

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ UREÑA
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería Industrial

Propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento en línea de producción en
una empresa de ensamble de equipos de protección eléctrica, República
Dominicana 2017



Trabajo de grado presentado por:

Guillermo A. Pinales De la Rosa

Marcos Romeo Mateo

Para la obtención del grado:

Ingeniería Industrial

Santo Domingo, D.N

2019

Contenido

Dedicatoria	VI
Agradecimientos.....	VIII
PRIMERA PARTE: GENERALIDADES	XI
Capítulo I. Introducción general.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Propósito	2
1.3 Motivación	3
1.4 Planteamiento del problema	5
1.5 Formulación del problema	6
1.6 Justificación del proyecto.....	6
1.7 Objetivos.....	7
1.7.1 Objetivo general.....	7
1.7.2 Objetivos específicos	7
1.8 Delimitación del tema	8
1.9 Alcance del proyecto.....	8
Capítulo II. Marco teórico	10
2.1 Importancia del mantenimiento en las organizaciones	10
2.2 Reingeniería del mantenimiento	11
2.3 Base teórica.....	11
Capítulo III. Marco Metodológico	20
3.1 Diseño de la investigación.....	20
3.2 Tipo de investigación	21
3.2.1 Tipo de investigación.....	21

3.3	Técnicas para la recolección de datos	22
3.4	Herramientas para el análisis de datos	22
3.5	Metodología de la investigación	23
SEGUNDA PARTE: DESARROLLO DEL PROYECTO		25
Capítulo IV. Perfil de la empresa		26
4.1	Descripción general de la empresa	26
4.2	Misión.....	27
4.3	Visión.....	27
4.4	Valores	27
4.5	Política.....	28
Capítulo V. Situación actual		29
5.1	Árbol del problema	32
5.2	Organización del departamento	34
5.3	Responsabilidades	36
5.4	Maquinarias en la línea.	37
5.4.1	Remachadoras “Rivet” radial.....	38
5.4.2	Máquinas de impresión láser	38
5.4.3	Prensas	39
5.4.4	Máquinas calibradoras termales y magnéticas.....	39
5.4.5	Pruebas mixtas	40
5.5	Indicadores de rendimiento	40
5.5.1	Tiempo no productivo	40
5.5.2	Tiempo medio entre fallas	45
5.5.3	Tiempo medio entre reparación	47
5.5.4	Disponibilidad.....	49
5.6	Manejo de repuestos.	50
5.7	Software de mantenimiento	53
5.8	Mantenimiento correctivo.....	54
5.8.1	Responsables.....	54

5.8.2	Procedimiento	56
5.9	Mantenimiento preventivo	62
5.9.1	Mantenimiento preventivo operacional	62
5.9.2	Mantenimiento preventivo técnico	63
5.10	Relación entre parada por falla y mantenimiento preventivo	66
5.11	Coordinación de actividades	67
5.12	Órdenes de trabajo	68
5.12.1	Generación de las órdenes de trabajo para mantenimiento preventivo	71
5.13	Archivo y retención de registros	71
5.14	Diagrama de causa-efecto (Ishikawa)	72
 Capítulo VI. Propuesta.....		75
6.1	Árbol de objetivos	75
6.2	Entrenamiento	77
6.3	Mantenimiento correctivo	78
6.3.1	Nuevo procedimiento	78
6.4	Mejora del mantenimiento preventivo	80
6.4.1	Mejora del mantenimiento preventivo operacional	80
6.4.2	Mantenimiento preventivo técnico	83
6.5	Orden de trabajo.....	85
6.6	Manejo de repuestos	86
6.7	Indicadores	92
6.7.1	Tiempo medio entre fallas	94
6.7.2	Tiempo medio para reparar	94
6.7.3	Disponibilidad.....	95
6.8	Implementación.....	96
6.9	Impacto	99
 Capítulo VII. Estudio económico		101
7.1	Mantenimiento correctivo vs mantenimiento preventivo	101
7.2	Retorno sobre la inversión	104

Capítulo VIII. Conclusión	106
Capítulo IX. Recomendaciones.....	108
Bibliografía	110
Anexos	114

PROPUESTA DE MEJORA DE LA GESTIÓN DEL
MANTENIMIENTO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN UNA
EMPRESA DE ENSAMBLE DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN
ELÉCTRICA, REPÚBLICA DOMINICANA 2017

Dedicatoria

Guillermo Pinales

Dedico este trabajo de grado a todos aquellos quienes creyeron en mí y a los que estuvieron a mi lado durante esta etapa de mi vida. También a ellos quienes, al igual que yo, buscan la excelencia y buscar mejores maneras de trabajar.

Va dedicado a mis abuelos Nereyda Figuereo y Jesus Pinales, que en paz descansan. También a mis tíos Miguel Pinales y Clara Figuereo por siempre exigirme más y estar presentes en las buenas y las malas. Y a mi amiga Mercedes Guzman quien es un ejemplo a seguir y me guía por el camino del éxito.

Marcos Romeo

En primer lugar, quiero dedicarme este trabajo a mí mismo por el empeño y dedicación que puse en él, pero sobre todo por el recorrido que dejé atrás antes de llegar a esta última etapa, en la cual adquirí bastante experiencia académica y personal.

En segundo lugar, a mis padres por el apoyo económico, moral e interés en que iniciara y culminara mis estudios de la mejor forma posible para mí bien.

También quisiera dedicarles este trabajo de grado a todas las personas que encuentran dificultades y adversidades en el camino de un objetivo de provecho personal tanto académico como laboral y que confíen mucho en sí mismos y que sigan poniendo todo su empeño para lograr lo que tanto desean.

Agradecimientos

Agradezco a todos aquellos quienes estuvieron ahí durante el proceso de convertirme en Ingeniero Industrial.

A mis padres por brindarme el apoyo suficiente durante estos cuatro años y las facilidades para estudiar.

A mis compañeros de carrera Gilsy Cleto, Isarelis Lluberes, Juan Arambolo, Carolina Díaz y Liliana Estanilao por estar ahí cuando los necesitaba y brindarme la motivación necesaria para seguir adelante.

Al ingeniero Omero De León por darme la oportunidad de trabajar con él e instruirme de conocimientos en el mundo laboral. También a Roberto Batista por acompañarme durante todo el proceso de este trabajo de grado.

A mis compañeros de trabajo quienes estuvieron conmigo como amigos durante todo el proceso: a Carmen Blanco, José López, Wallyn Arias, Gehone Pilar y Félix Badía.

Gracias a la Cooperativa de maestros (COOPNAMA) por creer en mí y proporcionar el pago de mis estudios sin cargo adicional; siempre presentes y motivándome con charlas para seguir adelante.

Gracias Marcos Romeo por ser mi compañero en este viaje que fue este trabajo de grado en estos últimos meses.

Al ingeniero Marcelino Paniagua por ser nuestro asesor y proporcionar su papel con responsabilidad. Por ser un buen maestro y sacar lo mejor de mí en sus materias.

Gracias a la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña por la excelente educación en estos años como estudiante de grado de Ingeniería Industrial y al personal que hacen que esta funcione. También a la escuela de Ingeniería Industrial con el Ingeniero Jorge Encarnación por brindarme el soporte que necesité durante estos últimos años.

Guillermo Pinales

Quiero agradecer a todas las personas que me mostraron su apoyo a la hora de embarcarme en esta aventura académica que llega a su fin y por supuesto a mis padres que fueron los primeros que mostraron el interés y el empeño en que yo iniciara y terminara mis estudios de la mejor forma posible.

Agradecer a las personas con las que compartí durante esta etapa universitaria, tanto amigos como conocidos con las que aprendí muchas cosas a nivel personal y académico.

En especial en el cuerpo docente donde encontré varios profesores donde sus clases eran interesantes, pero también a los que no me agradaron por alguna razón u otra porque de todas las cosas se aprenden en esta etapa.

Por ultimo a nuestro asesor por ayudarnos en el camino para culminar nuestra tesis de la mejor forma posible.

Marcos Romeo

PRIMERA PARTE:

GENERALIDADES

Capítulo I. Introducción general

1.1 Introducción

Toda empresa manufacturera del tipo de línea de ensamble requiere de maquinarias eficientes y confiabilidad para que haya un flujo continuo de las operaciones de manera establecida por los objetivos de la empresa. Maquinarias deficientes en el área de producción de una empresa se traduce en disminución de la productividad y calidad mientras incrementan los costos.

Esta investigación está basada en como el tiempo no productivo de mantenimiento afecta en la producción por falla de maquinarias de un área determinada de una empresa del sector industrial; el tiempo no productivo producido por paradas son una gran problemática para los ingenieros y supervisores del lugar. Se han detectado deficiencias en el tipo de mantenimiento aplicado a las maquinarias de esta área, por tanto las diferentes causas de la misma van desde el mal manejo del personal como del procedimiento a utilizar en las maquinarias y el poco hincapié que hace la parte administrativa en esta problemática.

Ya que debido a esto se está generando un 39% de las paradas totales de la planta y de “trabajo en proceso” (Wip), que a corto y largo plazo está afectando el rendimiento y la economía de la empresa.

Mediante el manejo y cambio de la manera en que se manejan actualmente las operaciones en la parte administrativa se reducirá el tiempo no productivo.

Esta investigación fue sustentada de dos partes, la primera la cual se establecerán los objetivos, el planteamiento del problema y la hipótesis como tal del mismo; utilizando la información que presenta el problema y delimitando claramente cuál es el punto de partida. Por otra parte, se tomó en cuenta la opinión de los expertos del área que suministraron información reciente y más detallada a profundidad de la problemática a analizar desde el principio de esta investigación.

La segunda parte detalla a más profundidad el problema, dándole la solución definitiva a los problemas que se han presentado en esta línea, utilizando herramientas de ingeniería como diagramas de Pareto, Ishikawa y mejorando los órdenes de trabajo e inventario que afectan directamente a la línea y así disminuir considerablemente las paradas a través de un mantenimiento basado en condición.

1.2 Propósito

El motivo de esta investigación es determinar la razón por la cual las maquinarias del área de breakers de una línea de producción están sufriendo constantes paradas a lo largo de su funcionamiento y buscarle una solución a corto y largo plazo para que se reduzcan sustancialmente estas paradas y aumente la productividad, calidad y halla un ahorro en costos, tiempo y materiales.

1.3 Motivación

Guillermo Pinales

Mientras terminaba mi educación secundaria y me decidía por la carrera con la que me sentiría mejor encontré la ingeniería industrial por sus ansias de eliminar toda clase de desperdicio y mejorar la calidad de cómo se hacen las cosas. Al notar este problema en estas líneas de esta empresa surgió en mí, como ya ingeniero industrial, la responsabilidad de acabar con este problema que está causando tantas pérdidas y en si reduciendo las ganancias y el rendimiento de la planta.

Antes de entrar a la universidad y conocer el mundo laboral veía las actividades laborales como algo muy complejo y no entendía como las personas iban día a día en a un mismo lugar a enfrentarse con problemas tan grandes. Ahora mi visión es distinta como ingeniero, veo que todo tiene solución y lo que está mal o tiene chance de mejora no tiene por qué permanecer en esta misma situación.

En mi trabajo, como asistente de servicios técnicos (mantenimiento y proyectos) de la empresa, he notado como los técnicos de esta área se quejan de las mismas situaciones a la hora de realizar un mantenimiento o de la ejecución de un proyecto en alguna de las líneas, por lo que un comportamiento repetitivo como este debe de ser reducido si no eliminarlo, así se ocupa el tiempo en problemas que si deberían de tener más prioridad en la empresa y mi trabajo como asistente a la hora de ofrecer un soporte sería más sencillo centrándome en actividades más importante y añadiendo la posibilidad de la reducción del personal.

“Si no entiendes cómo ejecutar una operación eficiente, la nueva maquinaria simplemente te dará nuevos problemas de operación y mantenimiento. La forma segura de aumentar la productividad es administrar mejor al hombre y la máquina”.

W. Edwards Deming

Marcos Romeo

A la hora de realizar este proyecto necesitaba poder demostrarme a mí mismo que he aprendido lo suficiente como para plasmarlo en una investigación de tal magnitud y que ofrecería soluciones factibles y confiables.

Por supuesto, teniendo en cuenta que, a pesar de estos años de arduo estudio, uno como ente profesional siempre está en un proceso de aprendizaje continuo, y como futuro ingeniero industrial debo dar el mejor de los ejemplos en cuanto a mejora continua de mi persona se refiere.

Poder realizar esta investigación es todo un reto para mí, porque significa la culminación de una trayectoria que se ha ido formando poco a poco hasta ser lo que es hoy en día. Esto me motiva y me da toda la confianza para poder afrontar este proyecto de la mejor manera posible.

Aprovechando todos los recursos aprendidos en los años de estudio académico, aplicándolos, investigando y buscando la mejor manera de hacer un proyecto que nos sirva a nosotros como algo más que un prerrequisito para poder graduarnos, sino como un aporte profesional para nuestra vida laboral.

1.4 Planteamiento del problema

Actualmente la empresa manufacturera del sector eléctrico de esta investigación está sufriendo de problemáticas en el correcto funcionamiento de sus maquinarias a la hora de efectuar sus labores.

Las maquinarias de los breakers en las diferentes líneas de ensamble que abarca, están produciendo el 39% del total de paradas en los departamentos de mantenimiento (mantenimiento y calibración) por diferentes razones; razones que con el curso de la investigación fueron descubiertas y estas caen todas en el primer turno de trabajo de la empresa, justo cuando llegan a su punto más crítico.

El personal de mantenimiento ha trabajado en buscar una solución inmediata a este problema que a lo largo de estos últimos meses ha sido bastante serio para las operaciones de las líneas de ensamble del área a investigar. Las 178 paradas y mantenimientos correctivos durante el año y en total que se les han dado a las maquinarias para tratar de minimizar el tiempo de paradas, no han sido suficiente.

Por tal motivo, se ha decidido investigar con más profundidad las razones por el cual esto ha estado sucediendo, determinar qué tipo de mantenimiento se la ha estado dando a las maquinarias y con qué frecuencia, determinar también el seguimiento de las mismas y por ende como los operarios las han estado utilizando. Para así con estas investigaciones reducir sustancialmente las paradas de forma

más corta posible y sobre todo trazar un plan de mantenimiento para todas las maquinarias del área para que esta situación no vuelva a suceder.

1.5 Formulación del problema

¿Cuáles son los factores que inciden en las paradas de las maquinarias de la línea?

¿Qué consecuencias tendría para la producción en caso de persistir el problema?

¿Cuáles soluciones serían más factibles para disminuir la problemática?

¿Qué propuesta sería más técnica y económicamente factible para evitar problemas de la misma índole en un futuro?

1.6 Justificación del proyecto

Estos problemas reducen la rentabilidad de la empresa y principalmente en el que todas las empresas tienen en común, el ganar dinero; las pérdidas y desperdicios en tiempo, personal y material son un costo que puede ser reducido de manera significativa evaluando las fallas en el sistema de producción y mantenimiento de la línea.

Mediante las prácticas que se implementaron se persigue incrementar la salida de breakers de este tipo mientras también se reducen recursos y tiempos empleados en actividades no relacionadas a la producción directamente;

estableciendo estándares necesarios para un funcionamiento sostenible del sistema de producción.

La línea opera con 228 personas en dos turnos de 8.1 horas; en el primer turno 141 personas, y en el segundo turno 87 personas quienes llevan un pago extra del 15% por ley por trabajar de noche, lo que nos lleva a la siguiente conclusión: Si una máquina presenta un fallo en un turno, está perdiendo dinero concepto nómina en horas (se les paga por horas a los empleados) por downtime de un empleado más la inversión en hora extras, lo cual se considera como desperdicio en la manufactura esbelta, y sumado al desperdicio de material generado durante el momento en que la máquina presenta la falla y las pruebas de programación de la misma se habla de un gasto considerable.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Minimizar a través de la mejora en la gestión del proceso de mantenimiento el tiempo perdido de producción por fallas en maquinarias en una línea de producción de una empresa de ensamble del sector eléctrico.

1.7.2 Objetivos específicos

- 1 Determinar las causas de las paradas de las maquinarias.
- 2 Reformular modelo de órdenes de trabajo.

- 3 Minimizar tiempo no productivo por falla de máquina a un 10% del tiempo total.
- 4 Establecer un sistema de gestión de inventarios de repuestos sustentable y eficiente.

1.8 Delimitación del tema

Esta investigación consiste en el desarrollo de una propuesta para disminuir las paradas de la línea de una industria de ensamble del sector eléctrico, ubicada en el parque industrial de Haina; donde fue determinada la problemática de esa área en específica y se tratara con las posibles soluciones que se irán desarrollando en la investigación.

1.9 Alcance del proyecto

Durante el año 2017 la empresa presentó un total de 452 paradas en los departamentos de mantenimiento de los cuales 178 fueron presentados en la línea de producción representando un 39.4% del total. El enfoque se centra en esta línea debido a que es la que mayor aporta del total de 30 líneas que mueven la producción todos los días en esta planta.

Mediante la administración del mantenimiento se mitiga el costo por fallas, desperdicios de tiempo y la seguridad de los empleados, ya sean operadores o técnicos que trabajan en la máquina; se trabajó en base a la administración del

mantenimiento mediante mejoras en el manejo de inventario de repuestos, en las órdenes de trabajo y el plan de mantenimiento con el que trabaja la empresa.

Fueron aplicadas herramientas para aumentar la productividad del área, la confiabilidad de las maquinarias y reducir el costo y desperdicios. Del mismo modo se fueron tomando en cuenta la factibilidad del proyecto y que este sea sostenible en su desarrollo.

Se llevó a cabo varios estudios para obtener una solución óptima a el problema. Se realizó un estudio técnico con el cual se da a conocer los diferentes aspectos del área de trabajo donde la solución tenga efecto, un estudio financiero para analizar el rendimiento del proyecto y un estudio de factibilidad el cual nos dirá si vale la pena desarrollar el proyecto.

- Se aplicaron herramientas en el área de breakers de todas las líneas que abarca esta área.
- TPM en las maquinarias del lugar una vez que se encuentre la solución definitiva de la problemática.
- Lean Manufacturing en cada uno de los procesos de la línea orientado al manejo de las maquinarias.
- Suprimir los mantenimientos correctivos por mejores prácticas.

Capítulo II. Marco teórico

En este capítulo se expresarán los conceptos teóricos a manejar en la investigación y que servirán de apoyo para el entendimiento del problema que se está analizando y de cuales conceptos se trataron para aplicarse en la investigación.

2.1 Importancia del mantenimiento en las organizaciones

Hoy en día el mantenimiento sigue jugando un papel secundario en las industrias. A pesar del avance continuo que se ha ido generando con el paso de los años todavía hay muchas empresas que abogan por la externalización de la misma.

Resultado que en cierto sentido no ha favorecido a las empresas por la falta de una necesidad de mejoría y un departamento que tenga información detallada y periódica disponible en todo momento para abordar temas de maquinarias de vanguardia.

Por tal motivo frente a una problemática generalizada en cuanto a mantenimiento industrial se refiere ya que la valoración de la misma es inferior a la correspondiente y no frente una mejoría vertiginosa en cuanto a técnicas de mantenimiento y el ahorro en gastos que supondría un amplio conocimiento del mantenimiento en las industrias.

La automatización y la implementación de nuevas tecnologías en los procesos de las industrias están fomentando aplicar nuevas técnicas de

mantenimiento para las mismas, por tal motivo el mantenimiento está empezando a escalar posiciones y pasando de ser un mal necesario a una necesidad obligatoria.

2.2 Reingeniería del mantenimiento

Una de las aplicaciones más eficaces de la reingeniería en mantenimiento se centra en la definición de intervenciones modificativas, ante la situación de estancamiento o de estabilización total de determinados ratios, sobre todo de fiabilidad, y en los que hemos sido incapaces de mejorar a pesar de haber implementado avanzadas técnicas organizativas y predictivas. (González Fernández, 2005)

2.3 Base teórica

Mantenimiento: Todas las definiciones, oficiales o no, tienden a presentar esta función como la encargada de asegurar la disponibilidad de los equipos de producción mediante la ponderación de las imperfecciones del patrimonio tecnológico invertido. (Souris, 1992)

Mantenimiento correctivo: Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos. (Renove Tecnología, 2013)

Mantenimiento preventivo: tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos

vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema. (Renove Tecnologia, 2013)

Mantenimiento productivo total (TPM): Se puede definir como “un programa para mejorar la efectividad global de los equipos, con la participación activa de los operadores”. El objetivo del TPM es la “eliminación total de las pérdidas de producción”: obtención de cero pérdidas de producción implica cero fallas y cero defectos de calidad. Ello mejora la efectividad del equipo, se reducen los costos y se incrementa la productividad. (Hartmann, 1992).

Disponibilidad: La disponibilidad de una instalación se define como la proporción del tiempo que dicha instalación ha estado en disposición de producir, con independencia de que finalmente lo haya hecho o no por razones ajenas a su estado técnico.

El objetivo más importante de mantenimiento es asegurar que la instalación estará en disposición de producir un mínimo de horas determinado del año. Es un error pensar que el objetivo de mantenimiento es conseguir la mayor disponibilidad posible (100%) puesto que esto puede llegar a ser muy caro, anti rentable. Conseguir pues el objetivo marcado de disponibilidad con un coste determinado es pues generalmente suficiente. (Garrido, 2012)

Confiabilidad: la confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica,

durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas. (MESA GRAJALES, 2006)

CMMS: Un CMMS es un software de computadora diseñado para simplificar la administración de mantenimiento. CMMS significa Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (o Software) y algunas veces se lo denomina Gestión de Activos Empresariales (EAM). (Micromain, n.d.)

5 ¿Por qué?: Los cinco porqués garantizarán que la solución de un problema no sea síntoma de éste, sino su causa básica. Por ejemplo: una máquina falló.

1. ¿Por qué?
2. La máquina se atascó. ¿Por qué?
3. La máquina no se limpió. ¿Por qué?
4. El operador no la limpió a intervalos regulares. ¿Por qué?
5. ¿Fue debido a la falta de capacitación? ¿Por qué? (Meyers, 2006)

Pokayoke:(a prueba de tontos) Con el fin de garantizar el cien por ciento de productos de calidad, debe impedirse que haya defectos. Pokayoke son las innovaciones que se hacen en las herramientas y los equipos para instalar dispositivos que prevengan los defectos.

Algunos ejemplos son los siguientes:

1. Cuando una operación sea olvidada, no comenzará la siguiente.
-

2. Los problemas de las operaciones anteriores se revisan en las posteriores para detener el producto defectuoso.
3. Cuando haya problemas con el material, la máquina no arrancará.
4. Las herramientas y los aditamentos se diseñan para que sólo admitan una parte en la dirección correcta. (Meyers, 2006)

Takt time: La tasa de la planta o tiempo de procesamiento (en inglés takt time, takt proviene del alemán, es de uso común actualmente y tiene el mismo significado) es la tasa a la que deben fluir las operaciones, procesos, partes, componentes, etcétera, con el fin de cumplir con la meta de producción. (Meyers, 2006)

Árbol de objetivos: El análisis de objetivos permite identificar aquellas causas y consecuencias de una situación grave o limitante en el desarrollo de la comunidad, esta situación limitante o problema central debe ser revertido, muchas veces eso quiere decir que el proyecto se enfocará en resolver la limitante principal. (leon, 2007)

Árbol de problemas: El análisis de problemas, es la herramienta que permite medir el grado de importancia de los problemas. Se puede identificar aquel que consideran un problema central o un problema crítico, este problema central tiene consecuencias, los cuales también son previamente identificados, de igual modo este problema central tiene orígenes o causas. (leon, 2007)

Lean: Modelo de gestión enfocado en la eliminación de desperdicio y una mejora continua en los procesos por medio de los recursos necesarios (Ries, 2011)

Andon: Se refiere a una señal iluminada que notifica a otros de un problema dentro de los flujos de control de calidad o de producción. (Andon, Electronica Y Manufactura Esbelta Fusionada, 2015)

Bloqueo y etiquetado (LOTO, Lockout/Tagout): "Bloqueo / etiquetado" se refiere a prácticas y procedimientos específicos para proteger a los empleados de la activación o puesta en marcha inesperada de maquinaria y equipos, o la liberación de energía peligrosa durante las actividades de servicio o mantenimiento. (OSHA U.S. Department of Labor, 2002)

Orden de trabajo: Una orden de trabajo es una autorización de mantenimiento, reparación o trabajo de operaciones para completarse. Las órdenes de trabajo se pueden generar manualmente a través de una solicitud de trabajo enviada por un miembro del personal, cliente, inquilino o generada automáticamente a través de un programa de administración de órdenes de trabajo o un programa de Mantenimiento Preventivo (PM). Las órdenes de trabajo también se pueden generar a través de seguimientos de inspecciones o auditorías. (eMaint a Fluke Company, 2016)

Kaizen: es el concepto de más importancia en la administración japonesa "la clave del éxito competitivo japonés". KAIZEN significa mejoramiento. KAIZEN significa el mejoramiento en marcha que involucra a todos —alta

administración, gerentes y trabajadores—. En Japón, muchos sistemas han sido desarrollados para hacer a la administración y a los trabajadores conscientes del KAIZEN. ((Imai, 1986))

Breaker: Un Breaker o disyuntor es un interruptor eléctrico operado automáticamente diseñado para proteger un circuito eléctrico del daño causado por la sobrecarga de electricidad o cortocircuito. La función de los breakers es detectar una condición de falla e, interrumpiendo la continuidad, interrumpir inmediatamente el flujo eléctrico. (Subnet Solutions INC., 2018)



Figura 1. Breaker

Análisis de regresión: en análisis de regresión es una herramienta de frecuente uso en Estadística que permite estudiar y valorar las relaciones entre diferentes variables cuantitativas tenidas en cuenta mediante la construcción de una ecuación.

El esquema básico de análisis de regresión plantea un proceso o modelo en el cual se analiza la relación entre una variable dependiente (porque es influida por el resto) y una o varias variables independientes o fijas (las que influyen en el objeto de estudio). Gracias procesos de regresión estadística es posible entender el modo en que la dependiente es afectada por cambios en los valores de las independientes. (Galan, s.f.)

Coefficiente de correlación lineal: la correlación, también conocida como coeficiente de correlación lineal (de Pearson), es una medida de regresión que pretende cuantificar el grado de variación conjunta entre dos variables.

Por tanto, es una medida estadística que cuantifica la dependencia lineal entre dos variables, es decir, si se representan en un diagrama de dispersión los valores que toman dos variables, el coeficiente de correlación lineal señalará lo bien o lo mal que el conjunto de puntos representados se aproxima a una recta.

De una forma menos coloquial, la podemos definir como el número que mide el grado de intensidad y el sentido de la relación entre dos variables. (Ucha, s.f.)

Scrap: se define como cualquier gasto que no ayuda a producir valor. (Meyers, 2006)

Sistema paging: es un sistema que tiene como meta principal la transmisión inalámbrica de breves mensajes a una terminal portátil. Este sistema es conveniente para personas que cambian constantemente de sitio y que no tienen la disposición de contestar un teléfono celular. (J. Hartmann, Agent Technology for future mobile networks)

Yield: el rendimiento (yield) total es el número de unidades satisfactorias producidas dividido entre el número total de unidades producidas en cada paso del proceso. El rendimiento total toma en cuenta la cantidad de piezas descartadas y de piezas que requieren reparación al final de un proceso.

Cuando usted calcula el rendimiento total, cuenta solo las unidades que al final del proceso no requieren reparación ni se descartan. (Minitab, 2017)

Formas 3UPS: sistema de presentación visual para métricas a las cuales se le da seguimiento de desempeño. Contiene lo siguiente:

- Gráfico de barras: presentando el comportamiento anual de la métrica.
- Gráfica de Pareto: con los detractores de la métrica.
- Cuadro de acciones: donde se listan las actividades que tienen como fin eliminar si no reducir los detractores.

Stroke: Unidad equipada en las máquinas de remachado para regular de manera precisa la altura de la herramienta de remachado. El sistema es parecido a un micrómetro y dependiendo de las necesidades del cliente contiene la precisión solicitada.

Retorno de la inversión: El ROI (Return On Investment) o retorno de inversión es el valor económico generado como resultado de la implementación de diferentes acciones. Este indicador nos permite medir el rendimiento que hemos obtenido de una inversión. (Genwords, s.f.)

$$ROI = \frac{\text{Beneficio} - \text{inversión}}{\text{inversión}} \times 100$$

Ecuación 1. Formula de retorno sobre la inversión

Evento Stop: En el momento en que el departamento de producción se ve afectado por un inconveniente de causa exterior al mismo se genera un evento stop, en el cual se envía por correo electrónico la información de la parada de la línea, ya sea por falla de máquinas, problemas de sistema o material corto. De esta manera se notifica al personal responsable de la parada y se da seguimiento a las razones por las cuales no se cumple lo planificado a producir.

Capítulo III. Marco Metodológico

En este capítulo se detallará la forma en que está redactada esta investigación y que tipo de herramientas han sido utilizadas para el análisis de la misma, de igual forma la metodología a utilizar acorde al problema el cual se está tratando en esta investigación

3.1 Diseño de la investigación

Investigación no experimental: Se basa en categorías, conceptos, variables, sucesos, comunidades o contextos que se dan sin la intervención directa del investigador, es decir; sin que el investigador altere el objeto de investigación. En la investigación no experimental, se observan los fenómenos o acontecimientos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. (Instituto de educación tecnica profesional de Roldanillo Valle, 2017)

Fue utilizada este tipo de investigación debido a que no se altera el proceso durante el estudio, se mantuvo al margen observando y recolectando data de las situaciones que pasaron en el periodo de enero-diciembre 2017; por lo que es afirmativo también decir que es un tipo de investigación transversal.

Junto con la investigación cuantitativa debido a los datos numéricos presentados y los obtenidos mediante observaciones para hacer cálculos y tomar decisiones con respecto a estos.

3.2 Tipo de investigación

3.2.1 Tipo de investigación

La investigación que se utilizara en este proyecto será investigación aplicada ya que se encontrarán estrategias o mecanismos que nos ayuden a abordar un objetivo en concreto como es la reducción del tiempo perdido de producción por fallas en maquinarias en una línea.

Por medio de esta investigación se mejorarán los aspectos que forman parte de este problema, proponiendo nuevas estrategias que se puedan aplicar para un incremento sustancial de la confiabilidad de las maquinarias.

3.2.1.1 Método deductivo

Este método será parte de la metodología de esta investigación ya que es el que utiliza el razonamiento lógico y las hipótesis mediante un análisis exhaustivo utilizando teorías o premisas para llegar a conclusiones lógicas.

Este tipo de método parte de lo general a lo particular, es decir se aprovechará este elemento de este método para partir desde lo particular de la problemática a lo general de la misma.

A través de teorías previamente comprobadas se formuló una hipótesis que permitió llegar a la conclusión que se necesita para aumentar la confiabilidad de las maquinarias y solucionar los problemas indirectos que afectan directamente a cada una de las maquinarias de la línea.

3.3 Técnicas para la recolección de datos

Las siguientes técnicas fueron utilizadas para la recolección de los datos para la investigación:

Observación: mediante la observación periódica de los eventos en donde se generaban desperdicios por el fallo de una máquina y así identificar problemas que provocan los fallos.

Datos estadísticos: información extraída de los archivos de la empresa donde hablen de desperdicios en los que estén involucrados los departamentos de mantenimiento.

Entrevista con expertos: conversaciones con el personal que trabaja en el área y con aquellos que dirigen los departamentos de mantenimiento y producción para obtener datos históricos y distintos puntos de vista al problema.

3.4 Herramientas para el análisis de datos

- Diagrama causa-efecto
- Gráfica de Pareto
- Gráfica de pastel
- Árbol de problema
- Árbol de objetivos

3.5 Metodología de la investigación

Definir: Dando a conocer el problema que está afectando a línea y cada una de sus variables, se tomó en cuenta la recolección de datos para identificar los puntos críticos de esta y auxiliados de herramientas como el árbol de problemas y el árbol de objetivos.

Medir: Recopilación de datos los cuales demuestran el impacto negativo de la problemática que sufre la línea por medio de las paradas de las maquinarias, con el diagrama de Ishikawa se demostrara las causas y efectos de esta problemática desde un punto de vista técnico económico.

Analizar: Una vez se haya medido la causa del problema, se toma otra actitud frente a estas variables y se analiza desde otro punto de vista para determinar la causa real del mismo y cortar de raíz la problemática que está afectando a la línea que se está analizando.

Mejorar: Durante esta fase se toman datos recopilados anteriormente y se buscaran mejores alternativas y propuestas ya formuladas para beneficiar en este aspecto a la línea, reducir los desperdicios, reducir las paradas y optimizar el tiempo empleado en la fabricación de breakers.

Controlar: Una vez que las causas y efectos hayan sido remediados se toma un control exhaustivo de los mismos para evitar futuras problemáticas de este tipo y para seguir mejorando en este aspecto, por ende, se efectúan controles rutinarios

en la línea que afecten directamente a la parte crítica que se analizó en los pasos anteriores.

SEGUNDA PARTE:

DESARROLLO DEL PROYECTO

Capítulo IV. Perfil de la empresa

Se detalla los datos de la empresa la cual por políticas de la misma es anónima en esta investigación, pero todos y cada uno de los datos extraídos de la misma son verídicos tanto para beneficio de la investigación como para la empresa a tratar.

4.1 Descripción general de la empresa

Esta es una compañía de administración de energía con ventas en 2017 de \$ 26.8 mil millones de dólares. Brindamos soluciones energéticamente eficientes que ayudan a nuestros clientes a administrar eficazmente la energía eléctrica, hidráulica y mecánica de manera más eficiente, segura y sostenible. Esta empresa se dedica a mejorar la calidad de vida y el medio ambiente mediante el uso de tecnologías y servicios de administración de energía. Esta empresa tiene aproximadamente 87,300 empleados y vende productos a clientes en más de 185 países. Para obtener información adicional acerca de nuestros segmentos comerciales, incluida la amplia variedad de productos fabricados en cada segmento.

Como compañía global de administración de energía, ayudamos a nuestros clientes a resolver sus mayores desafíos de energía a través de nuestros productos y servicios eléctricos, aeroespaciales, hidráulicos y de vehículos líderes en la industria. Durante más de 100 años, nuestros equipos han ayudado a las personas

a trabajar de forma más segura, a ser más eficientes en el consumo de energía y a vivir de forma más sostenible.

4.2 Misión

Proporcionar soluciones de administración de energía segura, confiable, eficiente y sostenible para nuestros clientes globales

4.3 Visión

Mejorar la calidad de vida y el medio ambiente mediante el uso de tecnologías y servicios de la administración de energías.

4.4 Valores

Esta empresa es más que los productos que inventamos y producimos, la forma en que hacemos negocios es igual de importante. En esta empresa, nuestros valores y cultura definen quiénes somos, tanto individualmente como como organización, y dirigen nuestras actividades todos los días.

Sus valores fundamentales son

- Orientación al cliente
- Gente
- Confianza
- El respeto
- Dignidad
- Integridad

4.5 Política

Nuestra política de calidad refleja la expectativa de que todos los empleados, en todos los niveles y en todas las funciones de la empresa, sean responsables y se responsabilicen personalmente de la calidad, en pos del objetivo de esta empresa de proporcionar el más alto nivel de calidad a nuestros clientes. Esta empresa espera que todos los empleados, en todos los niveles y en todas las funciones de la empresa, entiendan y demuestren estos comportamientos.

Capítulo V. Situación actual

Actualmente la línea de producción que se ha analizado es deficiente a la hora de conseguir los números de producción con respecto a la demanda provocando atrasos en la entrega de órdenes; lo que los obliga a trabajar horas extras, reduciendo la productividad de la línea. Esta consta de 7 celdas de ensamble en donde se divide la demanda diaria.

Tomando en cuenta la cantidad de paradas totales que tuvieron los departamentos de mantenimiento enfocados en la línea se pudo encontrar que un 39% de fallos por máquinas son presentados en esta línea.

Tabla 1.

Número de paradas por departamentos y porcentaje representativo del total en la planta.

Departamento	Mantenimiento	Calibración	Total
Paradas Totales	217	235	452
Paradas en la línea	94	84	178
1er Turno	76	67	143
2 Turno	18	17	35
1 Turno %	92.7%	88.2%	25.7%
2 Turno %	51.4%	48.6%	50.0%
Total %	43.3%	35.7%	39.4%

Si el operador no hace una inspección del trabajo que realiza la máquina, ocasiona que el problema se detecte en otra operación generando más trabajo en proceso defectuoso y tiempo en encontrar la causa raíz de la falla. Las líneas contemplan un flujo continuo en ensamble, pero por cuestiones de cumplir la meta

de producción temprano, el operador más rápido tiende a almacenar material en proceso que tiende a convertirse en desperdicio cuando existe una falla.

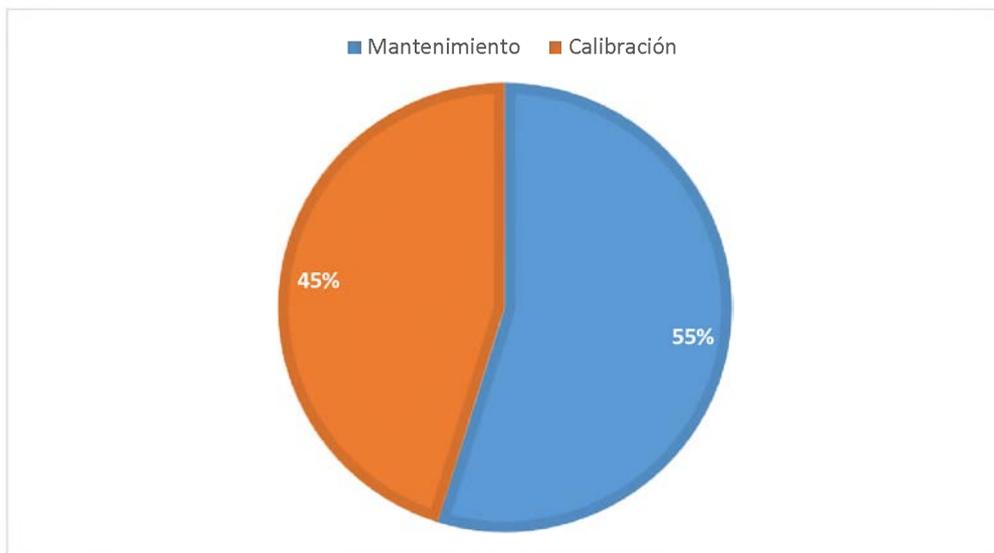


Figura 21. Representación porcentual de paradas divididas por departamento y la relación con respecto al total conjunto de paradas.

La productividad laboral de la línea obtuvo un resultado final a 2017 de 2.1 unidades/horas hombre, empaclaron 1,051,000 unidades en 484,332 horas hombre, contra una meta de 2.4 siendo uno de los detractores las paradas y máquinas deficientes. Como mayor ofensor está la falta de material o material corto y esto fue debido a una crisis por efecto climático afectando al único suplidor de materia prima. En la figura 3, diagrama de Pareto, se muestran los detractores de la productividad en 2017, con servicios técnicos representando un 30.8% del total y 703 horas hombre lo que transfiere en USD\$153,608.8 en el año.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Volumen empacado}}{\text{Horas hombre}}$$

Ecuación 2. Productividad planteada en horas hombre.

Tabla 2.

Detractores de productividad en la línea 2017.

Detractor	Horas hombre pérdidas	Porcentaje %	Porcentaje % Acumulado
Material Corto	920	40.2%	40.2%
Servicios Técnicos	703	30.2%	71.0%
Detención interna	315	13.7%	84.7%
Compras	203	8.8%	93.6%
IT	145	6.3%	100.0%

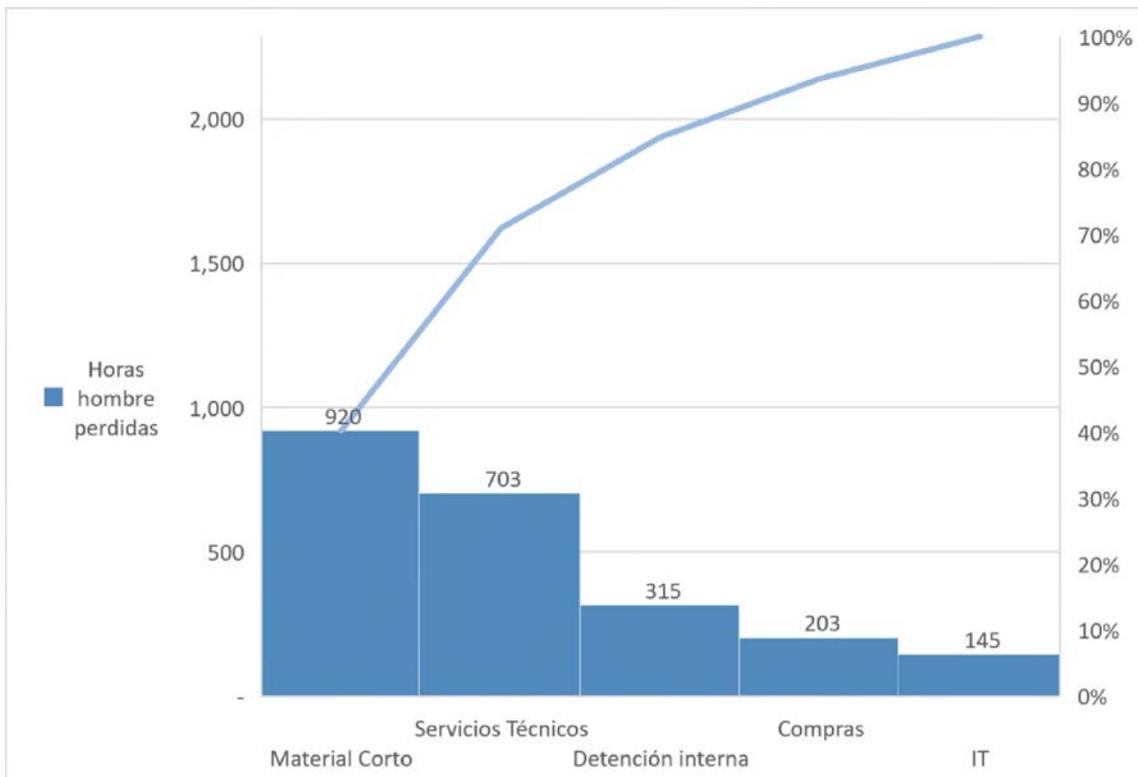


Figura 22. Pareto representando detractores de la productividad en la línea 2017

5.1 Árbol del problema

Con este diagrama se plantean las causas y las consecuencias del problema de una manera gráfica más detallada, precisa y permite tener una visión clara de la situación actual mediante la organización en orden ascendente de las causas, problema y las consecuencias en la investigación. Con esta herramienta se detalla el problema y se desglosa en cada una de sus causas y efectos las cuales hacen que no haya una rentabilidad adecuada ni se cumplan las metas y se incurra en gastos como horas extra y aumento de desechos.

Con esta gráfica se dispone de un escaparate de análisis mediante cada una de las causas, son tomadas en cuenta y llevadas a formar parte de la solución del problema principal, así pudiendo identificar cuáles son para poder mejorar en todos los aspectos de la línea.

En el centro está el problema y en la parte inferior se encuentran las múltiples causas que forman parte del problema como son falta de repuestos, plan de mantenimiento deficiente, órdenes de trabajo deficientes y maquinarias viejas u obsoletas; luego este llega a un segundo nivel donde se encuentran los efectos y consecuencias de todos estos problemas y aquí es donde se muestra lo mencionado anteriormente, horas no productivas, reducción de la rentabilidad y aumento de desechos.

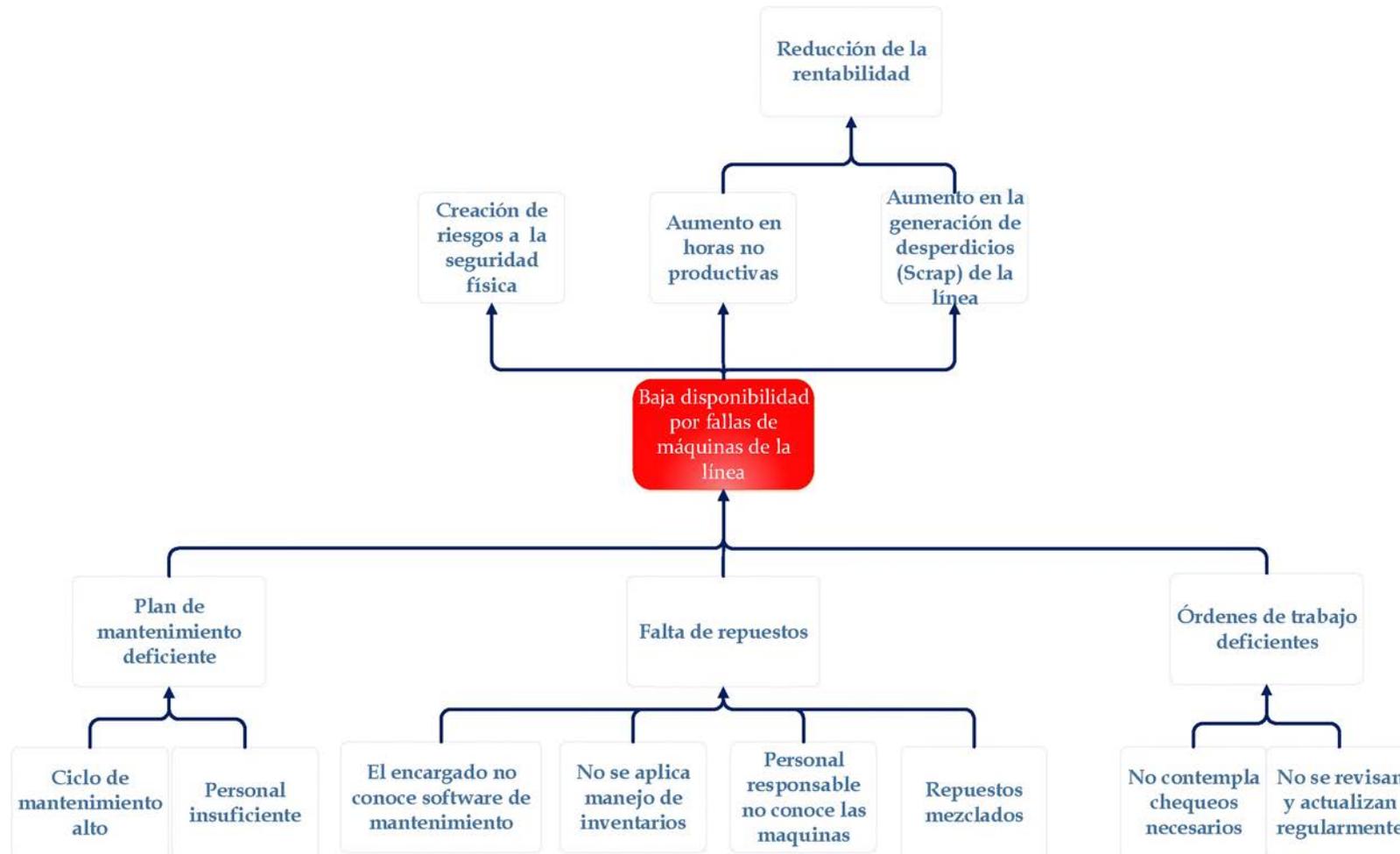


Figura 23. Árbol de problema representativo del proyecto.

5.2 Organización del departamento

El departamento de servicios técnicos es el encargado del mantenimiento de las áreas y maquinarias en planta. En la empresa existen tres subdivisiones: mantenimiento, calibración y facilidades; cada una destinada a tareas específicas de soporte a toda la planta.

Existe un gerente de servicios técnicos el cual se encarga de administrar, toma de decisiones y dar la cara ante los shareholders (accionistas) del negocio. Luego por subdivisión están los supervisores de mantenimiento, calibración y facilidades; en este trabajo solo se analizan los departamentos de mantenimiento y calibración.

Tabla 3.
Empleados en servicios técnicos.

Puesto	Cantidad de personal	Salario Mensual (RD\$)	Horas trabajadas por mes	Salario por hora
Gerente de Servicios Técnicos	1	\$ 200,000	190.6	\$1,049.1
Supervisores	3	\$ 125,000	190.6	\$ 655.6
Coordinadores	8	\$ 65,000	190.6	\$ 340.9
Técnicos de mantenimiento	5	\$ 30,000	190.6	\$ 157.3
Mecánicos	4	\$ 40,000	190.6	\$ 209.8
Técnicos de proyectos	3	\$ 40,000	190.6	\$ 209.8
Técnicos de calibración	4	\$ 40,000	190.6	\$ 209.8
Encargado de repuestos	2	\$ 17,000	190.6	\$ 89.1

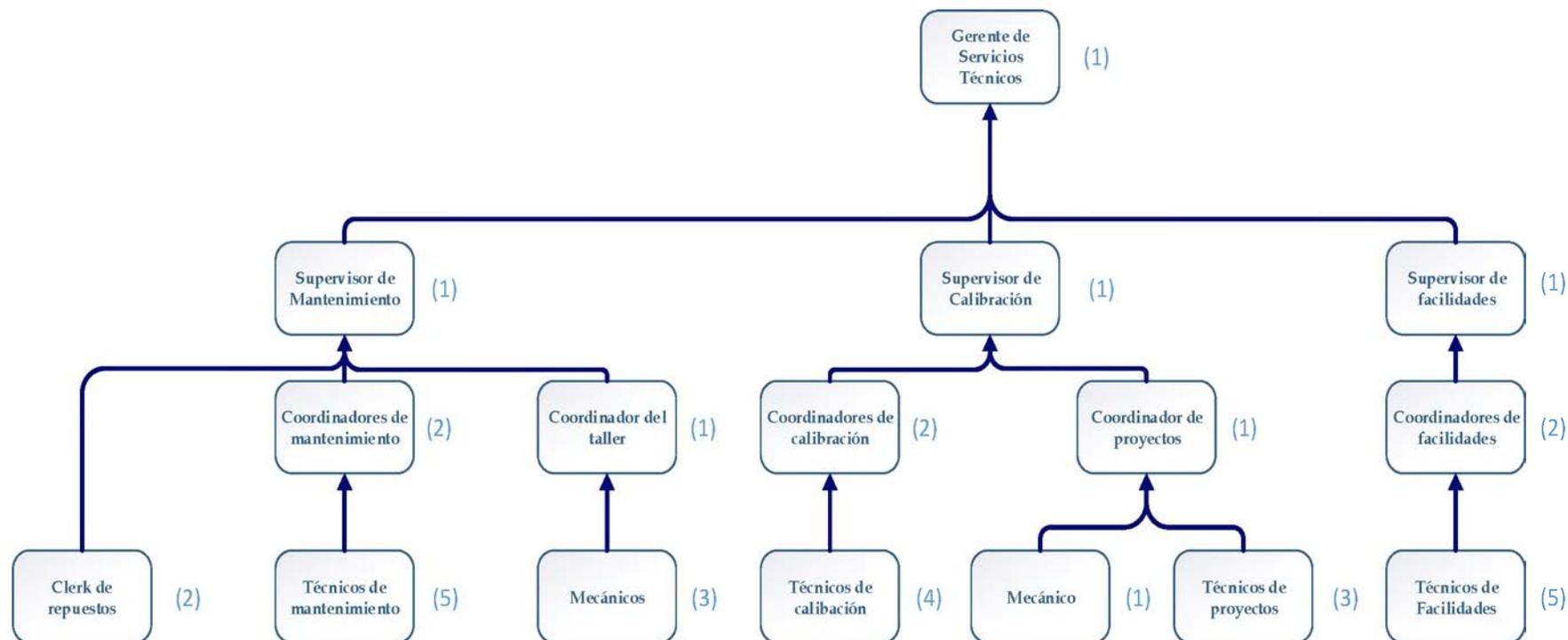


Figura 24. Organigrama del departamento de servicios técnicos

5.3 Responsabilidades

El supervisor de mantenimiento y/o facilidades es responsable de auditar el sistema de mantenimiento correctivo, preventivo y/o facilidades en sus áreas. Establece el programa de mantenimiento preventivo, monitorea el desempeño de los equipos de producción y las facilidades, así como tomar las acciones necesarias para obtener de los mismos la confiabilidad necesaria.

El coordinador de mantenimiento y/o facilidades es responsable que se ejecute el plan de mantenimiento preventivo según sea establecido y asistir al técnico en los mantenimientos correctivos que lo requieran. Documenta y actualiza las informaciones de equipos y paradas en el software de gestión de mantenimiento.

El técnico de mantenimiento y/o facilidades es responsable de ejecutar los mantenimientos correctivos y preventivos requeridos y/o planificados.

El supervisor de producción es responsable de notificar cualquier condición anormal del funcionamiento del equipo, así como también documentar los eventos de paradas a través del sistema de STOPS y formularios de paradas de máquinas establecidas. Es responsable de asegurar el cumplimiento del mantenimiento preventivo del operador del equipo según sea establecido.

El operador del equipo es responsable de verificar el desempeño de la máquina y correcto funcionamiento a través de los puntos indicados en la lista de chequeo de mantenimiento y limpieza de las maquinarias según el formato

establecido. Además, notificar al técnico relacionado e iniciar el formulario de paradas de máquina establecido

5.4 Maquinarias en la línea.

Actualmente existen 98 máquinas, de las cuales siete se encuentran fuera de servicio, distribuidas 14 máquinas por cada una de las siete celdas. Las máquinas más comunes son:

- Remachadoras “Rivet” radial
- Máquinas de impresión láser
- Prensas
- Máquinas calibradoras termales y magnéticas
- Pruebas mixtas

A continuación, se detalla la cantidad de paradas que representa cada tipo de maquinaria en la línea.

Tabla 4.
Paradas por clasificación de maquinarias en la línea.

Máquinas	Cantidad de paradas	Porcentaje de paradas	Tiempo en horas
Prensa	46	25.6%	152.8
Remachadora	34	19.2%	152.2
Calibradora	30	16.6%	173.1
Pruebas mixtas	28	15.3%	41.0
Láser	25	14.1%	155.9
Otros	15	8.9%	28.1
Total	178	100.0%	703.0

5.4.1 Remachadoras “Rivet” radial

Estas son utilizadas para sujetar piezas en las etapas de sub-ensamble y ensamble del breaker. Utilizan una herramienta o pin para realizar el remache la cual viene templada y con dimensiones específicas. Tiene un controlador de altura manual y un “Stroke” el cual mide la altura de rotación de las herramientas.

Una vez la herramienta cae fuera de especificación, ya sea por desgaste, el sistema empieza a presentar fallas en el proceso provocando la generación de desperdicios (scrap) y la generación de downtime.

El mantenimiento correctivo de estas consiste en rectificar la herramienta para nivelar la superficie de remachado; esto requiere que se cambien las alturas tanto del controlador de altura y del stroke, lo que requiere una desviación del estándar de trabajo determinado. Este proceso de rectificado debilita el tratamiento térmico de la herramienta haciendo que esta se deteriore más rápido provocando el problema de nuevo.

El tiempo entre mantenimiento preventivo de estas máquinas es de seis meses lo que deja una apertura de tiempo para que suceda una falla.

5.4.2 Máquinas de impresión láser

Estas se encargan de imprimir las informaciones del breaker en este, desde el amperaje hasta donde fue ensamblado. Se encuentran antes de la estación de empaque de la línea y representan la operación cuello de botella.

El tiempo de preparación de estas es de cinco minutos por lo que cada vez una falla es generada se añade este tiempo no productivo.

5.4.3 Prensas

La mayoría de estas son hechas a la medida en el taller por especificaciones del producto. Estas son de acción neumática a través de un cilindro el cual se compra según las especificaciones de fuerza y tamaño. El otro grupo de prensas son más complejas y grandes debido a las necesidades del proceso y que no se pueden hacer en el taller.

Las prensas presentan fallas de falta o incremento de presión y no realizan la operación al momento en que el operador acciona (esto se debe al controlador electrónico colocado en ellas).

5.4.4 Máquinas calibradoras termales y magnéticas

Es una operación crítica en la fabricación de breakers aparte de que son el cuello de botella de toda línea de producción ocasionando el corte de operaciones de flujo de una sola pieza.

Fallas presentadas en estas máquinas son:

- No calibra los breakers
- Los reporta con fallas (ejemplo: tiempo de trip alto o bajo)
- Apagado automático
- Accesorios con mal funcionamiento

Fallas que afectan directamente la productividad y la eficiencia de la línea.

5.4.5 Pruebas mixtas

Existen diferentes tipos de pruebas como pruebas mecánicas y de conductividad las cuales varían dependiendo de las especificaciones del producto.

Las fallas presentadas por este tipo de equipo son electrónicas, donde falla el controlador ya sea por una resistencia, una memoria o el desgaste de los sistemas de activación.

5.5 Indicadores de rendimiento

5.5.1 Tiempo no productivo

El tiempo no productivo o “downtime” que experimenta la línea al momento de una falla nos indica que tanto la línea no produce y se refleja directamente en la productividad. Por parte de mantenimiento correctivo se generaron 703 horas pérdidas; pero esta data no es exacta puesto que la información no es generada automáticamente por el sistema, sino por entrada manual. Al momento de analizar el impacto de fallas y el trabajo del equipo de mantenimiento se vuelve impreciso el cálculo.

Tabla 5.
Tiempo no productivo por paradas de máquina durante el año 2017

Meses del año	Suma de tiempo de parada en Horas						Total final
	Calibración		Calibración total	Mantenimiento		Mantenimiento total	
	Primer turno	Segundo turno		Primer turno	Segundo turno		
Enero	27.3		27.3	27.9	3.3	31.2	58.5
Febrero	36.3		36.3	27.4	8.9	36.3	72.7
Marzo	16.6	7.9	24.5	20.8	7.6	28.4	52.9
Abril	14.7	17.0	31.7	30.9	6.4	37.3	69.0
Mayo	27.9	11.8	39.7	27.7	9.9	37.6	77.3
Junio	18.5	10.6	29.1	29.2	3.8	33.0	62.1
Julio	24.9	3.5	28.4	26.1		26.1	54.5
Agosto	10.9	13.5	24.4	34.1		34.1	58.5
Septiembre	8.2	1.8	10.0	24.8		24.8	34.7
Octubre	17.9		17.9	22.2	8.9	31.1	49.0
Noviembre	38.6		38.6	21.5	8.7	30.2	68.8
Diciembre	18.4		18.4	23.3	3.3	26.6	45.0
Total final	260.0	66.2	326.2	316.0	60.8	376.8	703.0

Mediante el análisis de datos fue encontrada la media en horas perdidas por paradas de máquinas de 3.9 presentando una desviación estándar de 4.1 horas. En la siguiente figura se expresa en el histograma la distribución de las paradas por fallas de máquina.

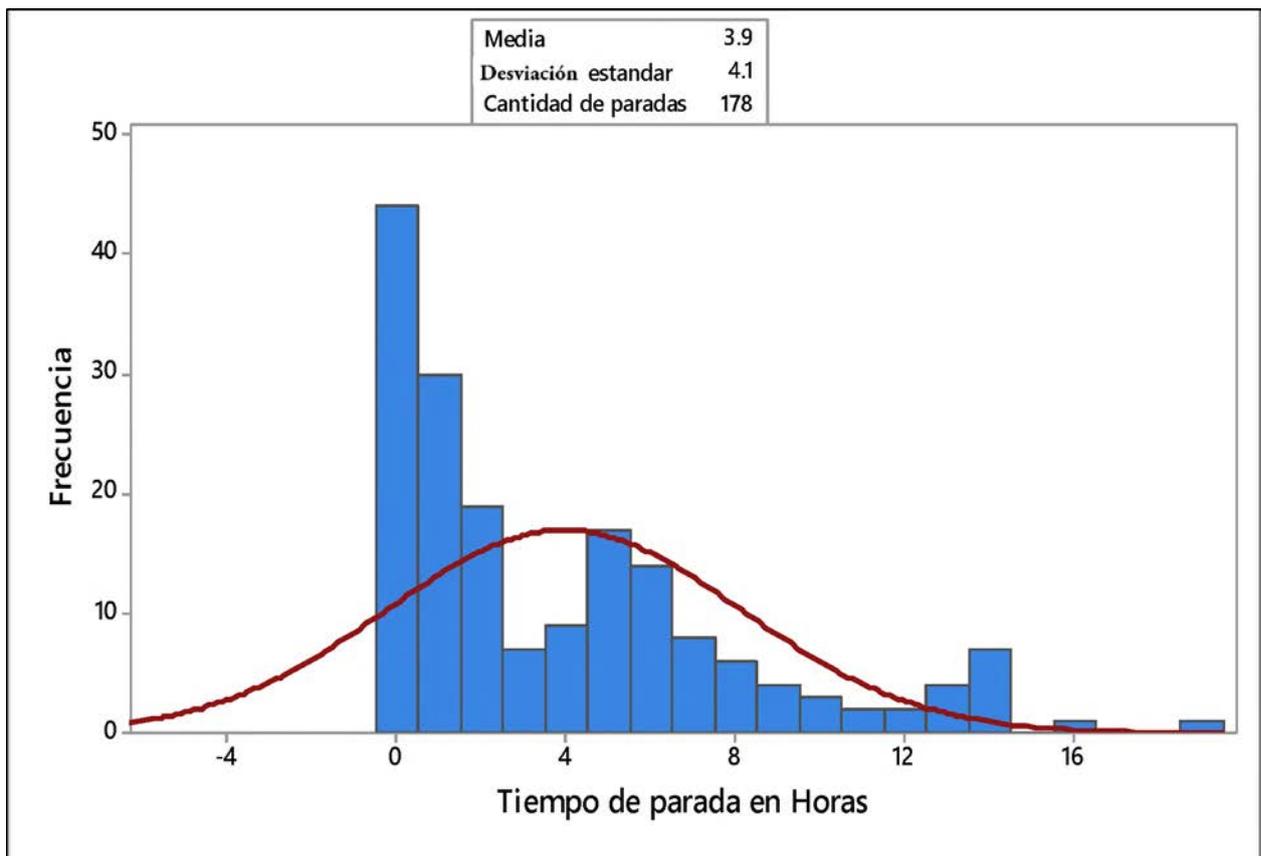


Figura 25. Histograma de tiempo de paradas en horas en relación a la frecuencia.

5.5.1.1 Horas disponibles

Durante el año 2017 se obtuvo una eficiencia de horas trabajadas de un 82.7% tomando en cuenta las horas no productivas ocasionadas por la falla de máquinas. Esto es tomando en cuenta solo los días laborales del período estudiado.

La tabla siguiente presenta de manera detallada, en horas y porcentajes, el tiempo no productivo a causa de fallas. Durante esta fecha se registraron nueve días festivos dando resultado a 146 horas no laborables por lo que resulta en 4050 horas laborables.

Tabla 6.

Eficiencia de trabajo productivo y no productivo durante el año 2017

Meses	Días laborables	Horas laborables	Horas sin días festivos	Horas no productivas	Horas trabajadas	Porcentaje de horas no productivas	Eficiencia de trabajo
Enero	21	340	308	59	249	19.0%	81.0%
Febrero	20	324	308	73	235	23.6%	76.4%
Marzo	23	373	373	53	320	14.2%	85.8%
Abril	20	324	308	69	239	22.4%	77.6%
Mayo	23	373	356	77	279	21.7%	78.3%
Junio	22	356	340	62	278	18.2%	81.8%
Julio	21	340	340	54	286	16.0%	84.0%
Agosto	23	373	356	58	298	16.4%	83.6%
Septiembre	21	340	340	35	305	10.2%	89.8%
Octubre	22	356	356	49	307	13.8%	86.2%
Noviembre	22	356	340	69	271	20.2%	79.8%
Diciembre	21	340	324	45	279	13.9%	86.1%
Total Neto	259	4,196	4,050	703	3,347	17.4%	82.6%

5.5.2 Tiempo medio entre fallas

El "Tiempo Medio Entre Fallas" (MTBF) es literalmente el promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente. Usualmente la gente lo considera como el tiempo promedio que algo funciona hasta que falla y necesita ser reparado (otra vez). (Olofsson, 2012)

Este es igual a la sumatoria del tiempo de funcionamiento entre la cantidad de eventos/fallas que han ocurrido en un lapso de tiempo determinado, en este caso el año 2017.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo de funcionamiento}}{\textit{Número de fallas}}$$

Ecuación 3. Tiempo medio entre fallas.

En la línea se presenta un total de 178 fallas en el año 2017 junto con 250 días laborables (259 menos nueve días festivos en el año) por 8.1 horas hombre por turno nos da 2,025 horas; en dos turnos 4050 horas menos las 703 horas no productivas, por lo que dividido entre 178 es igual a un MTBF de 18.8 horas.

$$MTBF = \frac{4050 - 703}{178} = 18.8 \textit{ horas}$$

Ecuación 4. Tiempo medio entre fallas de la línea.

Se encontró que en la línea ocurre una falla de máquina cada 18.8 horas, teniendo en cuenta que hay 16.2 horas productivas al día, entonces aproximadamente en dos turnos ocurre una parada. A continuación se detalla el

tiempo medio entre fallas individualmente por tipo de maquinaria; mientras más alto el número menos deficiencia tiene en mantenimiento.

Tabla 7.

MTBF expresado por tipo de máquina

Tipo de Máquina	Cantidad de paradas	Tiempo en horas	MTBF por tipo de máquina
Prensa	46	152.8	84.7
Remachadora	34	152.2	114.6
Calibradora	30	173.1	129.2
Pruebas mixtas	28	41.0	143.2
Láser	25	155.9	155.8
Otros	15	28.1	268.1

Mediante la gráfica de barras a continuación se muestra mejor las diferencias por tipo de máquina.

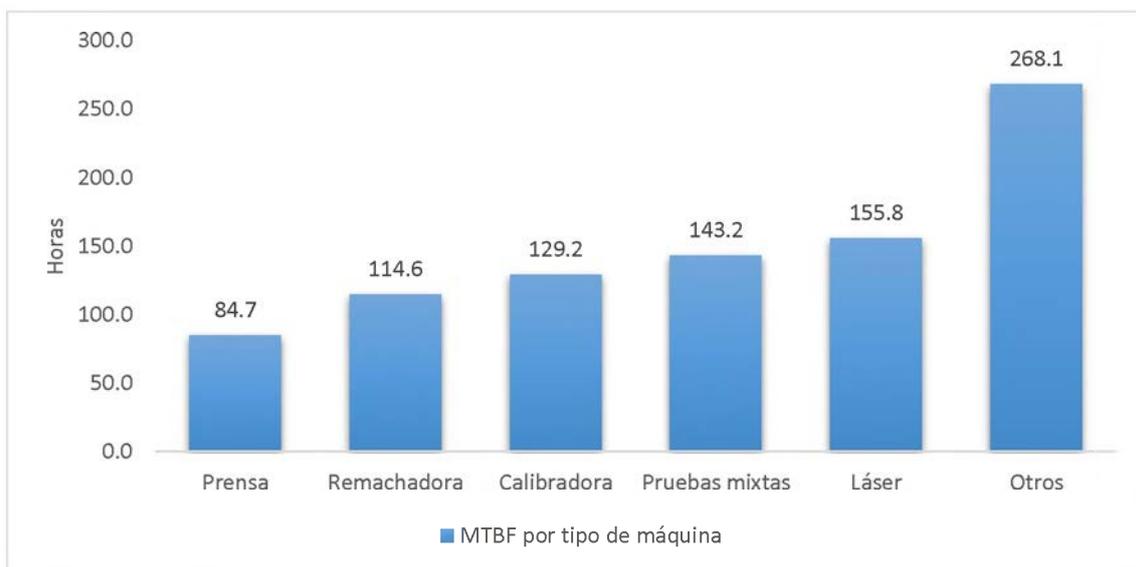


Figura 26. Representación gráfica de los MTBF por tipo de máquina.

5.5.3 Tiempo medio entre reparación

El "Tiempo Medio Para Reparar" (MTTR) es el tiempo promedio que toma reparar algo después de una falla.

Para algo que no puede ser reparado, el término correcto es "Tiempo Medio Para Falla" (MTTF). Algunos definirían el MTBF –para aparatos capaces de reparación- como la suma de MTTF más MTTR. ($MTBF = MTTF + MTTR$). En otras palabras, el tiempo medio entre fallas es el tiempo de una falla a otra. Esta distinción es importante si el tiempo de reparación (MTTR) es una fracción significativa del MTTF. (Olofsson, 2012)

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de fallas}}$$

Ecuación 5. Tiempo medio para reparar.

Durante el período de investigación se contaron 703 horas de tiempo no productivo junto con 178 paradas; lo que convierte el tiempo medio entre reparación en 3.9 horas.

$$MTTR = \frac{703}{178} = 3.9 \text{ horas}$$

Ecuación 6. Tiempo medio para reparar en la línea.

Con este dato se visualiza de manera general el tiempo en que se tarda en volver a funcionar una máquina una vez es detenida por una falla; en la siguiente tabla se muestran los MTTR por tipo de máquina.

Tabla 8.

MTTR actual por tipo de máquina y general.

Tipo de máquina	Cantidad de paradas	Tiempo en horas	MTTR por tipo de máquina
Prensa	46	152.8	3.3
Remachadora	34	152.2	4.5
Calibradora	30	173.1	5.8
Pruebas mixtas	28	41.0	1.5
Láser	25	155.9	6.2
Otros	15	28.1	1.9

Con la información obtenida en la tabla se puede notar como el tipo de máquina con más horas no productivas no significa que es la que más afecta al MTTR general.

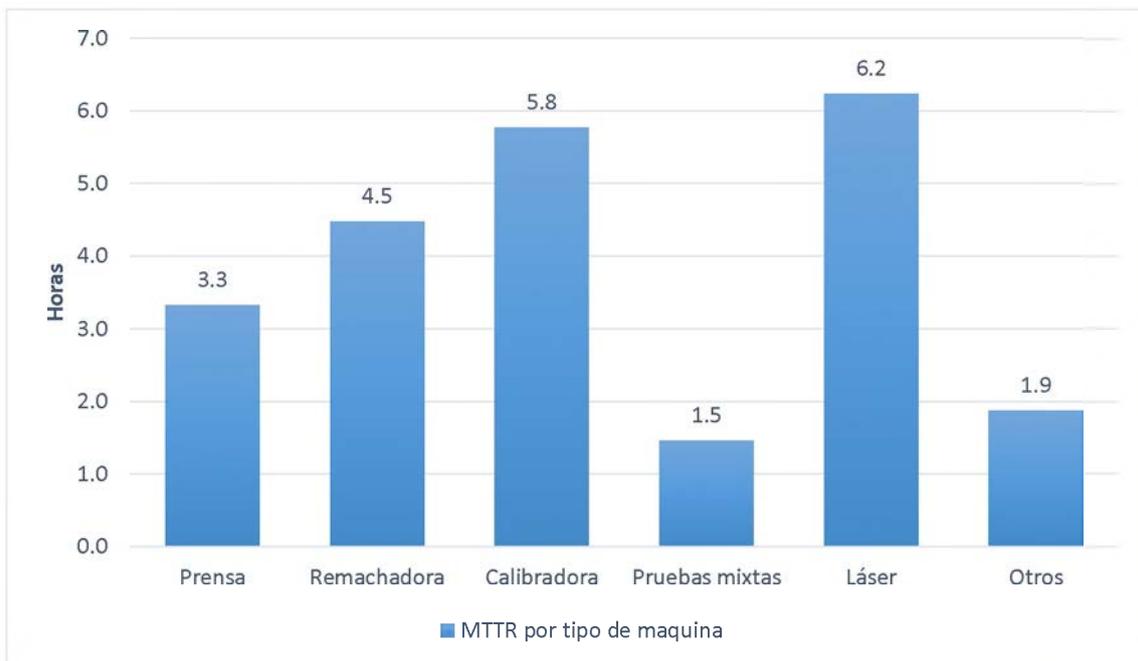


Figura 27. Comparación de MTTR por tipo de máquina y general.

5.5.4 Disponibilidad

La "disponibilidad" de un aparato es, matemáticamente, $MTBF / (MTBF + MTTR)$ para el tiempo de trabajo programado. La reparación es tiempo de inactividad no programado. (Olofsson, 2012)

Por lo que con 18.8 horas de tiempo entre fallas y 3.9 horas de tiempo entre reparación se obtuvo una disponibilidad de 82.6% durante el período.

$$Disponibilidad = \frac{18.8}{18.8 + 3.9} \times 100 = 82.6\%$$

Ecuación 7. Disponibilidad de la línea.

La disponibilidad por tipo de máquina es alta, pero al combinarlas en una línea de producción este número baja drásticamente; como se muestra más adelante en la siguiente tabla.

Tabla 9.

Disponibilidad general y por tipo de máquina en la línea.

Tipo de máquina	MTBF por tipo de máquina	MTTR por tipo de máquina	Disponibilidad por tipo de máquina
Prensa	84.7	3.3	96.2%
Remachadora	114.6	4.5	96.2%
Calibradora	129.2	5.8	95.7%
Pruebas mixtas	143.2	1.5	99.0%
Láser	155.8	6.2	96.2%
Otros	268.1	1.9	99.3%

Con esta información se puede observar claramente la situación de las paradas actuales en la línea.

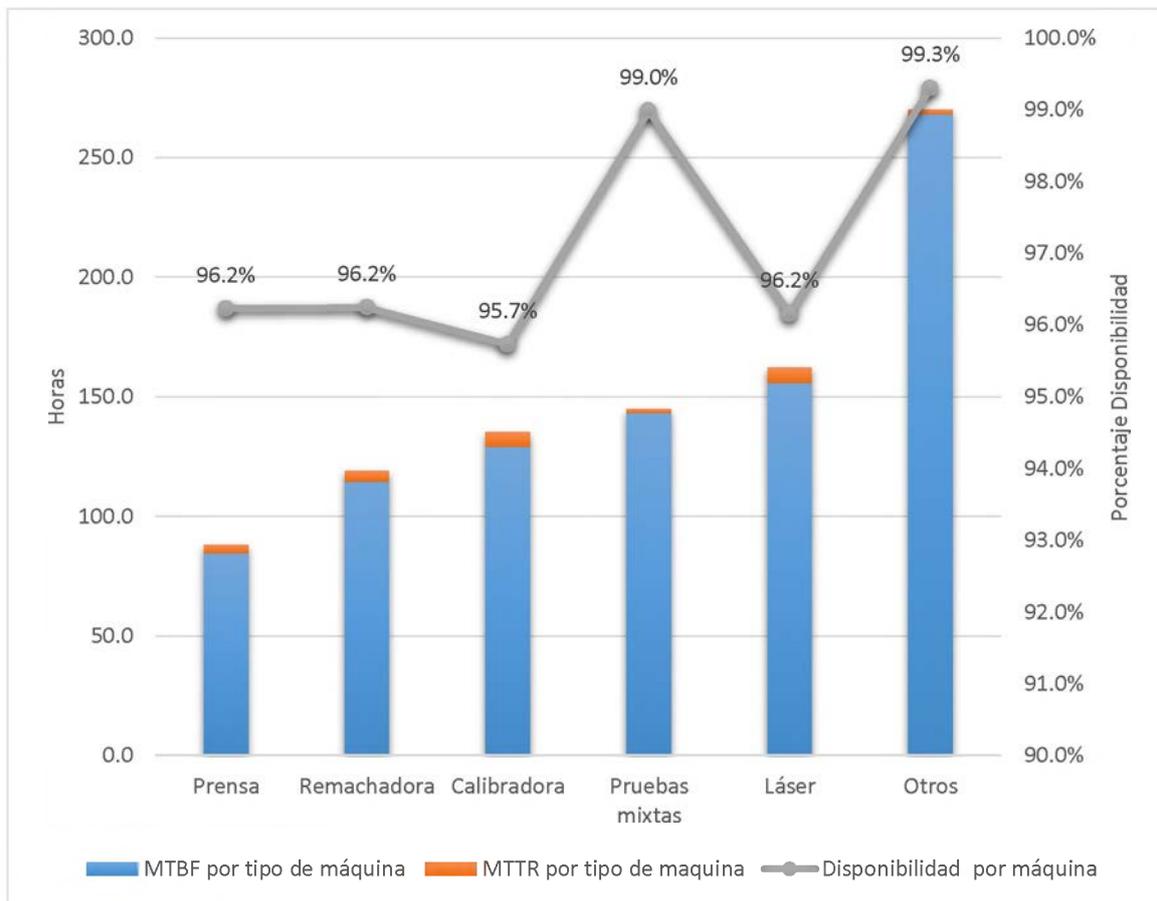


Figura 28. Disponibilidad general contra la disponibilidad individual por tipo de máquina.

5.6 Manejo de repuestos.

Todos los repuestos para maquinarias serán almacenados y controlados en el almacén de repuestos establecido.

El almacén de repuestos es responsable de cotizar y ordenar las piezas y partes requeridas para mantener el buen funcionamiento de los equipos siguiendo las recomendaciones de los fabricantes y el comportamiento histórico del equipo.

El inventario de piezas y partes se controlará a través del software de gestión de mantenimiento establecido.

Algunas piezas y repuestos especiales serán ordenados, controlados y almacenados por el departamento de facilidades y proyectos.

Para realizar el mantenimiento correctivo se necesita el uso de repuestos los cuales se encuentran en el área del almacén de repuestos; el técnico solicita los repuestos al empleado encargado del área. En el almacén de repuestos no se lleva ninguna forma de inventario planificada la cual ahorre costos y tiempo sino más bien un sistema de pedido P el cual el encargado al ojo determina la cantidad que él considera que debe pedir, el encargado compra según entiende. Aunque existe una plataforma en el sistema que puede mejorar el procedimiento, pero no está en uso por desconocimiento del encargado de repuestos.

El almacén de repuestos está organizado por secciones dependiendo el departamento que de uso a los repuestos; tiene un rack para facilidades, mantenimiento y calibración, también un rack para motores y sensores de uso frecuente en la planta. Los repuestos se encuentran en bins donde se puede encontrar material mezclado y bins sin identificación lo que retrasa el proceso de buscar el repuesto requerido.

El empleado encargado organiza los racks y bins dependiendo como él sienta que es lo correcto es decir no existe una manera estándar definida para la organización de los repuestos lo cual a la hora del técnico ir a buscar una pieza es

un poco caótico por el tiempo invertido de manera innecesaria debido a este problema.

El encargado de repuestos no conoce las maquinarias, una vez se daña una máquina se vuelve complicada la comunicación entre este y el técnico quien realiza la tarea de mantenimiento. Por medio de entrevista a los técnicos suelen tardar 15 minutos buscando repuestos en el área, el empleado encargado obteniendo ayuda del técnico; lo que debería de evitarse debido a que es un área que maneja alta cantidad de piezas caras.

Preguntas del tipo:

- Que le pasa a la maquinaria y como sucedió.
- Cual maquinaria fue y modelo.
- Que cantidad de piezas (de acuerdo a que la usara) necesita.

Son las que el encargado le hace al técnico a la hora de suplirle una pieza para una maquinaria que tenga problemas y necesite de un mantenimiento, entonces si el uso de un formato que ayude agilizar este proceso, se van perdiendo minutos lo cual toman parte de la parada de la maquinaria.

Por lo que son aproximadamente 178 paradas por máquina por 15 minutos es igual a 2,670 minutos perdidos en mantenimiento correctivo; aumentando también el tiempo de paradas programadas para mantenimiento preventivo.

Tres de diez veces en las que se necesita un repuesto para una máquina no se encuentra y se termina parchando la falla temporalmente, lo que puede ocasionar que ocurra de nuevo; si la pieza es crítica el empleado encargado debe de salir a buscar la pieza aumentando el downtime y generando costos de transporte y de que en la compra rápida los suplidores identifican oportunidad y venden los productos más caros lo que aumenta el costo del mantenimiento correctivo.

La utilización de un software de mantenimiento donde se almacenen todos los datos de los equipos y repuestos es mandatorio considerando el tamaño de la planta. El sistema está instalado en los servidores de la empresa, pero no se le da uso; este es capaz de realizar manejo de inventarios y clasificarlos dependiendo de las necesidades de la empresa.

5.7 Software de mantenimiento

El coordinador de mantenimiento tiene la tarea de tratar todos y cada uno de los problemas de línea con la ayuda de un software especializado en mantenimiento llamado “Faciliworks”. La empresa invirtió dinero en este software para que el uso cotidiano de las herramientas y documentaciones necesarias para los procedimientos en la línea sean más efectivos y se puedan ordenar de acorde a las facilidades que este software ofrece.

Este software ofrece muchas herramientas del día a día en la línea como pueden ser las peticiones de servicio, las órdenes de trabajo, resumen de

herramientas, calibración, inventario de repuestos y opciones para los tipos de mantenimiento.

Entonces sucede lo siguiente, este software que se compró y se invirtió con un fin ha pasado a un segundo plano tanto por parte del coordinador como de los demás colaboradores tanto por desconocimiento de uso del software como por falta de interés en aprender del mismo.

Tanto técnicos como operarios no tienen una noción básica del software ni el encargado de almacén de repuestos; conocen tampoco material que complica las labores del día a día y deja al coordinador como única persona que conoce el sistema y ni lo suficiente.

5.8 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se da en el momento que una maquinaria empieza a actuar de manera no ordinaria o falla completamente; para cada área dentro de la planta existen técnicos asignados; los cuales conocen el área y las maquinarias que trabajan allí. Este tipo de mantenimiento está compuesto de la siguiente manera.

5.8.1 Responsables

Para la resolución de problemas es necesario delimitar las actividades de las personas involucradas y quienes son estas personas. Dentro de la planta se trabaja de cómo se detalla más adelante.

Al ocurrir una falla el supervisor de producción o su asistente es responsable de notificar y dar seguimiento al departamento de mantenimiento. Como cada área tiene un técnico designado se le comunica a él y al coordinador de mantenimiento; el mecánico es responsable del analizar y solucionar el problema mientras que el coordinador agrega al sistema los cambios realizados por el técnico.

El encargado del almacén de repuestos es aquel quien supe los materiales necesarios cuando se necesiten, según la orden de trabajo generada por el coordinador, los requerimientos de repuestos en esta el almacén de repuestos supe los repuestos y material gastable como el teflón y lijas.

Tabla 10.

Personal involucrado con la responsabilidad y secuencia.

Personal	Departamento	Responsabilidad	Secuencia
Operador de máquina	Producción	Notificar la anomalía	1
Supervisor/Asistente	Producción	Detener la producción	2
Supervisor/Asistente	Producción	Generar reporte de parada	3
Supervisor/Asistente	Producción	Notificar al técnico de mantenimiento	4
Técnico de mantenimiento	Mantenimiento	Realiza el mantenimiento correctivo	5
Técnico de mantenimiento	Mantenimiento	Completar formato de paradas y entregar a coordinador	6
Coordinador de mantenimiento	Mantenimiento	Documentar acciones, cerrar stop	7
Supervisor/Asistente	Producción	Recibir el trabajo realizado por el técnico	8

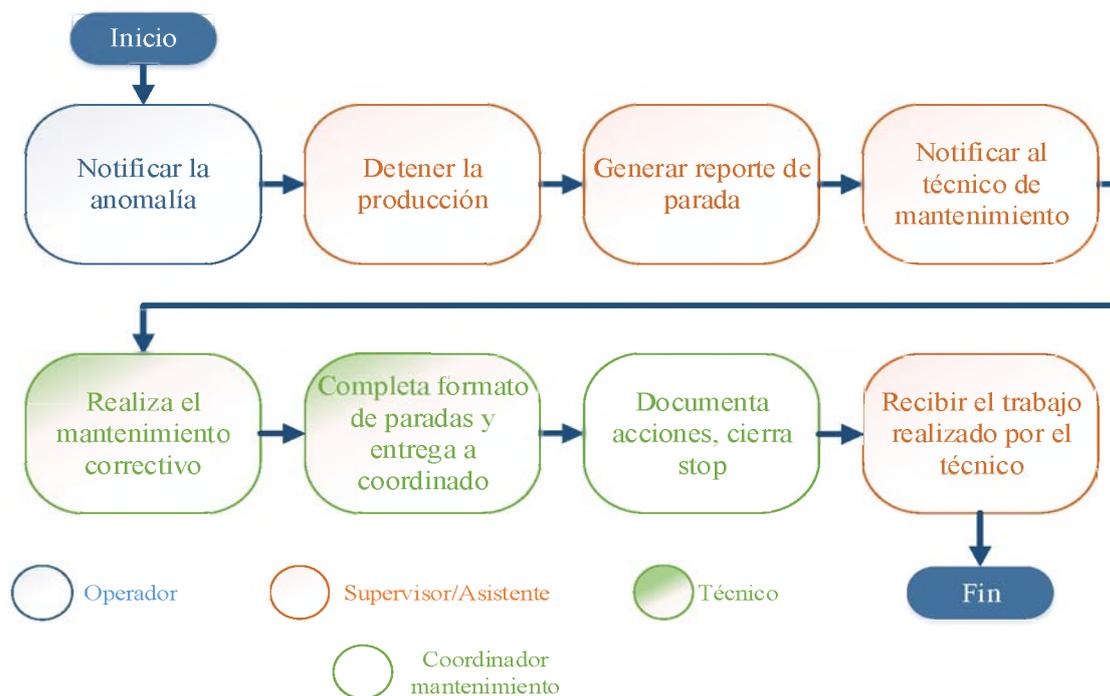


Figura 29. Diagrama mostrando el orden para la realización de actividades de mantenimiento correctivo.

5.8.2 Procedimiento

Si se detecta algún mal funcionamiento en la máquina, el operador es responsable de notificar al supervisor de manufactura e iniciar el proceso de llamado al técnico llenando el formulario de parada de máquina establecido.

El técnico de mantenimiento y/o facilidades evalúa la situación y corrige según aplique. De ser necesario puede ser asistido por el coordinador, supervisor o gerente de servicios técnicos.

El supervisor de manufactura generará un STOP valiéndose de la aplicación electrónica disponible en el servidor de Haina y/o en el desktop del usuario. Se procederá al llenado de los campos requeridos y se indicará como comentario una

breve descripción de la falla, así como la urgencia de la misma, (se considera urgente si la producción está detenida).

El supervisor/coordinador de mantenimiento y/o facilidades, recibirá un correo automático y evaluará el tipo de trabajo, verificará la disponibilidad de los recursos y asignará un técnico para efectuar el trabajo en caso de no haberlo realizado.

Una vez resuelto el evento de mal funcionamiento, el técnico de mantenimiento y/o facilidades completará el formato de parada de máquina/reporte de producción sección de paradas de máquinas, se firmará por las partes establecidas y será entregado al coordinador de mantenimiento / facilidades.

El coordinador de mantenimiento y/o facilidades procederá a actualizar el evento asociado al equipo en el software de gestión de mantenimiento, así como también documentar acciones y cerrar el STOP en la aplicación electrónica.

Los eventos de STOP's se documentan en formas "3UPS" donde se indican acciones tomadas, identificarán causas raíces y acciones preventivas de lugar. Así como también se graficarán resultados de las operaciones para medir rendimiento del área.

Una vez ocurre una falla de una máquina, ya sea que esté trabajando de manera incorrecta o que se detenga completamente, el operador se comunica con el supervisor o asistente de producción de la línea quien certifica que la máquina este presentando problemas y este hace un llamado solicitando el técnico del área

por medio de un sistema paging (de perifoneo) por el área de producción de la planta. Si el empleado no escucha el llamado se toma de cuatro a seis minutos que un compañero note la falta y brinde el soporte. El proceso se vuelve lento y si los demás técnicos están ocupados se pierde de siete a quince minutos.



STOP [032017110233263]: Production line has been stopped. (Status: Open)

[Click here](#) to see more details.

Stop Code	Status	Shift	Stop Type	Date Reported	Date Stop	Affected By	Stop Reason	Affected	Machine	Part Number	Commentary
032017110233263	Open	First Shift	DOWNTIME	11/2/2017 10:10:07 AM	11/2/2017 10:10:07 AM	Maintenance	Fixture con Mal funcionamiento	1&3 Pole	Not Machine Affected	N/A	Maquina rivet detenida problema de seteo. Impacto en load y servicio.

--
Jorge I
Supervisor.MFG.Production.

Figura 30. Reporte de parada (Stop).

Tabla 11.

Tiempo de respuesta a mantenimiento correctivo

Hora	Visualización	Departamento	Tiempo de repuesta en minutos
9:00 AM	1	Mantenimiento	4.13
9:07 AM	2	Calibración	2.36
11:31 AM	3	Calibración	1.02
12:11 PM	4	Mantenimiento	7.5
8:37 AM	5	Mantenimiento	5.95
9:12 AM	6	Calibración	6.82
11:33 AM	7	Mantenimiento	7.70
12:58 PM	8	Mantenimiento	3.50
3:23 PM	9	Mantenimiento	8.60
4:41 PM	10	Calibración	10.33
10:57 AM	11	Calibración	0.53
12:32 PM	12	Calibración	2.30
8:15 AM	13	Mantenimiento	14.72
2:19 PM	14	Calibración	16.33
4:45 PM	15	Mantenimiento	9.18
1:20 PM	16	Calibración	11.26
3:36 PM	17	Calibración	0.92
10:12 AM	18	Mantenimiento	12.39
10:58 AM	19	Mantenimiento	12.96
3:10 PM	20	Mantenimiento	5.40
7:36 AM	21	Calibración	14.09
8:40 AM	22	Calibración	9.25
8:55 AM	23	Mantenimiento	15.22
4:58 PM	24	Calibración	12.13
7:06 AM	25	Mantenimiento	5.58
Promedio			8.01

Con un tiempo promedio de aproximadamente ocho minutos, tiempo que detiene toda la línea debido al balanceo de una pieza la vez (One Piece Flow), por lo que en las 178 paradas relacionadas a los departamentos de mantenimiento tuvieron ocho minutos de tiempo no productivo antes de que el problema empiece a ser trabajado. Con aproximadamente un total de 118.8 minutos de espera solo para que un técnico responda al mes y 1,425.8 minutos anuales.

El personal de mantenimiento tiene en su posesión una radio en donde se comunican entre sí, así pueden notar quien necesite y solicitar apoyo. Cuando estos salen a comer o están en reunión suelen bajar el volumen y hasta apagar la radio lo que hace que el técnico no se entere del problema, no existe otro método de comunicación entre ellos puesto que los teléfonos celulares están prohibidos en el área de manufactura. También, sin notarlo, suelen cambiar de canal de transmisión provocando incomunicación.

Una vez el técnico llega al área se entera por medio del personal de producción o el operador; luego se convierte en un ensayo de prueba-error donde proceden a realizar cambios a la máquina y se prueba si está bien, lo que dependiendo del tiempo de ciclo de la máquina y el tiempo que tome el técnico en reparar la máquina un cúmulo de material defectuoso. No existe un método para atacar las fallas comunes.

Si se necesita para la reparación algún material de remplazo el técnico debe de ir al almacén de repuestos donde le solicita al empleado encargado el material necesario. Pero las deficiencias detalladas anteriormente en el inciso 5.6 añaden una pérdida promedio de diez minutos.

Una vez terminado el trabajo, no existe una entrega formal, el coordinador suele ver los cambios que se hicieron; pero con la línea ya corriendo. Producción

lleva un control de las paradas, pero solo toman el tiempo para justificar lo perdido; el sistema no cuenta automáticamente, todo se hace por comentarios.

5.9 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se da con una regularidad fija de seis meses a todas las máquinas sin discriminación. Esto es una falta grave puesto que asume que todos los equipos son iguales.

5.9.1 Mantenimiento preventivo operacional

El operador será responsable de verificar y ejecutar tareas establecidas en el formato TPM del operador. En caso de encontrar alguna anomalía este la anotará en la casilla de observación y la reportará de inmediato para que el departamento de mantenimiento ejecute acción correctiva. El operador será responsable de firmar la lista de chequeo de TPM al inicio de cada turno.

Ante una falla del equipo, el operador iniciará el proceso de llamado al técnico documentando la forma de parada de máquina establecida.

Los supervisores e ingenieros de cada línea serán responsables de dar seguimiento y reposición del formato de TPM del operador. Después de haber dado seguimiento a las acciones generadas este se destruye.

Este es un documento que contiene información vital para resolver futuras averías, dando información histórica sobre problemas. Una vez que este se

destruye se pierde la información y cada vez que ocurre una nueva falla se realiza el mismo análisis y las mismas acciones que no permite saber si son correctos.

5.9.2 Mantenimiento preventivo técnico

La aplicación del mantenimiento preventivo por el técnico se realizará de acuerdo a la agenda establecida a través del software de gestión de mantenimiento.

El coordinador de mantenimiento y/o facilidades generará las órdenes de trabajo correspondientes al período de tiempo próximo a vencer, ésta se les entregarán a los técnicos para la ejecución del mantenimiento de lugar.

En caso de no poder llevar a cabo un mantenimiento preventivo porque se necesite la máquina para producción o cualquier otra causa, se podrá posponer hasta un máximo de 1 semana luego de la fecha establecida siempre que el equipo tenga condiciones de operación aceptables. Se debe llenar una forma para notificar las razones de la posposición y restablecer una nueva fecha de mantenimiento.

El coordinador de mantenimiento generará una etiqueta que se colocará en cada máquina indicando el ID del equipo, la fecha en que se ejecutó el mantenimiento preventivo y la fecha del próximo mantenimiento, la etiqueta será entregada a los técnicos junto a la orden de mantenimiento preventivo.

La orden de trabajo generada indicará qué puntos debe verificarse. Este listado servirá como una lista de chequeo de verificación de tareas ejecutadas por

el técnico de mantenimiento y/o facilidades. Incluye instrucciones a seguir de prácticas de seguridad y Lock Out Tag Out (LOTO).

Una vez terminado el mantenimiento, el técnico de mantenimiento y/o facilidades debe llenar las formas correspondientes, según la máquina, y entregar al coordinador de mantenimiento y/o facilidades para su validación y actualización en el software de gestión de mantenimiento.

En caso de encontrar algún mal funcionamiento de la máquina, el técnico debe anotar el defecto encontrado junto con la acción correctiva.

Una vez terminado el mantenimiento, el coordinador de mantenimiento y/o facilidades cierra la orden en el software de gestión de mantenimiento documentando todas las acciones realizadas que no están en la lista de tareas, así como los repuestos usados. Se debe abrir una requisición de servicio u orden de trabajo para las tareas y acciones pendientes luego de haber realizado el mantenimiento.

Una vez se cierra la orden se imprime, luego se ubicarán en la carpeta / archivo correspondiente y será guardado en el área designada por el supervisor de mantenimiento y/o facilidades.

Actualmente existe una discrepancia en la información que maneja el software de mantenimiento; un ejemplo de esto es que los nombres de los técnicos no han sido agrados al sistema y los mantenimientos preventivos salen en nombre

de un personaje que dejó la compañía hace más de tres años. Esto hace imposible la evaluación del desempeño del técnico a la hora de evaluar las tareas que realiza.

La frecuencia de los mantenimientos preventivos es muy alta, debido a maquinarias con más de veinte y cinco años trabajando con las especificaciones del fabricante cuando estos equipos tienen vida útil de diez a veinte años. Como es el caso de las máquinas de rivet, utilizando un modelo ya discontinuado.

El mantenimiento preventivo a las diferentes maquinarias se da con una frecuencia establecida y se resume en la siguiente tabla.

Tabla 12.
Frecuencia de mantenimiento preventivo actual

Máquinas	Frecuencia de mantenimiento preventivo actual
Remachadoras “Rivet” radial	Seis meses
Máquinas de impresión láser	Seis meses
Prensas	Ocho meses
Máquinas calibradoras termales y magnéticas	Tres meses
Pruebas mixtas	Cuatro meses

El tiempo definido para el mantenimiento preventivo se da en base a especificaciones del fabricante; esto se vuelve no confiable una vez las máquinas pierden el soporte o pasan del tiempo definido por el fabricante de su vida útil. Esta línea de ensamble tiene más de 20 años laborando en el país y más de diez en

Puerto Rico por lo que esta idea inicial de mantener los mantenimientos preventivos en base al fabricante debe de ser modificada.

5.10 Relación entre parada por falla y mantenimiento preventivo

Existe una relación entre la cantidad de paradas ocasionadas por falla de máquinas y el mantenimiento preventivo que se les da a las mismas. Para esto se calcula el índice de correlación (r) con la siguiente ecuación.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Ecuación 8. Fórmula para calcular índice de correlación.

Donde:

r: índice de correlación

x: cantidad de paradas en el período

y: cantidad de mantenimiento preventivo programado en el período

n: cantidad de datos suministrados

Tabla 13.

Datos para el cálculo del índice de correlación.

Máquinas	x	y	xy	(x) ²	(y) ²
Prensa	46	1.5	69	2116	2.3
Remachadora	34	2	68	1156	4
Calibradora	30	4	120	900	16
Pruebas mixtas	28	3	84	784	9
Láser	25	2	50	625	4
Total	163	12.5	391	5581	35.3

Al obtener estos datos es posible calcular el índice de correlación utilizando la ecuación anterior:

$$r = \frac{(5 \times 391) - (163 \times 12.5)}{\sqrt{[(5 \times 5581) - (163^2)][5 \times 35.3 - (12.5^2)]}} = -0.5$$

Ecuación 9. Cálculo del índice de correlación.

El resultado es un -0.5 lo que indica una fuerte correlación entre la cantidad de paradas por falla de máquinas y el mantenimiento preventivo que se les da las mismas. El hecho de que sea negativo establece que mientras el incremento el número de mantenimientos preventivos se reduce la cantidad de paradas relacionadas a la falla de máquinas.

5.11 Coordinación de actividades.

La coordinación de actividades de mantenimiento es realizada por los coordinadores, cada departamento tiene dos coordinadores activos divididos por áreas; debido al tamaño de la planta. Pero estos coordinadores trabajan en conjunto en el primer turno, en el segundo turno no existe nadie quien registre las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo completadas en ese transcurso de tiempo.

En el primer turno estos se encargan de revisar y coordinar las actividades para los dos turnos, pero la recolección de información de los trabajos realizados en el segundo turno no es exacta y tiende a ser errónea debido a que no existe

alguien quien capture la información en el instante; sino que los datos son intercambiados en el cambio de turno.

El software de mantenimiento les permite ver dentro de un calendario los mantenimientos a dar en futuro, los que deben de ser realizados en la semana vigente y los mantenimientos vencidos. Existen registros de mantenimientos vencidos de fecha 2012; lo que indica que el sistema no está siendo actualizado. También en la asignación de los mantenimientos presentan nombres de empleados que actualmente no laboran en la empresa y estas asignaciones son realizadas por los actuales empleados, pero sin un control de quien hace que, por lo que no es posible rastrear quien hizo una actividad si el empleado no admite que la realizó.

5.12 Órdenes de trabajo

Las órdenes de trabajo es el documento que detalla la manera en que se debe de realizar el mantenimiento y el personal quien las realizará. Las órdenes de trabajo de mantenimiento son generadas por el coordinador de mantenimiento con cada uno de los detalles que necesita de acuerdo a la falla de la maquinaria y asignada al técnico responsable que tratara directamente el problema que tenga esa maquinaria.

Las órdenes de trabajo están en inglés, un idioma que no es hablado por los técnicos de mantenimiento, y los comentarios son puestos en español; una mezcla entre los dos idiomas. Se dificulta la operación y se vuelve monótona debido a falta

de comprensión. Los técnicos solo se fijan en el ID de la máquina y proceden a dar el mantenimiento como “siempre se ha hecho” (comentan los técnicos). Esto genera una incertidumbre si el trabajo o mantenimiento si fue eficaz y eficiente.

Por otro lado, en estas órdenes tampoco se especifica la cantidad de material gastable a utilizar en esta corrección ni cuales materiales, tampoco especifica las piezas que se usaron como recambio de piezas directamente dañadas lo cual a nivel de inventario genera un caos en el área de repuestos.

La siguiente es una orden de mantenimiento con cada uno de los títulos más importantes a tratar, como son: la causa de la falla y el técnico al cual va asignado, la descripción de la maquinaria y el tiempo no productivo de la misma. Comentarios al respecto una vez finalizado dicho mantenimiento, número de orden, fecha de inicio y fin del mantenimiento realizado a esa maquinaria. Cabe destacar que, por temas como el idioma y el desconocimiento de ciertos aspectos, los técnicos no llenan la orden completamente.

Propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento en una línea de producción de una empresa de ensamble de equipos de protección eléctrica, República Dominicana 2017

Work Order			
Work Order No.	WO-0000002486	WO Description	Mantenimiento maquina #57 y extractor
Asset ID	RWKG-02	Task ID	
Description	Welding Machine	Task Description	
Cause	Rutinas	Task Type	Repair
Priority	Medium	Meter Based Schedule	
Asset S/N	95044065564-HA	Float Fixed Meter	No
Current Location	K1		
Storage Location	Linea X		
Supplier User 1	Yon Kenedy		
User 2		Maint Done Meter	
Staff ID	456345	Date-based Schedule	0
Work Phone			
Completed	No	Float Fixed	No
Emergency Priority	No	Maintenance Done Date	10/20/2016
Request No		Next Date Due	07/06/2012
Requester		Downtime	5.3 Hours
Entered By	2334		
Comments Limpieza y mantenimiento general maquina 57, incluyendo cambio de tornilleria en casos necesarios. Limpieza de extractor de particulas de lijadora. Limpieza de los ductos de extraccion.			
Problem Description			
Problem Code			
Procedure Name			
Procedure			
Done By Electronic Signature			
Signature Name	Date	Time	Signature Mode
José Placencio	07/10/2012	2:46:50 PM	Signed
Approved By Electronic Signature			
Signature Name	Date	Time	Mode
Work Order Checklists			
Checklist Name			
Comments			
Completed By		Dept	Date
Approved By		Dept	Date

Figura 31. Orden de trabajo

5.12.1 Generación de las órdenes de trabajo para mantenimiento preventivo

Las órdenes de trabajo para el mantenimiento preventivo son generadas automáticamente por el sistema de manejo de mantenimiento, CMMS. El coordinador responsable del área está encargado de incluir todas las máquinas y asegurarse de que el sistema este actualizado, este introduce la información de cada máquina, los procedimientos a seguir para mantenimiento preventivo y correctivo de la misma, así también como la frecuencia en que el mantenimiento es realizado.

5.13 Archivo y retención de registros

Dibujos, manuales, literaturas y cualquier otro del equipo deberá retenerse en el departamento de mantenimiento, hasta que éste se haga inoperante. Las hojas de los registros referentes a mantenimiento preventivo deben guardarse por un plazo mínimo de un año, en las demás formas el coordinador de mantenimiento y/o facilidades las destruirá cuando no le sean necesaria.

En cambio, cuando sucede una falla que requiere de un mantenimiento correctivo no hay un documento en vigencia el cual les sirva tanto al coordinador como al técnico como prueba o registro para transcribir todo lo sucedido con esa maquinaria, sucede todo de forma muy mecanizada y sin documentar nada.

Esto es un problema a largo plazo ya que cuando el problema es reincidente al no tener documentación del mismo puede hasta volverse una rutina de

reparación ya que no se estarían atacando los puntos débiles del problema inmediatamente sucede el problema.

Los manuales de los equipos se guardarán en el área designada por el supervisor de mantenimiento y/o facilidades.

Existen maquinarias creadas dentro de la empresa por el taller y el equipo de proyectos para las cuales no son creados manuales ni dibujos; esto dificulta la reparación de dichas máquinas teniendo que buscar aquel que trabajo en esta para resolver problemas. Esto crea empleados indispensables dentro de la empresa.

5.14 Diagrama de causa-efecto (Ishikawa)

Al observar en el árbol del problema, la causa principal son las fallas en las maquinarias y sus diferentes causas y consecuencias, por ende, mediante el diagrama “Ishikawa” se desglosarán todas y cada una de las causas analizadas anteriormente de manera más detallada y con metodología de las 6M (Máquina, Método, Material, Mano de obra, Medida, Medio ambiente).

Aprovechando las herramientas que nos suministra el diagrama se ataca los puntos débiles de esta problemática y reforzarla y así renglón por renglón desglosar al máximo las causas secundarias de las mismas.

A través de este Ishikawa se ha determinado que la causa raíz es la M de método. Ya que la mano de obra no está llevándose a cabo como les corresponde

y se observa como es el mayor cumulo de causas que esta causa raíz tiene, por ende, el mayor enfoque y esfuerzo se centra en la M de mano de obra.

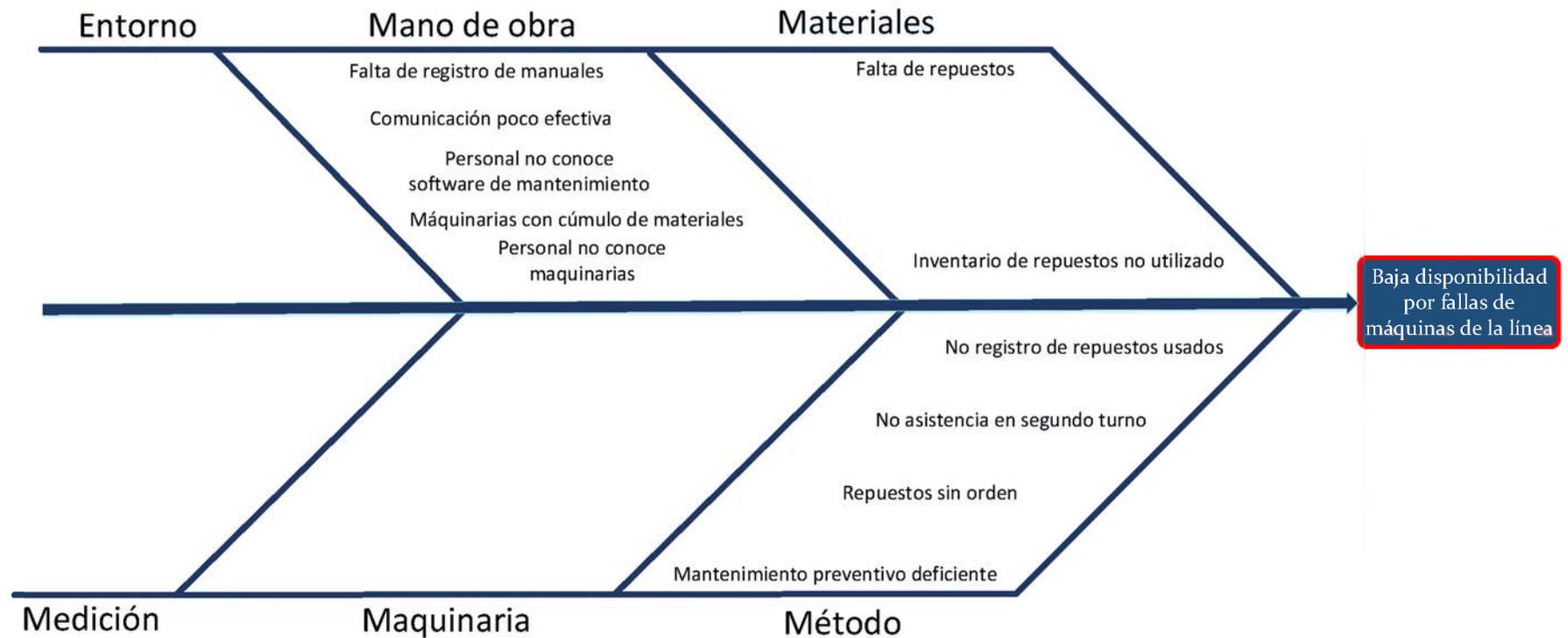


Figura 32. Diagrama de Ishikawa presentando las causas del problema.

Capítulo VI. Propuesta

La gestión del mantenimiento es clave para el desarrollo de toda industria manufacturera debido a que las fallas siempre están presentes, por eso una vez analizado los procedimientos actuales y ver las deficiencias de esta, se propone mejoras ajustadas a las restricciones y las diferentes causas del problema.

6.1 Árbol de objetivos

En el árbol de objetivos se muestra la manera en que se ataca el problema, desde las raíces de este hasta las ramas más altas del mismo. Tomando el árbol del problema (figura 4) y convirtiendo las causas y consecuencias del problema principal en objetivos que es atacado en esta parte del proyecto.

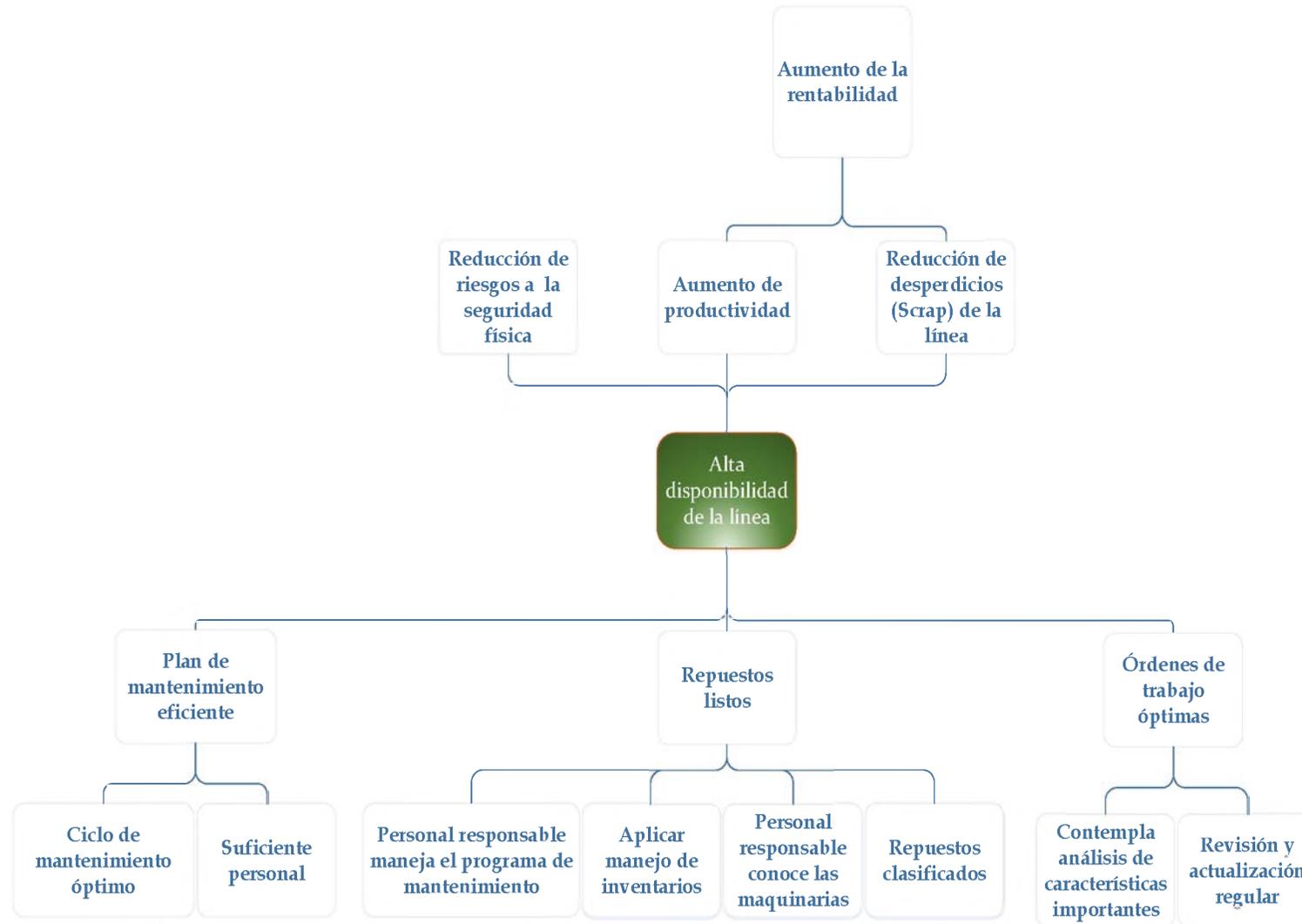


Figura 33. Árbol de objetivos

6.2 Entrenamiento

En la empresa se denota la falta de manejo del software de mantenimiento por lo que es necesario impartir entrenamiento por parte de los mismos desarrolladores del sistema.

Para el entrenamiento la compañía desarrolladora, en este caso CyberMetrics, viene a la empresa a impartir el entrenamiento el cual consta de tres días por siete horas lo que implica una pausa en las labores administrativas. El software es FaciliWorks. Durante este tiempo los instructores irán de la mano con los empleados.

Se necesita que todo el personal administrativo de la línea asista:

Tabla 14.

Cantidad de personal por departamento requerido.

Departamento	Cantidad
Producción	6
Mantenimiento	5
Calibración	5
TI	2

Contemplando a dos supervisores por turno y sus asistentes, los técnicos de mantenimiento de ambos turnos, los dos coordinadores y el supervisor de mantenimiento, por parte de calibración los técnicos asignados a cada turno y los coordinadores del área, más el supervisor de calibración. Para brindar el soporte a

Faciliworks una vez el entrenamiento termine están dos representantes de TI (tecnología e información).

6.3 Mantenimiento correctivo

Lo ideal es eliminar toda falla posible de una máquina, pero por la experiencia se sabe que siempre existen y lo que se puede lograr es reducirlas al máximo. Mediante la mejora al mantenimiento correctivo se reducen los gastos y la pérdida de ingresos que las fallas generan.

Para eliminar la falta de soporte en segundo turno es necesario que un coordinador de mantenimiento y un coordinador de calibración cambien de turno a uno más flexible para tener brindar soporte al segundo turno. Este horario puede ser acomodándose al tiempo de entrada y salida con el segundo turno.

6.3.1 Nuevo procedimiento

Una vez el operador detecte la falla realizando pruebas con un máximo de 5 piezas consecutivas defectuosas se detenga la operación hasta que una autoridad competente analice la situación, en este caso el supervisor o el asistente del mismo. Una vez identificada la falla se genera el “Stop” en el software; este debe contener los datos de la falla que se presenta, hora, línea, celda, estación y quien está colocando la parada.

El coordinador al notar la anomalía toma una de las plantillas diseñadas en Faciliworks de órdenes de trabajo dependiendo de la falla y la máquina y asigna a

al técnico del área la tarea es comunicada a través de radio. Las radios estarán bloqueadas a una sola frecuencia y el volumen con un mínimo por el cual no sea posible colocar en silencio por accidente.



Figura 15. Radio comunicador

La orden de trabajo tiene incluido los repuestos a utilizar, estos se rebajan automáticamente del almacén de repuestos y le llega una notificación por parte del sistema al empleado encargado de estos quien tiene la orden lista a la llegada del técnico.

Una vez la falla es corregida el supervisor de manufactura o asistente reciben el trabajo mediante la firma de la orden de trabajo. En esta el técnico agrega de manera manual los cambios adicionales realizados y si se logró ahorro en los repuestos. Luego manufactura cierra la parada de la cual se genera un reporte con el tiempo total de downtime y se envía un correo a todo el personal involucrado en el equipo notificando la información.

El coordinador adquiere la orden de trabajo y realiza ajustes en el sistema por los cambios que no fueron tomados en cuenta en la plantilla.

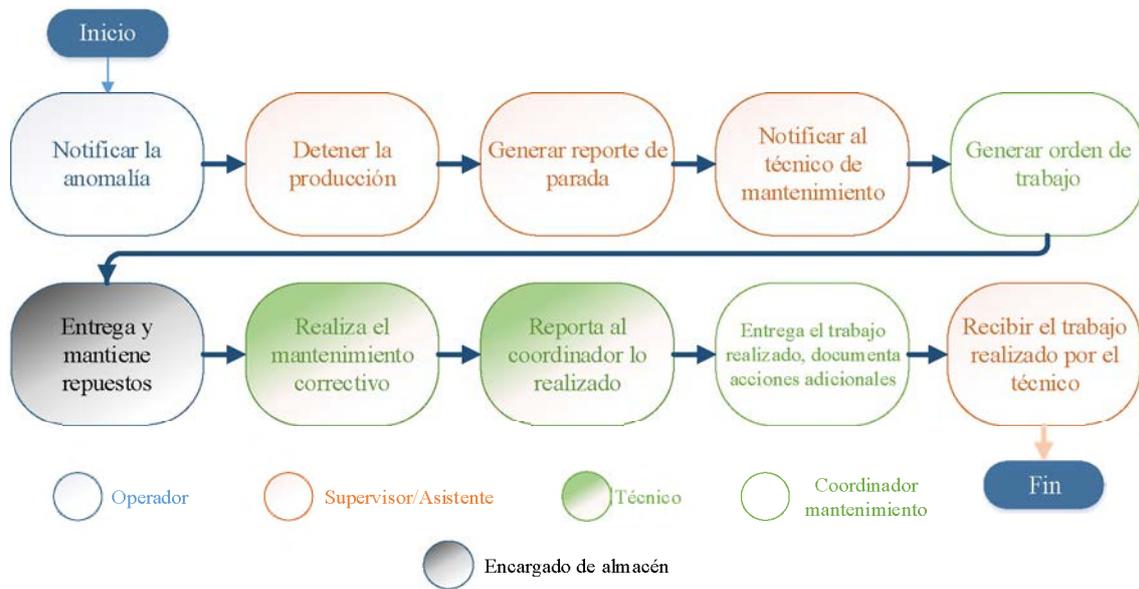


Figura 16. Secuencia propuesta de mantenimiento correctivo

6.4 Mejora del mantenimiento preventivo

Mediante la mejora del mantenimiento preventivo se espera una reducción de costos en el mantenimiento correctivo y en el uso de repuestos ya que la holgura de tiempo a dañarse completamente que podría dar una pieza podría ser más amplio al tratar el problema semanalmente y con el seguimiento adecuado detectar otras anomalías que puedan repercutir en las operaciones del día a día.

6.4.1 Mejora del mantenimiento preventivo operacional

El operador realizará semanalmente antes de sus labores un chequeo a la maquinaria con la cual estará trabajando en ese turno. Dicho chequeo se realizará en un formato el cual el coordinador a través de Faciliworks hará con aspectos básicos de la misma pero importantes, tales como pueden ser:

- Lubricación de la maquinaria
- Limpieza de la máquina
- Cables maquinarias
- Ruidos extraños en la maquinaria
- Verifique que la guarda de seguridad esté en funcionamiento
- Verifique que la calibración de la máquina este vigente

Como se muestra en la figura 17.

Forma F-Mant-4567
Rev 001 (xx/xx/xxxx)

TPM MÁQUINA DE PENSADO DE SHUNT										
Fecha: Desde: Hasta: Operador										
Primer Turno										
No.	Chequeo para la acción preventiva	L	M	MI	J	V	S	D	Comentarios	
1	Lubricación de la maquinaria									
2	Limpieza de la máquina									
3	Cables maquinarias									
4	Ruidos extraños en la maquinaria									
5	Verifique que la guarda de seguridad esté en funcionamiento									
6	Verifique que la calibración de la máquina este vigente									
Operador										
Segundo Turno										
No.	Chequeo para la acción preventiva	L	M	MI	J	V	S	D	Comentarios	
1	Lubricación de la maquinaria									
2	Limpieza de la máquina									
3	Cables maquinarias									
4	Ruidos extraños en la maquinaria									
5	Verifique que la guarda de seguridad esté en funcionamiento									
6	Verifique que la calibración de la máquina este vigente									

Firma del Supervisor

Figura 17. Formato mantenimiento preventivo del operador

En primer lugar, imágenes detallando cada paso del proceso para evitar cualquier confusión al momento de realizar el chequeo.

Por actividad el operador colocará una marca ✓ indicando que el chequeo resulto positivo y otra marca ✗ de ser lo contrario. Si el resultado resulta ser negativo el empleado debe de colocar en el área de comentarios la anomalía y notificar al supervisor para iniciar el proceso de toma de acciones. El formato lleva la firma del supervisor semanalmente para asegurar que este está al tanto de las irregularidades que este presentando la máquina. Dicho reporte será entregado al coordinador de mantenimiento quien lo revisará y tomará acciones de acuerdo a lo encontrado. Dicho documento se guardará en físico por un año.

6.4.2 Mantenimiento preventivo técnico

Inmediatamente finaliza el turno si el operador notó alguna falla en la cual haya que hacer una intervención, el técnico procede a realizar sus tareas las cuales van a depender de una orden de trabajo generada por el software Faciliworks con un formato diseñado por el coordinador de mantenimiento.

Cabe destacar que todos y cada uno de estos informes serán guardados en archivos previamente clasificados tanto para mantenimiento correctivo como preventivo y también vía sistema con el software de mantenimiento Faciliworks (esta será enviada al encargado de mantenimiento con sus respectivos informes elaborados por el coordinador de mantenimiento) para en un futuro consultar en

los archivos si se presenta un problema parecido y así poder descartar posibilidades en mantenimientos correctivos futuros.

La frecuencia de los mantenimientos preventivos será aumentada por las necesidades vistas anteriormente y con esto se espera aumentar el tiempo medio entre fallas de 18.8 horas.

Tabla 15.

Nueva frecuencia de mantenimiento preventivo

Máquinas	Nueva frecuencia de mantenimiento Preventivo
Remachadoras “Rivet” radial	Dos meses
Máquinas de impresión láser	Tres meses
Prensas	Tres meses
Máquinas calibradoras termales y magnéticas	Un mes
Pruebas mixtas	Un mes

Esta nueva frecuencia de mantenimiento preventivo proviene de la experiencia y consejos de los técnicos encargados de dar mantenimiento correctivo y preventivo de cada una de las máquinas.

6.5 Orden de trabajo

Orden de Trabajo			
Orden de trabajo N°	OT-00000002486	Descripción de orden de trabajo	Mantenimiento máquina #57 y extractor
ID de activo	RWKG-02	Tarea ID	027
Descripción	Welding Machine	Descripción de tarea	Mantenimiento preventivo recurrente
Causa	Mantenimiento Preventivo	Tipo de Tarea	Reparar
Prioridad	Mediana		
Número de serie	95044065564-HA		
Ubicación del manual	Almacén, Armario B		
		Frecuencia de mantenimiento	3 Meses
Ubicación	Línea X		
Asignado a	Yon Kenedy		
Número de identificación de personal	458345		
Teléfono de trabajo	809-527-7581		
Completado	No		
Emergencia	No	Fecha de mantenimiento completado	10/20/2016
N° de solicitud	N/A	Siguiente fecha de mantenimiento	1/20/2017
Solicitante	N/A	Tiempo no productivo	5.3 Horas
Entrado por	2334		
Comentarios: Limpieza y mantenimiento general máquina 57, incluyendo cambio de tornillería en casos necesarios. Limpieza de extractor de partículas de lijadora. Limpieza de los ductos de extracción.			
Descripción de problema: N/A			
Código del problema: N/A			

Mantenimiento actual						
Apagados Requeridos			Apagados realizados			
Instalaciones	Activo (Máquina)	Bloqueo y Etiquetado	Instalaciones	Activo (Máquina)	Bloqueo y Etiquetado	
No	Si	Si	No	Si	Si	

Procedimiento

- Paso 1** Asegure que no haya nada encima de la máquina obstruyendo el trabajo
- Paso 2** Aplique bloqueo y etiquetado
- Paso 3** Utilizando un destornillado Allen deshabilite las guardas de la máquina
- Paso 4** Descripción de paso 4
- Paso N** Descripción paso N

Acciones adicionales

Completado por:	Departamento	Fecha
<hr/>	<hr/>	<hr/>
Aprobado por	Departamento	Fecha
<hr/>	<hr/>	<hr/>

Figura 18. Mejora orden de trabajo

A través de Faciliworks el coordinador diseñara las órdenes de trabajo tanto para mantenimiento correctivo como preventivo y aplicarlas de acuerdo a la necesidad del momento.

Esta mejora de orden de trabajo tendrá la particularidad de contener los datos que de acuerdo al requerimiento del tipo de mantenimiento que vaya a efectuar el técnico complete la orden en todos los parámetros que esta le pide, con esta orden de trabajo el coordinador tendrá información vital a mano de las maquinarias y así podrá organizar un historial clasificado de todos los mantenimientos aplicados durante todo el año para los dos tipos de mantenimiento.

Las órdenes de trabajo irán clasificadas por tipo y mes y las mismas se guardarán en registros durante un año para consultas en un futuro o por si el encargado de mantenimiento necesita revisar datos o van hacer un auditoria.

Una vez finalizado el entrenamiento por parte de CyberMetrics de Faciliworks y todas sus herramientas que contiene, los técnicos estarán más familiarizados con estas órdenes y por ende se les hará más fácil y práctico llenarlas y no será algo automatizado como ocurría anteriormente.

6.6 Manejo de repuestos

Para los equipos críticos, realizar un levantamiento de lista de partes marcando cuales de estas son críticas para asegurar existencia de estas debidamente almacenadas en el almacén de repuestos. Esto lo realizará el

encargado de repuestos junto con los técnicos de cada área, los que conocen las máquinas, con ayuda del coordinador dando soporte. De esa manera se garantiza que se marquen como críticos los repuestos correctos y el encargado de repuestos conoce las maquinarias y los repuestos. El levantamiento se realizará de forma manual utilizando la plantilla por tipo de máquina de acuerdo a la matriz que contiene las máquinas de la planta (MTX-5.4.36).

Una vez realizado este levantamiento se realizará dentro del almacén de repuestos para así determinar el valor de inventario contenido dentro de este y saber la cantidad de repuestos, máquinas en las que se pueda usar, aquellos obsoletos y si caen dentro del rango de repuestos críticos.

Plantilla para la recolección de datos de repuestos

Máquina			Ubicación	
Marca	Modelo	Descripción	Línea	Celda
Repuestos críticos				
No	Partes	Descripción	Dimensiones	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Repuestos normales				
No	Partes	Descripción	Dimensiones	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Figura 19. Plantilla para la recolección de datos de repuestos

Los repuestos normales son aquellos donde se puede ajustar un arreglo parcial o un “Parche” permitiendo que la máquina trabaje hasta que se consiga el repuesto correcto. Un ejemplo de esto es una manguera de grosor X la cual puede

ser sustituida por una de grosor Y, esto reducirá la eficiencia de la máquina, pero no tanto como pararla por completo hasta que llegue el repuesto. Por otro lado, los repuestos críticos son aquellos a los cuales no se puede realizar el “Parche” provocando una pausa de las operaciones indefinidamente hasta que se consiga el repuesto.

Una vez toda la información sea recolectada se cotizará cada repuesto con diferentes suplidores y se creará una matriz en Excel con los diferentes precios y los tiempos de entrega de suplidores. Es preciso subir toda la información al software de mantenimiento donde se le dé prioridad de manera ABC dependiendo de qué tan crítico sea el repuesto.

El empleado encargado de repuestos tiene en su estación una máquina “Brother P-Touch” que utiliza para crear etiquetas esta tiene la capacidad de imprimir códigos de barra. A cada repuesto se creará un código de barra único independientemente del que trae del suplidor, definido por la empresa. Será de manera secuencial de la forma siguiente.

Breve descripción	Secuencia numérica de cuatro dígitos
XYZK	-####

Figura 20. Formato de nomenclatura para repuestos

Junto con la descripción completa y un código de barras es completada la identificación de cada bin de repuestos. Para leer los códigos es necesario la compra de un lector.



Figura 21. Lector de códigos de barra

Para la entrega de algún tipo de pieza por parte del encargado del área de repuestos es necesario la “requisición de repuestos”; la cual es creada automáticamente por el sistema de mantenimiento a partir de la orden de trabajo. Esta debe de incluir todos los repuestos utilizados para la tarea a realizar. Una vez implementado el flujo de repuestos se presenta de la siguiente manera:

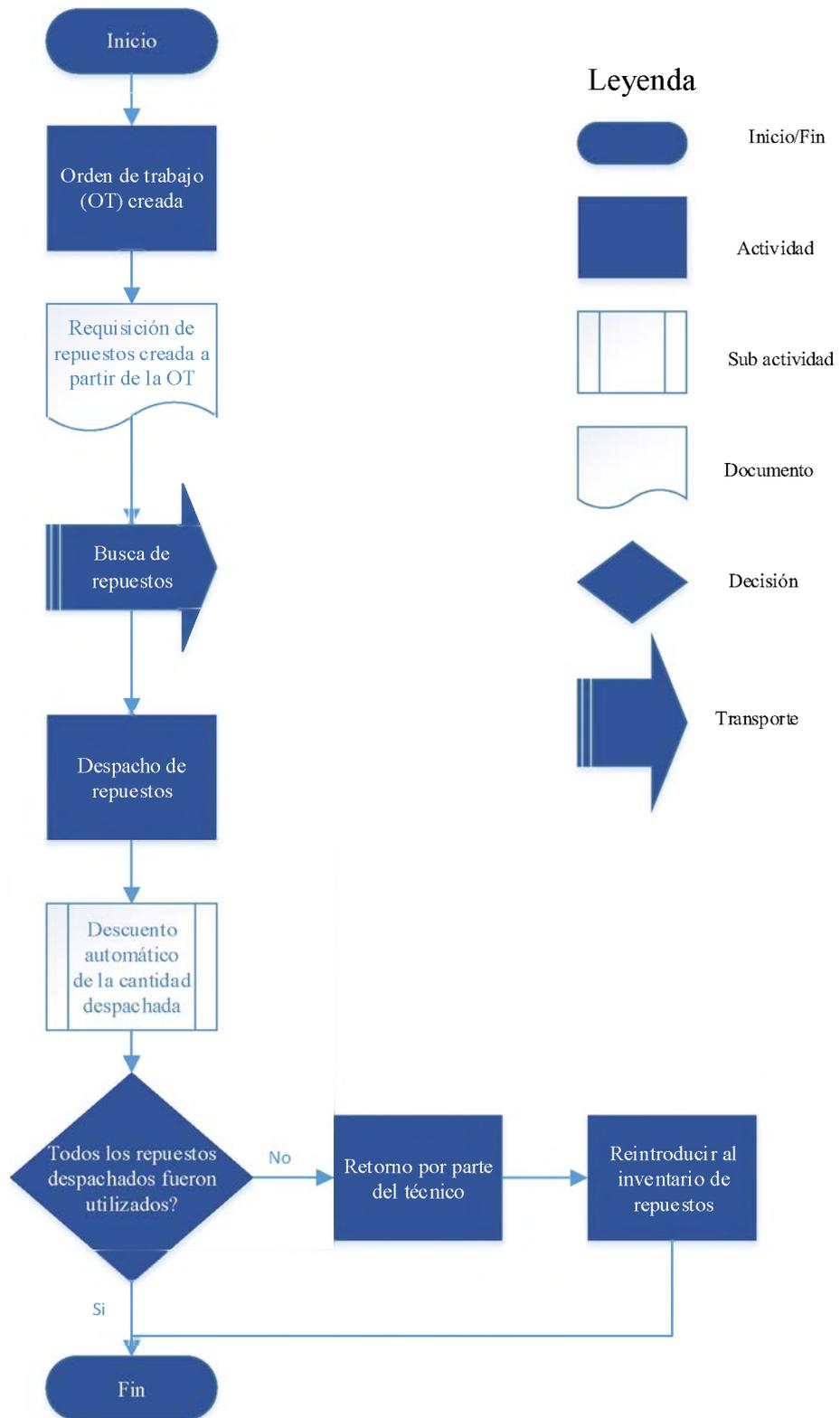


Figura 22. Diagrama de flujo para el despacho de repuestos.

Mediante la implementación de esta nueva manera para el manejo de repuestos se controla el tiempo en la búsqueda repuestos de 15 minutos promedio como se detalla en el inciso 5.6 de 2,670 minutos que son 44.5 horas dentro del periodo.

6.7 Indicadores

Teniendo en cuenta la frecuencia de mantenimiento determinada para cada tipo de máquina y la propuesta se ha determinado en porcentaje y meses la reducción del tiempo entre mantenimiento preventivo; la siguiente tabla expresa el planteamiento.

Tabla 16.

Frecuencia de mantenimiento preventivo actual contra la propuesta.

Máquinas	Frecuencia de mantenimiento preventivo actual (meses)	Nueva frecuencia de mantenimiento Preventivo (meses)	Reducción (meses)	Porcentaje de reducción
Remachadoras "Rivet" radial	6	2	4	66.7%
Máquinas de impresión láser	6	3	3	50.0%
Prensas	8	3	5	62.5%
Máquinas calibradoras termales y magnéticas	3	1	2	66.7%
Pruebas mixtas	4	1	3	75.0%

Las remachadoras recibirán 6 mantenimientos anuales, las máquinas de impresión láser junto con las prensas 4 mantenimientos anuales y las calibradoras y termales magnéticas y pruebas mixtas 12 mantenimientos anuales.

Tomando en cuenta la cantidad de paradas que ha tenido cada tipo de maquinaria y aplicando los porcentajes de reducción en meses en la frecuencia de mantenimiento preventivo resulta en la baja de paradas en el año de 178 a 64 paradas por falla de maquinarias.

Este cambio resulta en un promedio de 3 meses, una semana y 12 horas con 64.2% de tiempo entre mantenimiento preventivo reducido; mediante el cálculo proporcional y tomando en cuenta que el índice de correlación entre el mantenimiento preventivo y las fallas es de -0.5 resulta en los siguientes datos desplegados en la tabla.

Tabla 17.

Paradas actuales contra paradas esperadas después de la propuesta

Máquina	Porcentaje de paradas	Paradas actuales	Paradas esperadas	Tiempo total no productivo esperado en horas
Prensa	25.6%	45.6	17	56.5
Remachadora	19.2%	34.2	11	49.3
Calibradora	16.7%	29.7	10	57.7
Pruebas mixtas	15.4%	27.4	7	10.2
Láser	14.1%	25.1	13	81.0
Otros	9.0%	16.0	6	8.9
Total		178.0	64.0	263.6

6.7.1 Tiempo medio entre fallas

$$MTBF = \frac{4050 - 263.6}{64} = 59.2 \text{ horas}$$

Ecuación 10. Tiempo medio entre fallas de la línea propuesta.

De acuerdo al porcentaje de reducción logrado con las nuevas frecuencias de mantenimiento preventivo (tabla 16) se obtendrán las estimaciones esperadas por parada de las diversas maquinarias gracias a los datos por parada actual de los seis renglones de máquinas, las paradas esperadas serán equivalentes a la reducción deseada.

Mediante nuestra propuesta se espera un aumento en la disponibilidad trabajadas a un 90.0%; lo que llevaría de 3,347.0 a 3,645.0 horas trabajadas en el año obteniendo así un aumento de tiempo productivo en 298.0 horas anuales.

6.7.2 Tiempo medio para reparar

Con la data analizada anteriormente se puede calcular el MTTR esperado después de implementados los cambios. En un año existe aproximadamente 4,050.0 horas laborables; y de estas se espera un 90% de trabajo ininterrumpido resulta en 3,645.0 horas; con 298.0 horas no productivas al final del año; pero con los datos obtenidos en la tabla anterior al reducir la cantidad de paradas por tipo de máquina da como resultado 263.6 horas no productivas.

$$MTTR = \frac{263.6}{64} = 4.1 \text{ horas}$$

Ecuación 11. Tiempo medio para reparar en la línea esperado.

6.7.3 Disponibilidad

Al obtener el MTBF y el MTTR esperados se puede obtener la disponibilidad de la siguiente manera:

$$Disponibilidad = \frac{59.2}{59.2 + 4.1} \times 100 = 93.5\%$$

Ecuación 12. Disponibilidad esperada

Un 93.5% comparado con el actual de 82.7% resulta en una mejora sustancial de 10.8%. Esto afectará las métricas de productividad, scrap, yield, paradas y OTP (entrega de órdenes a tiempo).

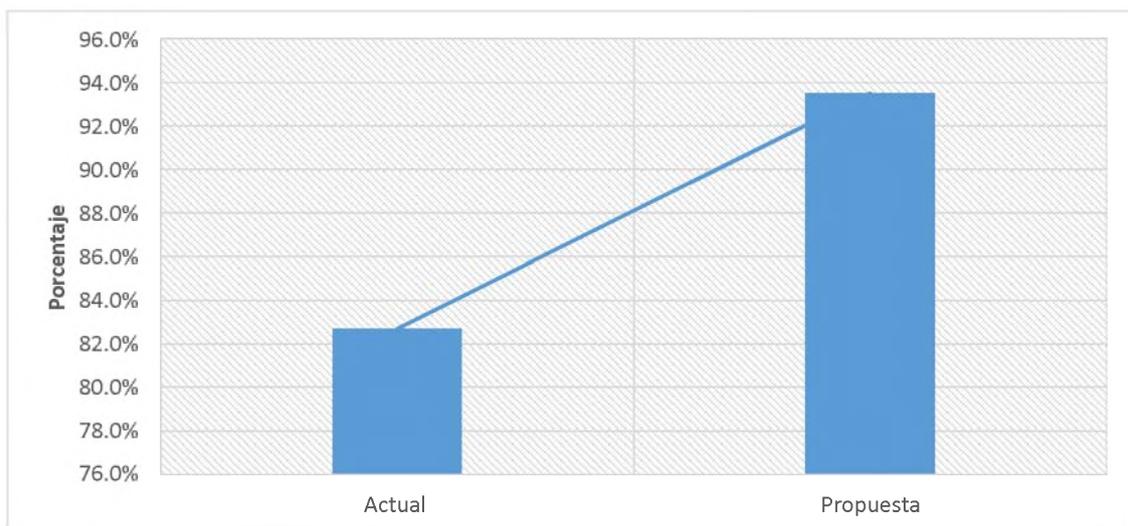


Figura 23. Disponibilidad actual versus propuesta

6.8 Implementación

La implementación se tomará un total de 86 días o aproximadamente tres meses para desarrollar las mejoras planteadas. Se iniciará con el entrenamiento del software “Faciliworks” con una duración de 3 días, a partir de aquí se dará inicio a las propuestas planteadas y se empezará a moldear la estructura de los procesos de cada una de las fases del proyecto. Una vez finalizado el entrenamiento continuará la fase de recolección de datos de piezas críticas con los modelos ya propuestos con una duración de 15 días. Inmediatamente esto de por concluido, iniciará de manera simultánea la implementación del nuevo TPM, formulación de las plantillas para el mantenimiento correctivo y la organización de repuestos en el almacén. En las siguientes tablas se mostrará con más detalle cada una de estas fases con su duración y fechas de cada una respectivamente así como el diagrama del proyecto.

Tabla 18.
Desarrollo esperado del proyecto

Id		Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1			Entrenamiento en software	3 días	lun 2/18/19	mié 1/16/19	
2			Recolección de datos sobre repuestos critica	15 días	jue 2/21/19	mié 3/13/19	1
3			Implementación de nuevo TPM	30 días	jue 3/14/19	mié 4/24/19	2
4			Formulación de plantillas para mantenimiento correctivo	45 días	jue 3/14/19	mié 5/15/19	2
5			Organización de repuestos en el almacén	15 días	jue 3/14/19	mié 4/3/19	2

Propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento en una línea de producción de una empresa de ensamble de equipos de protección eléctrica, República Dominicana 2017

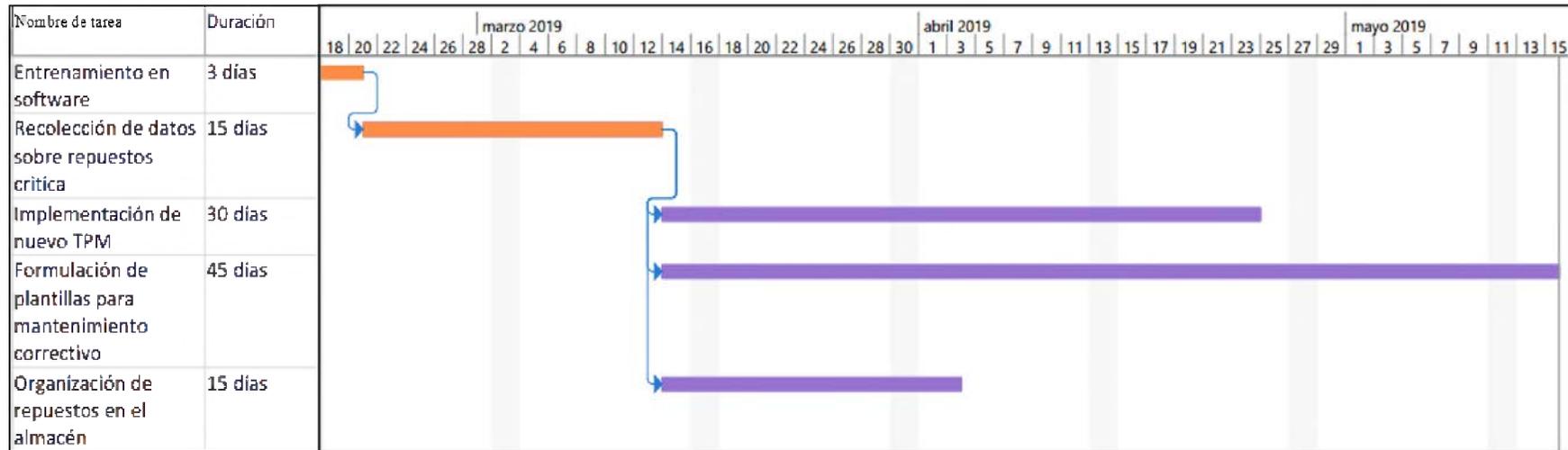


Figura 24. Diagrama de Gantt presentando el desarrollo del proyecto

6.9 Impacto

La propuesta se divide en renglones los cuales afectan la gestión del mantenimiento en diferentes aspectos específicos para así obtener la mejora necesitada.

En base al tiempo reducido se obtiene el porcentaje mejorado por cada uno de esos renglones como se muestra a continuación.

Tabla 19.

Porcentaje de alcanzado por medio de la aplicación de la mejora

Aspecto a mejorar	Horas productivas adicionales	Representación total de la mejora
Mantenimiento correctivo	23.8	4.7%
Mantenimiento preventivo	437.4	86.5%
Manejo de repuestos	44.5	8.8%
Total	505.7	100.0%

Por medio de la propuesta se logra incrementar en 505.7 las horas disponibles para producción; el mantenimiento preventivo es el aspecto a mejorar que más impacta con unas 437.4 horas y 86.5% de la mejora total. Para poder obtener estos resultados es de vital importancia la generación de las nuevas órdenes de trabajo y el uso del software de mantenimiento más eficientemente por todo el

personal involucrado con la falla de una máquina, ya sean los afectados (producción) y servicios técnicos (mantenimiento y calibración).

Capítulo VII. Estudio económico

Mediante la utilización de recursos, siendo uno de estos el dinero, se crean y ejecutan proyectos de mejora en la industria; en este capítulo se detallará los aspectos económicos de la mejora propuesta.

7.1 Mantenimiento correctivo vs mantenimiento preventivo

Al analizar las diferentes opciones y lo que nos ofrece los dos tipos de mantenimiento y las ventajas de los mismos, pero todavía se ha analizado el aspecto económico entre el mantenimiento correctivo como preventivo.

Es a partir de aquí cuando se toma en cuenta la factibilidad de ambos y que tanto se puede usar uno u otro y abogar por el cumplimiento del más económicamente factible para la empresa y que signifique directamente un ahorro de costos.

No es posible dejar de lado ninguno de los dos mantenimientos porque son necesarios dependiendo las necesidades del momento, pero si se da el uso correcto y adecuado al mantenimiento más rentable y se tiene un seguimiento continuo pues a largo plazo se harán sentir los efectos económicos del mismo.

Tabla 20.

Costos en mantenimiento preventivo y correctivo durante el año 2017

Mes	Mantenimiento preventivo			Mantenimiento correctivo		
	Costo mano de obra (RD\$)	Costo de partes (RD\$)	Costo de mantenimiento preventivo (RD\$)	Costo mano de obra (RD\$)	Costo de partes (RD\$)	Costo de mantenimiento correctivo (RD\$)
Enero	\$ 2,373.0	\$ 22,822.0	\$ 25,195.0	\$ 9,213.1	\$ 30,973.0	\$ 40,186.1
Febrero	\$ 2,763.2	\$ 19,675.0	\$ 22,438.2	\$ 11,433.8	\$ 64,486.0	\$ 75,919.8
Marzo	\$ 2,360.4	\$ 14,359.0	\$ 16,719.4	\$ 8,327.5	\$ 92,278.0	\$ 100,605.5
Abril	\$ 2,744.4	\$ 32,159.0	\$ 34,903.4	\$ 10,857.2	\$ 78,197.0	\$ 89,054.2
Mayo	\$ 1,611.4	\$ 9,231.0	\$ 10,842.4	\$ 12,169.6	\$ 108,517.0	\$ 120,686.6
Junio	\$ 1,913.5	\$ 28,831.0	\$ 30,744.5	\$ 9,766.1	\$ 111,373.0	\$ 121,139.1
Julio	\$ 2,492.6	\$ 32,928.0	\$ 35,420.6	\$ 8,569.8	\$ 51,859.0	\$ 60,428.8
Agosto	\$ 1,737.3	\$ 21,443.0	\$ 23,180.3	\$ 9,204.3	\$ 36,434.0	\$ 45,638.3
Septiembre	\$ 2,404.5	\$ 3,665.0	\$ 6,069.5	\$ 5,461.3	\$ 41,454.0	\$ 46,915.3
Octubre	\$ 1,724.7	\$ 33,224.0	\$ 34,948.7	\$ 7,715.0	\$ 72,611.0	\$ 80,326.0
Noviembre	\$ 1,579.9	\$ 16,510.0	\$ 18,089.9	\$ 10,823.5	\$ 52,016.0	\$ 62,839.5
Diciembre	\$ 1,793.9	\$ 17,621.0	\$ 19,414.9	\$ 7,082.8	\$ 105,326.0	\$ 112,408.8
Total	\$ 25,498.6	\$ 252,468.0	\$ 277,966.6	\$ 110,624.1	\$ 845,524.0	\$ 956,148.1

Propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento en una línea de producción de una empresa de ensamble de equipos de protección eléctrica, República Dominicana 2017

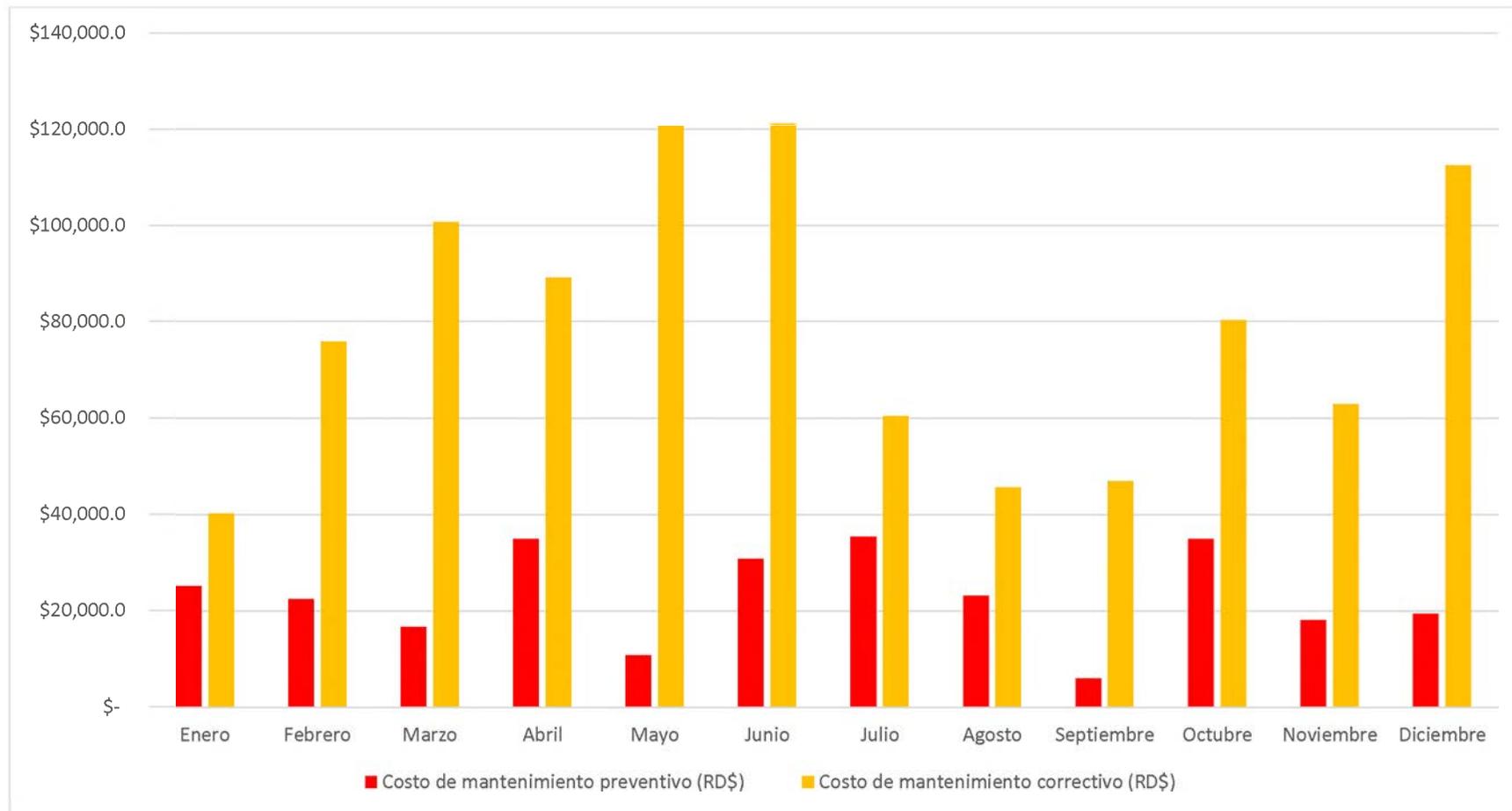


Figura 25. Gráfica de barras comparando el costo de mantenimiento preventivo contra el mantenimiento correctivo en 2017

Con un costo de USD\$463.0 para la compra del lector de códigos de barras se elimina el tema de "Repuesto faltante" y las horas pérdidas yendo a buscar repuestos en comercios; las cuales varían considerablemente dependiendo del tipo de repuesto.

El software de mantenimiento es un aspecto importante y necesario a la hora de trabajar con maquinarias y repuestos; organiza y presenta las informaciones para realizar un trabajo eficiente, por lo que si no es implementado el trabajo se dificulta generando obstáculos para la realización del mismo. Por esto es necesario el entrenamiento de todo el personal involucrado con la falla de una máquina; ya sea el departamento ofensor y el afectado.

7.2 Retorno sobre la inversión

Mediante la implementación de la propuesta se incrementa la disponibilidad de la línea en 10.8% que implican 505.7 horas representando en dinero \$110,497.8 dólares. En comparación la implementación de la propuesta implica un total de \$16,531.2 dólares:

- USD\$7,568 por la compra de 22 radios para la comunicación entre técnicos y coordinadores.
- USD\$8,500 correspondiente al entrenamiento del personal involucrado
- USD\$465.2 por la compra del lector de código de barras.

Esto resulta en un ROI de 568.4%:

$$ROI = \frac{10497.8 - 16531.2}{16531.2} \times 100 = 568.4\%$$

Ecuación 13. Cálculo del retorno sobre la inversión.

El proyecto es categorizado como rentable con un ROI de 568.4% indicando que la inversión es mínima en comparación con las ganancias.

Capítulo VIII. Conclusión

Se ha determinado que aplicando las mejoras tomadas en cuenta en la propuesta se consigue una mejora significativa y cuantiosa en los procedimientos, aspectos económicos y de eficiencia de la línea. Las métricas lejos de meta que arrastran la línea que acompañadas de downtime en operaciones han sido los culpables de la problemática analizada en este trabajo.

Estos problemas no solo afectan mantenimiento, también afectan a producción ya que el problema central afecta directamente la productividad a la hora de seguir las metas establecidas en el tiempo correcto con las unidades por hora hombre establecidas.

Es por esto que mediante las propuestas que se han trabajado sobre la reducción de los aspectos negativos como fallas y tiempo no productivo. Esta contempla una reducción promedio de 3 meses, una semana y 12 horas equivalente a 64.2% en mejora de frecuencia a los mantenimientos preventivos con respecto a la situación actual.

Con relación a la parte de repuestos con la propuesta se reducirán hasta 15 minutos de procedimiento por fase de reparación de una máquina “x” a la hora de ir al almacén de repuestos.

Del mismo modo la orden de trabajo toma un enfoque más directo, preciso y conciso y sobre todo especifica las partes más vitales a la hora de esta corrección. Es por esto que se ha estado trabajado con énfasis estos detalles.

El TPM se le dará el seguimiento adecuado y así se concluye que si hay una colaboración coordinador-supervisor-operador-técnico, los procedimientos se verán en aumento positivo y por ende los problemas que se han venido analizando van a disminuir significativamente. Llenando las formas de TPM regularmente por el operador se incluye el mantenimiento predictivo en nuestra ecuación y se puede hacer ajustes en la planificación del mantenimiento preventivo reduciendo drásticamente las paradas por fallas técnicas.

Mediante la compra de los radios comunicadores se espera la eliminación completa del tiempo de espera a que un técnico de mantenimiento llegue al lugar donde ocurre la falla y reducir el tiempo no productivo por fallas; tiempo por el cual el cliente no está dispuesto a pagar. Una reducción promedio de 8 minutos por parada.

Una mejora en la disponibilidad es definitiva; 93.5% comparado con el actual de 82.7% resulta en una mejora sustancial de 10.8%.

Capítulo IX. Recomendaciones

Como recomendación inicial se sugiere la implementación inmediata de todas y cada una de las mejoras propuestas para el beneficio de los procedimientos a considerar. El seguimiento de estas propuestas es un elemento crucial ya que, si no hay un seguimiento de las mismas, no se podrá asegurar que los aspectos analizados supongan un cambio significativo para la empresa.

Elementos como la eficiencia, el ahorro de tiempo, aspectos económicos y por supuesto una mejora en la forma en la se estaban manejando los procedimientos serán notorios inmediatamente se empiece a mezclar todo el engranaje que se ha formado en este análisis. Análisis que atacando los puntos más débiles y mejorándolos y obviamente reforzándolos se denota como la disminución de esos aspectos negativos del pasado quedaran atrás.

Por otro lado, el departamento que tratara directamente con estas mejoras vera que el rendimiento y la eficiencia de la misma se verán afectados de manera positiva y significativa que es sinónimo de mejora económica para la empresa por supuesto teniendo la colaboración de la parte más alta de la gerencia responsable de que los operadores cumplan con las funciones asignadas y las mejoras a implementar.

Los departamentos de producción y mantenimiento deberán estrechar lazos y colaborar con algunos aspectos que beneficiarán directamente a ambos y a la

hora de tomar decisiones para el mejoramiento de los recursos y el tiempo establecido en los objetivos.

El papel del coordinador de mantenimiento será elemental para que funcione todo desde una “base” que se pretende establecer, que parta desde el cómo supervisor de todas las eventualidades ocurridas en la línea en cualquiera de los turnos y que los reportes que este envíe a sus superiores tengan información vital para el aprovechamiento de sus superiores.

Bibliografía

Alvarez Laverde, H. (30 de December de 2007). *Artículos Publicados*. Obtenido de TPM-Mantenimiento Industrial: <http://ceroaverias.com>

Andon, Electronica Y Manufactura Esbelta Fusionada. (2015).

Eaton Corporation. (2018). *Molded case circuit breakers*. Obtenido de Electrical and industrial power solution Eaton.

eMaint a Fluke Company. (3 de June de 2016). *What is a Work Order?* Obtenido de Maintenance Software|Enterprise Asset Management: <https://www.emaint.com/what-is-a-work-order/>

Galan, J. S. (s.f.). *Econopedia*. Obtenido de Análisis de regresión: <https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-regresion.html>

Garrido, S. G. (2012). *Ingenieria del Mantenimiento*. Renovetec.

Genwords. (s.f.). *ROI o Retorno de la Inversión: Qué es y cómo calcularlo*. Obtenido de AGENCIA DE MARKETING DIGITAL: https://www.genwords.com/blog/que-es-roi#Calculo_de_ROI_Retorno_de_Inversion

González Fernández, F. J. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. FC Editorial.

Hartmann, E. H. (1992). *Successfully Installing TPM in a Non-Japanese Plant: Total Productive Maintenance*. TPM Press.

Imai, M. (1986). *Kaizen: la clave de la ventaja competitiva japonesa*.

Instituto de educación técnica profesional de Roldanillo Valle. (January de 2017).

Instituto de educación técnica profesional de Roldanillo Valle. Obtenido de

Investigacion No Experimental:

https://www.intep.edu.co/Es/Usuarios/Institucional/file/CIPS/2017-1/INVESTIGACION_NO_EXPERIMENTAL.pdf

Kaizen: la clave de la ventaja competitiva japonesa. (1986).

leon, C. (2007). *Evaluación de inversiones*.

MESA GRAJALES, D. H. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia Et Technica*.

Meyers, F. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Pearson Educación.

Micromain. (s.f.). *What is a CMMS?* Obtenido de Maintenance and facilities managment software. The best CMMS and CAMF: <https://www.micromain.com/what-is-a-cmms/>

Minitab. (2017). *¿Qué son rendimiento total (YTP) y rendimiento total acumulado (YRT)?* Obtenido de Minitab: <https://support.minitab.com/es->

mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/six-sigma/supporting-concepts/what-are-throughput-yield-ytp-and-rolled-throughput-yield-yrt/

Olofsson, O. (2012). *World Class Manufacturing*. Obtenido de Calculador de MT"BF y MTTR: <https://world-class-manufacturing.com/es/KPI/mtbf.html>

OSHA U.S. Department of Labor. (2002). Control of Hazardous Energy. *OSHA Publication 3120*, 1-2.

Renove Tecnología. (2013). *Renovatec*. Obtenido de Renovatec.com: <http://www.renovatec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>

Ries, E. (2011). *El metodo lean Startup*. Crown Publishing Group (USA).

Robbins, S. P., & DeCenzo, D. A. (2008). *Supervision*. Mexico: Pearson Education.

Souris, J.-P. (1992). *Mantenimiento: fuente de beneficios*. Ediciones Díaz de Santos.

Subnet Solutions INC. (2018). *NERC CIP, Smart Grid, and intelligent substation solutions*. Obtenido de Circuit Breaker: Definition: <http://www.subnet.com/resources/dictionary/Circuit-Breaker.aspx>

Ucha, A. P. (s.f.). *Econopedia*. Obtenido de Coeficiente de correlacion lineal:

<https://economipedia.com/definiciones/coeficiente-de-correlacion-lineal.html>

Anexos

Anexo 1. Radio comunicador.



2 Watt 4 Channel UHF Motorola RM Series Business Radio

Fastenal Part No. (SKU) 0224291

Manufacturer Part No. RMU2040

UNSPSC 43191510

Manufacturer MOTOROLA

 This is a Catalog Item

Wholesale: \$343.91 / each

Online Price: \$249.99 / each

QTY  ADD

Compliance



Product Attributes

Wattage	2.0
Number of Channels	2
Coverage Area	Up to 250,000 sq ft / 20 floors
Contents	Radio, Battery, Charger, Power Supply, Swivel Holster
Number of Frequencies	99 UHF
Style	Two-Way
Height	7.4"
Width	1.5"
Battery Material	Lithium-Ion
Specification	438 - 470 MHz
Type	Radio
Length	2.3"
Container Type	Box
Product Weight	1.23
UOM	each

Supply Chain

Availability  Available Inventory

[Check Other Locations](#)

Direct Ship Ships Wed, Sep 5

Alternative Items (2)



SKU: 0224085
1.0 Watt Li-Ion Motorola® 10 Channel Two-Way Walkie-Talkie / Radio

Manufacturer MOTOROLA

Online Price: \$349.99 / each

 Available Inventory [View All](#)

Related Items (1)



SKU: 1843-HMN8432
Push-To-Talk External Lapel Speaker for Models CL5, RDX, DTR, XTN, AX/Au, Mu/MV

Manufacturer MOTOROLA

Online Price: \$59.99 / each

 Available Inventory

Notes

Replacement model for the RDU2020 radio

- RMU2040 - [
-] 2 Watt Transmit power [
-] UHF provides coverage up to 250,000 Sq. Ft or 20 floors [
-] 2 channels standard expands to up to 4 [
-] Channel scan [
-] 99 built in frequencies: 12.5 kHz narrowband compliant [
-] interference eliminator with 219 PU/DPL codes [
-] audio accessory jack for use with earpieces & headsets [
-] Channel announcement [
-] meets military spec. 810 C,D,E,F, G and IP54/55 specifications for resistance to dust, moisture shock and vibration [
-] Antimicrobial protection [
-] weighs .33 lbs with the battery

Anexo 2. Cotización de entrenamiento CyberMetrics.



CyberMetrics México S de RL de CV

Avenida Pablo Neruda 3055 Int 402 • Col. Providencia • Guadalajara, Jalisco C.P. 44630 • México

Lada sin costo en México: 01-800-681-1565 Dirección: (33) 3641-4070 www.cybermetrics.com

RESUMEN DE LA INVERSIÓN

Fecha: 27/08/2018 Para: Guillermo Pinales G Series Tel: +809 299-3303 Fax	No. de Cotización: OCMP1A0012S5 De: Ignacio Lomelin Tel: (33) 3640-3916 01-800-681-1565 MX CE: nlomelin@cybermetrics.com
--	--

Gracias por darnos la oportunidad de presentarle esta cotización. Recuerde por favor que para que su orden de compra sea aceptada, requerimos la siguiente información: Que sea por escrito, que incluya nombre y dirección de a quien se le enviará, así como los datos de facturación, su número de orden de compra, que incluya una lista de productos a comprar y las firmas autorizadas. Toda información incompleta en su orden de compra resultará en retraso en el proceso y envío de sus productos. Esta cotización expira en 30 días.

	FaciliWorks server	Precio	Cantidad	Total
1	FSW-7800-ENT Programa FaciliWorks 8i Enterprise, incluye una Licencia de Usuario Concurrente	\$3,499.00	1	\$3,499.00
1	** Licencias de Usuario Concurrente adicional (cada una)	\$999.00	0	\$999.00
1A	FSW-MA01 Póliza anual de soporte, mantenimiento y actualizaciones del software (Se cobra el 25% de la suma del total de las licencias de usuarios concurrentes)	\$874.99	1	\$874.99
2	Procedimiento y envío	\$100.00	1	\$100.00
	Precios mas IVA		Total	\$4,473.99

	Módulo de solicitud de servicios	Precio	Cantidad	Total
3	FSW-T800 WSR Módulo de solicitud de servicios Web, usuarios ilimitados.	\$799.00	1	\$799.00
	Precios mas IVA		Total	\$799.00

	Entrenamiento en sitio	Precio	Cantidad	Total
4	FSW-T500 FaciliWorks Enterprise 8i Entrenamiento por grupo, en sus instalaciones 3 días, 7 hrs por día.	\$8,499.00	1	\$8,499.00
	Precios mas IVA		Total	\$8,499.00

Anexo 3. Cotización lector de código de barras.



[CONTACT US](#)

[ORDER](#)

[ACTIVITY](#)

[Clear All](#)

1 Product

[How can we improve?](#) | [Print](#) | [Forward](#)

Scanner Type
1D

For Use On
Bar Codes

Connection Type
Bluetooth

Maximum Scan Distance
31"

Bar Code Scanners



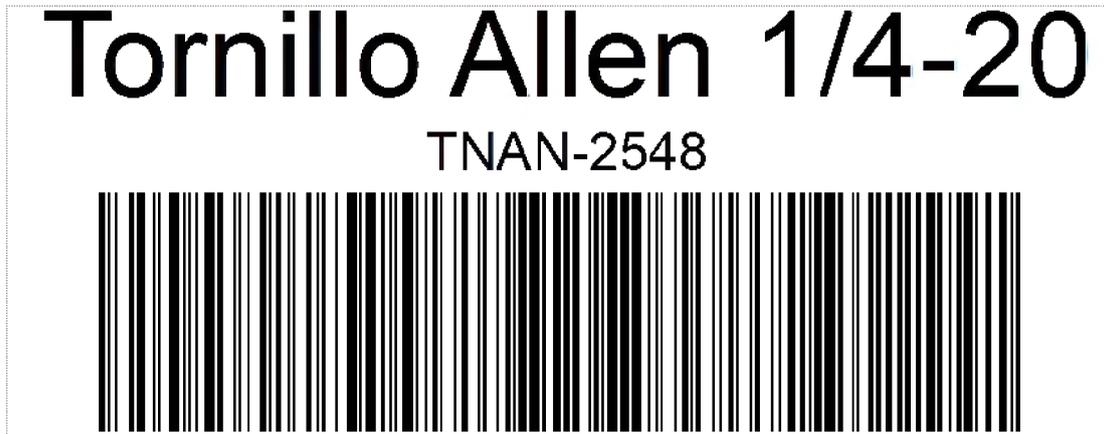
1D Scanner

Capture data and automatically input it into any Windows or Mac application without additional software. These scanners have built-in decoders that read the most common bar codes.

1D scanner reads bar codes wirelessly, even those on computer and mobile phone displays.

Scanner Type	Max. Scan Distance	Connection Type	For Use On	Includes	Each
1D	31"	Bluetooth	Bar Codes	Bluetooth Charging Base	1735T12 \$463.15

Anexo 4. Formato para la identificación de bins



Anexo 5. Tiempo no productivo por turno.

Mes	Turno	Departamento	Tiempo de parada en Horas
Febrero	Primer Turno	Mantenimiento	19.3
Abril	Primer Turno	Mantenimiento	16.1
Septiembre	Primer Turno	Mantenimiento	14.3
Enero	Primer Turno	Calibración	14.3
Abril	Primer Turno	Mantenimiento	14.3
Mayo	Primer Turno	Calibración	14.3
Mayo	Primer Turno	Calibración	14.3
Agosto	Primer Turno	Mantenimiento	14.3
Noviembre	Primer Turno	Mantenimiento	13.5
Febrero	Primer Turno	Calibración	13.5
Mayo	Primer Turno	Mantenimiento	13.0
Abril	Segundo Turno	Mantenimiento	13.0
Noviembre	Primer Turno	Calibración	12.6
Mayo	Segundo Turno	Calibración	12.1
Marzo	Primer Turno	Mantenimiento	11.6
Febrero	Primer Turno	Calibración	11.2
Julio	Primer Turno	Calibración	10.7
Julio	Primer Turno	Calibración	10.3
Febrero	Primer Turno	Calibración	9.8
Diciembre	Primer Turno	Calibración	9.8
Agosto	Primer Turno	Mantenimiento	9.4
Agosto	Segundo Turno	Calibración	9.3
Julio	Primer Turno	Mantenimiento	8.9
Enero	Primer Turno	Mantenimiento	8.6
Diciembre	Primer Turno	Mantenimiento	8.4
Junio	Primer Turno	Calibración	8.3
Agosto	Segundo Turno	Calibración	8.0
Octubre	Primer Turno	Calibración	7.9
Noviembre	Primer Turno	Calibración	7.6
Agosto	Primer Turno	Mantenimiento	7.5
Junio	Primer Turno	Mantenimiento	7.2
Mayo	Primer Turno	Calibración	7.1

Abril	Segundo Turno	Calibración	6.9
Febrero	Primer Turno	Calibración	6.8
Octubre	Primer Turno	Mantenimiento	6.6
Mayo	Primer Turno	Calibración	6.6
Septiembre	Segundo Turno	Calibración	6.6
Abril	Primer Turno	Calibración	6.5
Febrero	Primer Turno	Mantenimiento	6.4
Diciembre	Primer Turno	Calibración	6.3
Octubre	Primer Turno	Calibración	6.2
Octubre	Primer Turno	Mantenimiento	6.2
Abril	Primer Turno	Mantenimiento	6.2
Marzo	Segundo Turno	Mantenimiento	6.1
Agosto	Primer Turno	Mantenimiento	6.0
Mayo	Primer Turno	Mantenimiento	5.9
Junio	Primer Turno	Mantenimiento	5.9
Marzo	Segundo Turno	Calibración	5.8
Enero	Primer Turno	Calibración	5.7
Agosto	Primer Turno	Calibración	5.7
Abril	Primer Turno	Calibración	5.6
Enero	Primer Turno	Mantenimiento	5.5
Marzo	Primer Turno	Calibración	5.5
Mayo	Primer Turno	Mantenimiento	5.4
Marzo	Primer Turno	Calibración	5.3
Septiembre	Primer Turno	Mantenimiento	5.2
Junio	Primer Turno	Calibración	5.2
Enero	Primer Turno	Calibración	5.2
Octubre	Primer Turno	Mantenimiento	5.1
Noviembre	Segundo Turno	Mantenimiento	5.0
Noviembre	Primer Turno	Mantenimiento	4.9
Agosto	Primer Turno	Calibración	4.9
Febrero	Segundo Turno	Mantenimiento	4.8
Enero	Primer Turno	Mantenimiento	4.8
Octubre	Segundo Turno	Mantenimiento	4.7
Febrero	Primer Turno	Mantenimiento	4.6
Noviembre	Primer Turno	Calibración	4.6
Abril	Segundo Turno	Calibración	4.6
Julio	Primer Turno	Mantenimiento	4.5
Enero	Segundo Turno	Mantenimiento	4.5
Diciembre	Segundo Turno	Mantenimiento	4.5

Marzo	Primer Turno	Mantenimiento	4.5
Mayo	Segundo Turno	Mantenimiento	4.4
Enero	Primer Turno	Mantenimiento	4.4
Junio	Primer Turno	Calibración	4.3
Enero	Primer Turno	Mantenimiento	4.0
Septiembre	Primer Turno	Calibración	4.0
Octubre	Primer Turno	Calibración	3.9
Noviembre	Primer Turno	Calibración	3.4
Junio	Primer Turno	Mantenimiento	2.9
Julio	Segundo Turno	Calibración	2.7
Julio	Primer Turno	Mantenimiento	2.7
Junio	Segundo Turno	Mantenimiento	2.6
Septiembre	Primer Turno	Calibración	2.6
Septiembre	Primer Turno	Calibración	2.5
Enero	Primer Turno	Calibración	2.5
Septiembre	Primer Turno	Mantenimiento	2.4
Diciembre	Primer Turno	Calibración	2.4
Septiembre	Primer Turno	Mantenimiento	2.3
Marzo	Primer Turno	Mantenimiento	2.2
Abril	Primer Turno	Mantenimiento	2.2
Abril	Segundo Turno	Mantenimiento	2.1
Junio	Primer Turno	Mantenimiento	2.1
Diciembre	Primer Turno	Calibración	2.1
Octubre	Primer Turno	Mantenimiento	2.0
Abril	Primer Turno	Calibración	2.0
Febrero	Primer Turno	Mantenimiento	1.9
Diciembre	Primer Turno	Calibración	1.9
Octubre	Primer Turno	Mantenimiento	1.8
Marzo	Segundo Turno	Mantenimiento	1.8
Agosto	Primer Turno	Mantenimiento	1.7
Mayo	Primer Turno	Mantenimiento	1.6
Marzo	Segundo Turno	Calibración	1.6
Agosto	Primer Turno	Calibración	1.5
Abril	Primer Turno	Calibración	1.5
Marzo	Primer Turno	Calibración	1.4
Mayo	Primer Turno	Mantenimiento	1.4
Marzo	Primer Turno	Calibración	1.3
Enero	Primer Turno	Calibración	1.3
Octubre	Primer Turno	Mantenimiento	1.2

Noviembre	Segundo Turno	Mantenimiento	1.2
Febrero	Segundo Turno	Mantenimiento	1.1
Octubre	Segundo Turno	Mantenimiento	1.0
Octubre	Primer Turno	Calibración	1.0
Septiembre	Segundo Turno	Calibración	1.0
Febrero	Primer Turno	Mantenimiento	1.0
Julio	Primer Turno	Mantenimiento	0.9
Diciembre	Primer Turno	Calibración	0.9
Septiembre	Primer Turno	Mantenimiento	0.9
Enero	Primer Turno	Mantenimiento	0.9
Mayo	Segundo Turno	Mantenimiento	0.9
Diciembre	Primer Turno	Mantenimiento	0.8
Enero	Primer Turno	Calibración	0.8
Noviembre	Primer Turno	Mantenimiento	0.8
Julio	Primer Turno	Calibración	0.8
Febrero	Primer Turno	Calibración	0.8
Junio	Primer Turno	Mantenimiento	0.8
Septiembre	Primer Turno	Calibración	0.7
Noviembre	Primer Turno	Mantenimiento	0.7
Julio	Primer Turno	Calibración	0.6
Febrero	Primer Turno	Calibración	0.6
Marzo	Primer Turno	Mantenimiento	0.6
Junio	Primer Turno	Calibración	0.5
Octubre	Primer Turno	Calibración	0.5
Junio	Primer Turno	Mantenimiento	0.5
Agosto	Primer Turno	Mantenimiento	0.5
Diciembre	Primer Turno	Mantenimiento	0.5
Abril	Primer Turno	Mantenimiento	0.5
Mayo	Primer Turno	Mantenimiento	0.5
Mayo	Segundo Turno	Calibración	0.5
Junio	Segundo Turno	Calibración	0.5
Marzo	Primer Turno	Mantenimiento	0.5
Febrero	Primer Turno	Mantenimiento	0.5
Junio	Segundo Turno	Calibración	0.5
Abril	Primer Turno	Mantenimiento	0.4
Abril	Segundo Turno	Calibración	0.4
Septiembre	Primer Turno	Mantenimiento	0.4
Junio	Segundo Turno	Mantenimiento	0.4
Abril	Primer Turno	Mantenimiento	0.2

Enero	Primer Turno	Calibración	0.2
Mayo	Primer Turno	Calibración	0.2
Junio	Primer Turno	Mantenimiento	0.2
Noviembre	Primer Turno	Calibración	0.2
Mayo	Primer Turno	Calibración	0.2
Diciembre	Primer Turno	Mantenimiento	0.2
Julio	Primer Turno	Mantenimiento	0.2
Septiembre	Primer Turno	Mantenimiento	0.2
Agosto	Segundo Turno	Calibración	0.2
Noviembre	Primer Turno	Calibración	0.1
Diciembre	Primer Turno	Mantenimiento	0.1
Julio	Primer Turno	Mantenimiento	0.1
Agosto	Primer Turno	Mantenimiento	0.1
Febrero	Primer Turno	Calibración	0.1
Julio	Primer Turno	Calibración	0.1
Julio	Primer Turno	Calibración	0.1
Febrero	Primer Turno	Calibración	0.1
Marzo	Primer Turno	Mantenimiento	0.1
Mayo	Segundo Turno	Calibración	0.1
Noviembre	Primer Turno	Calibración	0.1
Noviembre	Primer Turno	Calibración	0.1
Agosto	Primer Turno	Mantenimiento	0.1
Julio	Primer Turno	Mantenimiento	0.1
Julio	Segundo Turno	Calibración	0.1
Enero	Segundo Turno	Mantenimiento	0.1
Diciembre	Segundo Turno	Mantenimiento	0.1
Marzo	Primer Turno	Mantenimiento	0.1
Agosto	Primer Turno	Calibración	0.1
Junio	Primer Turno	Calibración	0.1
Enero	Primer Turno	Mantenimiento	0.1
Total			703.0

Anexo 6. Extracto de matriz de maquinarias para mantenimiento (MTX-5.4.36)

Id del equipo	Descripción del equipo	Tipo de equipo	Departamento	Proc. Loto posteadado	Tiempo entre mantenimiento preventivo en meses	Próximo mantenimiento o planeado	Fecha de mantenimiento preventivo
962-calib-term-aut	Calibradora termal automática 962	Calibradora	Calibración	Si	1	22/12/2017	22/11/2017
0872-calib-mag	Calibradora magnética manual 872	Calibradora	Calibración	Si	1	04/12/2017	04/11/2017
0237-calib-term	Calibración termal manual 0237	Calibradora	Calibración	Si	1	07/01/2018	08/12/2017
0261-calib-term-aut	Calibradora termal automática 0261	Calibradora	Calibración	Si	1	26/01/2018	27/12/2017
0969-calib-term	Calibración termal manual 0969	Calibradora	Calibración	Si	1	02/01/2018	03/12/2017
0942-fixtur-dielec	Fixture de continuidad dieléctrica y shock off 0942	Prueba	Calibración	Si	1	07/12/2017	07/11/2017
0970-calib-term	Calibración termal manual 0970	Calibradora	Calibración	Si	1	23/11/2017	24/10/2017
0953-calib-term	Calibradora termal manual 953	Calibradora	Calibración	Si	1	14/11/2017	15/10/2017
941-fixt-dielect-h2- -5	Fixture de continuidad dieléctrica y shock off 942	Prueba	Calibración	Si	1	28/01/2018	29/12/2017

Propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento en una línea de producción de una empresa de ensamble de equipos de protección eléctrica,
República Dominicana 2017

0256-calib-term	Calibradora termal automática 0256	Calibradora	Calibración	Si	1	22/01/2018	23/12/2017
0238-calib-term-aut	Calibradora termal automática 0238	Calibradora	Calibración	Si	1	29/12/2017	29/11/2017
0315-calib-term	Calibradora termal manual 0315	Calibradora	Calibración	Si	1	26/12/2017	26/11/2017
972-calib-term	Torre de calibración termal manual 0972	Calibradora	Calibración	Si	1	23/11/2017	24/10/2017
0537- remachadora	Remachadora horizontal 0537	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	24/02/2018	26/12/2017
940-fixt-dielect-h2- -4	Fixture de continuidad dieléctrica y shock off 940	Prueba	Calibración	Si	1	07/01/2018	08/12/2017
0933-calib-term	Calibración termal manual 0933	Calibradora	Calibración	Si	1	17/11/2017	18/10/2017
0945-fixtur-dielec	Fixture de continuidad dieléctrica y shock off 0945	Prueba	Calibración	Si	1	07/12/2017	07/11/2017
298-calib-term-man	Calibradora termal manual 298	Calibradora	Calibración	Si	1	09/12/2017	09/11/2017
0924-calib-term	Calibración termal manual 0924	Calibradora	Calibración	Si	1	04/01/2018	05/12/2017
0513- remachadora	Remachadora vertical 0513	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	27/12/2017	28/10/2017
0616-springh2-s.assy	Máquina spring 616	Prensa	Mantenimiento	Si	3	27/01/2018	29/10/2017
2008-pallet-elev- 1	Elevador de paletas	Elevador	Mantenimiento	Si	3	20/03/2018	20/12/2017
0064-plate	Stop plate 0064	Prensa	Mantenimiento	Si	3	10/01/2018	12/10/2017

Propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento en una línea de producción de una empresa de ensamble de equipos de protección eléctrica,
República Dominicana 2017

0096- remachadora	Remachadora 0096	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	26/12/2017	27/10/2017
0615-sprint	Sprint 0615	Prensa	Mantenimiento	Si	3	28/01/2018	30/10/2017
0523-magneto	Stop magneto 0523	Prensa	Calibración	Si	3	08/03/2018	08/12/2017
0872-calib-mag	Calibración magnética manual 0872	Calibradora	Calibración	Si	1	07/12/2017	07/11/2017
0316-calib-term	Calibradora termal manual 0316	Calibradora	Calibración	Si	1	10/01/2018	11/12/2017
0539- remachadora	Remachadora 0539	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	31/12/2017	01/11/2017
0939-fixtur-dielec	Fixture de continuidad dieléctrica y shock off 0939	Prueba	Calibración	Si	1	01/11/2017	02/10/2017
0092- remachadora	Remachadora horizontal 0092	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	06/12/2017	07/10/2017
0612-spring	Spring 0612	Prensa	Mantenimiento	Si	3	13/01/2018	15/10/2017
0255-calib-term-aut	Calibradora termal automática 0255	Calibradora	Calibración	Si	1	17/01/2018	18/12/2017
Calib-t-321-h2- 2	Calibradora termal automática 321	Calibradora	Calibración	Si	1	24/12/2017	24/11/2017
0522-h2-stopmagneto- 6	Stop magneto 0522	Prensa	Calibración	Si	3	14/02/2018	16/11/2017
317-calib-term	Calibración termal manual 317	Calibradora	Calibración	Si	1	02/01/2018	03/12/2017
0952-calib-term-aut	Calibradora termal automática 0952	Calibradora	Calibración	Si	1	29/12/2017	29/11/2017
Láser-001- -2	Máquina láser en cel 2	Láser	Calibración	Si	3	12/01/2018	14/10/2017

Propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento en una línea de producción de una empresa de ensamble de equipos de protección eléctrica,
República Dominicana 2017

1034-magneto	Magneto-1034	Prensa	Mantenimiento	Si	3	17/01/2018	19/10/2017
943-fixt-dielect-h2- -6	Fixture de continuidad dieléctrica y shock off 943	Prueba	Calibración	Si	1	09/01/2018	10/12/2017
0971-calib-term	Calibradora termal manual 0971	Calibradora	Calibración	Si	1	02/11/2017	03/10/2017
0916-cradel-man	Cradel manual 0916	Prensa	Mantenimiento	Si	3	30/01/2018	01/11/2017
512- remachadora	Máquina de remache remachadora vertical 512	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	08/12/2017	09/10/2017
1035-plate	Stop plate 1035	Prensa	Mantenimiento	Si	3	14/02/2018	16/11/2017
0065-plate	Stop plate 0065	Prensa	Calibración	Si	3	02/01/2018	04/10/2017
Láser-003- -3	Láser 0003	Láser	Calibración	Si	3	18/03/2018	18/12/2017
0518- remachadora	Remachadora horizontal 0518	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	10/12/2017	11/10/2017
963-calib-term-aut	Calibradora termal automática 963	Calibradora	Calibración	Si	1	12/01/2018	13/12/2017
Fixture dielectrica-944-h2- 8	Fixture de continuidad dieléctrica y shock off 0944	Prueba	Calibración	Si	1	21/12/2017	21/11/2017
0959-calib-term	Calibración termal automática 0959	Calibradora	Calibración	Si	1	03/12/2017	03/11/2017
0524-magneto	Stop magneto 0524	Prensa	Calibración	Si	3	17/01/2018	19/10/2017
2011-pallet-elev- 4	Elevador de paletas	Elevador	Mantenimiento	Si	3	21/02/2018	23/11/2017
0526-plate	Plate 526	Prensa	Mantenimiento	Si	3	04/01/2018	06/10/2017
0113- remachadora	Remachadora 0113	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	16/12/2017	17/10/2017
0093- remachadora	Remachadora vertical 0093	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	04/01/2018	05/11/2017

Propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento en una línea de producción de una empresa de ensamble de equipos de protección eléctrica,
República Dominicana 2017

0591-archuite	Archuite 0591	Prensa	Mantenimiento	Si	3	10/01/2018	12/10/2017
0042- remachadora	Remachadora 0042	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	29/12/2017	30/10/2017
Láser-008- -7	Máquina láser	Láser	Calibración	Si	3	05/03/2018	05/12/2017
0538- remachadora	Remachadora horizontal 0538	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	08/01/2018	09/11/2017
0876-spring-aut	Sprint automática 0876	Prensa	Mantenimiento	Si	3	27/03/2018	27/12/2017
514- remachadora	Máquina de remache remachadora vertical 514	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	10/01/2018	11/11/2017
0082- remachadora	Remachadora vertical 0082	Prensa	Mantenimiento	Si	3	07/02/2018	09/11/2017
0613-spring	Spring 613	Prensa	Mantenimiento	Si	3	02/01/2018	04/10/2017
0115- remachadora	Remachadora vertical 0115	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	14/12/2017	15/10/2017
0062-plate	Stop plate 0062	Prensa	Calibración	Si	3	29/03/2018	29/12/2017
Láser-002- -5	Láser 0002	Láser	Calibración	Si	3	22/03/2018	22/12/2017
0531- remachadora	Remachadora vertical 0531	Remachadora	Mantenimiento	Si	2	06/01/2018	07/11/2017
2012-pallet-elev- 5	Elevador de paletas	Elevador	Mantenimiento	Si	3	21/01/2018	23/10/2017
Láser-005- - 1	Máquina láser en cel 1	Láser	Calibración	Si	3	25/01/2018	27/10/2017
0614-sprint	Sprint 0614	Prensa	Mantenimiento	Si	3	08/03/2018	08/12/2017
2013-pallet-elev- 6	Elevador de paletas	Elevador	Mantenimiento	Si	3	09/02/2018	11/11/2017
2009-pallet-elev- 2	Elevador de paletas	Elevador	Mantenimiento	Si	3	20/01/2018	22/10/2017
1201-spring	Sprint 1201	Prensa	Mantenimiento	Si	3	10/03/2018	10/12/2017
0875-spring-aut	Spring automática 0875	Prensa	Mantenimiento	Si	3	21/03/2018	21/12/2017
2014-pallet-elev- 7	Elevador de paletas	Elevador	Mantenimiento	Si	3	05/01/2018	07/10/2017

Propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento en una línea de producción de una empresa de ensamble de equipos de protección eléctrica,
República Dominicana 2017

528-stopmagneto-h2-cell-2	Máquina stop plate magneto	Prensa	Mantenimiento	Si	3	20/01/2018	22/10/2017
2010-pallet-elev- 3	Elevador de paletas	Elevador	Mantenimiento	Si	3	21/01/2018	23/10/2017
0061-plate	Stop plate 0061	Prensa	Mantenimiento	Si	3	05/01/2018	07/10/2017
920-cadel-man-h2	Cadel manual 920	Prensa	Mantenimiento	Si	3	28/01/2018	30/10/2017
0066-stopplate-h2--7	Máquina stop plate 0066 en el	Prensa	Mantenimiento	Si	3	04/02/2018	06/11/2017
Láser-006- -6	Máquina láser	Láser	Calibración	Si	3	09/01/2018	11/10/2017
Láser-007	Láser 0007	Láser	Calibración	Si	3	11/02/2018	13/11/2017
Láser-004- -4	Máquina láser en cel 4	Láser	Calibración	Si	3	20/02/2018	22/11/2017
1030-plate	Stop plate 1030	Prensa	Calibración	Si	3	21/02/2018	23/11/2017
0067-plate	Stop plate 0067	Prensa	Calibración	Si	3	08/02/2018	10/11/2017
918-cradlem-h2-sub .	Máquina cradel manual 918	Prensa	Mantenimiento	Si	3	15/03/2018	15/12/2017
1202-bomba-mag	Bomba magnalube 1202	Bomba	Mantenimiento	Si	6	01/04/2018	03/10/2017

Anexo 7. Detalles del fabricante sobre las máquinas remachadoras

JOINING IS OUR BUSINESS – WORLDWIDE

BalTec

RN 181 – RADIAL BENCH TOP RIVETING MACHINE WITH PROCESS CONTROL HPP-25

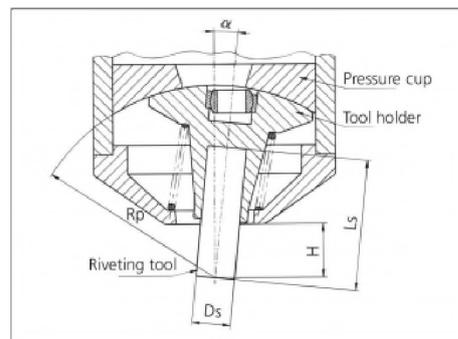
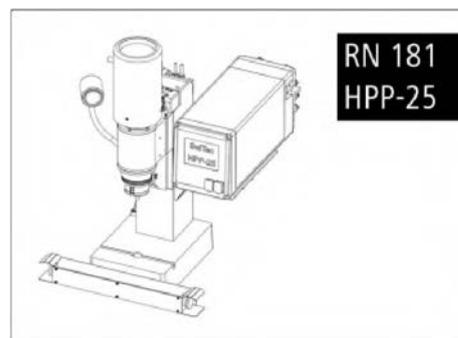
- **Process Control HPP-25:** More information
- **Model:** RN181-HPP
- **Forming Process:** Radial
- **Force generation:** Pneumatic
- **Riveting force in KN:** 1.8-6.6
- **Rivet shank (Steel 370 N/mm²) max. Ø in mm:** 6
- **Working stroke in mm:** 5-30
- **Ø Tool shank in mm:** 10
- **Tool holder radius in mm (RP):** Please choose
- **Forming tool length (LS):** Please choose
- **Free height (H):** Please choose

Combinable accessories

HST 010 – Manual sliding table with initiator for 151-281,
PST 010 – Pneumatic sliding table with Initiator for 151-281,
NLT 181 – Down holder with disc springs for 151, 181, 181R,
NLS 181 – Downholder with spiral springs for 151, 181, 181R,
MRX 1 – Multi riveting head for 081-231,
NHE-E 01 – Rivet base detection device with Mycom switch and spindle for 151-231,
NHE-U 01 – Rivet base detection device for projection measuring with Mycom switch for 151-231,
NHE-H 01 – Rivet base detection device for rivet head height control with path sensor for 151-231,
NHE-Combi 01 – Combined projection measuring device with Mycom switch and path sensor for 151-231

Forming tools

Forming tools Ø 10 mm



Hoja de evaluación

Sustentante

Sustentante

Asesor

Miembro del jurado

Miembro del jurado

Presidente del jurado

Ing. Jorge Encarnación

Director de la escuela de Ingeniería Industrial

Marcos Romeo

Calificación numérica ____

Calificación alfabética ____

Guillermo A. Pinales

Calificación numérica ____

Calificación alfabética ____

Fecha