caso de investigación.*
 Para el cálculo correcto de la disponibilidad del sistema en serie se debe calcular primero la disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , como se mencionó antes esta etapa al tener una velocidad de producción mayor a las demás, y sabiendo que nunca deja de trabajar, su producción excedente se almacena simulando estar en un sistema de paralelo pasivo para cualquier eventualidad que pueda pasar en la máquina.

Disponibilidad en la etapa de trefilado. La disponibilidad en la etapa en paralelo pasivo del trefilado es del 100%, ya que la velocidad de producción de esta etapa es 3,9 veces mayor que la etapa de preformado y esta nunca estuvo en estado de indisponibilidad, entonces aplicamos la fórmula para calcular el tiempo de espera de esta etapa.

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

$$TE_{epp} = (36 - 0)h$$

$$TE_{epp} = TR = 36 h$$

Dónde:

TE_{epp} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

TO_{epp} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

Se debe tomar en cuenta que el tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo en este caso es 0 ya que no se registraron averías o paradas imprevistas en la etapa, por lo tanto el tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo va a ser igual al tiempo requerido.

La disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , va a ser igual a la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo D_{pp} , que se calcula mediante la siguiente fórmula:

Teniendo:

$$D_{epa} = 1,0000$$

$$D_{epp} = 1,0000$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m}(D_{epi} * V_{epi})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m(T E_{eppi} * V_{eppi})}{TR * V_{sis}}$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{(1 * 70 \text{ kg/h}) + (1 * 70 \text{ kg/h})}{70 \text{ kg/h}} - \frac{(36 \text{ h} * 70 \text{ kg/h})}{36 \text{ h} * 70 \text{ kg/h}}$$

$$D_1 = D_{pp} = 2 - 1$$

$$D_1 = D_{pp} = 1$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{epi} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{epi} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

Una vez hallada la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo del trefilado procedemos a encontrar la disponibilidad del sistema en serie D_S

Teniendo:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 0,9166$$

$$D_3 = 1,0000$$

$$D_4 = 0,9791$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 0,9166 + 1 + 0,9791) - (3)$$

$$D_S = 0,8957 = 89,57\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

4.5.2.4 *Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #2.*

Producción alcanzada = 2215kg

Horas hombre trabajadas = 40 h

$$Productividad\ laboral = \frac{Produccion\ alcanzada}{Horas\ hombre\ trabajadas}$$

$$Productividad\ laboral = \frac{2215\ kg}{40\ h}$$

$$Productividad\ laboral = 55,38\ kg/h$$

Se puede evidenciar el incremento en la productividad laboral en el caso de investigación teniendo que: **55,38 kg/h > 39 kg/h**, que era la productividad inicial con la cual trabajaba el sistema, en este caso la producción fue similar a la inicial, pero el tiempo en realizar el trabajo fue menor, es decir se ha hecho lo mismo en un menor tiempo aprovechando así de mejor manera todos los recursos, la disponibilidad del sistema en serie también registra un aumento del **21,24%**, observando que **89,57% > 66,33%** para este caso de investigación, indicando que las estrategias de mantenimiento han tenido un efecto positivo en el sistema en serie #1, para la fabricación de pernos dentro de G. O. Cía. Ltda.

4.5.2.5 Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #2. El sistema en serie #2, como se mencionó anteriormente si presenta una tolerancia a la indisponibilidad en su primera etapa, la etapa del trefilado simula tener una etapa en paralelo pasivo, al poseer una velocidad de operación mayor que la etapa siguiente (preformado), su producción excedente se almacena y se tiene lista y dispuesta para poder reemplazar total o

parcialmente a la etapa activa, todas la etapas pasivas tienen una tolerancia a la indisponibilidad por que evitan que el sistema sufra consecuencias operacionales, las etapas siguientes del preformado, recorte, y roscado, no presentan ninguna tolerancia a la indisponibilidad ya que tienen velocidades de operación semejantes, y no poseen etapas redundantes.

La etapa del trefilado tiene una producción excedente de 237 kg/h con respecto al preformado en este sistema, por lo que la maquina WD-3 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso de tiempo de 3,16 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema.

4.6 Evaluación final del sistema en serie #3

Evaluación general: del 03 de octubre al 07 de noviembre del 2016, 200 horas (25 días laborables), producción alcanzada = 5279 kg (52,79 qq). Dentro de esta evaluación solo se tomó en cuenta los tiempos relacionados con el tiempo requerido.

En los 20 días de evaluación se dieron las siguientes averías:

Tabla 23. Tabla de averías sistema en serie #3.

Fecha	Tiempo de paro (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Causa
WD-3			
No se produjeron averías o fallos durante el tiempo de recolección de datos.			
CBF-83			
04/10/2016	2,5	2	Cuchilla de corte rota.
06/10/2016	3	2	Atascamiento en el dado formador
11/10/2016	2	2	Fisura en el primer punzón
25/10/2016	3	3	Fisura en el punzón de corte
03/11/2016	0,5	0,5	Taponamiento de cañería de lubricación y refrigeración.
07/11/2016	2	2	Deformación del segundo punzón cambio de pieza.
SRM6			
18/07/2016	0,5	0,5	Taponamiento de cañería de lubricación y refrigeración.

Fuente: Autor

Observamos a simple vista que el número de averías en todas las etapas han disminuido notoriamente, evidenciando el éxito de las estrategias implantadas sin embargo es necesario nuevamente utilizar el análisis de disponibilidad, y comparar los resultados.

4.6.1 Disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 3.

Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 200 horas

Tiempo requerido: 200 horas **Tiempo no requerido:** 0 horas

Figura 91. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3.



Fuente: Autor

Máquina: CBF-83 **Etapa:** Preformado/recorte **Tiempo de evaluación:** 200 horas

Tiempo requerido: 200 horas **Tiempo no requerido:** 0 horas

Figura 92. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CBF-83.



Fuente: Autor

Máquina: SRM-6 **Etapas:** Roscado

Tiempo de evaluación: 200 horas

Tiempo requerido: 200 horas

Tiempo no requerido: 0 horas

Figura 93. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina SRM-6.



Fuente: Autor

Tabla 24. Cálculo de la disponibilidad operacional en cada etapa del sistema en serie # 3

Máquina	Etapas	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	200	200	0	1
CBF-83	Preformado y Recorte	200	187	13	0.935
SRM-6	Roscado	200	199.5	0.5	0.9975

Fuente: Autor

4.6.1.1 Cálculo de la indisponibilidad general del sistema en serie # 3.

Teniendo:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 0,935$$

$$D_3 = 0,9975$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 0,935 + 0,9975) - (2)$$

$$D_s = 0,9325 = 93,25\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

4.6.1.2 Productividad laboral general del sistema en serie #3.

Producción alcanzada = 5279 kg

Horas hombre trabajadas = 200 h

$$\text{Productividad laboral} = \frac{\text{Produccion alcanzada}}{\text{Horas hombre trabajadas}}$$

$$\text{Productividad laboral} = \frac{5279 \text{ kg}}{200 \text{ h}}$$

$$\text{Productividad laboral} = 26,4 \text{ kg/h}$$

La productividad laboral después de la correcta aplicación de estrategias de mantenimiento es superior con **4,13 kg/h** a la inicial teniendo que **26,4 kg/h > 22,27 kg/h**, en este caso se pudo producir más productos durante el mismo tiempo, la disponibilidad final también muestra un incremento ya que es del **93,25%** con respecto al inicial que era de **85,07%**, es decir un **8,18%** mayor a la con que trabajaba el sistema, llegando a la conclusión que las estrategias implantadas han dado resultados positivos, sin embargo la evaluación se realizó a un caso de investigación específico y para constatar un verdadero éxito del desarrollo de esta investigación, se debe realizar una comparación con el mismo caso o alguno similar, a continuación el caso:

Caso de investigación. Perno cabeza hexagonal, $\frac{1}{4}$ " x $\frac{1}{2}$ ", rosca UNC gruesa. Lote de 2376 Kg (23,76 qq), un rollo completo de alambón de SAE No 1008, diámetro $\emptyset = 8\text{mm}$, tiempo de producción 100 horas (12.5 días laborables), del 04/07/2016 al 20/07/2016.

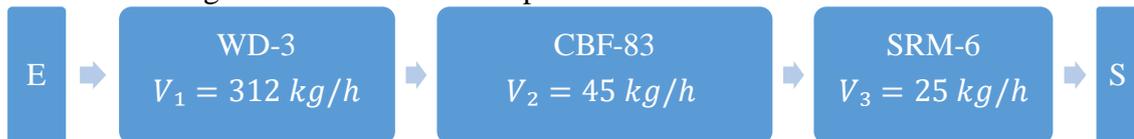
Figura 94. Esquema inicial del sistema #3



Fuente: Autor

4.6.1.3 Velocidades de producción.

Figura 95. Velocidades de producción del sistema en serie #3.



Fuente: Autor

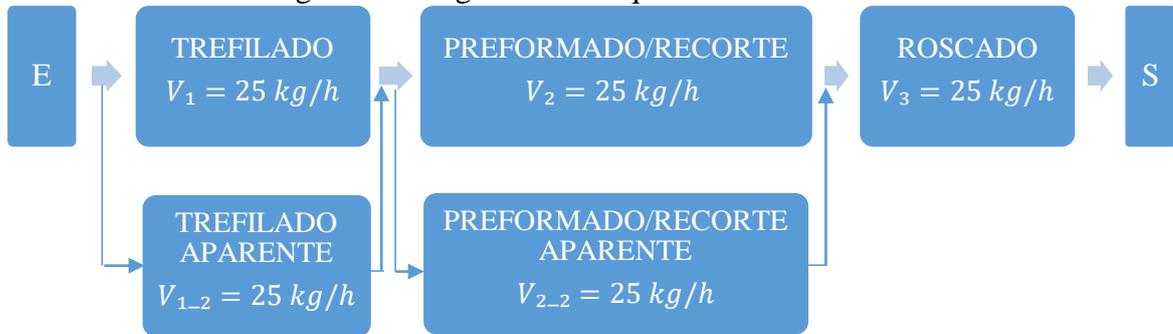
Las velocidades de las etapas del trefilado y del roscado se mantuvieron, ya que las máquinas en ellas no poseen un variador de la misma, en la etapa del preformado en la máquina CH-12 que si se puede variar su velocidad, mediante pruebas se pudo establecer una velocidad estándar que es menor a la anterior mostrada en el mismo caso por dos puntos $45 \text{ kg/h} < 47 \text{ kg/h}$.

4.6.1.4 Diagrama de bloques. La etapa de trefilado y la del preformado/recorte, se puede decir que se encuentran o simulan estar en paralelo pasivo, esto se da ya que las dos máquinas pertenecientes a estas etapas tienen velocidades mayores de producción a la laminadora del roscado, la trefiladora WD-3 posee una velocidad de operación mucho mayor que las otras 2 etapas, la producción excedente en este caso el material trefilado se almacena y se tiene listo para que las fases restantes puedan continuar con la fabricación del lote completo, la máquina CBF-83 como se mencionó también tiene una velocidad mayor a la de la máquina SRM-6 del roscado, su producción excedente se lo coloca en la estantería perteneciente a la laminadora, y se espera a que esta termine de fabricar el lote completo, como esta máquina tiene una velocidad de producción relativamente baja con respecto a las otras el lote se demora en salir un poco más de lo esperado, mientras la misma está en operación las otras dos máquinas de las etapas precedentes entran en estado de espera, se dejó de lado el esquema inicial del sistema en serie #3 y se trabajó con el diagrama de bloques, en el cual se pudo apreciar de mejor manera el verdadero esquema del sistema, es preciso mencionar que para la realización del mismo no se tomó en cuenta

la ubicación física de las máquinas.

Es también necesario aclarar que la velocidad del sistema es igual a la de la etapa más lenta en este caso la del roscado, $V_3 = 25 \text{ kg/h}$.

Figura 96. Diagrama de bloques del sistema #3.



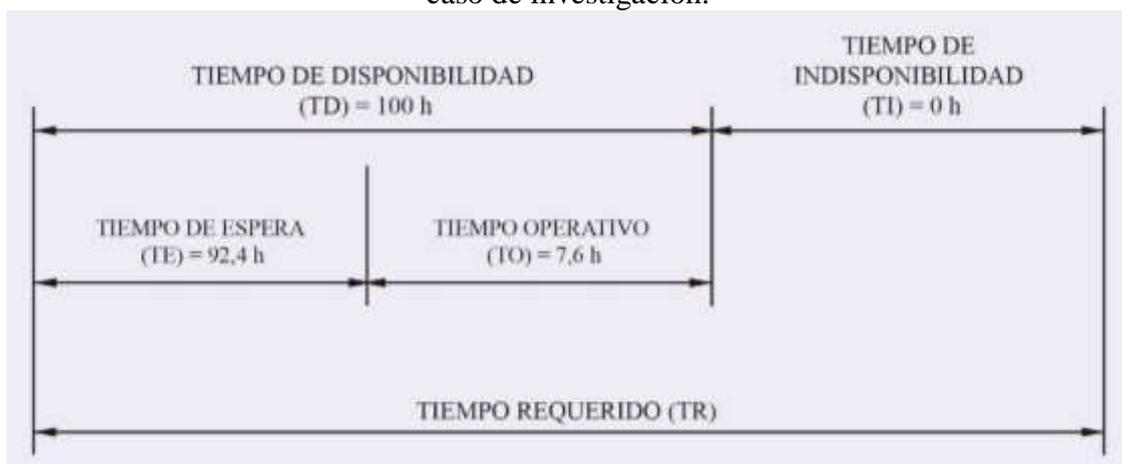
Fuente: Autor

En este caso no se pudo reducir el tiempo requerido para fabricar el lote similar al inicial por la baja velocidad de operación de la laminadora SRM-6.

Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 100 horas

Tiempo requerido: 100 horas **Tiempo no requerido:** 0 horas

Figura 97. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: CBF-83 **Etapa:** Preformado/recorte **Tiempo de evaluación:** 100 horas

Tiempo requerido: 100 horas

Tiempo no requerido: 0 horas

Figura 98. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CBF-83, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: SRM-6

Etapas: Roscado

Tiempo de evaluación: 100 horas

Tiempo requerido: 100 horas

Tiempo no requerido: 0 horas

Figura 99. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina SRM-6, caso de investigación.



Fuente: Autor

Tabla 25. Cálculo de la disponibilidad operacional del sistema en serie #3.

Máquina	Etapas	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	100	100	0	1
CBF-83	Preformado y Recorte	100	92,5	7,5	0,925

Tabla 25. (Continuación)

SRM-6	Roscado	100	99,5	0,5	0,995
-------	---------	-----	------	-----	-------

Fuente: Autor

4.6.1.5 Disponibilidad del sistema en serie # 3, en el caso de investigación. Nuevamente para el cálculo correcto de la disponibilidad del sistema en serie #3, se debe calcular primero la disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , y después la disponibilidad de la etapa del preformado/recorte D_2 , como se mencionó antes, estas etapas al tener una velocidad de producción mayor a la etapa de roscado, su producción excedente se almacena simulando estar en un sistema de paralelo pasivo para cualquier eventualidad que pueda pasar en la máquina.

Disponibilidad en la etapa de trefilado. La disponibilidad en la etapa en paralelo pasivo del trefilado es del 100%, ya que la velocidad de producción de esta etapa es 6,8 veces mayor que la etapa de preformado / recorte y esta nunca estuvo en estado de indisponibilidad, entonces aplicamos la fórmula para calcular el tiempo de espera de esta etapa.

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

$$TE_{epp} = (100 - 0)h$$

$$TE_{epp} = TR = 100 h$$

Dónde:

TE_{epp} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

TO_{epp} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

Se debe tomar en cuenta que el tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo en este caso 1 hora.

La disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , va a ser igual a la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo D_{pp} , que se calcula mediante la siguiente formula:

Teniendo:

$$D_{epa} = 1,0000$$

$$D_{epp} = 1,0000$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m}(D_{epi} * V_{epi})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m(TE_{eppi} * V_{eppi})}{TR * V_{sis}}$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{(1 * 25 \text{ kg/h}) + (1 * 25 \text{ kg/h})}{25 \text{ kg/h}} - \frac{(100 \text{ h} * 25 \text{ kg/h})}{100 \text{ h} * 25 \text{ kg/h}}$$

$$D_1 = D_{pp} = 2 - 1$$

$$D_1 = D_{pp} = 1$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{epi} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{epi} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

Disponibilidad en la etapa de preformado/recorte. La disponibilidad en la etapa en paralelo pasivo del preformado / recorte es del 100%, ya que la velocidad de producción de esta etapa es 1,88 veces mayor que la etapa de roscado y esta etapa nunca estuvo en estado de indisponibilidad, entonces aplicamos la fórmula para calcular el tiempo de espera de esta etapa.

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

$$TE_{epp} = (100 - 7,5)h$$

$$TE_{epp} = 92,5 \text{ h}$$

Dónde:

TE_{epp} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

TO_{epp} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

Se debe tomar en cuenta que el tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo en este caso 1 hora.

La disponibilidad en la etapa de preformado / recorte D_2 , va a ser igual a la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo D_{pp} , que se calcula mediante la siguiente fórmula:

Teniendo:

$$D_{epa} = 0,925$$

$$D_{epp} = 1,0000$$

$$D_2 = D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m}(D_{epi} * V_{epi})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m(TE_{eppi} * V_{eppi})}{TR * V_{sis}}$$
$$D_2 = D_{pp} = \frac{(0,925 * 25 \text{ kg/h}) + (1 * 25 \text{ kg/h})}{25 \text{ kg/h}} - \frac{(92,5 \text{ h} * 25 \text{ kg/h})}{100 \text{ h} * 25 \text{ kg/h}}$$
$$D_2 = D_{pp} = 1,925 - 0,925$$
$$D_2 = D_{pp} = 1$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{epi} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{epi} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

Una vez hallada la disponibilidad en las etapas en paralelo pasivo del trefilado y del preformado / recorte procedemos a encontrar la disponibilidad del sistema en serie D_5

Teniendo:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 1,0000$$

$$D_3 = 0,995$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 1 + 0,995) - (2)$$

$$D_S = 0,995 = 99,5\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

4.6.1.6 Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #3.

Producción alcanzada = 2376kg

Horas hombre trabajadas = 100 h

$$\text{Productividad laboral} = \frac{\text{Produccion alcanzada}}{\text{Horas hombre trabajadas}}$$

$$\text{Productividad laboral} = \frac{2376 \text{ kg}}{100 \text{ h}}$$

$$\text{Productividad laboral} = 23,76 \text{ kg/h}$$

Los resultados para este caso de investigación no van a ser tan notorios como el resto de casos, ya que la etapa del roscado hace que en todo el sistema parezca que no hay problemas por su velocidad baja, teniendo como consecuencia que en las demás etapas en especial en la etapa del preformado/recorte se simule una etapa en paralelo pasivo y no sean perceptibles los inconvenientes que acontecen a la máquina CBF-83, sin embargo si existe un aumento pequeño en la productividad de **1,28 kg/h** teniendo en la evaluación final una productividad del **23,76 kg/h** con respecto a la inicial que era de **22.48 kg/h**, es decir se hizo más en el mismo tiempo de trabajo. En la disponibilidad

el aumento no es perceptible por las etapas en paralelo pasivo que simulan las dos primeras etapas teniendo como resultado que la disponibilidad de la evaluación inicial y final para estos casos de investigación sean casi iguales $99,5\% \approx 99,46$, donde se podría ver un aumento notorio es en la disponibilidad operacional de la etapa del preformado/recorte, maquina CBF-83, que al inicio fue la que más bajo tenía su disponibilidad operacional, observando que su disponibilidad operacional aumento en $7,93\%$ teniendo que: $92,5\% > 84,57\%$, nuevamente con estos nuevos datos se hizo la recomendación a la gerencia y al jefe de producción es que se adquiera una laminadora con mayor capacidad de producción para que se puedan evidenciar de mejor manera las anomalías que afectan a este sistema.

4.6.1.7 Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie #3. Se ratifica que el sistema en serie número #3, si presenta una tolerancia a la indisponibilidad en su primera y segunda etapa, la etapa del trefilado al igual que la del preformado/recorte simulan tener una etapa en paralelo pasivo, al poseer estas etapas una velocidad de operación mayor que la etapa siguiente, su producción excedente se almacena y se tiene lista y dispuesta para poder reemplazar total o parcialmente a la etapa activa, todas la etapas pasivas tienen una tolerancia a la indisponibilidad por que evitan que el sistema sufra consecuencias operacionales, la tercera y última etapa del roscado no presenta ninguna tolerancia a la indisponibilidad ya que no posee etapas redundantes. La etapa del trefilado tiene una producción excedente de 267 kg/h con respecto al preformado/recorte en este sistema, por lo que la máquina WD-3 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso tiempo de 5,9 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema. La etapa del preformado/recorte tiene una producción excedente de 20 kg/h con respecto al roscado en este sistema, por lo que la máquina CBF-83 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso de tiempo de 0,8 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema.

4.7 Evaluación final sistema en serie #4

Evaluación general: del 18 de octubre al 15 de noviembre del 2016, 160 horas (20 días laborables), producción alcanzada = 6726 kg (67,26 qq). Dentro de esta evaluación solo se tomó en cuenta los tiempos relacionados con el tiempo requerido. En los 20 días de evaluación se dieron las siguientes averías:

Tabla 26. Averías en el sistema en serie #4.

Fecha	Tiempo de paro (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Causa
WD-3			
No se produjeron averías o fallos durante el tiempo de recolección de datos.			
H-10			
19/10/2016	1	1	Taponamiento de la cañería de refrigeración, y lubricación.
24/10/2016	3	2,5	Atascamiento en el dado matriz o formador.
25/10/2016	2	2	Deformación en el dado de corte
8/11/2016	2	2	Fisura en el primer punzón
CT-8L			
20/10/2016	2	1,5	Punzón de corte fisurado.
DPR-12			
No se produjeron averías o fallos durante el tiempo de recolección de datos.			

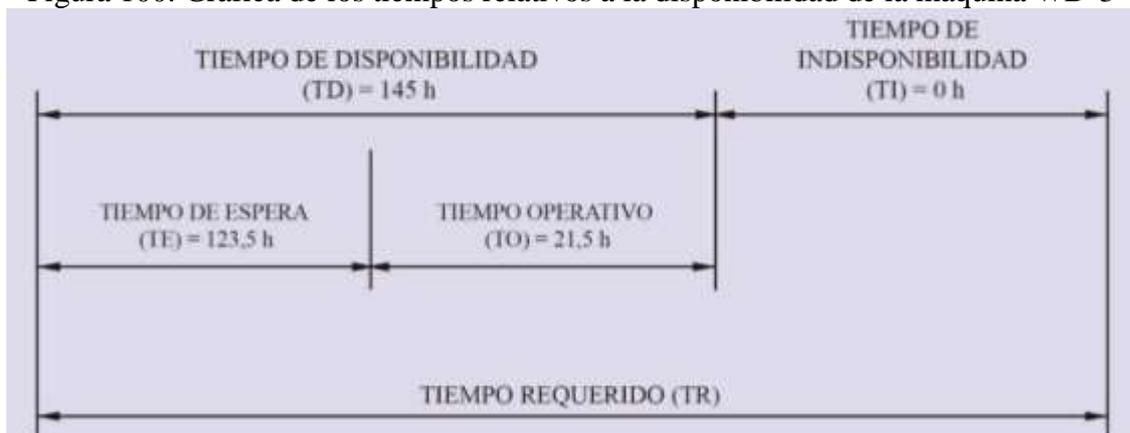
Fuente: Autor

4.7.1 Disponibilidad operacional en cada etapa. Sistema en serie # 4.

Máquina: WD-3 **Etapas:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 145 horas **Tiempo no requerido:** 15 horas

Figura 100. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3



Fuente: Autor

Observamos a simple vista que el número de averías en todas las etapas han disminuido notoriamente, evidenciando el éxito de las estrategias implantadas sin embargo es

necesario nuevamente utilizar el análisis de disponibilidad, comparar los resultados, y corroborar lo mencionado.

Máquina: H-10 **Etapa:** Preformado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 145 horas **Tiempo no requerido:** 15 horas

Figura 101. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina H-10.



Fuente: Autor

Máquina: CT-8L **Etapa:** Recorte **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 145 horas **Tiempo no requerido:** 15 horas

Figura 102. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CT-8L.



Fuente: Autor

Máquina: DPR-12 **Etapa:** Roscado **Tiempo de evaluación:** 160 horas

Tiempo requerido: 145 horas **Tiempo no requerido:** 15 horas

Figura 103. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12.



Fuente: Autor

Tabla 27. Cálculo de la disponibilidad operacional en las etapas del sistema en serie #4

Máquina	Etapas	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	145	145	0	1
H-10	Preformado	145	137	8	0,944827586
CT-8L	Recorte	145	143	2	0,986206897
DPR-12	Roscado	145	145	0	1

Fuente: Autor

4.7.1.1 Cálculo de la disponibilidad general del sistema en serie # 4.

Teniendo que:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 0,9448$$

$$D_3 = 0,9862$$

$$D_4 = 1,0000$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 0,9448 + 0,9862 + 1) - (3)$$

$$D_S = 0,9310 = 93,10\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

4.7.1.2 Productividad laboral general del sistema en serie #4.

Producción alcanzada = 6726 kg

Horas hombre trabajadas = 160 h

$$\text{Productividad laboral} = \frac{\text{Produccion alcanzada}}{\text{Horas hombre trabajadas}}$$

$$\text{Productividad laboral} = \frac{6726 \text{ kg}}{160 \text{ h}}$$

$$\text{Productividad laboral} = 42,04 \text{ kg/h}$$

La productividad laboral después de la correcta aplicación de estrategias de mantenimiento es superior con **13,45 kg/h** a la inicial teniendo que **42,04 kg/h > 28,59 kg/h**, en este caso se pudo producir más productos durante el mismo tiempo, la disponibilidad final también muestra un incremento ya que es del **93,10%** con respecto al inicial que era de **84,88%**, es decir un **8,22%** mayor a la con que trabajaba el sistema, llegando a la conclusión que las estrategias implantadas han dado resultados positivos, sin embargo la evaluación se realizó a un caso de investigación específico y para constatar un verdadero éxito del desarrollo de esta investigación, se debe realizar una comparación con el mismo caso o alguno similar, a continuación el caso:

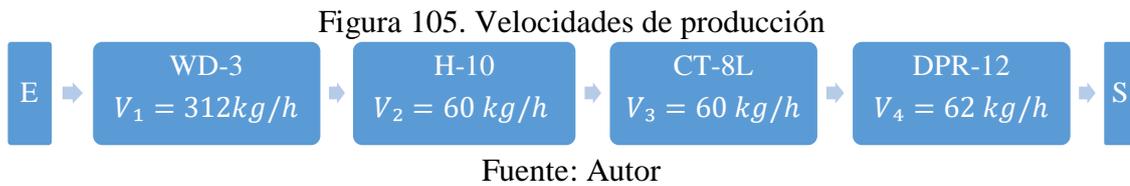
4.7.2 Caso de investigación. Tirafondo (Cabeza hexagonal), $\frac{1}{4}$ " x 3". Lote de 2365 Kg (23,65 qq), un rollo completo de alambón de acero sin alear SAE No 1008, diámetro $\varnothing = 8\text{mm}$, tiempo de producción 60 horas (7,5 días laborables), 20/10/2016 al 26/10/2016.

Figura 104. Esquema inicial del sistema #4.



Fuente: Autor

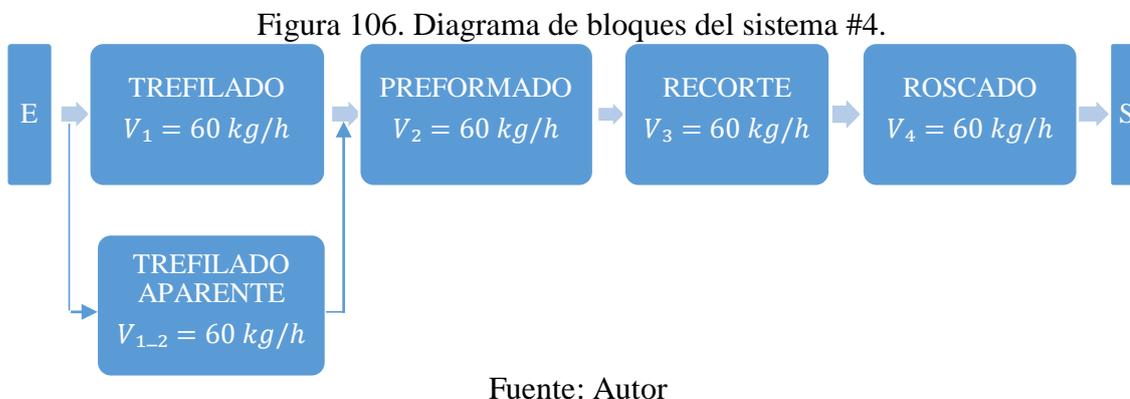
4.7.2.1 Velocidades de producción.



Las velocidades de operación en las etapas del trefilado, recorte, y del roscado se mantuvieron, ya que las maquinas en ellas no poseen un variador de la misma, en la etapa del preformado en la máquina H-10 que si se puede variar su velocidad, mediante pruebas se pudo establecer una velocidad estándar que es mayor a la anterior mostrada en el mismo caso por 4 kg, es decir $60 \text{ kg/h} < 56 \text{ kg/h}$.

4.7.2.2 Diagrama de bloques. En la etapa de trefilado se puede decir que se encuentra o simula estar en paralelo pasivo, esto se da ya que la máquina trefiladora WD-3 posee una velocidad de operación mucho mayor que las otras etapas, la producción excedente en este caso el material trefilado se almacena y se tiene listo para que las etapas siguientes puedan continuar con la fabricación del lote completo, se dejó de lado el esquema inicial del sistema en serie #4 y se trabajó con el diagrama de bloques, en el cual se pudo apreciar de mejor manera el verdadero esquema del sistema, es preciso mencionar que para la realización del mismo no se tomó en cuenta la ubicación física de las máquinas.

Es también necesario aclarar que la velocidad del sistema es igual a la de la etapa más lenta en este caso las etapas del preformado y recorte, $V_2 = V_3 = 60 \text{ kg/h}$.



Se redujo el tiempo requerido para producir un del lote similar al inicial, de 67 a 53 horas.

Máquina: WD-3 **Etapa:** Trefilado **Tiempo de evaluación:** 60 horas

Tiempo requerido: 53 horas **Tiempo no requerido:** 7 horas

Figura 107. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina WD-3, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: H-10 **Etapa:** Preformado **Tiempo de evaluación:** 60 horas

Tiempo requerido: 53 horas **Tiempo no requerido:** 7 horas

Figura 108. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina H-10, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: CT-8L **Etapa:** Recorte **Tiempo de evaluación:** 60 horas

Tiempo requerido: 53 horas **Tiempo no requerido:** 7 horas

Figura 109. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina CT-8L, caso de investigación.



Fuente: Autor

Máquina: DPR-12 **Etapa:** Roscado **Tiempo de evaluación:** 60 horas

Tiempo requerido: 53 horas **Tiempo no requerido:** 7 horas

Figura 110. Gráfica de los tiempos relativos a la disponibilidad de la máquina DPR-12, caso de investigación.



Fuente: Autor

Tabla 28. Cálculo de la disponibilidad operacional en cada etapa. Caso de investigación. Sistema en serie #4.

Máquina	Etapa	Tiempo requerido (TR)	Tiempo de disponibilidad en horas (TD)	Tiempo de indisponibilidad en horas (TI)	Disponibilidad operacional (Do=TD/TR)
WD-3	Trefilado	53	53	0	1
H-10	Preformado	53	48	5	0,905660377
CT-8L	Recorte	53	51	2	0,962264151
DPR-12	Roscado	53	53	0	1

Fuente: Autor

4.7.2.3 Cálculo de la disponibilidad del sistema en serie # 4. Caso de investigación.

Para el cálculo correcto de la disponibilidad del sistema en serie se debe calcular primero la disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , como se mencionó antes esta etapa al tener una velocidad de producción mayor a las demás, y sabiendo que nunca deja de trabajar, su producción excedente se almacena simulando estar en un sistema de paralelo pasivo para cualquier eventualidad que pueda pasar en la máquina.

Disponibilidad en la etapa de trefilado. La disponibilidad en la etapa en paralelo pasivo del trefilado es del 100%, ya que la velocidad de producción de esta etapa es 5,2 veces mayor que la etapa de preformado y esta nunca estuvo en estado de indisponibilidad, entonces aplicamos la fórmula para calcular el tiempo de espera de esta etapa.

$$TE_{epp} = TR - TO_{epp}$$

$$TE_{epp} = (53 - 0)h$$

$$TE_{epp} = TR = 53 h$$

Dónde:

TE_{epp} = tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo.

TO_{epp} = tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo.

Se debe tomar en cuenta que el tiempo de operación de la etapa en paralelo pasivo es igual al tiempo de indisponibilidad de la etapa en paralelo activo en este caso es 0 ya que no se registraron averías o paradas imprevistas en la etapa, por lo tanto el tiempo de espera de la etapa en paralelo pasivo va a ser igual al tiempo requerido.

La disponibilidad de la etapa del trefilado D_1 , va a ser igual a la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo D_{pp} , que se calcula mediante la siguiente fórmula:

Teniendo:

$$D_{epa} = 1,0000$$

$$D_{epi} = 1,0000$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m}(D_{epi} * V_{epi})}{V_{sis}} - \frac{\sum_{i=1}^m(TE_{epi} * V_{epi})}{TR * V_{sis}}$$

$$D_1 = D_{pp} = \frac{(1 * 60 \text{ kg/h}) + (1 * 60 \text{ kg/h})}{60 \text{ kg/h}} - \frac{(53 \text{ h} * 60 \text{ kg/h})}{53 \text{ h} * 60 \text{ kg/h}}$$

$$D_1 = D_{pp} = 2 - 1$$

$$D_1 = D_{pp} = 1$$

Dónde:

$n + m$ = número de etapas en paralelo activo y pasivo

D_{epi} = disponibilidad individual de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{epi} = velocidad de operación de cada una de las etapas en paralelo activo y pasivo

V_{sis} = velocidad del sistema

Una vez hallada la disponibilidad de la etapa en paralelo pasivo del trefilado procedemos a encontrar la disponibilidad del sistema en serie D_S

Teniendo:

$$D_1 = 1,0000$$

$$D_2 = 0,7722$$

$$D_3 = 0,9333$$

$$D_4 = 0,9777$$

$$D_S = \sum_{t=1}^k (Des_t) - (k - 1)$$

$$D_S = (1 + 0,9056 + 0,9622 + 1) - (3)$$

$$D_S = 0,8678 = 86,78\%$$

Dónde:

k = número de etapas del sistema

Des_t = disponibilidad individual de cada una de las etapas en serie

4.7.2.4 Productividad laboral en el caso de investigación del sistema en serie #4.

Producción alcanzada = 2365kg

Horas hombre trabajadas = 60 h

$$\text{Productividad laboral} = \frac{\text{Produccion alcanzada}}{\text{Horas hombre trabajadas}}$$

$$\text{Productividad laboral} = \frac{2365 \text{ kg}}{60 \text{ h}}$$

$$\text{Productividad laboral} = 39,42 \text{ kg/h}$$

Se puede evidenciar el incremento en la productividad laboral en el caso de investigación teniendo que: **39,42 kg/h > 28,03 kg/h**, que era la productividad inicial con la cual trabajaba el sistema, en este caso la producción fue similar a la inicial, pero el tiempo en realizar el trabajo fue menor, es decir se ha hecho lo mismo en un menor tiempo aprovechando así de mejor manera todos los recursos, la disponibilidad del sistema en serie también registra un aumento del **8,43%**, observando que **86,78% > 78,35%** para este caso de investigación, indicando que las estrategias de mantenimiento han tenido un efecto positivo en el sistema en serie #4, para la fabricación de pernos dentro de G. O. Cía. Ltda.

4.7.2.5 Tolerancia a la indisponibilidad del sistema en serie 4. El sistema en serie #4, como se mencionó anteriormente si presenta una tolerancia a la indisponibilidad en su primera etapa, la etapa del trefilado simula tener una etapa en paralelo pasivo, al poseer una velocidad de operación mayor que la etapa siguiente (preformado), su producción excedente se almacena y se tiene lista y dispuesta para poder reemplazar total o parcialmente a la etapa activa, todas la etapas pasivas tienen una tolerancia a la indisponibilidad por que evitan que el sistema sufra consecuencias operacionales, las etapas siguientes del preformado, recorte, y roscado, no presentan ninguna tolerancia a la

indisponibilidad ya que tienen velocidades de operación semejantes, y no poseen etapas redundantes. La etapa del trefilado tiene una producción excedente de 252 kg/h con respecto al preformado en este sistema, por lo que la maquina WD-3 podría estar en un estado de indisponibilidad por un lapso de tiempo de 4,2 horas, por cada hora de operación, sin presentar consecuencias operacionales para el sistema.

4.8 Evaluación de la hipótesis

En los cuatro sistemas en serie, se valida o se confirma la hipótesis planteada para esta investigación la cual es: “La mejora de la disponibilidad de sistemas en serie en la fabricación de pernos en GALO G. ORBEA O Cía. Ltda., incrementará la productividad.” A continuación se mostrara mediante tablas, el incremento de la disponibilidad operacional en las etapas de todos los sistemas, seguido del incremento de la disponibilidad de los sistemas y consecuentemente de su productividad laboral.

4.8.1 Evaluación de la hipótesis en el sistema en serie #1.

Tabla 29. Incremento de la disponibilidad operacional, etapas del sistema en serie #1.

Sistema en serie #1	Evaluación inicial		Evaluación final	
	Evaluación general (20días).	Caso de investigación.	Evaluación general (20días).	Caso de investigación.
Disponibilidad operacional (Do), trefilado (WD-3).	0,8880597	0,982758621	1	1
Disponibilidad operacional (Do), preformado (CH12).	0,847014925	0,698275862	0,9375	0,913043478
Disponibilidad operacional (Do), roscado (DPR-8)	0,962686567	0,965517241	0,998046875	0,994565217

Fuente: Autor

Tabla 30. Validación de la hipótesis. Sistema en serie #1

Sistema en serie #1	Evaluación inicial		Evaluación final	
	Evaluación general (20días).	Caso de investigación.	Evaluación general (20días).	Caso de investigación.
Disponibilidad del sistema (Ds)	79,84%	66,38%	93,55%	90,75%

Tabla 30. (Continuación)

Productividad laboral del sistema	33,12 Kg/h	32,75 Kg/h	36,47 Kg/h	38,25 Kg/h
-----------------------------------	------------	------------	-------------------	-------------------

Fuente: Autor

Es evidente en el sistema en serie #1, el incremento de la productividad mediante la mejora de la disponibilidad, las estrategias para mejorar este indicador en especial en la etapa del preformado dieron un resultado positivo, validando así la hipótesis planteada para esta investigación.

4.8.2 Evaluación de la hipótesis en el sistema en serie #2.

Tabla 31. Incremento de la disponibilidad operacional, etapas del sistema en serie #2.

Sistema en serie #2	Evaluación inicial		Evaluación final	
	Evaluación general (20días).	Caso de investigación.	Evaluación general (20días).	Caso de investigación.
Disponibilidad operacional (Do), trefilado (WD-3).	0,98943662	1	1	1
Disponibilidad operacional (Do), preformado (CH10LS).	0,86971831	0,77222222	0,947761194	0,916666667
Disponibilidad operacional (Do), recorte (CGT-408)	0,952464789	0,93333333	0,985074627	1
Disponibilidad operacional (Do), roscado (DPR-12S)	0,992957746	0,977777778	0,994402985	0,979166667

Fuente: Autor

Tabla 32. Validación de la hipótesis. Sistema en serie #2.

Sistema en serie #2	Evaluación inicial		Evaluación final	
	Evaluación general (20días).	Caso de investigación.	Evaluación general (20días).	Caso de investigación.
Disponibilidad del sistema (Ds)	80,44%	68,33%	92,71%	89,57%
Productividad laboral del sistema	30,03 Kg/h	39 Kg/h	34,86 Kg/h	55,38 Kg/h

Fuente: Autor

En el sistema en serie #2, también se da el incremento de la productividad mediante la

mejora de la disponibilidad, ratificando que el uso de la metodología de análisis de disponibilidad es una gran herramienta de diagnóstico para poder encontrar las verdaderas oportunidades de mejora que puedan existir en un sistema en serie.

4.8.3 Evaluación de la hipótesis en el sistema en serie #3.

Tabla 33. Incremento de la disponibilidad operacional, etapas del sistema en serie #3.

Sistema en serie #3	Evaluación inicial		Evaluación final	
	Evaluación general (25días).	Caso de investigación.	Evaluación general (25días).	Caso de investigación.
Disponibilidad operacional (Do), trefilado (WD-3).	0,992063492	0,989361702	1	1
Disponibilidad operacional (Do), preformado/recorte (CBF-83).	0,869312169	0,845744681	0,935	0,925
Disponibilidad operacional (Do), roscado (SRM-6)	0,989417989	0,994680851	0,9975	0,995

Fuente: Autor

Tabla 34. Validación de la hipótesis. Sistema en serie #3.

Sistema en serie #3	Evaluación inicial		Evaluación final	
	Evaluación general (25días).	Caso de investigación.	Evaluación general (25días).	Caso de investigación.
Disponibilidad del sistema (Ds)	85,07%	99,46%	93,25%	99,50%
Productividad laboral del sistema	22,27 Kg/h	22,48 Kg/h	26,4 Kg/h	23,76 Kg/h

Fuente: Autor

Se puede observar que en el sistema en serie #3, si bien existe un incremento de la disponibilidad operacional de cada etapa, en su disponibilidad del sistema no tiene mayor incremento, esto se debe a que dentro de su sistema, dos de sus etapas poseen o simulan tener etapas en paralelo pasivo, demostrando así que no todas las situaciones dentro de un sistema en serie son oportunidades de mejora, gracias al diagrama de bloques. Sin embargo el sistema por más pequeño que parezca el incremento en la disponibilidad también se registra un incremento en su productividad validando la hipótesis planteada para esta investigación.

4.8.4 Evaluación de la hipótesis en el sistema en serie #4.

Tabla 35. Incremento de la disponibilidad operacional, etapas del sistema en serie #4.

Sistema en serie #4	Evaluación inicial		Evaluación final	
	Evaluación general (20días)	Caso de investigación	Evaluación general (20días)	Caso de investigación
Disponibilidad operacional (Do), trefilado (WD-3).	0,993055556	0,985074627	1	1
Disponibilidad operacional (Do), preformado (H-10).	0,880208333	0,835820896	0,944827586	0,905660377
Disponibilidad operacional (Do), recorte (CT-8L)	0,986111111	0,970149254	0,986206897	0,962264151
Disponibilidad operacional (Do), roscado (DPR-12)	0,989583333	0,97761194	1	1

Fuente: Autor

Tabla 36. Validación de la hipótesis. Sistema en serie #4.

Sistema en serie #4	Evaluación inicial		Evaluación final	
	Evaluación general (20días).	Caso de investigación.	Evaluación general (20días).	Caso de investigación.
Disponibilidad del sistema (Ds)	84,88%	78,35%	93,10%	86,78%
Productividad laboral del sistema	28,59 Kg/h	28,03 Kg/h	42,04 Kg/h	39,42 Kg/h

Fuente: Autor

Al igual que en el sistema #1, #2, y #3, es muy notorio el incremento de la productividad en el sistema #4, a partir de la mejora de la disponibilidad en el mismo.

En todas las tablas anteriores se puede observar y evidenciar un incremento en la disponibilidad y en la productividad, sin embargo se debe estipular la relación de incremento que tienen estos dos indicadores es decir cuánto se incrementa la productividad por cada punto o cada 1% que lo hace la disponibilidad, lo cual estipularemos en la siguiente tabla. Es necesario mencionar que la productividad y disponibilidad presentes en la tabla pertenecen a los diferentes casos de investigación de los productos específicos de cada sistema, es decir no se tomó en cuenta los valores de

los 20 días de evaluación general, ya que dentro de dicho tiempo se fabricaron varios productos y la interpretación del incremento de los dos indicadores puede ser erróneo.

Tabla 37. Relación de incrementos entre disponibilidad y productividad, casos de investigación

Evaluación de la hipótesis	Incremento en la disponibilidad del sistema	Incremento en la productividad	Relación de incremento por cada 1% en la disponibilidad
Sistema #1	24,37 %	5,5 Kg/h	0,226 Kg/h
Sistema #2	23,24 %	20,52 Kg/h	0,883 Kg/h
Sistema #3	0,04 %	1,28 Kg/h	32 Kg/h
Sistema #4	8,43 %	11,39 Kg/h	1,351 Kg/h

Fuente: Autor

Se puede observar que las relaciones de incremento de los indicadores para cada sistema son diferentes esto se da por la diferencia en las velocidades de producción que poseen cada máquina dentro de cada sistema, cabe recalcar que la relación de incremento es por cada hora de producción y por más pequeña que parezca esta es una gran aportación la realización de esta investigación dentro de la organización.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Mediante el análisis de disponibilidad, se puede denotar de mejor manera las oportunidades de mejora que existan dentro de un proceso productivo, en este trabajo de investigación las mayores oportunidades de mejora en todos los sistemas se dan en la etapa del preformado, se observó que al aumentar la disponibilidad operacional de esta etapa aumenta la disponibilidad del sistema y consecuentemente la productividad de la misma.

Es de vital importancia visualizar correctamente mediante un diagrama de bloques a los sistemas productivos, este diagrama debe estar bien estructurado siendo el resultado del análisis del contexto operacional que posea cada sistema, en la investigación los cuatro sistemas tienen en el trefilado una etapa en paralelo pasivo, físicamente solo se tienen etapas en serie pero en realidad con el diagrama de bloques observamos que el comportamiento no es el mismo, siendo un caso igual la etapa de preformado/recorte en el sistema #3.

Las condiciones que más afectan a la disponibilidad de las etapas en los sistemas productivos son las de operación y mantenimiento, la falta de capacitación y conocimientos de acerca de ingeniería en mantenimiento hacen que sus rutinas de calibración y de reparación sean poco efectivas, teniendo problemas repetitivos en los cuatro sistemas.

Los cuatro sistemas en serie para la fabricación de pernos dentro de Galo G. Orbea O. Cía. Ltda. tienen una tolerancia a la indisponibilidad en la etapa del trefilado, solo el sistema #3 también tiene dicha tolerancia en la etapa de preformado/recorte, esto se da a que la velocidad de su tercera y última etapa tenga una velocidad demasiado baja con respecto a las dos que la secunden.

El resultado de la correcta aplicación de estrategias de mantenimiento es el incremento

de la disponibilidad operacional en todas las etapas de los sistemas, aumentando así también a la disponibilidad de todo el sistema.

El incremento de la productividad de un sistema productivo si está ligado al incremento o decremento de la disponibilidad, siendo los dos indicadores directamente proporcionales, es decir si la disponibilidad del sistema aumenta pues automáticamente su productividad también lo hará.

5.2 Recomendaciones

La metodología de análisis de disponibilidad debe ser difundida y socializada dentro de las empresas ecuatorianas resulta ser una muy buena herramienta para la identificación de oportunidades de mejora.

Realizar nuevas investigaciones con sistemas diferentes al mostrado en este trabajo, para considerar la mejora de la disponibilidad como una meta dentro de la gestión operacional y de mantenimiento.

Para la correcta elaboración de un diagrama de bloques no se debe tomar en cuenta la ubicación física de las maquinas o equipos dentro de un sistema, se lo debe elaborar mediante el análisis de su contexto operacional.

En el sistema #3, la máquina perteneciente a la etapa del roscado tiene una velocidad demasiado baja con relación a las dos etapas que la preceden, se recomienda la adquisición de otra laminadora de mayor velocidad nominal de producción ya que esta etapa hace que los problemas que sufre el sistema no se hagan evidentes.

Las capacitaciones dentro de la empresa deben ser constantes, en especial las capacitaciones en el área técnica y de mantenimiento, se recomienda al área de talento humano coordinar con el jefe de producción coordinar este tipo de actividades por lo menos una vez al mes.

BIBLIOGRAFÍA

UNE-EN13306. *Mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Parte 2: Términos Fundamentales.*

IEC-61703. *Expresiones matemáticas para los términos de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y de logística de mantenimiento. Parte 2: Características y diseño de las máquinas, aparatos y equipos.*

ISO-55000. *Gestión de Activos (información general, principios y terminología) Parte 1: Terminología fundamental.*

UNE-EN-16646. *Mantenimiento. Mantenimiento en la gestión de los activos físicos. Parte 3: Términos, definición y abreviaturas.*

COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) . *Mantenimiento definiciones.* Venezuela-Caracas: Fondonorma, 1993, pp. 97-99.

CREAU, Antony. *Instrumentación Industrial.* 8^{va} Ed. México-Guatemala: Alfaomega Grupo Editor, 2010. pp. 792-795.

MOUBRAY, Jhon. *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.* Londres-Gran Bretaña: Biddles Ltd, 1996, pp. 67-69.

HERNÁNDEZ, Eduardo. MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE SISTEMAS EN SERIE Y PARALELO EN FUNCIÓN DE LAS CONSECUENCIAS OPERACIONALES PARTICULARES DE LA INDISPONIBILIDAD INDIVIDUAL DE CADA ETAPA.(tesis).(Maestría) ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 11-62.

HERNÁNDEZ, S. *Metodología de la investigación.* México-Guatemala: McGraw-Hill, 2010, pp. 43-49.

LLANES, Alaberto. *Mantenimiento planificado.* México-Guatemala: Hall, 2001, pp 72.

GARCÍA, Santiago. *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial.* Madrid-España: Renovetec, 2013, pp. 231-301.

MONCHY, Fray. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial.* Barcelona-España: Masson, 1990, pp. 223-231.

DUFFUAA, Salih. *Sistemas de mantenimiento, planeación y control.* México-Guatemala: Limusa Wiley, 2000, pp. 23-89.

RAUSAND, Marvin. *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications.* New Jersey-EEUU: Wiley. 2004, pp. 98-203.

GONZÁLEZ, Fernández Francisco Javier. *Teoría y Práctica de Mantenimiento Industrial Avanzado.* España-Madrid: Fundación Confemetal, 2005, pp 112-123.

GOLDRATT, Eliyahu. *La Meta.* Estados Unidos: North River Press, 2004, pp. 2-204.

JUAREZ, Henry. 2007. *Análisis de criticidad.* México-D.F.: Limusa, 2007, pp 89-302.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA (SINIEG). *Cálculo de los índices de productividad laboral y del costo unitario de la mano de obra del año 2015.* [En línea].México,2015.[Consulta:05_de_noviembre_de_2015.].Disponble_en:_http://www.stps.gob.mx/gobmx/estadisticas/productividad/metodologia2015.pdf

Pham, Huyên. *Handbook of Reliability Engineering*. USA: Editorial Springer-Verlag London Limited. 2003, pp. 660-666

CCM_BENCHMARK_GROUP. *Alta disponibilidad.* [En línea]. Tunez, 2017. [Consulta: 05 de enero de 2017.]. Disponible en: http://es.ccm.net/contents/634_alta_disponibilidad

SALAZAR, Bryan. *Metodología de las 5S.* [En línea]. México, 2015. [Consulta: 05 de julio de 2015.]. Disponible en: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gestion-y-control-de-calidad/metodologia-de-las-5s/>

