



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA
Y DISEÑO**

UNIDAD ENSENADA

**ANÁLISIS DE PROCESOS DE MANTENIMIENTO EN
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

PRESENTADO POR:

RENE ARMANDO GODINEZ ENRIQUEZ

ENSENADA B. C. NOVIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

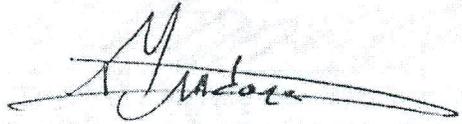
**“ANÁLISIS DE PROCESOS DE MANTENIMIENTO EN
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ”**

TESIS

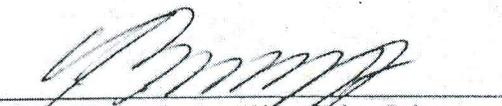
Para obtener el grado de INGENIERO INDUSTRIAL que presenta:

RENE ARMANDO GODINEZ ENRIQUEZ

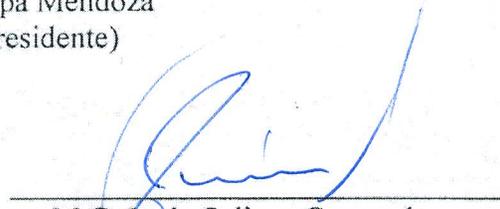
Aprobada por el siguiente comité:



Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza
Director de tesis (Presidente)



Dra. Yolanda Angélica Báez López
Miembro del comité (Vocal)



M.C. Jesús Salinas Coronado
Miembro del comité (Vocal)



Dr. Jorge Limón Romero
Miembro del comité (Vocal)



M.I. Guillermo Amaya Parra
Miembro del comité (Secretario)

Ensenada Baja California, México. Diciembre de 2014.

INDICE

Contenido

INTRODUCCIÓN	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	6
HIPÓTESIS.....	6
DELIMITACIONES.....	7
MATERIALES Y METODO	8
METODO MTBF	¡Error! Marcador no definido.
METODO DE MEDICIÓN DE MANTENIBILIDAD	8
MARCO TEORICO.....	10
DESARROLLO	12
FORMATOS.....	¡Error! Marcador no definido.
FORMATO 1.- ORDEN DE MANTENIMIENTO DE COSTURA.....	12
FORMATO 2.- REPORTE DE MANTENIMIENTO LASER.....	12
DATOS OBTENIDOS DE LAS ORDENES DE MANTENIMIENTO DE COSTURA.....	13
ANÁLISIS DE DATOS.-.....	15
LIMITACIONES DEL PROYECTO.-.....	16
APLICACIÓN DEL METODO MTBF.-.....	17
RESULTADOS DEL METODO MTBF	18
DATOS OBTENIDOS DE LOS REPORTES DE MANTENIMIENTO LASER	18
RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE MANTENIBILIDAD	20
CONCLUSION	24
RECOMENDACIÓN.....	24
REFERENCIAS.....	25

I. INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto fue desarrollado en una empresa internacional perteneciente a un corporativo que cuenta con ocho empresas en siete países diferentes, todas ellas con un giro automotriz. La empresa tiene como objetivo salvar vidas a los usuarios finales ya que ésta se dedica a la manufactura de bolsas de aire de seguridad para automóviles, cabe mencionar que la empresa no trabaja directamente con los fabricantes de autos ya que ahí solamente es manufacturado el producto dejando lista la bolsa para ser ensamblada al dispositivo de expulsión actividad que es realizada por los clientes de esta industria.

Este producto se encuentra en automóviles de marcas reconocidas mundialmente por lo que la empresa opera bajo requerimientos, normas y estándares de calidad muy altos debido a lo crítico del producto. Existen diferentes aspectos que influyen en la calidad de este producto como la habilidad del recurso humano para realizar las operaciones, la condición de la tela, la manera en que se cortó el material, el estado de las máquinas de costura, etc. En este caso en particular hablaremos del mantenimiento ya que juega un papel muy importante en el proceso de este sistema.

El departamento de mantenimiento es un área muy importante ya que esta tiene como objetivo satisfacer las necesidades de producción manteniendo los equipos y maquinaria en las mejores condiciones de funcionamiento y esto resulta ser una tarea nada fácil, se requiere de una gran planeación y una muy buena administración de recursos para lograr cumplir con el objetivo.

En producción actualmente existen muchos tiempos muertos que son provocados por fallas en la maquinaria, equipo de corte, costura, fallas muy frecuentes y repetitivas que pueden ser provocadas por mantenimientos preventivos inefectivos, mala capacitación a los técnicos, maquinaria y equipo desgastado, mantenimientos correctivos desatinados, etc. En este sentido, el proyecto se enfocó específicamente en dos áreas del mantenimiento de la empresa, máquinas de costura y equipo de corte laser, donde se analiza el estado actual de la maquinaria y equipo, así como los tiempos muertos que se generan, incluyendo fallas o problemas más frecuentes o que provocan más tiempo inactivo de los equipos, una vez analizado esto se obtendrá un punto de partida para reducir los tiempos muertos de la maquinaria de costura y aumentar la mantenibilidad de nuestros equipos de corte láser.

Se utilizaron dos herramientas para la medición de estas variables. Para la medición del tiempo muerto de las máquinas de costura se utilizó el índice Tiempo Promedio Entre Falla (Mean Time Between Fail MTBF) con la cual se buscó encontrar los tiempos promedios que existen de una falla presente a una falla futura, para así proponer mantenimientos predictivos en las máquinas de costura basándonos en una función de

confiabilidad. Esto no solo ayuda a la reducción de los mantenimientos correctivos y disminución de tiempos muertos, también aumenta la calidad del producto ya que si tenemos funcionando nuestras máquinas en su máximo desempeño realizan mejor las costuras en las bolsas de seguridad de los automóviles.

Para el análisis en los equipos de corte láser, nos basamos en la medición de la mantenibilidad de los equipos la cual nos servirá según Dhillon (1999), para contar con información confiable la cual tiene como fin, reducir los tiempos muertos de producción y por consecuente incrementar la disponibilidad del equipo, la restauración eficaz de las condiciones normales de funcionamiento del equipo al presentarse una falla y la maximización de la disponibilidad operacional mediante la eliminación de fallas causadas por la edad y desgaste del equipo.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente no se cuenta con un análisis previo que muestre cuales son los problemas que están causando más inactividad en las máquinas de costura y tampoco existen datos que reflejen el grado de mantenibilidad de los equipos de corte láser. Por lo que no se pueden proponer mejoras con fundamentos confiables en los procesos de mantenimiento de las máquinas y se desconoce la capacidad de reacción del departamento de mantenimiento para reparar los equipos de corte láser.

III. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Identificar las causas que tienen un impacto negativo en las máquinas y equipos de producción y láser para obtener información confiable de la situación actual del área de mantenimiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las máquinas que presentan más problemas.
- Encontrar el MTBF de las máquinas más problemáticas.
- Determinar la periodicidad de los mantenimientos predictivos de las máquinas más problemáticas.
- Determinar la cantidad de fallas de dos equipos de corte láser.
- Identificar las fallas más frecuentes en los equipos láser.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿El MTBF y la medición de mantenebilidad son los métodos adecuados para realizar el análisis?

¿Estos métodos ayudarán a encontrar las áreas de oportunidad en los sistemas de mantenimiento?

¿Es factible proponer mejoras en base a los resultados arrojados por los análisis?

HIPÓTESIS

H₀= Una vez obtenidos los resultados se tendrá las bases con información confiable para proponer mejoras en las áreas de oportunidad analizadas.

H₁= Los resultados obtenidos no proporcionan información suficiente para realizar mejoras en las áreas de oportunidad analizadas.

DELIMITACIONES

Para el análisis MTBF de las máquinas de costura se tomó aleatoriamente una celda de producción que cuenta con quince máquinas de costura como se muestra en la figura 1.

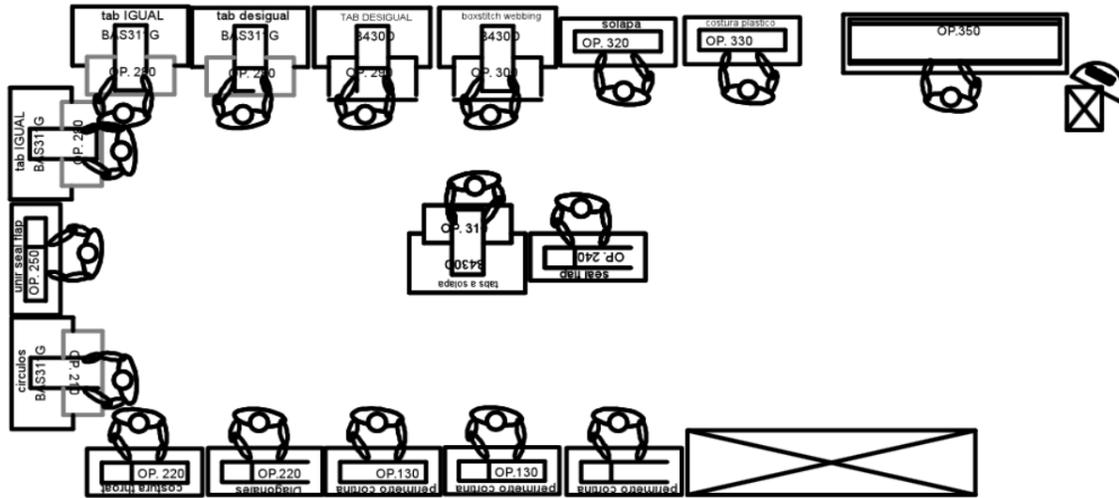


Figura 1. Celda de producción analizada.

Para la medición de la mantenibilidad se analizaron dos equipos de corte laser (ver figura 2 y 3), en estos equipos los cuales llevan como nombre LASER'S Y LACENT respectivamente comienza el proceso del producto en donde la tela es cortada en medidas diferentes específicas de cada modelo de automóvil.

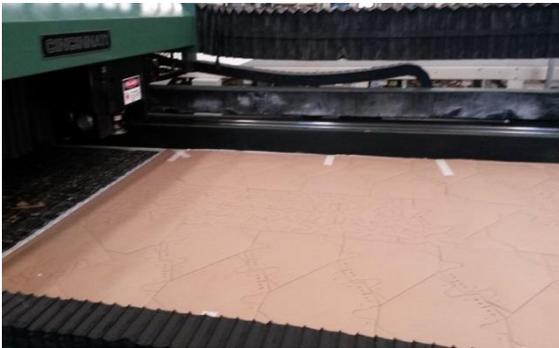


Figura 2. Laser's



Figura 3. Lacent

IV. MATERIALES Y MÉTODO

El método que se utiliza para la realización del proyecto que nos brinda la fiabilidad de un producto es el MTBF, como lo define Acuña (2003) es el tiempo medio transcurrido entre fallas sucesivas de un producto reparable. Sea que existe un periodo en el cual el producto o pieza fallada es reparada, seguiremos los siguientes pasos:

Confiabilidad.- La cual nos indica la capacidad que tiene un producto de desempeñarse tal y como se espera durante su tiempo de vida.

$$\text{Confiabilidad} = \frac{\text{Cantidad de minutos sin fallas}}{\text{Minutos probados}} \quad (1)$$

Lo que nos indica es el porcentaje del tiempo analizado que la máquina tuvo un buen desempeño.

El MTBF.- Tiempo medio entre fallas.

$$MTBF = \frac{\text{Horas totales de operación de la unidad}}{\text{Cantidad de fallas}} \quad (2)$$

Lo que nos indica es el promedio que existe entre una falla y otra de la misma máquina.

La función de confiabilidad.- Que representa la probabilidad de que un elemento no fallaría en T unidades de tiempo.

$$R(T) = e^{-\text{tiempo de no falla}/MTBF} \quad (3)$$

El resultado indica la probabilidad de no falla de las máquinas de costura, dependiendo del tiempo de no falla utilizado.

Método de medición de mantenibilidad

El método indicado por Knezevic (1993) se utilizará para la realización del proyecto es la medición de la mantenibilidad que puede ser estimada con ayuda de la expresión:

$$M(t) = 1 - e^{(-\mu \cdot t)} \quad (4)$$

Dónde:

$M(t)$ es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo $t = 0$ y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo t (probabilidad de duración de la reparación).

e : constante Neperiana ($e = 2.718 \dots$)

μ : Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

t : tiempo previsto de reparación TMPR

Para obtener la tasa de reparaciones efectuadas con la relación al total de horas de reparación del equipo (μ):

$$\mu = 1 / MTTR = n \text{ operaciones/hora} \quad (5)$$

Por lo que se requiere encontrar el MTTR para poder aplicar la ecuación (5), mediante la ecuación:

$$MTTR = \frac{\sum f_i \cdot t_i}{\sum f_i} \quad (6)$$

$$MTTR = \sum f_i \cdot t_i \text{ (tiempos acumulados)} / \sum f_i \text{ (Frecuencias acumuladas)}$$

V. MARCO TEÓRICO

El mantenimiento es parte esencial del objeto de estudio, la función de mantenimiento depende del ciclo de vida de las máquinas en sus tres etapas: mantenimiento, reparación y sustitución (Ávila, 1992) y dependiendo el tipo de industria sobre 15-70% de los costos de producción se atribuyen al mantenimiento (Bevilacqua, 2000), por lo que es de vital importancia mantener en buen estado la maquinaria y equipo de producción.

Es tal la importancia del mantenimiento que se decidió hacer un análisis con el MTBF y medir la mantenibilidad de la maquinaria y equipo. El MTBF usa una media aritmética, esto ha llevado a algunos a interpretar MTBF como el tiempo (en promedio) cuando la mitad de los artículos fallarán. Que podría ser el caso si el fallo se produce a un ritmo constante durante toda la vida de un elemento, y de hecho MTBF hace sólo esta suposición, aunque es raramente el caso en el mundo real (Kay, 2005).

La mantenibilidad que fue el otro método utilizado se define como el conjunto de factores o elementos que se disponen para realizar el mantenimiento de un sistema, la mantenibilidad está relacionada con la fiabilidad; entre más difícil sea realizar un mantenimiento, será más probable que aparezcan nuevas fallas y la fiabilidad disminuya (Creus, 2005). Otra definición de la (ISO/DIS 14224) la capacidad (o probabilidad si hablamos en términos estadísticos), bajo condiciones dadas, que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados.

Para poder obtener la mantenibilidad de los equipos es necesario obtener el tiempo medio de reparación conocido como "MTTR" por sus siglas en inglés, definido por (AMCP, 1976) como el tiempo transcurrido necesario para realizar una actividad de mantenimiento dado y se utiliza posteriormente para calcular la disponibilidad del sistema y el tiempo de inactividad.

Estos análisis se hacen con el fin de contar con información confiable que es necesaria para poder tomar decisiones como lo es en el caso de las máquinas de costura para los mantenimientos predictivos definidos por (Levitt, 2003) como cualquier inspección realizada con herramientas de tecnología de altura que utilizan tecnología avanzada para detectar cuando se producen fallos, estas herramientas pueden aumentar sus rendimientos y le dará más tiempo para intervenir antes de la falla.

El proponer mantenimiento en base a cierta información obtenida, es una técnica llamada mantenimiento basado en la condición o CBM (Condition Based Maintenance) que es una estrategia de mantenimiento que recomienda acciones de mantenimiento en función de la información recopilada a través de monitoreo de condiciones para una mejor predicción residual la vida de los equipos, evitando el mantenimiento preventivo innecesaria, y la mejora de la fiabilidad de los equipos (Mobley, 1989).

De modo que con el análisis realizado conoceríamos y nos basaríamos en tomar decisiones en base a la fiabilidad obtenida. La fiabilidad o confiabilidad es la estabilidad o consistencia de los resultados o interpretaciones (Salkind, 2006).

VI. DESARROLLO

Para poder realizar este análisis se recopilaron datos que muestran el comportamiento y el estado actual de la maquinaria de la celda y de los equipos láser elegidos. Estos datos fueron recopilados de los formatos en donde se registran todos los acontecimientos que impliquen realizar un mantenimiento correctivo y como consecuencia provoquen un tiempo muerto. Ya que estamos hablando de dos tipos de maquinaria distintos, se recopiló información de dos tipos de formatos, el primer formato es una orden de mantenimiento de costura y como su nombre lo dice se utiliza solo para registrar los acontecimientos presentados en celdas de producción de costura y el segundo formato es un reporte de mantenimiento láser en el cual se registran todos los paros provocados por fallas en los equipos de corte láser.

Formato 1. Orden de mantenimiento de costura

Estas órdenes se recopilaron en un tiempo de diez meses para tener los suficientes datos para realizar un análisis confiable. Las órdenes se encuentran ubicadas en las entradas de las celdas de producción y son llenadas por el técnico y el líder de celda de tal forma que la información es validada por la persona que realizó el mantenimiento y la persona que recibió el mantenimiento en sus máquinas a cargo. Al respecto, es importante llenar de manera correcta las órdenes ya que cualquier problema con producción, existe la orden que valida el tiempo muerto y lo que lo ocasionó, así como el mecánico responsable del mantenimiento correctivo. Los datos que serán recolectados del formato y que brindan la información necesaria para realizar el análisis son los siguientes:

- | | |
|-----------------|-----------------------------|
| 1. Fecha. | 5. Tiempo muerto |
| 2. No. Máquina | 6. Descripción del problema |
| 3. Operación | 7. Hora de atención |
| 4. Hora de paro | 8. Hora de reinicio |

Formato 2. Reporte de mantenimiento láser

Se analizaron los reportes de mantenimientos correctivos a partir de julio del 2013 a diciembre de 2014 los reportes se concentraron en una hoja del programa Excel en donde se recopilaron los siguientes datos:

- Máquina
- Tipo de falla
- Duración de la falla
- Frecuencia de falla

Una vez recopilados los datos se separó por medio de filtros las máquinas a analizar para promediar los tiempos muertos por falla y su frecuencia.

Datos obtenidos de las órdenes de mantenimiento de costura

Se concentró los datos en la tabla 1, en donde se muestran los 49 mantenimientos correctivos que existieron en la celda de producción dentro de la fecha definida de la recolección de datos.

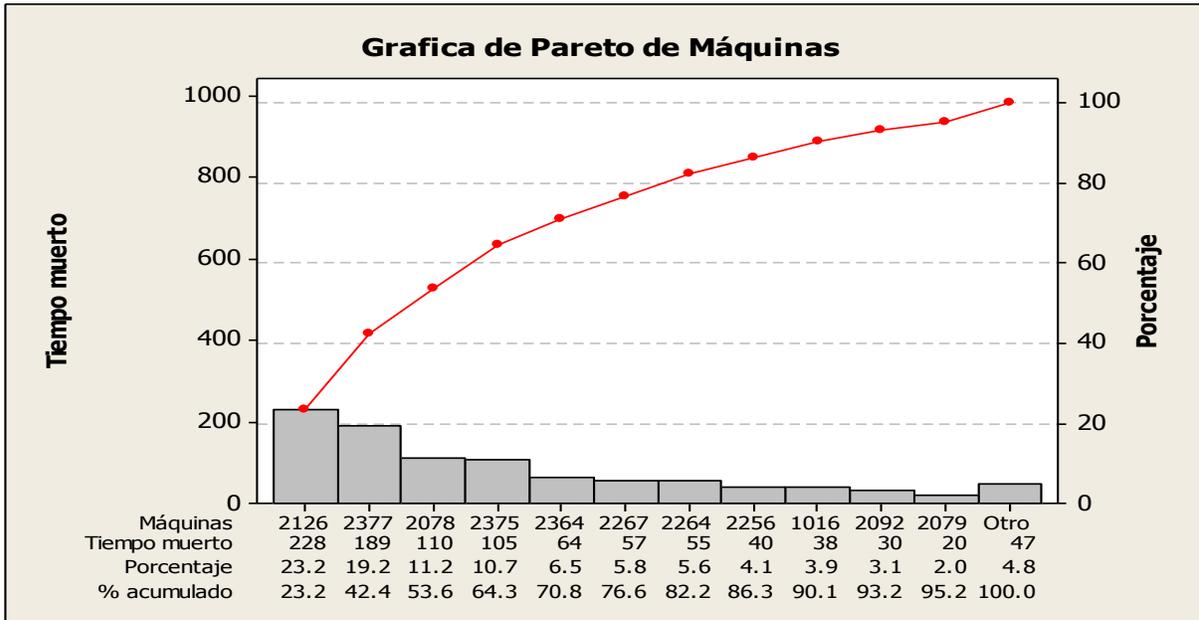
Tabla 1. Concentrado de mantenimientos correctivos

FECHA M/D/A	# MÁQUINA	NO. OP	MODELO MÁQUINA	# SERIE	HOR A PARO	HORA DE ATENCIÓN	HORA DE REINICIO	TIEMPO MUERTO	FALLA
2/10/2013	2078	260	BROTHER 311	H1986418	8:01	8:01	8:09	8	hilo corto
2/25/2013	2078	260	BROTHER 311	H1986418	7:20	7:20	7:45	25	cambio herramental
3/5/2013	2212	350	JUKI 9010	2D3EJ00237	7:07	7:07	7:45	38	puntada larga
3/21/2013	2078	260	BROTHER 311	H1986418	8:13	8:13	8:22	9	No tiene neopreno
3/28/2013	2079	270	BROTHER 311	H1986416	10:40	10:48	11:09	29	hilo adelgazado
6/3/2013	2078	260	BROTHER 311	H1986418	7:30	7:32	7:38	8	Defecto de puntada
7/8/2013	2375	250	BROTHER 311	C3Z40788	8:25	8:25	10:37	132	Bota el hilo
7/12/2013	1016	290	BROTHER 430	M6204088	7:43	7:45	8:42	59	hilo enredado
7/17/2013	2375	250	BROTHER 311	C3Z40788	8:28	8:29	8:50	22	atorón
7/23/2013	1016	290	BROTHER 430	M6204088	8:36	8:36	8:41	5	hilo adelgazado
7/26/2013	2264	240	JUKI 9010	2D3FD00025	7:50	7:52	7:55	5	hilo adelgazado
7/29/2013	2377	220	BROTHER 311	C3Z40791	7:35	7:45	8:07	32	hilo adelgazado
7/31/2013	2079	270	BROTHER 311	H1986416	7:14	7:20	7:42	28	puntada fuera de tolerancia
8/2/2013	2126	320	BROTHER 430	F1Z28442	7:40	7:40	8:04	24	no corta el hilo
8/2/2013	2126	320	BROTHER 430	F1Z28442	9:01	9:01	9:12	11	puntada floja
8/5/2013	2264	240	JUKI 9010	2D3FD00025	7:10	7:10	7:15	5	fallas en el pedal
8/5/2013	2377	220	BROTHER 311	C3Z40791	7:10	7:20	7:29	19	hilo adelgazado
8/6/2013	2375	250	BROTHER 311	C3Z40788	7:10	7:16	7:27	17	revienta el hilo
8/7/2013	2092	130	JUKI 9010	2D3EJ00148	8:10	8:10	8:16	6	falla operativa
8/7/2013	2256	130	JUKI 9010	2D3FC00127	10:56	10:57	11:04	8	revienta el hilo
8/9/2013	2092	130	JUKI 9010	2D3EJ00148	7:25	7:27	7:36	11	atorón
9/5/2013	2364	140	JUKI 9010	2D3GA00586	9:03	9:03	9:27	24	hilo adelgazado
9/17/2013	2375	250	BROTHER 311	C3Z40788	8:05	8:07	8:23	18	No tiene neopreno
9/19/2013	2126	320	BROTHER 430	F1Z28442	8:16	8:17	8:25	9	hilo adelgazado

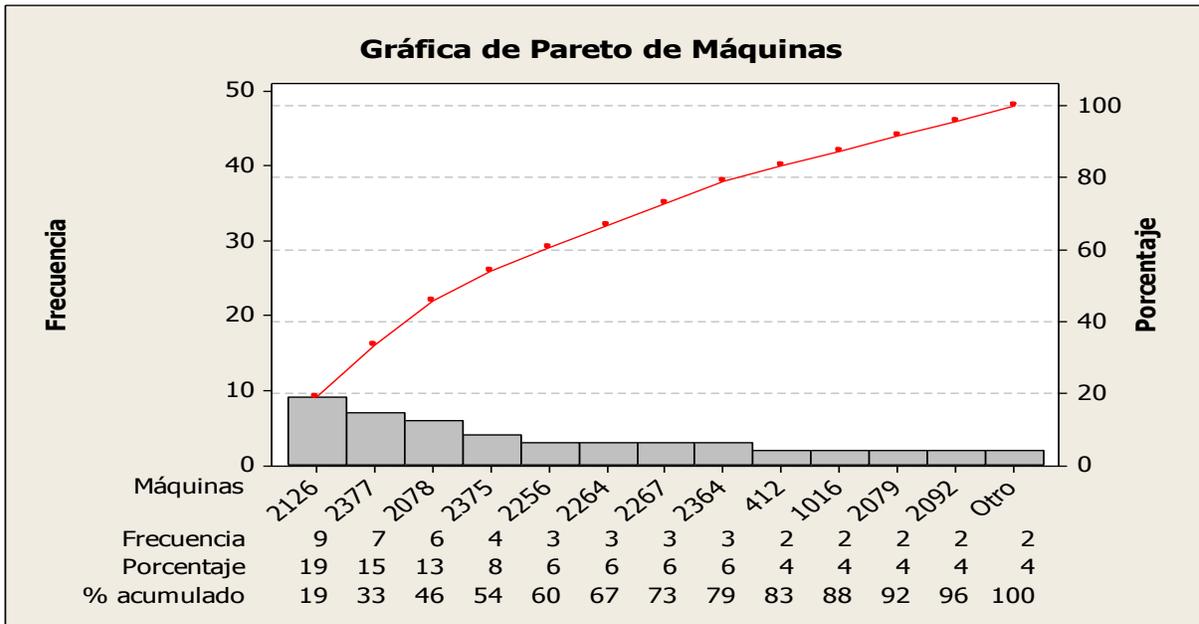
9/19/2013	2126	320	BROTHER 430	F1Z28442	8:45	8:45	9:00	15	puntada larga
9/23/2013	2078	360	BROTHER 311	H1986418	7:40	7:55	8:30	50	hilo enredado
9/23/2013	2126	320	BROTHER 430	F1Z28442	7:20	7:25	8:48	88	hilo adelgazado
9/25/2013	412	310	BROTHER 430	H6Z79717	10:53	10:54	10:58	5	no corta el hilo
9/25/2013	2126	320	BROTHER 430	F1Z28442	10:58	10:59	11:01	3	Herramental descentrado
9/25/2013	2364	140	JUKI 9010	2D3GA00586	8:30	8:30	8:35	5	Manguera suelta
9/27/2013	2126	320	BROTHER 430	F1Z28442	8:00	8:01	9:00	60	hilo adelgazado
9/27/2013	2256	130	JUKI 9010	2D3FC00127	7:13	7:13	7:14	1	revienta el hilo
9/27/2013	2377	220	BROTHER 311	C3Z40791	7:42	7:42	7:58	16	hilo adelgazado
9/30/2013	2264	240	JUKI 9010	2D3FD00025	7:45	7:45	7:55	10	hilo adelgazado
10/2/2013	2377	220	BROTHER 311	C3Z40791	10:45	10:45	11:10	25	hilo adelgazado
10/2/2013	2377	220	BROTHER 311	C3Z40791	8:35	8:35	8:38	3	hilo adelgazado
10/4/2013	2267	130/135	JUKI 9010	2D3ED00073	8:35	8:36	8:55	20	hace bolas el hilo
10/4/2013	2267	130/135	JUKI 9010	2D3ED00073	7:50	7:50	8:03	13	hace bolas el hilo
10/14/2013	2126	320	BROTHER 430	F1Z28442	11:55	11:56	12:01	6	no corta el hilo
10/14/2013	2377	220	BROTHER 311	C3Z40791	10:43	10:43	10:48	5	hilo adelgazado
10/14/2013	2377	220	BROTHER 311	C3Z40791	10:52	10:56	11:02	10	hilo adelgazado
10/15/2013	2078	260	BROTHER 311	H1986418	8:34	8:34	8:39	5	hilo enredado
10/15/2013	2126	320	BROTHER 430	F1Z28442	7:07	7:07	7:19	12	Marca error
10/15/2013	2256	130/135	JUKI 9010	2D3FC00127	8:06	8:08	8:13	7	puntada floja
10/22/2013	412	310	BROTHER 430	H6Z79717	8:09	8:12	8:18	9	No inicia la costura
10/22/2013	2267	130/135	JUKI 9010	2D3ED00073	11:15	11:16	11:22	7	Atorón
10/28/2013	2244	220/230	BROTHER 311	H8986822	7:20	7:20	7:50	30	Faltan puntadas
11/1/2013	2364	140	JUKI 9010	2D3GA00586	7:20	7:21	7:46	26	Saca pelusa

ANALISIS DE DATOS.

Apoyándonos en las herramientas de Pareto se realizaron las gráficas correspondientes, observando en la gráfica 1 las máquinas que acumulan mayor tiempo muerto, en donde destacan las primeras 4 máquinas que abarcan el 64.3% del total del tiempo muerto de las fallas.



Gráfica 1. Pareto de las máquinas que acumulan mayor tiempo muerto.



Gráfica 2. Pareto de las máquinas que fallan con más frecuencia.

Como se observa en la gráfica 2 nos muestra las máquinas que fallan con más frecuencia, en donde destacan las primeras 4 máquinas se encuentra el 54% acumulado del total de las fallas de la celda de producción. Observando las dos gráficas de Pareto podemos ver que las máquinas 2126, 2377, 2078 y 2375 (Ver Figura 4) son las primeras 4 máquinas que aparecen en nuestros dos gráficos acumulando el mayor porcentaje del tiempo muerto y las que fallan frecuentemente en la celda. Por lo que aplicaremos el método de MTBF a estas máquinas.

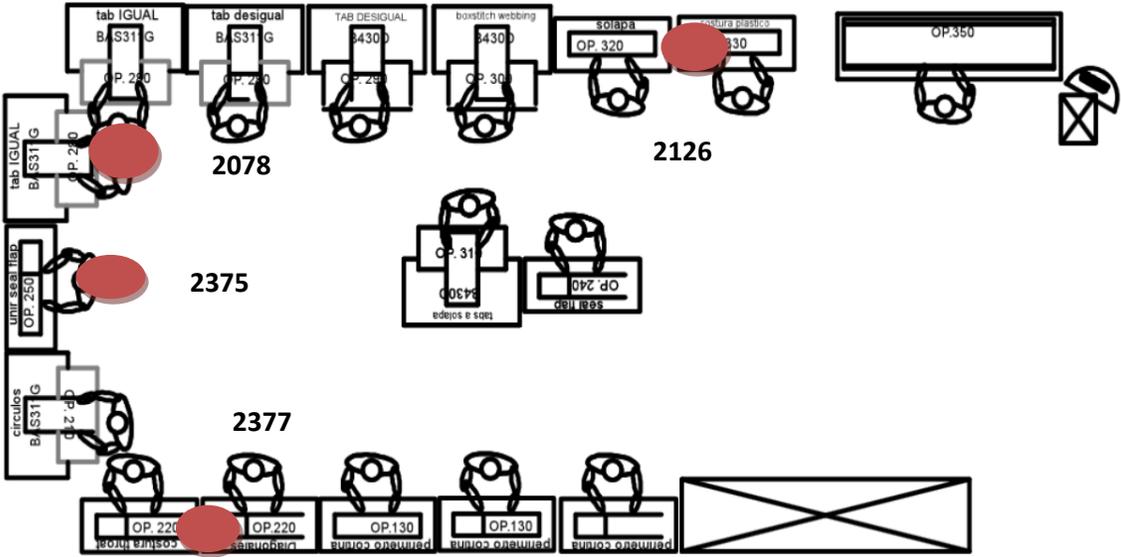


Figura 4. Layout Celda 59 Máquinas identificadas.

Limitaciones del proyecto.

Los MTBF de las máquinas se obtuvieron tomando en cuenta el tiempo desde la primera falla de la cual se tiene registro hasta el término del análisis de la celda, por eso los tiempos de prueba varían en las máquinas como se muestra en la tabla 2 en la columna de minutos a prueba.

Tabla 2. Concentrado de datos de las 4 máquinas de costura.

Máquina	Minutos a prueba	Minutos sin falla	Cantidad de fallas	Tiempo propuesto de no falla.
2126	19760	19532	9	1500 min
2377	20965	20855	7	1500 min
2078	56939	56834	6	1500 min
2375	25415	25226	4	1500 min

Aplicación del método MTBF.

- Confiabilidad

Ejemplo máquina 1 (2126) usando formula 1:

$$\text{Confiabilidad} = \frac{\text{cantidad de min sin fallas}}{\text{Minutos probados}} = \frac{19532}{19760} = 98.85\%$$

Lo que nos indica que el 98.85% del tiempo analizado la máquina tuvo un desempeño normal.

- El MTBF

Ejemplo máquina 1 (2126) usando fórmula 2:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Horas totales de operación de la unidad}}{\text{Cantidad de fallas}} = \frac{19760}{9} = 2195.55 \text{ min}$$

Lo que nos indica que en promedio cada 2195.5 min o 36.59 h falla la máquina 2126.

- Función de confiabilidad usando formula 3:

Ejemplo máquina 1 (2126):

$$R(T) = e^{-\text{Tiempo de no falla} / \text{MTBF}} = e^{-1500 / 2195.55} = 0.5050 \text{ ---- } 50.50\%$$

Es decir que tenemos una probabilidad del 50.50% que la máquina 1 no falle en 1500h (1 semana).

VII. RESULTADOS

Resultados del método MTBF

Con la obtención de los resultados (Ver tabla 3), basados en una función de confiabilidad de un tiempo de no falla de 1 semana ya que así se determinó debido a que es infactible realizar mantenimientos menores a 1 semana en la mencionada industria. Podemos decir de acuerdo a los resultados arrojados por el MTBF que las máquinas analizadas requieren mantenimientos predictivos semanales para mejorar su desempeño.

Tabla 3. Resultados de las 4 máquinas de costura.

Máquina	Confiabilidad	MTBF (min)	Función de confiabilidad (1 semanal = 1500h)
2126	98.85%	2195.55	50.49%
2377	99.48%	2995	60.60%
2078	99.82%	9489.83	85.37%
2375	99.26%	6353.75	78.97%

Por lo que se proponen programar mantenimientos predictivos semanales y analizar el comportamiento de respuesta de las máquinas.

Datos obtenidos de los reportes de mantenimiento láser

Máquina Láser`s.- Recopilación de datos de las fallas de la máquina con su tiempo muerto promedio y la frecuencia de falla (ver tabla4).

Tabla 4. Datos de la máquina Láser's para obtener el MTTR en un periodo de seis meses.

LASER'S						
Mean Time To Repair MTRR en un periodo de seis meses						
No.	Operaciones de Mantenimiento	Duración en horas	Frecuencia No. Veces	Tiempos acumulados	% Frecuencia	Percentil Frec. Acumulada
1	Se desprendió braket de oruga	0.08	1	0.08	1.61	1.61
2	Salio alarma de Axis X	0.17	1	0.17	1.61	3.23
3	Problema en limit switch	0.58	3	1.75	4.84	8.06
4	Problema en sensores	0.40	5	2.00	8.06	16.13
5	Problemas en mangueras de enfriamiento	0.50	1	0.50	1.61	17.74
6	Temperatura del resonador	0.52	10	5.23	16.13	33.87
7	Problemas en pallet's	0.50	16	8.00	25.81	59.68
8	Fuga de penkool	0.76	3	2.27	4.84	64.52
9	Salio alarma SMPS1	0.90	5	4.48	8.06	72.58
10	Marca error de comunicación	1.00	1	1.00	1.61	74.19
11	Problemas con la potencia	1.86	10	18.58	16.13	90.32
12	Bloqueo de Equipo	2.00	1	2.00	1.61	91.94
13	Problema con la fuente	2.00	3	6.00	4.84	96.77
14	Problemas con el Shutter	2.61	2	5.22	3.23	100.00
		--	62	57.28	100.00	--
	MTRR=	--	--	0.92	--	--

Máquina Lacent`s.- Recopilación de datos de las fallas de la máquina con su tiempo muerto promedio y la frecuencia de falla (ver tabla 5).

Tabla 5. Datos de la máquina Lacents para obtener el MTTR en un periodo de seis meses

LACENT'S						
Mean Time To Repair (MTTR) en un periodo de seis meses						
No.	Operaciones de Mantenimiento	Duración en horas	Frecuencia No. Veces	Tiempos acumulados	% Frecuencia	Percentil Frec.
1	Problemas en sensores	0.08	1	0.08	0.81	0.81
2	Pantalla congelada	0.17	5	0.83	4.03	4.84
3	Se alarmando rofin	0.19	4	0.75	3.23	8.06
4	Falla mecanica	0.26	5	1.28	4.03	12.10
5	Falla de limit switch	0.27	1	0.27	0.81	12.90
6	Compact Hauser 5 congelado	0.29	4	1.17	3.23	16.13
7	Problema en parametros	0.32	3	0.95	2.42	18.55
8	Problemas con el chiller	0.33	3	1.00	2.42	20.97
9	Problema electrico	0.34	7	2.37	5.65	26.61
10	No abre Nesting	0.45	5	2.23	4.03	30.65
11	Focal dañado	0.40	8	3.17	6.45	37.10
12	Problema en opticos	0.48	11	5.28	8.87	45.97
13	Problemas en slat	0.46	11	5.02	8.87	54.84
14	Alineación de la máquina.	0.55	26	14.18	20.97	75.81
15	Problemas de faseo	0.78	17	13.33	13.71	89.52
16	Fuga de liquido anticongelante	1.13	2	2.25	1.61	91.13
17	Problema en el shutter	2.01	11	22.08	8.87	100.00
		--	124	76.25	100	--
	MTTR=	--	--	0.61	--	--

Resultados de la medición de mantenibilidad

Máquina Láser`s.-

El tiempo medio de rapración de las máquinas obtenido con la ecuación (6) es:

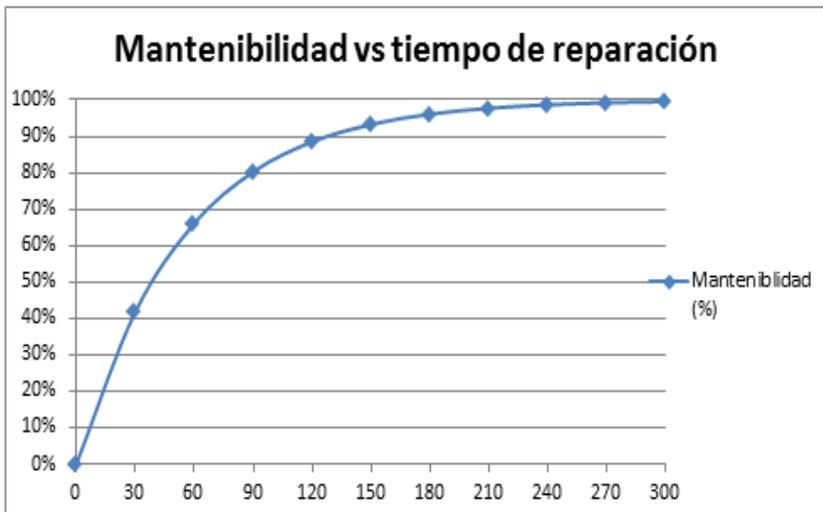
$$MTTR = 57.28/62 = 0.92 \text{ horas .}$$

El número de mantenimientos correctivos por unidad de tiempo usando la ecuación (5) es: $U = 1/0.92 = 1.08$ operaciones/hora. Se pueden realizar un total de 1.08 mantenimientos correctivos en una hora.

El número probable de fallas usando la ecuación (4) a las que puede realizarse un mantenimiento correctivo dentro de un tiempo maximo permisible de 60 minutos es de:

$$\text{Mantenibilidad: } M(t) = 1 - e^{(-1.08 \cdot 1)} = 0.66 \text{ Horas}$$

Es decir que el número de fallas que pueden repararse dentro de un tiempo de 1 hora es del 66% del total de 14 fallas encontradas, es decir, 9.24 fallas (observe gráfica 3).

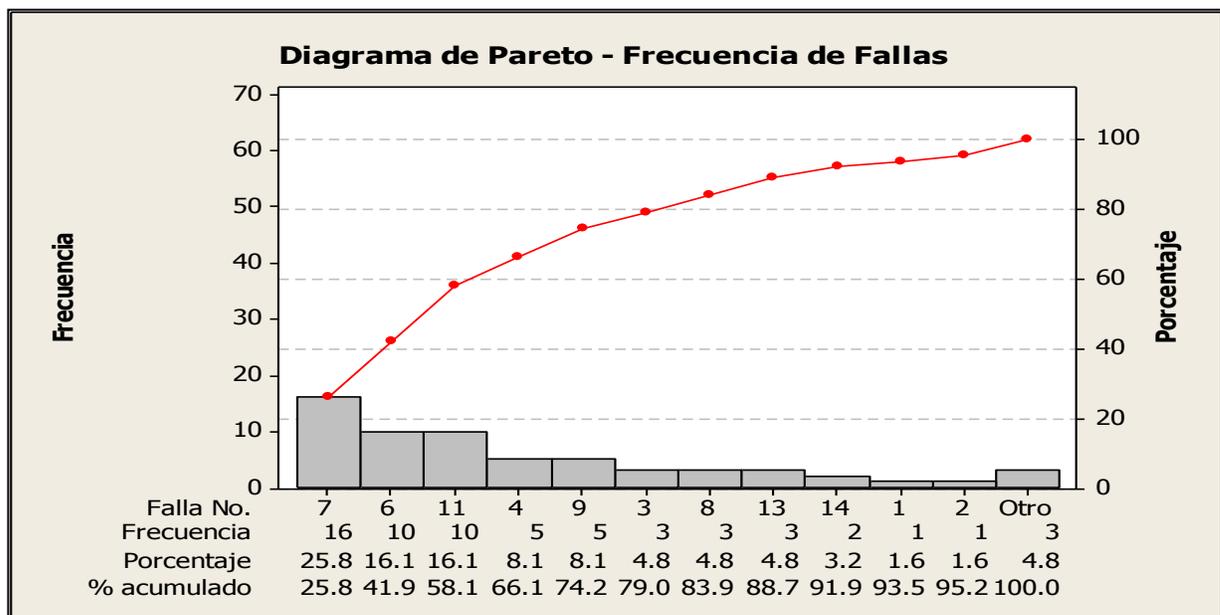


Mantenibilidad vs Tiempo de reparación

Tiempo de reparación (min)	Mantenibilidad (%)
0	0%
30	42%
60	66%
90	80%
120	89%
150	93%
180	96%
210	98%
240	99%
270	99%
300	100%

Gráfica 3. Mantenibilidad vs tiempo de reparación de la máquina Laser`s.

Como se observa en la gráfica 3 en donde se mide la mantenibilidad con respecto al tiempo, es necesario un tiempo de 300 minutos para obtener una mantenibilidad del 100%. El siguiente paso es encontrar que fallas se presentan con mas frecuencia para proponer posibles mejoras en los mantenimientos correctivos que ayuden a mejorar el porcentaje de mantenibilidad de la máquina Laser`s (ver gráfica 4).



Gráfica 4. Pareto de frecuencia de fallas

Se observa que en las primeras 4 fallas se acumula el 66.1% del total de las fallas, lo que nos indica a que fallas es necesario proponer un troubleshooting el cual funciona como una instrucción y ayuda visual que te indica la solución del problema.

Máquina Lacent`s.-

El tiempo medio de reparación de las máquinas obtenido con la ecuación (6) es:

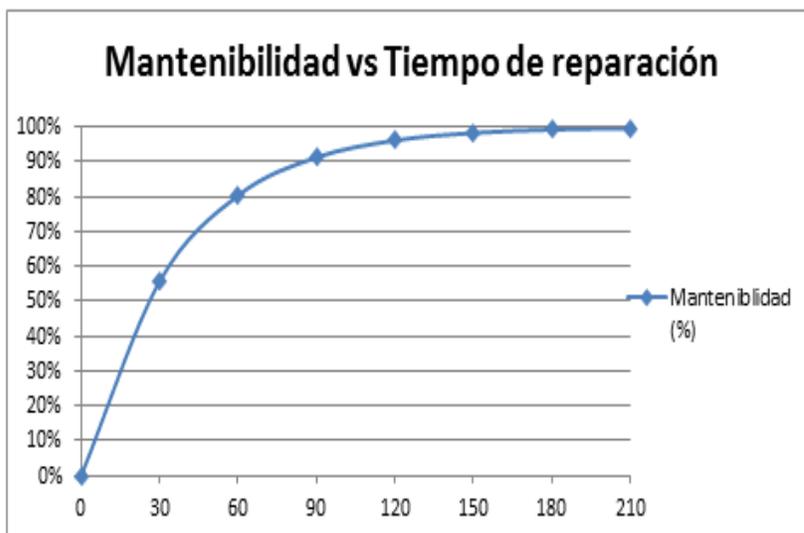
MTTR= 76.25/124= 0.61 horas.

El número de mantenimientos correctivos por unidad de tiempo usando la ecuación (5) es: **U= 1/ 0.61= 1.63 operaciones/hora.** Se pueden realizar un total de 1.63 mantenimientos correctivos en una hora.

Y el número probable de fallas usando la ecuación (4) a las que puede realizarse un mantenimiento correctivo dentro de un tiempo máximo permisible de 60 minutos es de:

Mantenibilidad: $M(t)= 1 - e^{(-1.63*1)} = 0.80$ Horas

Es decir que el número de fallas que pueden repararse en 1 hora es del 80% del total de 17 fallas encontradas, es decir, 13.6 fallas (ver gráfica 5).

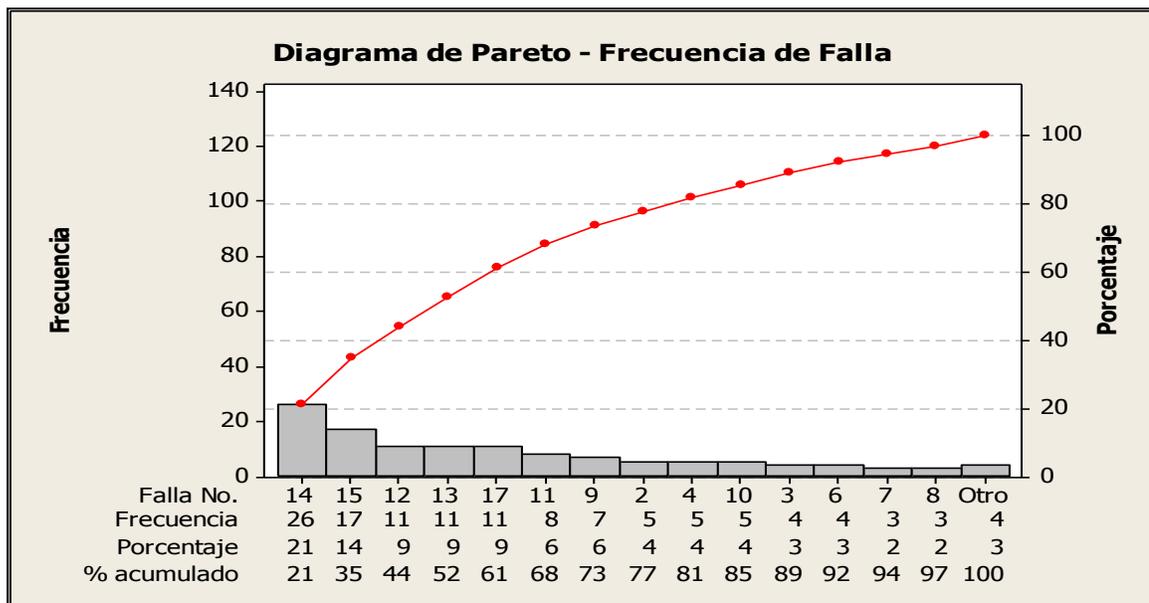


Mantenibilidad vs Tiempo de reparación	
Tiempo de reparación (min)	Mantenibilidad (%)
0	0%
30	56%
60	80%
90	91%
120	96%
150	98%
180	99%
210	100%

Gráfica 5. Mantenibilidad vs tiempo de reparación de la máquina Lacent`s.

Como se observa en la gráfica 5 en donde se mide la mantenibilidad con respecto al tiempo, es necesario un tiempo de 210 minutos para obtener una mantenibilidad del

100% . El siguiente paso es encontrar que fallas se presentan con mas frecuencia para proponer posibles mejoras en los mantenimientos correctivos que ayuden a mejorar el porcentaje de mantenibilidad de la máquina Laser`s (ver gráfica 6).



Gráfica 6. Pareto de frecuencia de fallas en mantenimientos correctivos

Se observa que en las primeras 5 fallas se acumula el 61% del total de las fallas, lo que nos indica a que fallas es necesario proponer un troubleshooting el cual funciona como una instrucción y ayuda visual que te indica la solución del problema.

VIII. CONCLUSIÓN

Al término del proyecto se puede confirmar la utilidad del MTBF y la medición de mantenibilidad para el análisis de las actividades de mantenimiento. Además ayudaron a encontrar áreas de oportunidad en los sistemas de mantenimiento. Se confirmó la importancia de mantener la maquinaria y equipo en buen funcionamiento ya que cada paro provocado por algún tipo de falla va tiempo muerto que se va acumulando conforme a la frecuencia de fallas y en conjunto representan un tiempo muerto significativo. Fue evidente la importancia de realizar un análisis para poder encontrar las áreas de oportunidad que existen en un sistema ya que como se observó en los resultados de ambos análisis no es necesario enfocarse en todos los tipos de fallas que se presentan en la maquinaria y equipos ya que lo que importa es la frecuencia y el tiempo que estas fallas provoquen. El análisis te permite tener un punto de partida para realizar mejoras en tu sistema y obtener buenos resultados ya que estos análisis te arrojan resultados confiables basados en estadísticas.

IX. RECOMENDACIÓN

En todo análisis es importante verificar que los datos con los que se va trabajar sean confiables y reales, es por eso que siempre se debe de tener una fuente de información que te proporcione los datos necesarios para poder realizar mejoras en cualquier tipo de sistema. Es importante dar el uso adecuado a los datos con los que se cuenta para poder enfocarte en los problemas relevantes que están afectando tu proceso de raíz y no dar solución a problemas superficiales. Puede llegar a ser fácil realizar un análisis de este tipo, aquí lo importante es el seguimiento que se da a la información encontrada ya que los resultados se encuentran al poner en práctica las posibles mejoras a los sistemas.

REFERENCIAS

B.S. Dhillon, *Engineering Maintainability*, 1ra edición, 1-49, Gulf Publishing Company, Texas, E.U, 1999.

Acuña Jorge, *Ingeniería de Confiabilidad*, Primera edición, 10- 328, Tecnológica De Costa Rica, Costa Rica, 2003.

Knezevic, Jezdimir. – *Reliability, Maintainability and Supportability Engineering* – Londres, Inglaterra – Editorial Mcgraw -Hill Companies, Inc. – 1993.

Ávila Sánchez J.L., *Desarrollo y Aplicación Del Diagnóstico y Pronóstico Técnico al Mantenimiento de los Sistemas Centralizados de Aire Acondicionado*, *Ingeniería Mecánica* 4, 71-77, (2001).

Bevilacqua, M. y Braglia, M., 2000. *The Analytical Hierarchy Process Applied To Maintenance Strategy Selection*. *Reliability Engineering and System Safety*, 70 (1), 71–83.

Kay, Russell. *Computerworld*. 10/31/2005, Vol. 39 Issue 44, P30-30. 1p. , Base De Datos: *Business Source Complete*.

Creus Solé Antonio, *Fiabilidad y Seguridad: Su Aplicación en Procesos Industriales*, 2da Edición, 94-101, Marcombo S.A., España, 2005.

Norma Iso/Dis 14224, *Industrias de petroleo y gas natural*, 1ra edición ,1-71, International Organization For Standarization, 1999.

Amcp 706-133, *Maintainability Engineering Theory and Practice*, Department of Defense, Washingotn, D.C., 1976.

Levitt Joel, *The Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance*, First edition, 1- 207, Industrial Press, New York, United States of America, (2003).

Mobley, R.K., 1989. *An Introduction to Predictive Maintenance*. New York: Butterworth-Heinemann.

Murty, A.S.R. y Naikan, V.N.A. *Condition Monitoring Strategy – A Risk Based Interval Selection*. *International Journal Of Production Research*, 34 (1), 285–296.

Salkind, N. (2006). *Test and Measurement for People Who (They Think) Hate Tests & Measurement*. Thousand Oaks, Ca: Sage.