

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA  
CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD EN  
BUZCA S.A.

ROBERTO CARLOS OROZCO MAJUL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DEL SANTANDER  
FACULTA DE INGENIERIA FISICO – MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2009

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA  
CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD EN  
BUZCA S.A.

ROBERTO CARLOS OROZCO MAJUL

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director:  
JOSELIN MARTINEZ POLANÍA  
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DEL SANTANDER  
FACULTA DE INGENIERIA FISICO – MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2009

## **DEDICATORIA**

**A mi esposa Marina Tatis y a mi hijo Daniel Elías, quien son los alientos para seguir mejorando en mi vida profesional y poder darle lo mejor de mí.**

A mi padre Roberto Orozco y mi madre Rosaura Majul, que son la base para que haya logrado llegar hasta este momento.

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a BUZCA S. A. por todo el apoyo que me han brindado y la confianza que han depositado en mí para desarrollar mis actividades, las cuales enriquecen día a día mi experiencia profesional.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1. DESCRIPCIÓN DE BUZCA SOLUCIONES DE INGENIERÍA S. A.....	3
1.1. UBICACIÓN DE LA EMPRESA.....	7
1.2. MISIÓN DE BUZCA S. A.....	8
1.3. VISIÓN DE BUZCA S. A. ....	8
1.4. ORGANIGRAMA BUZCA SOLUCIONES DE INGENIERIA S.A. ....	8
1.5. MAPA DE PROCESO. ....	9
2. MANTENIMIENTO .....	10
2.1. IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO.....	10
2.2. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO.....	12
2.3. BREVE HISTORIA DE LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO. .....	13
2.4. OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO.....	14
3. ANÁLISIS DE EQUIPOS CRÍTICOS.....	16
3.1. METODO DE LOS COEFICIENTES DE PONDERACIÓN.....	17
3.2. MODELO DE CRITICIDAD DE FACTORES PONDERADOS BASADO EN EL CONCEPTO DEL RIESGO .....	21
4. SISTEMA KANTIANO DE MANTENIMIENTO. ....	26
4.1. UNIDAD DE PRODUCCIÓN. ....	28
4.2. UNIDAD DE MANTENIMIENTO.....	29
4.3. SISTEMA INTEGRAL DE MANTENIMIENTO.....	31
4.4. CATEGORIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO. ....	33

5.	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD (CMD).....	35
5.1.	DISPONIBILIDAD.....	38
5.1.1.	Opciones de Disponibilidad.....	39
5.2.	CONFIANILIDAD.....	51
5.2.1.	Probabilidad.....	52
5.2.2.	Desempeño satisfactorio.....	53
5.2.3.	Período.....	53
5.2.4.	Condiciones de operación.....	53
5.2.5.	Curva de confiabilidad.....	54
5.3.	MANTENIBILIDAD – REPARACIONES.....	58
5.3.1.	Curva de la bañera o de Davies.....	60
5.3.2.	Curva de mantenibilidad.....	63
5.4.	ESTIMACIÓN DE NO CONFIABILIDAD $F(t)$ y DE MANTENIBILIDAD $M(t)$ .....	65
5.4.1.	Métodos de estimación y cálculo de la no confiabilidad y de la mantenibilidad.....	66
5.4.2.	Método i-kaésimo o Estimador No Sesgado.....	67
5.4.3.	Método de Rango de Medianas – Tabla.....	68
6.	IMPLEMENTACIÓN DEL CMD EN BUZCA S. A. ....	69
6.1.	ESTUDIO DE CRITICIDAD.....	71
6.1.1.	ESTUDIO DE CRITICIDAD DEL REMOLCADOR PAPPY.....	75
6.1.2.	RETROEXCAVADORA CATERPILLAR.....	77
6.1.3.	COMPLEJO HIPERBARICO.....	78
6.1.4.	COMPRESORES.....	80

6.1.5. VEHICULOS.....	81
6.1.6. PLANTAS ELECTRICAS.....	83
6.1.7. MOTO BOMBAS. ....	84
6.2. ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD PARA LOS EQUIPOS DE BUZCA S.A. ....	87
6.2.1. Estudio de Disponibilidad del remolcador Pappy. ....	91
6.2.2. Estudio de Disponibilidad de la Retro excavadora 320L. ....	93
6.3. ESTUDIO DE CONFIABILIDAD EN LOS EQUIPOS DE BUZCA S. A. .....	94
6.4. ESTUDIO DE MANTENIBILIDAD. ....	97
7. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....	101
8. CONCLUSIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	104

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mediciones de Espesores.....	3
Ilustración 2. Plataforma petrolera. ....	4
Ilustración 3. Costas. ....	4
Ilustración 4. Lanzamiento de líneas      Ilustración 5. Pilotajes.....	5
Ilustración 6. Certificaciones. ....	5
Ilustración 7. Ubicación geográfica de BUZCA S.A. ....	7
Ilustración 8. Organigrama de BUZCA S.A.....	8
Ilustración 9. Mapa de Proceso.....	9
Ilustración 10. Matriz General de Criticidad. ....	23
Ilustración 11. Ejemplo de Matriz general de criticidad.....	25
Ilustración 12. Mapa de proceso de la unidad de producción. ....	28
Ilustración 13. Unidad básica de Producción.....	29
Ilustración 14. Unidad elemental de Mantenimiento. ....	30
Ilustración 15. Sistema Integral de Mantenimiento y Operaciones. ....	31
Ilustración 16. Elementos estructurales de ingeniería de fabricas. ....	32
Ilustración 17. Niveles de mantenimiento de la casa ESREDA.....	34
Ilustración 18. Equilibrio de disponibilidad. ....	36
Ilustración 19. Tiempos de fallas, de funcionamiento y demás que impiden la funcionalidad o no del sistema o equipo .....	37
Ilustración 20 - Ejemplos de diferentes disponibilidades.....	50

Ilustración 21 - Factores que afectan la funcionalidad de los equipos y las disponibilidades que los consideran ..... 51

Ilustración 22. - Curva de la bañera o de Davies. .... 63

Ilustración 23. Lista de equipos..... 70

Ilustración 24. Curva de Davies. .... 100

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicación de criterio de coeficiente de ponderación .....	19
Tabla 2. Factores ponderados a ser evaluados.....	22
Tabla 3. Estudio de criticidad por los factores ponderados basado en el concepto de riesgo. ....	73
Tabla 4. Aplicación de criterios bajo el método de factores ponderados bajo el concepto del riesgo. ....	74
Tabla 5. Diagrama de criticidad .....	75
Tabla 10. Diagrama de criticidad de las plantas eléctricas. ....	84
Tabla 11. Diagrama de criticidad de las Moto Bombas.....	85
Tabla 12. Resumen de nivel de criticidad de los equipos. ....	86
Tabla 13. Reporte diario de horas trabajadas y consumo de combustible....	89
Tabla 14. Reporte mensual de horas trabajadas de maquinas.....	90
Tabla 15. Disponibilidad del Remolcador Pappy.....	92
Tabla 16. Disponibilidad de la Retro excavadora de la 320L .....	93
Tabla 17. Estudio de Confiabilidad. ....	95
Tabla 18. Estudio de Mantenibilidad. ....	97
Tabla 20. Curva de Davies.....	100

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Estudio de criticidad Remolcador Pappy.....	108
Anexo B. Estudio de criticidad lancha Coralia. ....	109
Anexo C. Estudio de criticidad para las Moto soldadoras. ....	111
Anexo D. Formato de hoja de vida de los equipos.....	113
Anexo E. Formato de reporte de horas trabajadas y consumo de combustible.....	114
Anexo F. Formato mensual de horas trabajadas .....	115
Anexo G. Plan de Mantenimiento. ....	116
Anexo H. Hoja de vida Remolcador Pappy.....	117
Anexo I. Hoja de vida Retroexcavadora.....	118
Anexo J. Hoja de vida Camioneta.....	119
Anexo K. Hoja de vida Lancha Coralia. ....	120
Anexo L. Formato de orden de trabajo. ....	121
Anexo M. Estudio de Confiabilidad y Mantenibilidad de los equipos. ....	122

## RESUMEN

### **TÍTULO:**

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD EN BUZCA S. A.\*\*

### **AUTOR:**

ROBERTO CARLOS OROZCO MAJUL\*\*

### **PALABRAS CLAVES:**

Criticidad, Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.

### DESCRIPCIÓN

Este estudio esta orientado a la implementación de un sistema que nos permita llevar cuidadosamente un monitoreo constante del comportamiento de los equipos y del departamento como tal.

Por tal motivo se ha realizado un estudio de criticidad a cada uno de los equipos, el cual nos ayuda a priorizar e intensificar las actividades relacionadas con el mantenimiento, teniendo en cuenta una serie de eventos donde se involucra la seguridad, la calidad, la importancia operacional de los elementos y los intereses económicos de la empresa.

También se vio la necesidad de implementar un sistema de medición como el de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD) para llevar datos estadísticos y poder demostrarle cuantitativamente el estado real del departamento y la capacidad que tiene la empresa para desarrollar sus proyectos.

La Disponibilidad nos muestra en porcentaje con relación al tiempo de trabajo en que el equipo se encuentra listo para operar. Aquí juegan un papel muy importante el número de paradas o intervenciones que se le debe hacer un equipo durante su operación, lo cual quiere decir que entre más paradas tenga un equipo menos disponibilidad va a tener durante su vida operacional.

La confiabilidad es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que fue diseñado, durante el período de tiempo especificado y bajo condiciones de operación dadas.

La Mantenibilidad es la probabilidad de que un dispositivo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla y cuando el mantenimiento es realizado en un determinado período de tiempo, al nivel deseado de confianza, con el personal especificado, las habilidades necesarias, el equipo indicado, los datos técnicos, manuales de operación y mantenimiento, departamento de soporte de mantenimiento y bajo condiciones ambientales especificadas.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Ing. Joselin Martínez Polanía.

## SUMMARY

**TITLE:**

IMPLEMENTATION OF MAINTENANCE BASED ON THE RELIABILITY, AVAILABILITY and MAINTAINABILITY IN BUZCA S. A.\*\*

**AUTHOR:**

ROBERTO CARLOS OROZCO MAJUL#

**KEY WORDS:**

Criticism, Reliability, Maintainability and Availability.

**DESCRIPTION**

This study is aimed at implementing a system that allows us to keep a carefully and constant performance monitoring of the equipments as the department also.

For that reason a study of criticality to each of the equipments has been done, which helps us to prioritize and strengthen activities related to maintenance, taking into account a series of events which involves the safety, quality, relevance operational elements and economic interests of the company.

There was also the need to implement a measurement system for Reliability, Maintainability and Availability (CMD) in order to have statistical data and be able to demonstrate quantitatively the real state of the department and the ability of the company to develop its projects.

Availability shows the percentages with regard to working time that the equipment is ready for operation. In this the number of stops or interventions that must be done to a equipment during its operation plays an important role, which means that the more stops have an equipment, less availability is going to have during its operational life.

Reliability is the probability that a team performs satisfactorily the functions for which it was conceived during the specified period of time and under the conditions of operation given.

With regard to the Maintainability of a equipment, this is the probability that a device is returned to a state in which it is able to carry out its mission in a given time, after fault appears and when maintenance is done within a certain period time, at the desire level of certainty, with the crew specified, the necessary skills, the equipment appropriated, the technical data, operation and maintenance manuals, the department of maintenance support and under the specified conditions.

---

\*Monograph

\*\*School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialización.  
Director: Ing. Joselin Martinez Polanía,

## INTRODUCCIÓN

BUZCA S.A. es una empresa dedicada a ejecutar proyectos de ingeniería aplicados a la industria marina, que cuenta con un número significativo de equipos y maquinarias óptimas, las cuales permiten el desarrollo del objeto social de la compañía garantizando la seguridad de sus trabajadores y contratistas..

Dentro de su estructura ha implementado el sistema de Gestión Integral bajo los lineamientos de normas nacionales e internacionales (calidad, salud ocupacional, seguridad y medio ambiente), obligando a cada uno de los procesos que la conforman a trabajar de manera eficiente; por tal motivo, el Proceso de Mantenimiento ha decidido trabajar en la mejora y/o implementación de actividades, como por ejemplo la obtención y análisis de estadísticas y constante seguimiento a cada uno de los equipos.

Basado en lo anterior aplicaremos los conceptos relevantes sobre la medición real de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de una forma clara y sencilla de entender y que a la vez permita su aplicación en la empresa, determinando los cálculos correctos que se deben realizar y sobre todo describiendo su interpretación de tal manera que se puedan tomar acciones estratégicas que permitan su mejoramiento continuo.

Uno de los principales aportes consiste en definir las pautas para entender el mantenimiento como un sistema que posee niveles diferenciales con todos sus elementos, que tiene un lenguaje propio y específico, el cual permite una fácil comunicación entre los actores relevantes: mantenimiento, operaciones y equipos.

La concepción integral y detallada del mantenimiento es una contribución relevante en este proyecto, ya que permite el manejo y el dominio rápido de todos los conceptos y relaciones de unos con otros, destacada a su vez la necesidad de enfocar el mantenimiento en forma simultánea desde los cuatro niveles (instrumental, operativo, táctico y estratégico), en especial definiendo los niveles superiores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

## 1. DESCRIPCIÓN DE BUZCA SOLUCIONES DE INGENIERÍA S. A.

El 11 de Julio de 1969 fue fundada en la ciudad de Cartagena la empresa **BUZCA**, ofreciendo inicialmente, servicios especializados de buceo industrial y atención de emergencias marinas.



*Ilustración 1. Mediciones de Espesores*

Fuente de la Ilustración: Presentación de la empresa BUZCA S.A.

Su experiencia y crecimiento a través del tiempo, hizo necesaria la vinculación de un selecto grupo de ingenieros calificados lo que le permitió subir en la escala de valor y ampliar su cobertura de servicios para constituirse en una Empresa que ofrece soluciones de ingeniería marina al sector fluvial, portuario y petroquímico principalmente, que utiliza el buceo para desarrollar sus actividades.



*Ilustración 2. Plataforma petrolera.*

Fuente de la Ilustración: Presentación de la empresa BUZCA S.A.

Durante el año 2005 comenzó su proceso de internacionalización, ofreciendo sus servicios de ingeniería a empresas internacionales, abarcando inicialmente el sector de Centroamérica y el Caribe.



*Ilustración 3. Costas.*

Fuente de la Ilustración: Presentación de la empresa BUZCA S.A.

A principios del año 2007 a nivel interno la empresa experimentó un direccionamiento estratégico y cambio su razón social pasando de ser sociedad limitada a sociedad anónima.

En la actualidad, **BUZCA** cuenta en sus modernas instalaciones ubicadas en la sede de Albornoz y Bocagrande, con un completo inventario de equipos subacuáticos y terrestres para ofrecer además de los servicios que prestaba en sus inicios, nuevos servicios como: Construcción de obras civiles de estructuras marinas, construcción e instalación de tuberías submarinas, mantenimiento de obras de estructuras marinas y submarinas y dragados especiales, entre otros.



*Ilustración 4. Lanzamiento de líneas*      *Ilustración 5. Pilotajes*

Fuente de la Ilustración: Presentación de la empresa BUZCA S.A.

Para el futuro, la proyección de la empresa es ampliar su cobertura y posicionarse en el mercado de Centro América y el Caribe, razón por la cual ha implementado un Sistema de Gestión Integral (Calidad, Salud ocupacional y Seguridad y Medio Ambiente) bajo lineamientos de normas nacionales e internacionales.



*Ilustración 6. Certificaciones.*

Fuente de la Ilustración: Presentación de la empresa BUZCA S.A.

Ante el crecimiento continuo y la transformación permanente de la empresa, la aplicación de novedosas estrategias de planeación, programación y control de las actividades administrativas y operativas, la exigencia social para la protección del medio ambiente y la aplicación de tecnologías de punta han exigido que la gerencia, los ingenieros y todo el grupo de trabajo busquen alternativas para mejoras continuas en los procesos de operación y mantenimiento.

## 1.1. UBICACIÓN DE LA EMPRESA.

BUZCA S.A. es una empresa Colombiana, ubicada en la ciudad de Cartagena, en el sector industrial de Mamonal, kilómetro 1.



*Ilustración 7. Ubicación geográfica de BUZCA S.A.*

Fuente de la Ilustración: Presentación de la empresa BUZCA S.A.

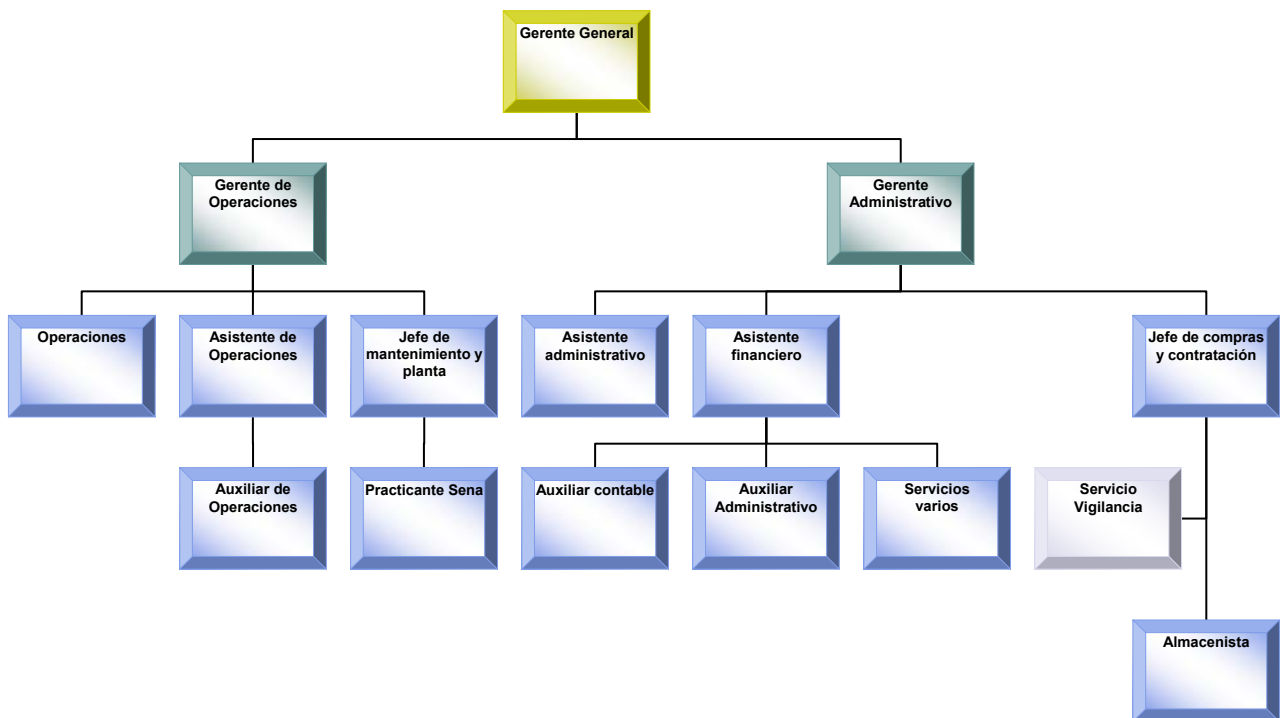
## 1.2. MISIÓN DE BUZCA S. A.

BUZCA S.A. es una Empresa privada que planea, desarrolla y ejecuta proyectos de ingeniería aplicados a la industria marítima, fluvial y petroquímica, que amparada en su experiencia, en su recurso humano y en su Sistema de Gestión de la Calidad bajo los lineamientos de la Norma ISO 9001:2000, cumple las necesidades y expectativas de sus clientes con tecnología y eficiencia, motivando el desarrollo integral de su personal.

## 1.3. VISIÓN DE BUZCA S. A.

BUZCA S.A. al año 2010, será reconocida por su innovación y desarrollo en proyectos de ingeniería, basada en el cumplimiento de normas, optimización de recursos, conservación del medio ambiente y la preservación de la salud y seguridad de las personas involucradas en sus procesos.

## 1.4. ORGANIGRAMA BUZCA SOLUCIONES DE INGENIERIA S.A.



*Ilustración 8. Organigrama de BUZCA S.A.*

Fuente de la Ilustración: Presentación de la empresa BUZCA S.A.

## 1.5. MAPA DE PROCESO.



*Ilustración 9. Mapa de Proceso.*

Fuente de la Ilustración: Presentación de la empresa BUZCA S.A.

## **2. MANTENIMIENTO**

El mantenimiento no es una función "miscelánea", produce un bien real, que puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad.

Para nadie es un secreto la exigencia que plantea una economía globalizada, mercados altamente competitivos y un entorno variable donde la velocidad de cambio sobrepasa en mucho nuestra capacidad de respuesta. En este panorama estamos inmersos y vale la pena considerar algunas posibilidades que siempre han estado pero ahora cobran mayor relevancia.

Particularmente, la imperativa necesidad de redimensionar la empresa implica para el mantenimiento, retos y oportunidades que merecen ser valorados.

Debido a que el ingreso siempre provino de la venta de un producto o servicio, esta visión primaria llevó la empresa a centrar sus esfuerzos de mejora, y con ello los recursos, en la función de producción. El mantenimiento fue "un problema" que surgió al querer producir continuamente, de ahí que fue visto como un mal necesario, una función subordinada a la producción cuya finalidad era reparar desperfectos en forma rápida y barata.

### **2.1. IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO.**

Todas las maquinas, equipos e instalaciones, están sujetas en mayor o menor grado, a la acción deteriorante de agentes externos o a la acción dañina a los agentes propios internos como son: el aire, la sal, el calor solar, el polvo, los gases corrosivos, otras sustancias toxicas, el mantenimiento mal aplicado, el movimiento de los fluidos, las altas temperaturas internas, las vibraciones mecánicas, la fricción, la presión, entre otras.

El mantenimiento es algo inherente a la industria, se encuentra irremediabilmente ligado a la exigencia de las maquinas. La vida de una maquina implica la necesidad del mantenimiento. El mantenimiento dirigido, organizado; el mantenimiento de alto nivel; el grupo de ingeniería de mantenimiento se justifica en la medida en que se mantengan los equipos en una alta disponibilidad, se logren un alto rendimiento en las tareas de mantenimiento, se optimice los costos de mantenimiento, se incremente o sostenga la productividad y cumpla con los requisitos de calidad.

El grupo de mantenimiento debe ser una parte integral de la organización y más aún cuando la empresa crece, cuando aumenta su complejidad, cuando se incrementan la automatización de las plantas y se debe tomar la importancia de su papel. Cuando la edad de los equipos aumentan y los costos de mantenimiento se van convirtiendo en los más importantes de los costos de producción.

La administración de mantenimiento es necesario para convertir un conjunto de recursos (humanos, de maquinas, materiales, monetarios, de tiempo y espacio) en una empresa que presta su servicio a una organización mayor. El objetivo de la empresa no es mantener, es “producir”. Esencialmente, la administración del mantenimiento debe integrar esos recursos sin relación en un sistema total para el logro de determinados objetivos.

La misión de la administración del mantenimiento es aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos a un costo razonable.

Implementar una organización de mantenimiento garantiza una eficaz protección y conservación de las inversiones, disminuyendo su deterioro, bajando su depreciación, valorizando los activos e incrementando su vida útil, garantiza la producción y calidad de los trabajos.

A pesar de todas las implicaciones y el costo que significa mantener, es preciso convencerse que en la mayoría de los casos es mas costoso no mantener, el ideal seria encontrar un punto de equilibrio, para remplazar los elementos que se deterioran, ó ya han cumplido su ciclo de vida, pues existen ciertos elementos en una empresa que se pueden llegar a operar hasta la falla.

Si no se mantiene, se llegara a un punto en el cual no se puede producir, por el deterioro de los elementos, sin producción, no se puede comercializar, entonces no se obtiene el capital, que es necesario para renovar equipos. Es mejor mantener los equipos y a través del mantenimiento introducirles mejoras para hacerlos mas eficientes, esto es fácil de entender pues en la mayoría de los casos usted se ve obligado a comprar otro equipo por una sola pieza que se dañe.

El mantenimiento optimiza la disponibilidad de los equipos, minimiza los costos propios de mantenimiento y los controles adecuados de costos.

La industria está sometida a optimizar todos sus aspectos, tanto de costos, como de calidad, como de cambio rápido de producto, conduce a la necesidad de analizar de forma sistemática las mejoras que pueden ser introducidas en la gestión, tanto técnica como económica del mantenimiento. Es la filosofía del tero tecnología. Todo ello ha llevado a la necesidad de manejar desde el mantenimiento una gran cantidad de información.

## **2.2. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO**

Mantenimiento se entiende como el servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones.

La labor del departamento de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente con la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador, ya que

tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones la maquinaria y herramienta y el equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desarrollo y seguridad evitando riesgos laborales.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

La principal función de una gestión adecuada del mantenimiento consiste en rebajar el correctivo hasta el nivel óptimo de rentabilidad para la empresa.

El correctivo no se puede eliminar en su totalidad, por lo tanto una gestión correcta extraerá conclusiones de cada parada e intentará realizar la reparación de manera definitiva ya sea en el mismo momento o programado un paro, para que esa falla no se repita.

Es importante tener en cuenta en el análisis de la política de mantenimiento a implementar, que en algunas máquinas o instalaciones el correctivo será el sistema más rentable.

### **2.3. BREVE HISTORIA DE LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO.**

A finales del siglo XVIII y comienzo del siglo XIX durante la revolución industrial, con las primeras máquinas se iniciaron los trabajos de reparación, el inicio de los conceptos de competitividad de costos, planteo en las grandes empresas, las primeras preocupaciones hacia las fallas o paro que se producían en la producción. Hacia los años 20 ya aparecen las primeras estadísticas sobre tasas de falla en motores y equipos de aviación.

Durante la segunda guerra mundial, el mantenimiento tiene un desarrollo importante debido a las aplicaciones militares, en esta evolución el mantenimiento preventivo consiste en la inspección de los aviones antes de cada vuelo y en el

cambio de algunos componentes en función del número de horas de funcionamiento.

Durante los años 60 se inician técnicas de verificación mecánica a través del análisis de vibraciones y ruidos si los primeros equipos analizadores de espectro de vibraciones mediante la FFT (Transformada rápida de Fouries), fueron creados por Bruel Kjaer.

Luego aparece el TPM; Este sistema nace en Japón, fue desarrollado por primera vez en 1969 en la empresa japonesa Nippondenso del grupo Toyota y de extiende por Japón durante los 70, se inicia su implementación fuera de Japón a partir de los 80.

#### **2.4. OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO.**

La organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.
- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paradas de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.

- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

### **3. ANÁLISIS DE EQUIPOS CRÍTICOS.**

El análisis de criticidad es una herramienta que permite identificar y jerarquizar por su importancia los elementos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el análisis de criticidad ayuda a determinar eventos potenciales indeseados, en el contexto de la confiabilidad operacional, entendiéndose confiabilidad operacional como: la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico en un tiempo determinado.

El término “crítico” y la definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones y van a depender del objetivo que se está tratando de jerarquizar. Desde esta óptica existen una gran diversidad de herramientas de criticidad, según las oportunidades y las necesidades de la organización:

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo)
- Efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción
- Efecto en la calidad del producto
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene
- Costos de paradas y del mantenimiento
- Frecuencia de fallas / confiabilidad
- Condiciones de operación (temperatura, presión, fluido, caudal, velocidad)

- Flexibilidad / accesibilidad para inspección & mantenimiento
- Requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento
- Disponibilidad de repuestos

### **3.1. METODO DE LOS COEFICIENTES DE PONDERACIÓN**

Para el análisis de equipos críticos se realiza una evaluación con el objeto de determinar el índice de criticidad de cada equipo.

En este método se elabora una tabla en la cual se establecen un conjunto de criterios, a los que se asigna un valor y un coeficiente de ponderación. La mayor prioridad estará determinada por el mayor resultado obtenido de sumar los puntos, multiplicado por el coeficiente de ponderación.

Inicialmente se establecen los criterios con los cuales se evalúa cada equipo.

- **CRITERIO INTRINSECO DEL MATERIAL**

1. Complejidad tecnológica:

a. Simple                    0

b. Complejo                1

c. Muy complejo        2

- **CRITERIO DE EXPLOTACIÓN**

2. Importancia del equipo en el proceso:

- a. Secundaria. 0
- b. Principal. 1
- c. Vital 2

3. Funcionamiento (Tasa de marcha)

- a. Esporádica 0
- b. Intermitente 1
- c. Continúa 2

- **CRITERIO DE MANTENIMIENTO**

4. Costos directos de mantenimiento.

- a. Bajos 0
- b. Medios 1
- c. Elevados 2

- **CRITERIOS ECONOMICOS**

5. Valor de reemplazar por uno idéntico

- a. Poco costoso 0
- b. Costoso 1
- c. Muy costoso 2

6. Costos indirectos (Pérdida de producción)

- a. Bajos 0
- b. Medios 1
- c. Elevados 2

Se establecen los siguientes coeficientes de ponderación:

VALOR 1 para: Equipos auxiliar, proceso adjunto, equipos con duplicados.

VALOR 2 para: Equipos de importancia media, de apoyo a la producción, única existencia.

VALOR 3 para: Equipos importancia vital para el proceso, única existencia, sin reemplazo.

En la tabla siguiente se presenta un ejemplo de aplicación para el análisis del índice de criticidad.

*Tabla 1. Aplicación de criterio de coeficiente de ponderación*

Fuente de la Ilustración: Principio de Mantenimiento – Posgrado en Gerencia de Mantenimiento.

CRITERIO	VALOR ESTIMADO	COEFICIENTE	PUNTOS ESTIMADOS	PUNTOS MAXIMOS
1.Complejidad tecnológica	0	1	0	2
2. Importancia del equipo en el proceso	1	1	1	2
3. Funcionamiento (Tasa de marcha)	0	1	0	2

4. Costos directos de mantenimiento	0	1	0	2
5. Valor de reemplazo por uno idéntico	2	1	2	2
6. Costos Indirectos (Pérdida de producción)	0	1	0	2
TOTALES		I =	3	12

Aun cuando la evaluación es subjetiva permite obtener una primera aproximación de prioridades sobre los equipos que se deben atender y mantener con la mayor confiabilidad posible de operación. La evaluación podría ser más subjetiva en la medida que se utilicen valores más confiables para cada parámetro.

Se consideran prioritarios los equipos con índice superiores a  $i > 17$ , son catalogados dentro del grupo A.

Los equipos de prioridad media es decir con  $12 > i > 16$  son catalogados dentro del grupo B.

Los equipos de poca criticidad son aquellos con  $0 > i > 11$ , catalogados dentro del grupo C.

### 3.2. MODELO DE CRITICIDAD DE FACTORES PONDERADOS BASADO EN EL CONCEPTO DEL RIESGO

Este método fue desarrollado por un grupo de consultoría inglesa denominado: The Woodhouse Partnership Limited [Woodhouse Jhon. "Criticality Analysis Revisited", The Woodhouse Partnership Limited, Newbury, England 1994].

Este es un método semicuantitativo bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto del riesgo: frecuencia de fallas x consecuencias.

A continuación se presenta de forma detallada la expresión utilizada para jerarquizar sistemas:

$$\text{Criticidad total} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencias de fallas} \dots\dots\dots (I)$$

$$\text{Frecuencia} = \text{Rango de fallas en un tiempo determinado (fallas/año)}$$

$$\text{Consecuencias} = ((\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costos}$$

$$\text{de Mtto.} + \text{Impacto Seguridad, Ambiente e Higiene) (\$, \$US)$$

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan a continuación:

**Tabla 2. Factores ponderados a ser evaluados.**

Fuente de la Ilustración: Principio de Mantenimiento – Posgrado en Gerencia de Mantenimiento.

$$\text{Críticidad Total} = \text{Frecuencia de fallas} \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = (( \text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad} ) + \text{Costo Mto.} + \text{Impacto SAH} )$$

<b>Frecuencia de Fallas:</b>		<b>Costo de Mto.:</b>	
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a 20000 \$	2
Promedio 1 - 2 fallas/año	3	Inferior a 20000 \$	1
Buena 0.5 -1 fallas/año	2	<b>Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH):</b>	
Excelente menos de 0.5 falla/año	1	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
<b>Impacto Operacional:</b>		Afecta el ambiente /instalaciones	7
Pérdida de todo el despacho	10	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas.	7	Provoca daños menores (ambiente - seguridad)	3
Impacta en niveles de inventario o calidad	4	No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	<b>Flexibilidad Operacional:</b>	
<b>Flexibilidad Operacional:</b>		No existe opción de producción y no hay función de repuesto.	
No existe opción de producción y no hay función de repuesto.	4	Hay opción de repuesto compartido/almacen	
Hay opción de repuesto compartido/almacen	2	Función de repuesto disponible	
Función de repuesto disponible	1		

Estos factores se evalúan en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente). Una vez que se evalúan en consenso cada uno de los factores presentados en la tabla anterior, se introducen en la fórmula de Críticidad Total (I) y se obtiene el valor global de críticidad.

Máximo valor de críticidad que se puede obtener a partir de los factores ponderados evaluados = 200.

Para obtener el nivel de críticidad de cada sistema se toman los valores totales individuales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias y

se ubican en la matriz de criticidad - valor de frecuencia en el eje Y, valor de consecuencias en el eje X. La matriz de criticidad mostrada a continuación permite jerarquizar los sistemas en tres áreas :

Área de sistemas No Críticos (NC)

Área de sistemas de Media Criticidad (MC)

Área de sistemas Críticos (C)

Matriz General de Criticidad

<b>FRECUENCIA</b>	<b>4</b>	<b>MC</b>	<b>MC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
	<b>3</b>	<b>MC</b>	<b>MC</b>	<b>MC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
	<b>2</b>	<b>NC</b>	<b>NC</b>	<b>MC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
	<b>1</b>	<b>NC</b>	<b>NC</b>	<b>NC</b>	<b>MC</b>	<b>C</b>
		<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
		<b>CONSECUENCIA</b>				

*Ilustración 10. Matriz General de Criticidad.*

Fuente de la Ilustración: Principio de Mantenimiento – Posgrado en Gerencia de Mantenimiento.

A continuación se presenta un ejemplo ilustrativo del uso de la metodología de análisis de criticidad:

Planta: Carenero - PDVSA / Sistema: Esferas GLP

Subsistema evaluado: Instrumentación y control

Proceso de evaluación de los factores ponderados (actividad a ser realizada por el equipo natural de trabajo, utilizando los valores de la Tabla # 2.1):

Frecuencia de fallas: 2

Impacto Operacional: 7

Flexibilidad: 4

Costos de Mantenimiento: 2

Impacto en SHA: 8

Se sustituyen los valores seleccionados en la expresión de criticidad (I):

Criticidad total = Frecuencia x Consecuencias de fallas

$$\text{Frecuencia} = 2$$

Consecuencias = ((Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos  
de Mtto. + Impacto Seguridad, Ambiente e Higiene)

$$\text{Consecuencias} = ((7 \times 4) + 2 + 8) = 40$$

Criticidad Total: 80

Luego se ubican los valores obtenidos de frecuencia = 4 (eje y) y consecuencia = 80 (eje x) en la matriz de criticidad, con el propósito de obtener la categoría de criticidad correspondiente al subsistema evaluado:

<b>FRECUENCIA</b>	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	Instrumentación y control	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

*Ilustración 11. Ejemplo de Matriz general de criticidad.*

Fuente de la Ilustración: Principio de Mantenimiento – Posgrado en Gerencia de Mantenimiento.

Subsistema evaluado: Instrumentación y Control

Frecuencia = 2

Consecuencias = 40

Categoría de Criticidad = Crítico

#### **4. SISTEMA KANTIANO DE MANTENIMIENTO.**

El enfoque sistemático Kantiano plantea la posibilidad de estudiar y entender un sin número de fenómenos, dado que define que cualquier sistema está formado básicamente por tres elementos: personas, artefactos y entorno.

La participación de las personas en un sistema es fundamental, dado que son estas las que hacen que el mismo exista y son las que agregan el valor contextual de realidad entendida en forma mental. Indudablemente el mantenimiento es un sistema mental construido intelectualmente por el ser humano que se basa en el estudio de los equipos y su comportamiento industrial en el tiempo.

El segundo elemento de un sistema Kantiano son los artefactos. En el caso particular del mantenimiento, constituye el conjunto de máquinas, componentes, sistema de producción, herramientas, utensilios, líneas de fabricación, documentos como ordenes de trabajo o historia de los equipos, aparatos, materias primas, insumo, repuestos, sistema de información, entre otros; los cuales son los elementos reales requeridos para hacer el mantenimiento.

El tercer componente de un sistema Kantiano es el entorno, es de carácter mental o intelectual y son todos aquellos sitios donde se desenvuelve la naturaleza del sistema, es donde se encuentran las máquinas que hacen posible la producción de bienes reales o de servicio.

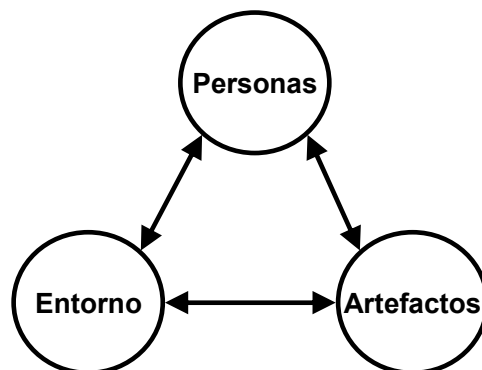
El enfoque Kantiano permite visualizar y probar la existencia de relaciones entre diferentes elementos de un sistema real o mental, para el caso del mantenimiento se reconoce la exigencia de diferentes elementos que se entrelazan; entre ellos se pueden describir las personas; en forma directa los usuarios o explotadores de los equipos de fabricación, los productores y los que preservan el activo o máquina denominados mantenedores; en cuanto a los artefactos se incluyen todos los

equipos o elementos productivos directos o indirectos descritos anteriormente; por último el entorno que comprende los sitios de producción como fábricas fijas o móviles.

El modelo de la teoría de sistema define a los departamentos de las empresas como módulos administrativos independientes (mantenimiento, producción, entre otros), a los cuales los denomina unidades, y esto a su vez conforman un sistema, con metas propias individuales y comunes al sistema (empresa). Un sistema es un conjunto de unidades recíprocamente relacionadas. Las unidades a su vez se pueden considerar como elementos de un sistema cuando se encuentran relacionados entre sí por alguna forma de interacción o interdependencia.

Los objetivos específicos para una unidad buscan generalmente los mayores beneficios, al maximizar la utilidades y minimizar los posibles desperdicios, mediante la utilización adecuada de los recursos disponibles. El objetivo Al aplicar el concepto al departamento de mantenimiento, se resume en: La prestación de un buen servicio para las instalaciones y el equipo y reduciendo al mínimo las paradas imprevistas de maquinas por fallas; aumentar la eficacia del empleo de dichos elementos y de los recursos humanos con el menor costo posible.

Elementos de un sistema Kantiano.



Con el fin de poder entender la aplicación a un sistema de mantenimiento, presentamos individualmente la aplicación a producción y a mantenimiento y

posteriormente a un sistema integral, de tal forma que permita visualizar la interacción de ambas unidades y el sistema global unificado de mantenimiento empresarial.

#### 4.1. UNIDAD DE PRODUCCIÓN.

En la unidad de producción aplicando el sistema Kantiano encontramos tres elementos fundamentales: producción (personas), Fabricas (entorno), máquinas (artefactos); los cuales interactúan y permiten la elaboración industrial de bienes y/o servicios.

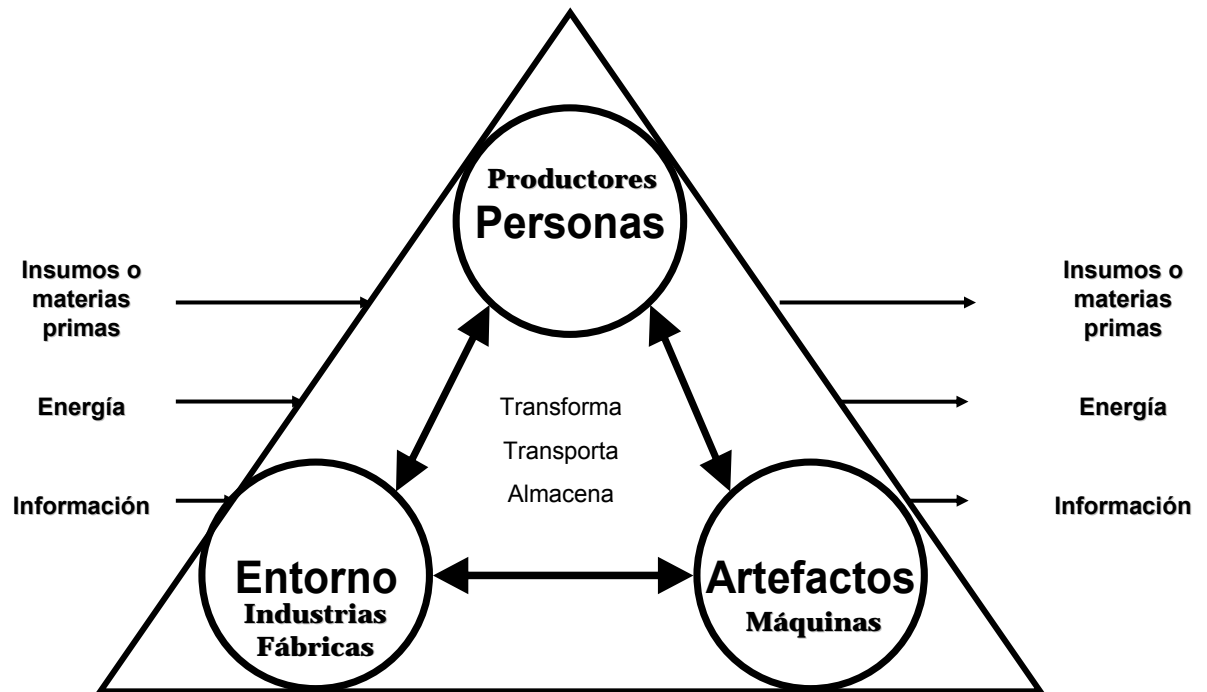


*Ilustración 12. Mapa de proceso de la unidad de producción.*

Fuente de la Ilustración: Mora y otros,2003,43

La función propia de un sistema de producción es lograr la agregación de valor, a partir de tres acciones básicas: transformación, transporte o almacenamiento; ellas pueden estar presente en forma combinadas.

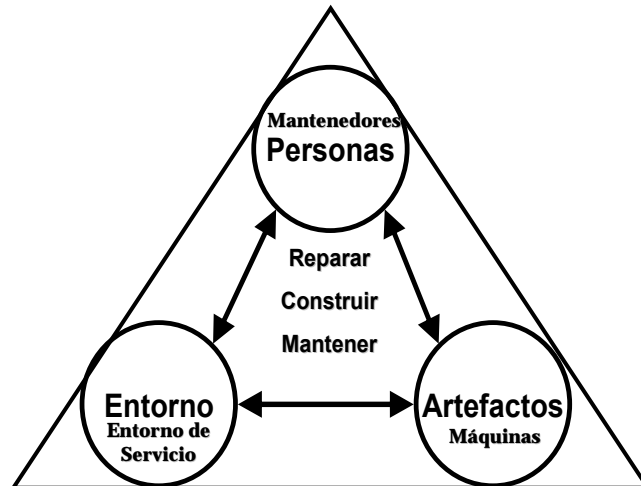
Las acciones básicas de producción son susceptibles de aplicar a insumos o a materias primas, información y energía.



*Ilustración 13. Unidad básica de Producción.*  
Fuente de la Ilustración: Mora y otros,2003,10

#### **4.2. UNIDAD DE MANTENIMIENTO.**

En esta unidad encontramos tres elementos fundamentales al aplicar el enfoque Kantiano que son: mantenedores (Personas), máquinas (artefactos) y sitios físicos donde se prestan los servicios de mantenimiento (entorno).



*Ilustración 14. Unidad elemental de Mantenimiento.*

Fuente de la Ilustración: Mora y otros,2003,10

El mantenimiento es una ciencia que se aplica en elementos, maquinas o sistema de productivos generados por el ser humano, donde su fin es preservar los equipos industriales mediante su construcción, reparación o mantenimiento.

El mantenimiento y la reparación son partes esenciales del objeto de estudio en ingeniería de fábricas, entendiéndose la función de mantenimiento dependiente del ciclo de vida de las maquinas en su tres etapas (mantenimiento, reparación o sustitución) y la función de reparación como una especie de mantenimiento especializado en un estado de uso mas avanzado del equipo, es decir con una mantenibilidad mas reducida.

Ahora, si se encuentran los elementos comunes las unidades de producción y mantenimiento, y enfoca un sistema más macro, más integral, perteneciente a ingeniería de fábricas que contienen ambas divisiones de ingeniería: la de operación y la de sostenimiento.

### 4.3. SISTEMA INTEGRAL DE MANTENIMIENTO.

Este sistema permite visualizar que los tres elementos o actores principales en un sistema de ingeniería de fábrica son: los mantenedores, los productores y las maquinas; de esta forma se pueden establecer las primeras leyes de mantenimiento, donde el sistema Kantiano permite establecer que la relación entre Producción y Maquinas están gobernadas por confiabilidad, la correspondencia entre Mantenimiento esta estipulada por la mantenibilidad; La relación Mantenimiento – Maquina – Producción está definida por la disponibilidad que es el efecto integrado de la ingeniería de fabricas, donde se marca como el efecto o parámetro más relevante del sistema.

Sistema integrado de Ingeniería de fábricas. Mantenimiento – Máquinas – Producción.

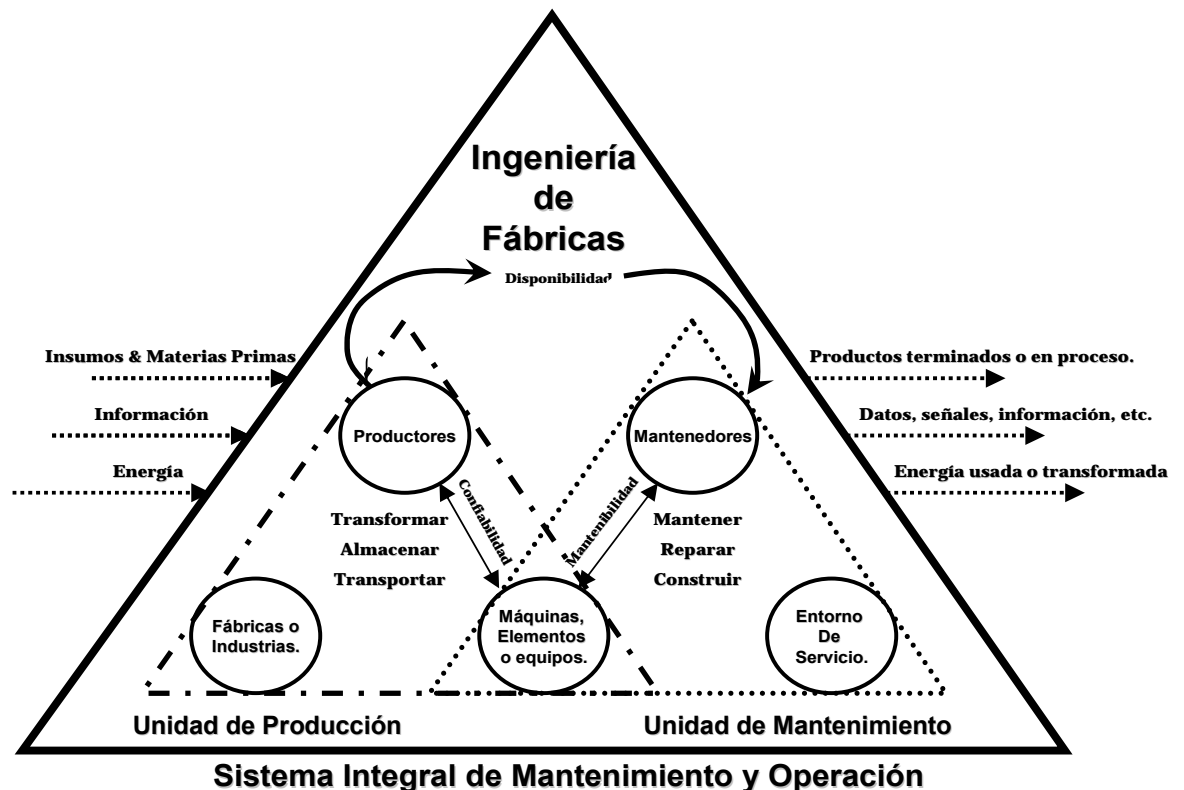
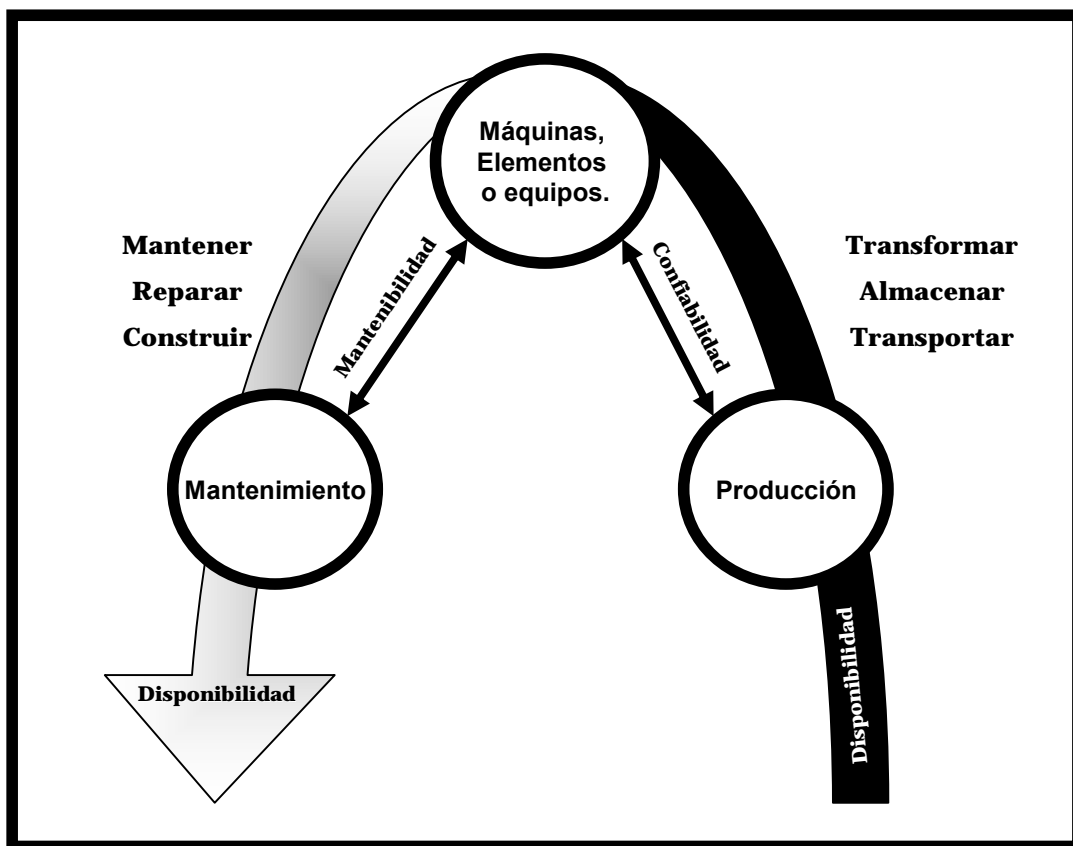


Ilustración 15. Sistema Integral de Mantenimiento y Operaciones.

Fuente de la Ilustración: MORA-CIER@,2003,12

Se puede entonces afirmar que el enfoque sistemático y Kantiano de mantenimiento, definido como ingeniería de fabrica establece que la relación entre los tres elementos es permanente o cerrada entre maquinas y los otros dos partícipes (mantenimiento y operación), siendo abierta entre estas dos, de tal forma que las mejores practicas indican que la relación entre mantenimiento y producción debe hacerse a través del parque industrial o maquinas y no en forma directa, ya que carece de sentido si no se habla de maquinas y de su comportamiento en el tiempo frente a sus fallas y a su disponibilidad.



*Ilustración 16. Elementos estructurales de ingeniería de fabricas.*

Fuente de la Ilustración: Mora,1999

#### **4.4. CATEGORIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO.**

El enfoque kantiano admite definir las categorías de la ingeniería de fábricas como una metodología científica que establece los parámetros jerárquicos (Whorf,1953) donde se definen las diferentes temáticas conceptuales, esta jerarquización permite unificar el lenguaje y el argot del tema con el fin de facilitar su estudio, tratamiento y aplicación empresarial.

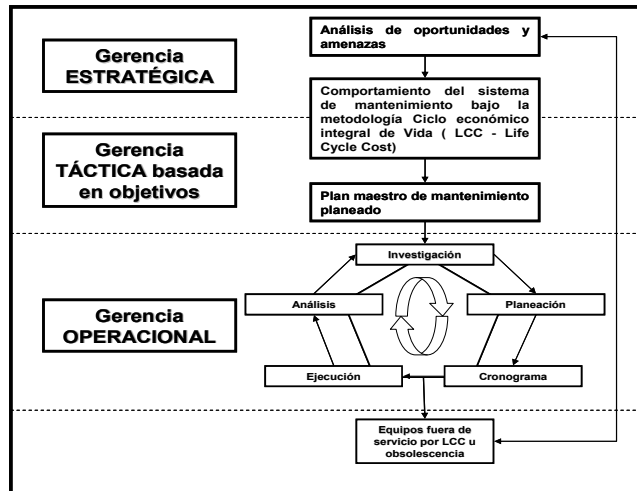
Las categorías son divisiones jerárquicas que permiten simplificar el tratamiento profundo de los diferentes conceptos, que facilitan su organización, que permite el análisis de sus diferencias y similitudes, para la estructuración total de los diferentes temas que los conforman.

Una primera aproximación a la categorización del mantenimiento, se encuentra instituida por la casa ESREDA en su Manual Handbook donde se establecen tres niveles: táctico, operativo y estratégico; para presentar una adecuada clasificación para diversas tareas, acciones y temas del mantenimiento.

Establece la casa ESREDA que normalmente los departamentos no tienen muy definida su estructura organizacional y menos sus costos sistémicos. La función de mantenimiento tiene una alta influencia en la rentabilidad de las empresas y en la ingeniería integradora de plantas.

Los controles gerenciales deben apuntar a las metas definidas, a los procesos establecidos y, en especial a las estrategias que se han planteado. Esto hace que las empresas puedan descubrir nuevas oportunidades de mercado, mantenimiento y producción, al integrar todos los recursos con las decisiones estratégicas que se toman, de tal manera que todo se haga en un enfoque global y específico (ESREDA DNV, 2001,11). En general la casa ESREDA establece tres niveles donde se desarrollan todas las actividades y gestiones de mantenimiento.

*Ilustración 17. Niveles de mantenimiento de la casa ESREDA*  
 Fuente de la Ilustración: Mora,1999



Si bien ESREDA es un buen acercamiento a la síntesis del mantenimiento (ESREDA DNV,2001,11), se deben instaurar lazos más fuertes para darle solidez a este concepto, en el cual se fundamenta todo el tratamiento y aplicación de la ciencia mantenimiento.

El enfoque kantiano se fundamenta en las concepciones de espacio y tiempo, por lo cual es necesario identificar las acciones tanto del espacio como del tiempo sobre las máquinas durante su vida útil.

Parece ser que la acción del tiempo afecta más los componentes o elementos corpóreos de las máquinas y la acción del espacio se entiende mejor en la tecnología que portan las máquinas, denominadas alma de los equipos, que consiste en la función principal para lo cual fueron diseñadas.

## **5. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD (CMD)**

El análisis CDM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad), conocido también como análisis RAM (Reliability, Availability and Maintainability) permite pronosticar la producción perdida y la indisponibilidad de un proceso de producción, de acuerdo con su configuración, a la confiabilidad de sus componentes, a las políticas de mantenimiento, al recurso disponible y a la filosofía operacional.

El análisis se sustenta en un modelo de simulación que toma en cuenta:

- La confiabilidad de los equipos.
- La configuración del sistema.
- Las fallas aleatorias y sus reparaciones.
- Las influencia del error humano.
- La pérdida de capacidad por degradación.
- El tiempo fuera de servicio por mantenimiento planificado.
- Disponibilidad de recursos humanos y materiales.
- La probabilidad de ocurrencia de eventos especiales no deseados.

El pilar fundamental de este análisis es la construcción de los TPPF y TPPR para los diversos componentes, con base en información provenientes de bases de datos propias, banco de datos genéricos de la industria y opinión de Expertos.

Los objetivos del análisis CMD son los siguientes:

- Prevenir la mayoría de los escenarios de paros o fallas del proceso de producción, modelando las incertidumbres de los procesos de deterioro y fallas que soportaran los equipos, subsistemas y sistemas asociados al citado proceso de producción.
- Identificar las implicaciones económicas de cada escenario probable, considerando la configuración del sistema, confiabilidad del equipo, políticas de mantenimiento y filosofía operacional, para así establecer las estrategias óptimas de mantenimiento.
- Presentar un análisis de sensibilidad con la finalidad de identificar los equipos y sistemas críticos, con el propósito de proponer acciones de mitigación, basados en un análisis de costo y riesgo.



*Ilustración 18. Equilibrio de disponibilidad.*

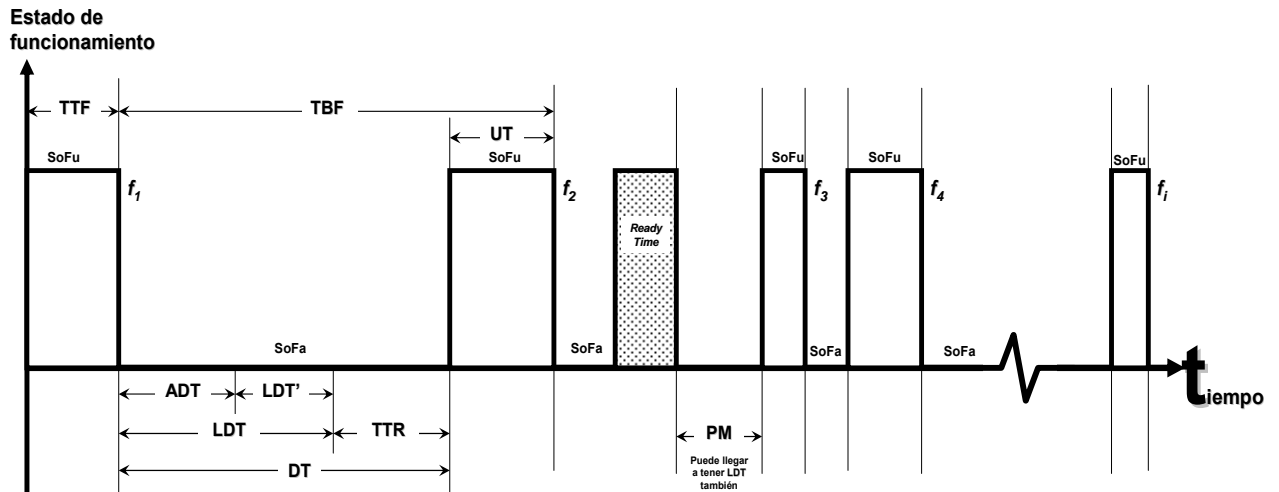
Una vez construido, el modelo CMD trabaja como un simulador “What if....” (qué pasa si....), que permite inferir el impacto que tiene en la disponibilidad y producción diferida del sistema: nuevas políticas de mantenimiento, cambio en la mantenibilidad de los equipos y aplicaciones de nuevas tecnologías, cambio en las

configuración de lo equipos dentro de los procesos de operación, cambio en las políticas de inventarios e implementación de nuevos métodos de operación.

A continuación mostramos el esquema que muestra el comportamiento de un equipo durante su vida operacional.

**Ilustración 19. Tiempos de fallas, de funcionamiento y demás que impiden la funcionalidad o no del sistema o equipo**

Fuente de la Ilustración: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.



Donde

**TTF = Time To Failure** = Tiempo hasta Fallar (se usa en equipos que solo fallan una vez, no reparables)

$f_i$  = Falla  $i$ -ésima

$m$  = número de fallas ocurridas en el tiempo que se revisa, desde  $f_1$  hasta  $f_i$

**TTR = Time To Repair** = Tiempo que demora la reparación neta, sin incluir demoras ni tiempos logísticos, ni tiempos invertidos en suministros de repuestos o recursos humanos

**MTTR = Mean Time To Repair** = Tiempo Medio para Reparar =  $\Sigma TTR / m$

**TBF = Time Between Failures** = Tiempo entre Fallas

**MTBF = Mean Time Between Failures** = Tiempo Medio entre Fallas =  $\Sigma TBF / m$

**UT = Up Time** = Tiempo Útil en el que equipo funciona correctamente.

**MUT = Mean Up Time** = Tiempo Medio de Funcionamiento entre Fallas =  $\Sigma UT / m$

**DT = Down Time** = Tiempo no operativo

**MDT = Mean Down Time** = Tiempo Medio de Indisponibilidad o no funcionamiento entre Fallas =  $\Sigma DT / m$

**ADT = Administrative Delay Time** = retrasos administrativos exógenos a la actividad propia de reparación, diferentes al tiempo activo neto de la reparación; ejemplos de estos son: suministro de personal especializado, entrenamiento de recursos humanos requeridos para esa reparación, revisión de manuales de mantenimiento u operación, localización de herramientas, cumplimiento de procesos y/o procedimientos internos, etc.

**LDT' = Logistics Delay Time** = retrasos logísticos la obtención de insumos para la reparación, en los procesos de mantenimiento o de producción, en los tiempos de suministros, etc. como por ejemplo el tiempo requerido para transporte de repuestos, o el tiempo que hay que esperar a que se construya un repuesto especial por parte de los fabricantes, etc.

**LDT = ADT + LDT' = Logistic Down Time** = Tiempo total logístico que demora la acción propia de reparación o mantenimiento. Son todos los tiempos exógenos al equipo que retrasan el tiempo activo

**MLDT = Mean Logistic Down Time** = Tiempo Medio de Tiempos Logísticos

**SoFa = State of Failure** = Estado de Falla, el equipo no funciona correctamente

**SoFu = State of Functioning** = Estado de Funcionamiento correcto

**PM = Planned Maintenances** = Mantenimientos Planeados, pueden ser preventivos o predictivos.

**Ready Time = Tiempo de Alistamiento** = el equipo o sistema está disponible, opera pero no produce, no está en carga operativa

La relación entre disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad se puede expresar como:  $Disponibilidad = \frac{Confiabilidad}{Confiabilidad + Mantenibilidad}$ , donde interactúan los tiempos útiles UT y los tiempos de fallas debidas a reparaciones (imprevistas) DT, como de otros tiempos relevantes en la disponibilidad o no de las máquinas.

Se puede aproximar la medición de disponibilidad, a la relación entre:

Ecuación 1 - Relación de disponibilidad.

$$Disponibilidad = \frac{\textit{T tiempo en que el dispositivo opera correctamente y funciona bien}}{\textit{T tiempo en que el elemento o máquina puede operar}}$$

### **5.1. DISPONIBILIDAD.**

Es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico

La disponibilidad es una medida importante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen más completa sobre el perfil de funcionalidad.

La disponibilidad está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación. Esta puede ser además usada como un parámetro para el diseño.

### **5.1.1. Opciones de Disponibilidad**

La modelación de la disponibilidad se puede realizar mediante diversas técnicas, desde unas muy simples que se basan en indicadores puntuales e instantáneos que se calculan independientemente de la estimación de probabilidades y de sus leyes que modelan el CMD, hasta otras más complejas donde sí se tienen en cuenta las distribuciones que simulan el comportamiento de la confiabilidad y de la mantenibilidad, hasta llegar al uso de simulaciones tipo Montecarlo. Al igual existen diferentes disponibilidades de distintos autores y de diferentes instituciones mundiales que tratan el mantenimiento, en el caso particular se usan las cinco: Genérica, Inherente, Alcanzada, Operacional y Operacional Generalizada.

#### **Disponibilidad Genérica (AG).**

Es útil cuando no se tienen desglosados los tiempos de reparación ó de mantenimientos planeados; o cuando no se mide con exactitud ni los tiempos lógicos, ni administrativos, ni los tiempos de demora por repuestos o recursos humanos que afectan el DT.

No asume que los UT sean altos y los DT bajos. Es útil al iniciar el proceso de CMD. Engloba todas las causas.

Debe usarse entre 2 y n eventos.

**Ecuación 1 - Disponibilidad Genérica AG**

Ecuación tomada de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.

$$\text{Disponibilidad Genérica} = A_G = \frac{\sum UT}{\sum UT + \sum DT} = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

La disponibilidad genérica en este caso se mide en porcentaje, mientras que MUT y MDT se miden en unidades de tiempo: horas, minutos, entre otros.

**Disponibilidad Inherente ( $A_I$ ):**

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificada y un entorno ideal de soporte logístico, es decir, con la disponibilidad adecuada de personal, repuestos, herramientas, equipos de prueba y demás

Considera que la no funcionalidad del equipo es inherente no más al tiempo activo de reparación.

No incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativo, ni los tiempos de demora en suministros.

Asume que todo esta listo al momento de realizar la reparación.

Se debe cumplir que los UT sean muy superiores en tiempo a los MTTR (al menos unas 8 o mas veces). Y que UT tienda a cero en el tiempo.

**Ecuación 2. Disponibilidad Inherente.**

Ecuación tomada de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.

$$\text{Disponibilidad Inherente} = A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

El *MTTR* es el tiempo activo neto de reparación sin ninguna demora y con todos los recursos disponibles al iniciarse la reparación.

**Disponibilidad Alcanzada ( $A_A$ ):**

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas y un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar ningún retraso logístico o administrativo pero involucrando en sus cálculos los tiempos imputables a las actividades planeadas de mantenimiento.

Tiene en cuenta todas las reparaciones correctivas, como los tiempos invertidos en mantenimientos planeados (preventivos y/o predictivo); no incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos ni otros tiempos de demora.

Los mantenimientos planeados en exceso pueden disminuir las disponibilidades alcanzadas aún cuando pueden incrementar el *MTBM*.

**Ecuación 3. Disponibilidad Alcanzada.**

Ecuación tomada de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.

$$Disponibilidad\ Alcanzada = A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \overline{M}} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}}{\frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}} + \frac{\frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_P}{MTBM_P}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}}$$

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}$$

*MTBM* = *Mean Time Betwen Maintenance* o sea el Tiempo Medio entre Mantenimientos (tanto reparaciones correctivas o modificativas, como también mantenimientos planeados, sean de orden preventivo o predictivo).

$\overline{M}$  = *Mean Time active Maintenance* = *MTM* = *Mean Time Maintenance* = Tiempo Medio de Mantenimiento (correctivo y planeado).

*MTBMc*: tiempo medio entre mantenimientos no planeados (correctivo), se aproxima al *MTBF*.

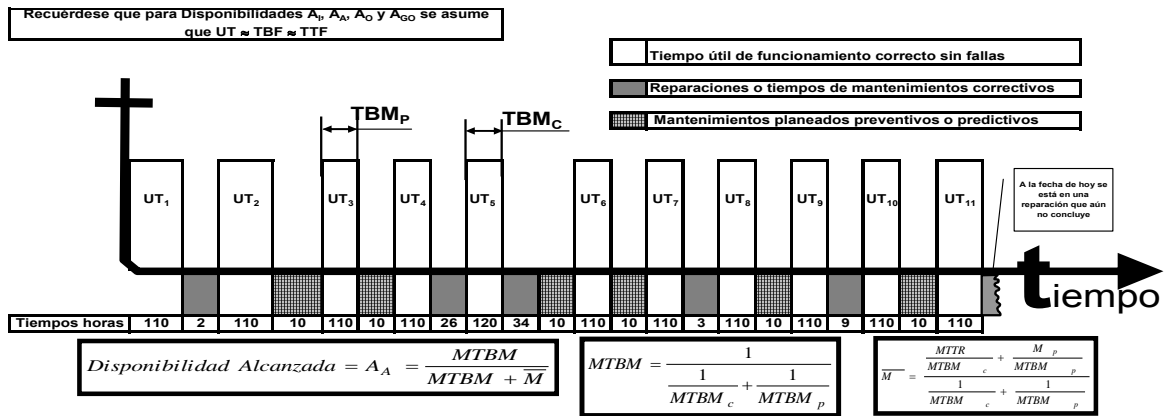
*MTBMp*: tiempo medio entre mantenimientos planeados.

*MTTR* = *Mean Time To Repair* = es el tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos, sin incluir demoras logísticas ni retrasos administrativos, es el mismo definido para las anteriores disponibilidades.

*Mp* = es el tiempo neto medio para ejecutar tareas proactivas de mantenimientos planeados.

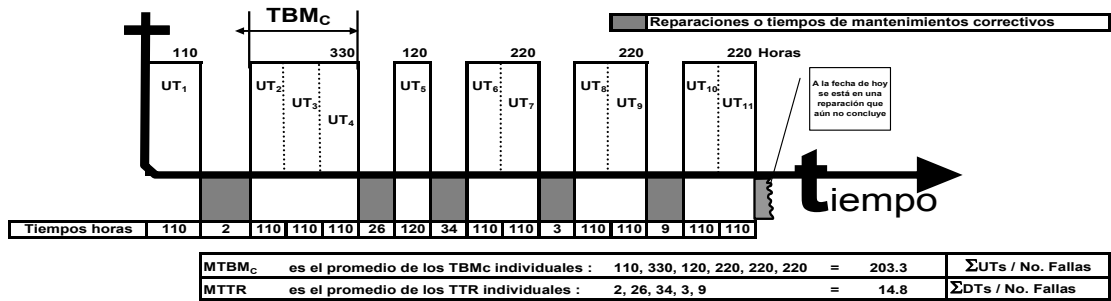
Ejercicio 1 - Ejemplo de Disponibilidad Alcanzada (cálculos puntuales sin distribuciones)

Ejemplo tomado de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.



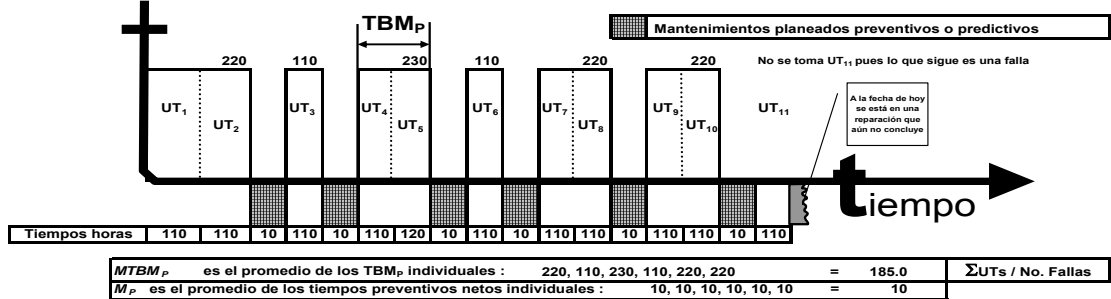
Cálculos correctivos

Para el cálculo de  $MTBM_c$  se asume como si el comportamiento total fuese (se eliminan los planeados de la gráfica)



Cálculos preventivos

Para el cálculo de  $MTBM_p$  se asume como si el comportamiento total fuese (se eliminan los tiempos correctivos de la gráfica)



$M = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{\frac{14.8}{203.3} + \frac{10}{185}}{\frac{1}{203.3} + \frac{1}{185}} = 12.28$	$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{1}{\frac{1}{203.3} + \frac{1}{185}} = 96.86$
$Disponibilidad Alcanzada = A_A = \frac{MTBM}{MTBM + M} = \frac{96.86}{96.86 + 12.28} = 88.74 \%$	

### Disponibilidad Operacional ( $A_o$ ):

$A_o$  es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas en un entorno real de soportes logísticos, abarcando por lo tanto dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos causados por los retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de reparación, incluyendo el mantenimiento programado y no planeado

Comprende, a efecto de la no funcionalidad, el tener en cuenta: Tiempos activos de reparación correctiva, tiempo de mantenimiento planeados (preventivos o predictivos), tiempos logísticos (preparación, suministros de repuestos o recursos humanos), tiempos administrativos, demoras, etc.

Es útil cuando existen equipos a espera para mantenimiento.

Ecuación 4. Disponibilidad Operacional.

Ecuación tomada de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.

$$\text{Disponibilidad Operacional} = A_o = \frac{MTBM}{MTBM + \overline{M}}$$

$$\overline{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

*MTBM = Mean Time Between Maintenance* o sea el Tiempo Medio entre Mantenimientos.

**Disponibilidad Operacional Generalizada ( $A_{GO}$ )**

$A_{GO}$ , es útil cuando los tiempos en que los equipos están disponibles y no producen, sirve para explicar estos lapsos de tiempo.

Se sugiere cuando los equipos no operan en forma continuas, o en los eventos en que el equipo está disponible pero no produce.

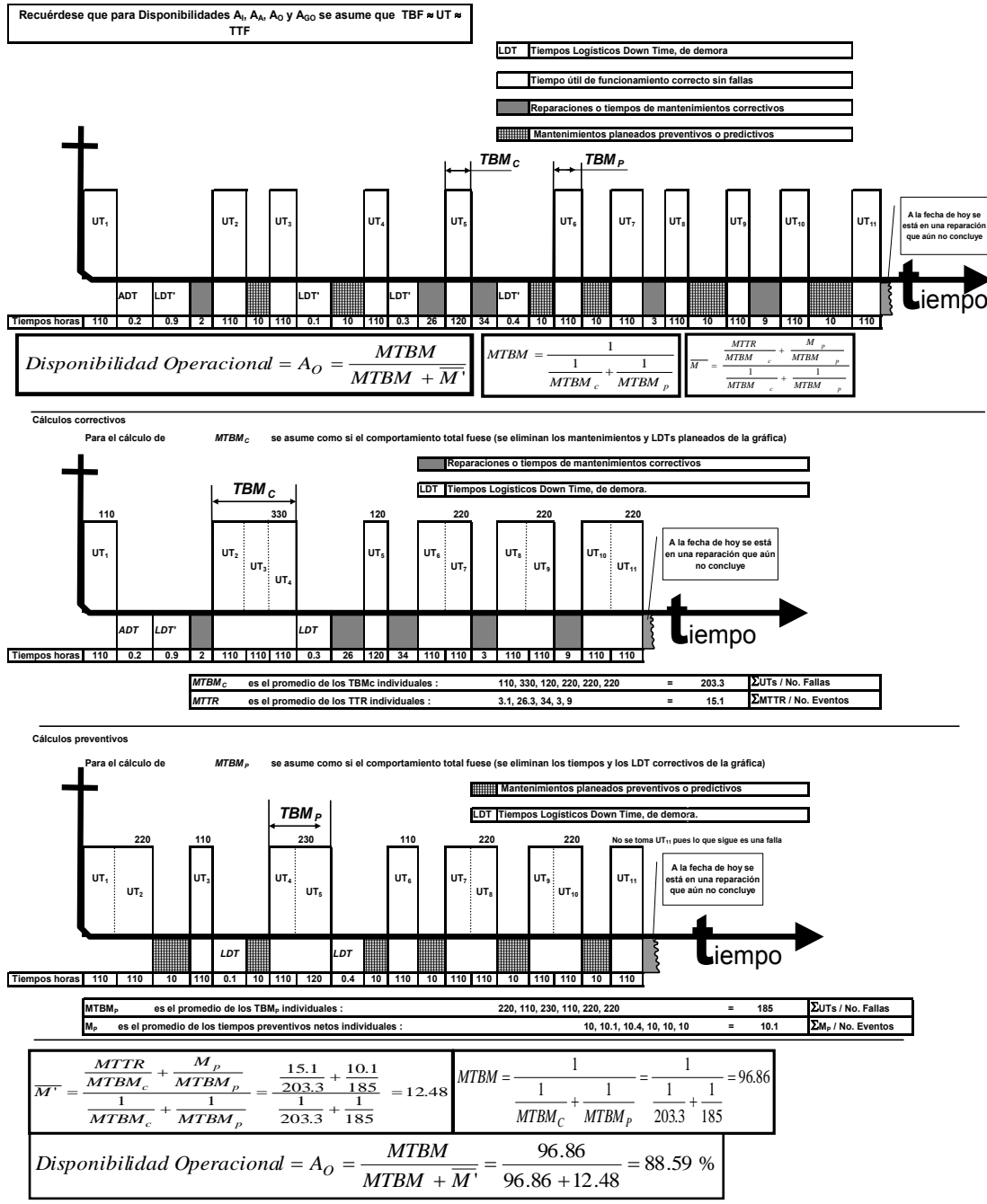
Asume los mismos parámetros de cálculo de la Alcanzada.

Adicionando los Ready Time tanto en el numerador como en el denominador.

Se usa cuando las maquinas están listas

## Ejercicio 2 - Ejemplo de Disponibilidad Operacional (cálculos puntuales sin distribuciones)

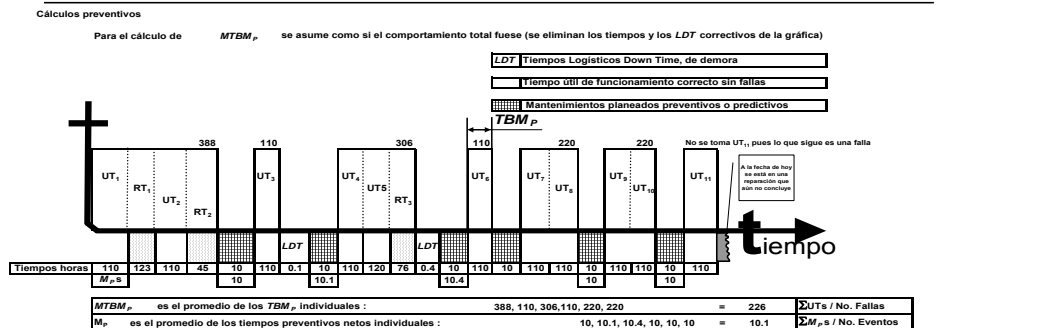
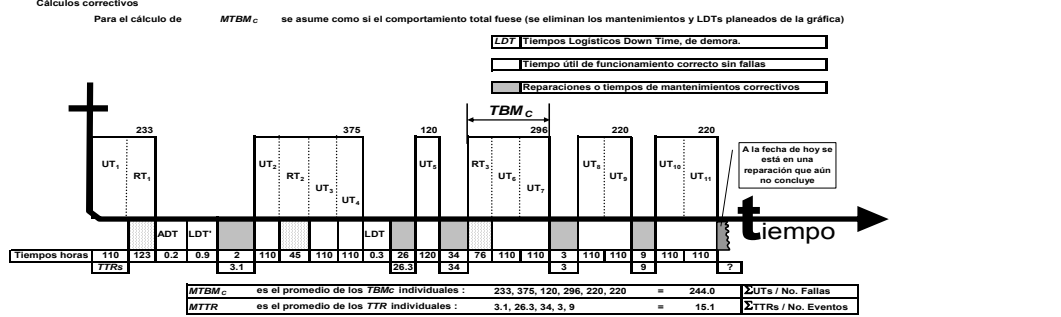
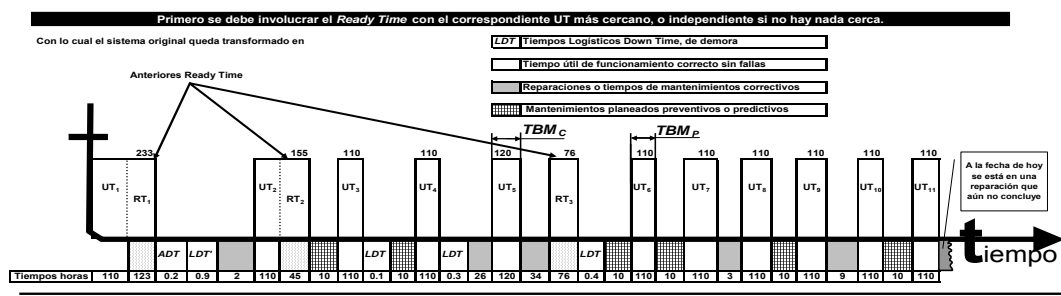
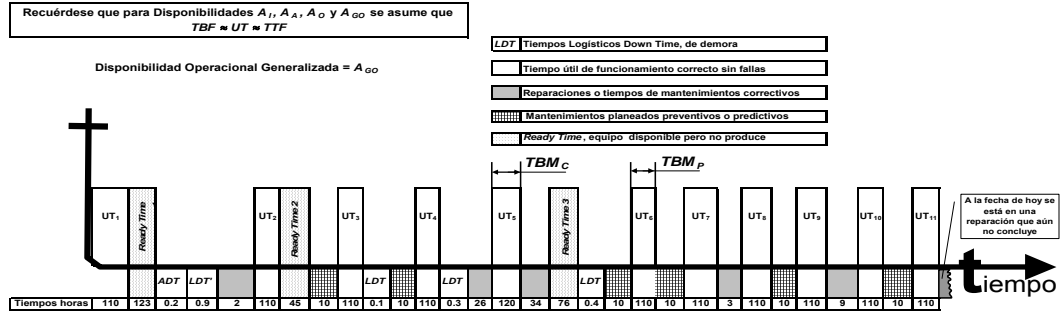
Ejercicio tomado de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.



Se puede concluir que la pérdida de disponibilidad es debida a los tiempos logísticos de *Down Time MLDT* es la diferencia entre  $A_O$  y  $A_A$  ( $89.59 - 88.74 \%$ ), que es del  $0.85 \%$ .

### Ejercicio 3 - Ejemplo de Disponibilidad Operacional Generalizada (cálculos puntuales sin distribuciones)

Ejercicio tomado de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.



$$M^T = \frac{MTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p} = \frac{15.1}{244} + \frac{10.1}{226} = 12.50$$

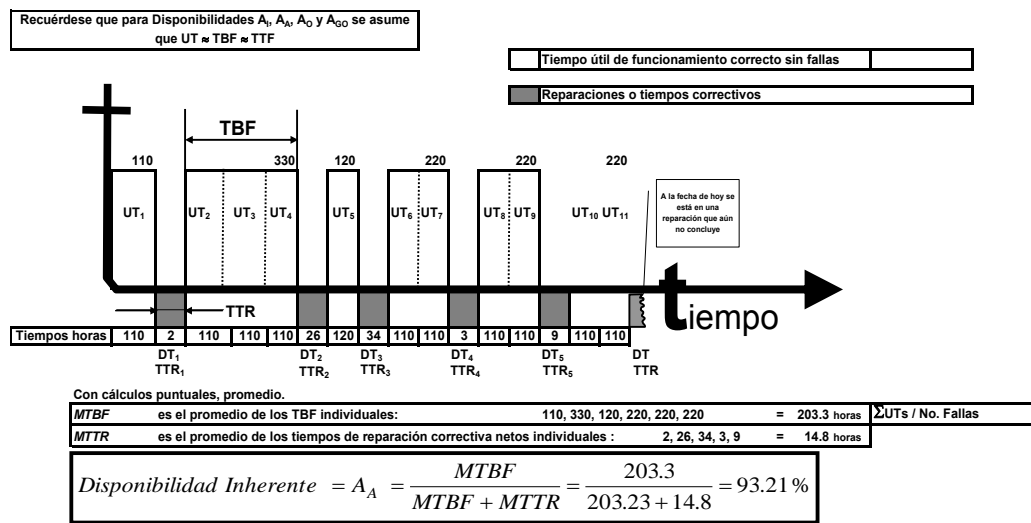
$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{1}{\frac{1}{244} + \frac{1}{226}} = 117.33$$

$$Disponibilidad Operacional Generalizada = A_{GO} = \frac{MTBM \text{ (incluido Ready Time)}}{MTBM \text{ (incluido Ready Time)} + M^T} = \frac{117.33}{117.33 + 12.50} = 90.37\%$$

Al tener en cuenta los tiempos disponibles (*MRT Ready Time*) se mejora la disponibilidad operacional en un 1.78%, que resulta de restar  $A_{OG}$  menos  $A_O$  (90.37% - 88.59%).

**Ejercicio 4 - Ejemplo de Disponibilidad Inherente (cálculos puntuales sin distribuciones)**

Ejercicio tomado de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.

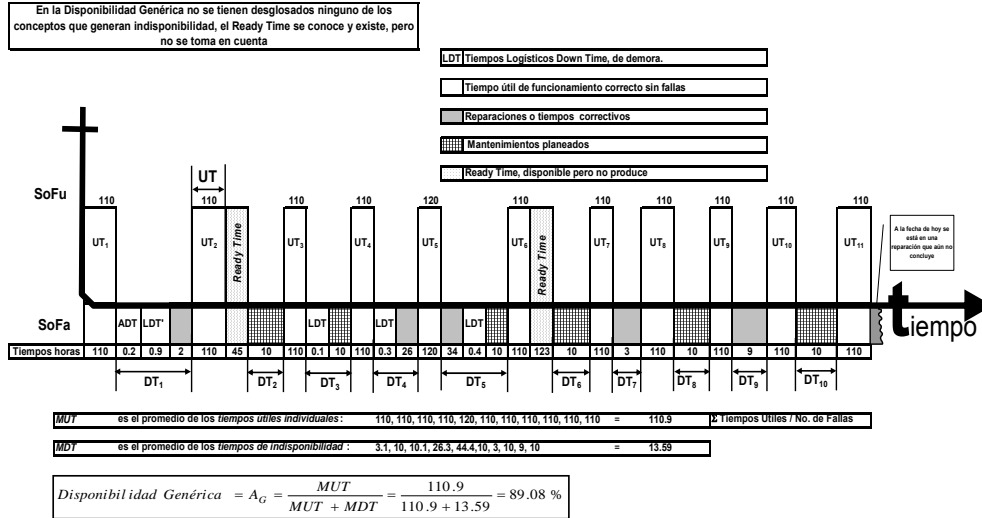


La diferencia entre la disponibilidad Inherente y la Alcanzada permite determinar el porcentaje en que se disminuye la disponibilidad debido a las tareas proactivas (mantenimientos planeados de orden preventivo o predictivo); en el ejemplo se determina que la disminución es del 4.47%, que es la resta de  $A_i$  menos  $A_A$  (93.21% - 88.74%).

A efectos de comparación se muestra en el siguiente ejemplo el cálculo de la disponibilidad genérica, donde solo se conoce en forma global los tiempos que hacen que se pierda la disponibilidad del equipo o dispositivo.

## Ejercicio 5 - Ejemplo de Disponibilidad Genérica (cálculos puntuales sin distribuciones)

Ejercicio tomado de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.



En síntesis, con el mismo ejemplo se logran visualizar los cambios en la estimación de la disponibilidad, así:

### Ilustración 20 - Ejemplos de diferentes disponibilidades

Disponibilidad	Símbolo	Valor
Genérica	$A_G$	89.08%
Intrínseca	$A_I$	93.21%
Alcanzada	$A_A$	88.74%
Operacional	$A_O$	88.59%
Operacional Generalizada	$A_{GO}$	90.37%

Se observa que en la medida que se incorporan más conceptos de no disponibilidad cambia el valor de la disponibilidad (desde la  $A_A$  hacia  $A_O$  disminuye por los  $LDT$  y al llevarla a la  $A_{GO}$  mejora al aumentar los UT debidos al *Ready Time*), al igual mejora el índice de disponibilidad al considerar solo el tiempo activo de reparación neto en la  $A_I$ .

En síntesis se puede concluir que los diferentes factores que afectan la funcionalidad de los equipos son considerados por las distintas maneras de calcular la disponibilidad, ya cada empresa asume la que más le conviene, sobretodo adopta la que puede usar acorde a los datos que posee.

*Ilustración 21 - Factores que afectan la funcionalidad de los equipos y las disponibilidades que los consideran*

Fuente de la Ilustración: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.

		Factores que disminuyen la funcionalidad del dispositivo, equipo o sistema						
		Tiempo de no disponibilidad <i>Down Time</i> de cualquier índole.	Fallas que implican reparación correctiva	Mantenimientos planeados Preventivos o Predictivos	Tiempos Administrativos	Retrasos Logísticos de insumos, repuestos o recursos humanos	Tiempos logísticos que generan indisponibilidad = suma de ADT + LDT'	<i>Ready Time</i> , tiempo en que el equipo está disponible pero no produce.
Término		DT	TTR	PM	ADT	LDT'	LDT	RT
Disponibilidad que considera el concepto	Genérica $A_G$	X						
	Inherente $A_I$		X					
	Alcanzada $A_A$		X	X				
	Operacional $A_O$		X	X	X	X	X	
	Operacional Generalizada $A_{GO}$		X	X	X	X	X	X

**5.2. CONFIANILIDAD.**

La confiabilidad de un equipo es la probabilidad de que desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que fue diseñado, durante el período de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación dadas.

La confiabilidad es una medida que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un elemento y ayuda en el momento de seleccionar un equipo entre varias alternativas

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo bien diseñado, perfectamente montado, correctamente probado y apropiadamente mantenido no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia ha

demostrado que incluso los equipos mejor diseñados, montados y mantenidos fallan alguna vez (Bazovsky,2004).

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de esta. La calidad puede ser definida cualitativamente como la cantidad de satisfacción de los requerimientos de los usuarios de un producto. La confiabilidad se interesa por cuánto tiempo el producto continúa en funcionamiento después de entrar en operación. Una baja calidad del producto implica una disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada.

La definición de confiabilidad muestra que existen cuatro características que definen su estructura: probabilidad, desempeño satisfactorio, período y condiciones específicas:

### **5.2.1. Probabilidad**

Las mediciones de CM (Confiabilidad y Mantenibilidad) se hacen en términos de probabilidad, la cual se define en forma clásica como el resultado de dividir el número de veces de los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total posible de casos (intentos o eventos); en la medida que la cantidad de intentos o casos posibles sea mayor la probabilidad se vuelve más exacta y cercana al valor real. Por ejemplo, la probabilidad de un desempeño eficaz durante 80 horas de 0.75 (o 75%), indica que el equipo funciona satisfactoriamente 75 veces de 100 ensayos por al menos 80 horas (Blanchard y otros,1994,14).

### **5.2.2. Desempeño satisfactorio**

Este indica que se deben establecer criterios específicos para describir lo que es considerado como una operación satisfactoria. Una combinación de factores cualitativos y cuantitativos definen las funciones que el sistema (equipo) debe lograr, usualmente son las especificaciones del sistema (Blanchard y otros,1994,14-16). Implica además conocer cuándo el equipo falla y ya no se desempeña satisfactoriamente. Para un automóvil, por ejemplo, un adecuado nivel de satisfacción es que se pueda desplazar, si es así, el auto se desempeña satisfactoriamente, aún si su radio se daña o ciertas luces no funcionan (Leemis,1995,3).

### **5.2.3. Período**

Es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o duración de vida; no necesariamente tiene que ser dado en horas, días, meses o años; de acuerdo con el sistema, el tiempo puede ser medido por un reloj, el tiempo exacto de operación, el número de ciclos de operación o incluso en otras medidas como kilómetros recorridos, como es el caso de las llantas de un automóvil (Ebeling,2005) (Ramakumar,1996;3). El análisis de dicha variable aleatoria implica el uso de las distribuciones de probabilidad que deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida (Nachlas,1995,58).

### **5.2.4. Condiciones de operación**

Son las condiciones en las que se espera que el equipo funcione, y constituyen el cuarto elemento relevante de la definición básica de confiabilidad; incluyen factores como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el

medio ambiente, vibraciones, transporte, almacenamiento, empaque, cantidad de la carga, etc. (Ramakumar,1996;4).

### 5.2.5. Curva de confiabilidad.

La forma gráfica en que se expresa la confiabilidad, depende de su formulación matemática. La probabilidad de ocurrencia de un evento se define mediante la expresión:

Ecuación 5 - Probabilidades de ocurrencia de un evento (de falla) y confiabilidad

$P_f = \left(\frac{n}{N}\right)$  donde  $n$  es (son) el (los) evento (s) de falla (en confiabilidad) a estudiar;  $N$  es el número total de eventos posibles;  $P_f$  es la probabilidad de falla .

$P_f = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N}\right)$  con  $P_f$  definida como la probabilidad de que ocurra el evento  $n$  ante una serie grande o infinita  $N$  de eventos posibles.

$R_a = 1 - P_f$  con  $R_a$  como la probabilidad de confiabilidad o de éxito o de supervivencia en un tiempo  $a$ , siendo  $P_f$  la probabilidad de falla en ese mismo tiempo  $a$ .

Fuente Bibliográfica Ecuación: Ramakumar,1996,13

La curva de confiabilidad es la representación gráfica del funcionamiento después de transcurrido un tiempo  $t$  en un período  $T$  total. Se puede entender de dos maneras: la primera consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, máquina o sistema después de transcurrido un determinado tiempo  $t$ ; la otra forma de interpretarla es cuando se están analizando varios o múltiples elementos (no reparables, normalmente)

similares que tienen la misma distribución de vida útil, en este caso expresa el porcentaje de ellos que aún funcionan después de un tiempo t.

Ejercicio 6 - Ejemplo de Curva de confiabilidad en  $A_1$ , Registros Históricos y cálculos de  $\beta$ eta y Eta, Weibull

Se toma el mismo ejemplo que se utiliza en el cálculo de disponibilidades del Ejercicio 4 - Ejemplo de disponibilidad Inherente (cálculos puntuales sin distribuciones), donde

Dato #	Fecha y Hora Inicio de Fallas	Hora Fin de Falla, Inicio de operación normal	TBF	TTR
			Horas	
1		Día 01 de Enero del Año inicial a las 00:00 horas	110	
2	Día 05 de Enero del Año inicial a las 14:00 horas	Día 05 de Enero del Año inicial a las 16:00 horas	330	2
3	Día 19 de Enero del Año inicial a las 10:00 horas	Día 20 de Enero del Año inicial a las 12:00 horas	120	26
4	Día 25 de Enero del Año inicial a las 12:00 horas	Día 26 de Enero del Año inicial a las 22:00 horas	220	34
5	Día 05 de Febrero del Año inicial a las 02:00 horas	Día 05 de Febrero del Año inicial a las 05:00 horas	220	3
6	Día 14 de Febrero del Año inicial a las 09:00 horas	Día 14 de Febrero del Año inicial a las 18:00 horas	220	9
7	Día 23 de Febrero del Año inicial a las 22:00 horas			Ahora

Resulta que en este ejemplo hay 3 UT que son iguales, por lo tanto el tratamiento de alineación es diferente al evento en que no repitieran, se toman los tres iguales y solo se deja uno, el que tenga el  $F(t)$  más crítico a la luz de las fallas, para el caso particular se toma  $F(t_5)$  que vale 0.7344 y los dos similares se eliminan, el caso para alineación se trabaja como si fuese de dos datos menos, o sea de solo 4 eventos y ahí sí se procede a la alineación. En el caso de que se trabaje con MTTR, los DT o TTR repetidos se manejan igual que lo se acaba de explicar para TBF

**Nuevos cálculos reales y correctos por repetición de UT**

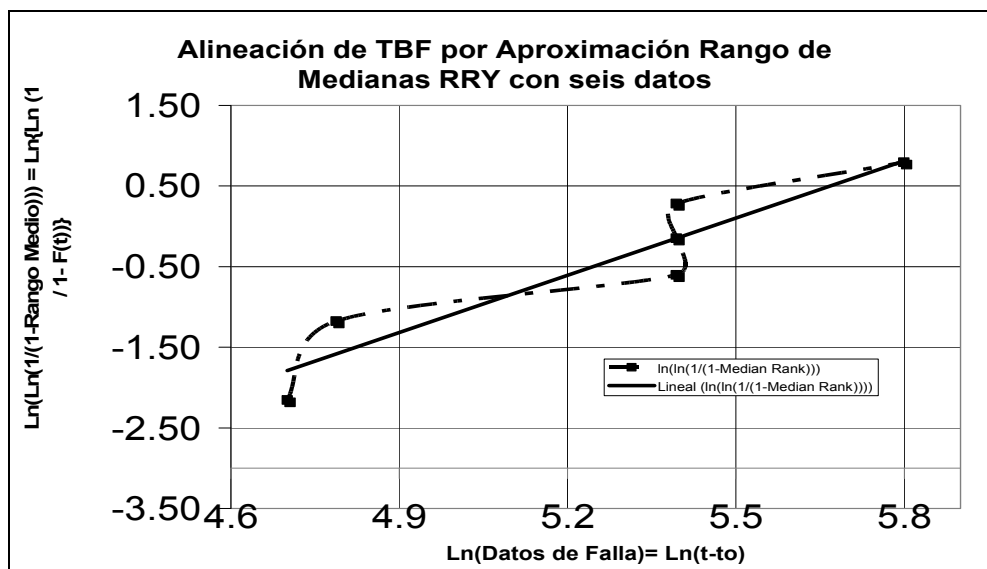
Estimación de parámetros con aproximación de Rango de Medianas Benard RRY - Weibull				
1	2	3	4	5
N o . D a t o	Datos de operación sin fallas - Runs Hours = $\lambda$ - en horas	C e n s u R o . a d o	Horas de operación sin fallos, organizados con $\lambda$ ascendente	RM - Rango de Mediana Benard - $F(t)$
1	110	1	110	0.1094
2	330	1	120	0.2656
3	120	1	220	
4	220	1	220	
5	220	1	220	0.7344
6	220	1	330	0.8906

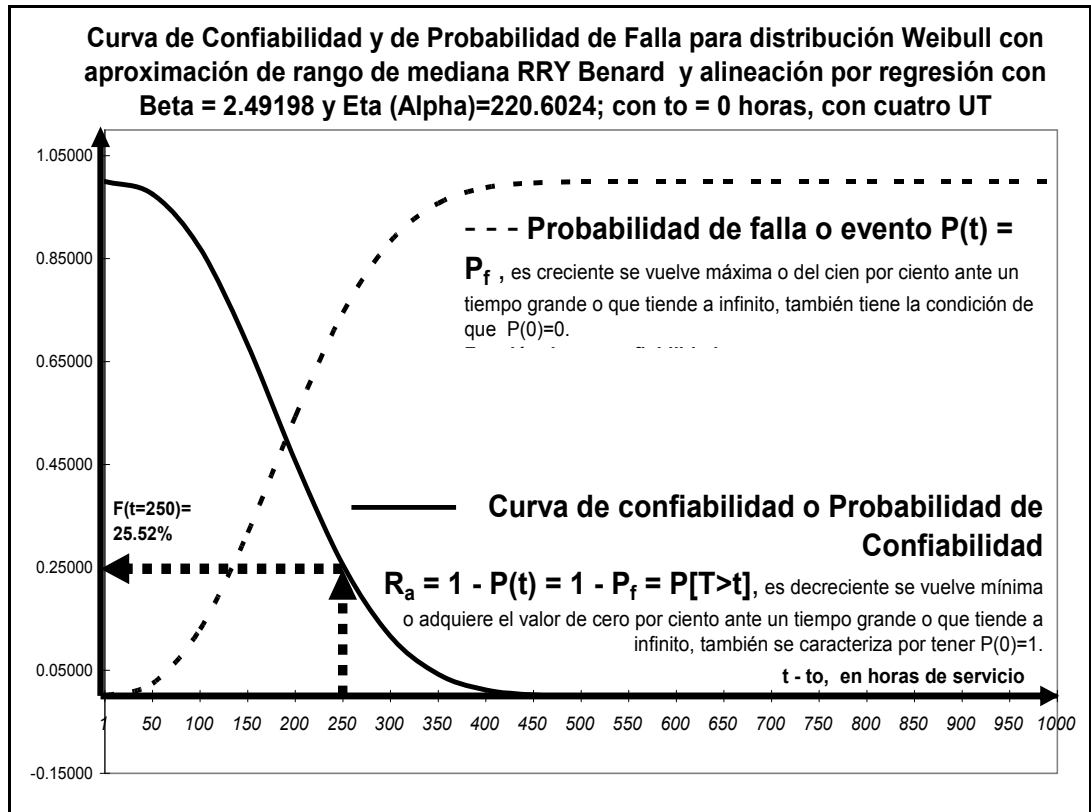
Alineación con regresión - Mínimos Cuadrados		
6	7	8
$1 / (1 - \text{Rango Mediana})$	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-R.M.))) - Y$ de la regresion	$\text{Ln}$ de datos - $X$ de la regresion
1.122807018	-2.15562	4.700480366
1.361702128	-1.17527	4.767491743
3.764705882	0.28192	5.393627546
9.142857143	0.79434	5.799092654

**4 Elementos totales**

<b>Intercepto</b>	<b>-13.4476</b>	
<b><math>\beta</math> - Beta</b>	<b>2.49198</b>	horas
<b>Alpha o Eta</b>	<b>220.6024</b>	<b><math>\eta</math></b>
<b>r</b>	<b>0</b>	Ro
<b>MTBF Tiempo promedio de funcionamiento sin fallas</b>	<b>195.7173</b>	horas
<b><math>MTBF = \eta * \text{Gamma } \Gamma (1+ 1/\beta)</math></b>		

Con *TBF* como tiempo entre fallas y *TTR* como tiempo para reparar.





Tiempo en Horas - t	Función de probabilidad de fallas acumuladas - f.d.p.s. - Suma de fallas hasta el tiempo t $P_f(t) = 1 - R(t)$ <b>= F(t)</b>	Curva de Confiabilidad $R(t) = 1 - F(t)$
1	0.00%	100.00%
50	2.44%	97.56%
100	13.00%	87.00%
150	31.78%	68.22%
200	54.31%	45.69%
250	74.48%	25.52%
300	88.37%	11.63%
350	95.75%	4.25%
400	98.78%	1.22%
450	99.73%	0.27%
500	99.95%	0.05%
550	99.99%	0.01%
600	100.00%	0.00%
650	100.00%	0.00%
700	100.00%	0.00%

La función de confiabilidad permite responder la pregunta: ¿cuál es la probabilidad de que la máquina dure más de T horas sin fallas en la función  $R(t) = P(T > t)$ ?, si se toma el punto de la ilustración para  $R(250) = P[T > 250]$ , se lee de la gráfica anterior y de la tabla en el Ejercicio 6 - Ejemplo de la Curva de confiabilidad en  $A_1$ , Registros Históricos y cálculos de  $\beta$ eta y Eta en Weibull, que

expresa que la probabilidad de que un elemento dure más de 250 horas sin fallar es del 25.52%; si se hace la lectura para múltiples elementos similares o equipos no reparables se expresa que después de 250 horas deben funcionar correctamente más del 25.52 % de ellos; como también se visualiza que existe una probabilidad del 98.78 % de que un elemento entre en falla antes de 400 horas.

Es de anotar que en este ejemplo explicativo solo se tienen cuatro *TBF* y cinco *TTR*, pero en la realidad al simular comportamientos de fallas y/o reparaciones deben ser al menos 31 datos de cada uno (teorema del límite central).

### **5.3. MANTENIBILIDAD – REPARACIONES**

Propiedad de un sistema que representa la cantidad de esfuerzo requerida para conservar su funcionamiento normal o para restituirlo una vez se ha presentado un evento de falla. Se dirá que un sistema es "Altamente mantenible" cuando el esfuerzo asociado a la restitución sea bajo. Sistemas poco mantenibles o de "Baja mantenibilidad" requieren de grandes esfuerzos para sostenerse o restituirse. **La Mantenibilidad** está inversamente relacionada con la duración y el esfuerzo requerido por las actividades de Mantenimiento. Puede ser asociada de manera inversa con el tiempo que se toma en lograr acometer las acciones de mantenimiento, en relación con la obtención del comportamiento deseable del sistema. Esto incluye la duración (horas) o el esfuerzo (horas-hombre) invertidos en desarrollar todas las acciones necesarias para mantener el sistema o uno de sus componentes para restablecerlo o conservarlo en una condición específica. Depende de factores intrínsecos al sistema y de factores propios de la organización de Mantenimiento. Entre otros muchos factores externos está el personal ejecutor, su nivel de especialización, sus procedimientos y los recursos disponibles para la ejecución de las actividades (talleres, máquinas, equipos

especializados, etc.). Entre los factores intrínsecos al sistema está el diseño del sistema o de los equipos que lo conforman, para los cuales el diseño determina los procedimientos de Mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación. Un mismo sistema puede poseer una alta "Mantenibilidad" para unos tipos de fallo, pero otra muy baja para otros. (Como en un coche, que respecto del reemplazo de un neumático puede ser catalogado como de alta mantenibilidad, pero no lo es para un reemplazo del cigüeñal por ejemplo.) En estos casos la Figura de Mantenibilidad general provendrá de una ponderación respecto de probabilidad de ocurrencia de los distintos posibles tipos de fallos y el esfuerzo a la actividad de mantenimiento asociada.

En general la forma más clara de medir la mantenibilidad es en términos de los tiempos empleados en las diferentes restauraciones, reparaciones o realización de las tareas de mantenimiento requeridas para llevar nuevamente el elemento o equipo a su estado de

Funcionalidad y normalidad. La mantenibilidad expresa la capacidad con que un equipo se deja mantener para ser regresado a su estado de referencia. El mantenimiento son las acciones concretas que se realizan para mejorar la mantenibilidad, siendo esta última la calificación de cómo se realiza el mantenimiento.

En general hasta el momento se puede afirmar que la confiabilidad permite establecer y medir cómo actúa el área de producción en la administración y explotación de los equipos para generar bienes y servicios y, por otro lado la mantenibilidad evalúa la gestión y operación del mantenimiento (Mora,1990c) que se realiza a esos elementos o máquinas. La disponibilidad es el adjetivo calificativo integral de las dos áreas (producción y mantenimiento, actuando conjuntamente), como de otras divisiones de la empresa; mide la obtención de productos y bienes intangibles de la empresa en general. La confiabilidad es

responsabilidad de producción, la mantenibilidad es compromiso de mantenimiento y la disponibilidad es encargo de la gerencia o dirección que está por encima de ambas y que abarca probablemente otras áreas de la compañía.

Es más usual que los diseñadores, fabricantes, usuarios e instaladores de máquinas se preocupen más de la funcionalidad del equipo que de su mantenibilidad, en la actualidad se le da mucha importancia por parte de industriales, empresarios de servicios, diseñadores, constructores, ingenieros, técnicos, tecnólogos, expertos, etc., a las medidas de CMD ya que son indicadores científicos y prácticos que permiten controlar todas las actividades inherentes a mantenimiento, producción e ingeniería de fábricas; la industria militar utiliza con mucho énfasis estas metodologías para el control de sus equipos.

La ingeniería de mantenibilidad se crea cuando los diseñadores y fabricantes comprenden la carencia de medidas técnicas y disciplinas científicas en el mantenimiento. Por esto es una disciplina científica que estudia la complejidad, los factores y los recursos relacionados con las actividades que debe realizar el usuario para mantener la mantenibilidad de un producto y que elabora métodos para su cuantificación, evaluación y mejora (1993,292).

### **5.3.1. Curva de la bañera o de Davies**

Las diferentes acciones que se decidan sobre las tareas a realizar por parte de mantenimiento (y producción), dependen entre otros parámetros de la curva de la bañera o Davies (Ebeling,2005) donde se muestra la evolución en el tiempo frente a la Tasa de Fallas  $\lambda(t)$  y el valor del parámetro de forma  $\beta$  del equipo que se evalúa, acorde a su valor para ese momento del equipo, se selecciona si las tareas de mantenimiento deben ser correctivas, modificativas, preventivas o predictivas, al tener en cuenta la fase en que se encuentre el elemento o sistema.

A partir de la curva se define el nivel II operacional de mantenimiento (véase Ilustración 22.).

El comportamiento de la Tasa de Fallas en la fase I es decreciente, en la medida que pasa el tiempo la probabilidad de que ocurra una falla disminuye, las operaciones sugeridas en esta fase son las de tipo correctivo y modificativo, en especial esta última, dado que las fallas que aparecen habitualmente son diferentes, la eliminación de fallas sucesivas recurrentes normalmente se logra mediante la aplicación de la metodología análisis de fallas *FMECA*. Las acciones modificativas permiten corregir cualquier defecto de diseño o montaje, calidad de materiales, métodos inadecuados de mantenimiento o cualquier otra falla característica de esta fase. La acción sistémica de eliminación de causas de fallas se denomina *debugging*

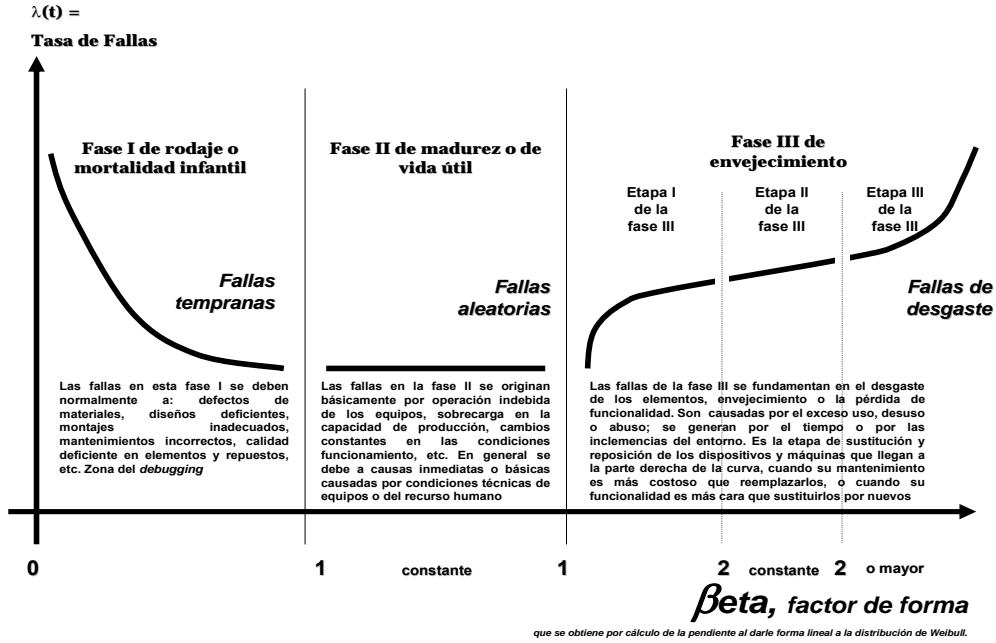
La fase II se tipifica por fallas enmarcadas en origen técnico, ya sea de procedimientos humanos o de equipos, las acciones que más se adaptan a esta etapa son de las de tipo correctivo, cuando las fallas son esporádicas; en el evento de ser fallas crónicas se actúa con *FMECA* y acciones modificativas. La probabilidad de falla en esta fase II es constante, indiferente del tiempo que transcurra, por ejemplo si se tienen dos elementos similares y uno de ellos se le acaba de hacer un mantenimiento o reparación, mientras al otro desde hace algunos años no se le realizan tareas de mantenimiento, en el instante actual ambos tienen la misma probabilidad de tener una falla.

Durante la fase III se observa un incremento paulatino de la tasa de fallas en la medida que aumenta el tiempo hacia la derecha, en esta sección se presentan varias etapas: en el ciclo I de la fase III, la tasa de fallas empieza a aumentar en forma suave, es decir su incremento es bajo y crece hacia la derecha en forma leve, las fallas que aparecen son conocidas y se empieza a tener experiencia y conocimiento sobre ellas, son debidas a los efectos del tiempo por causas de uso,

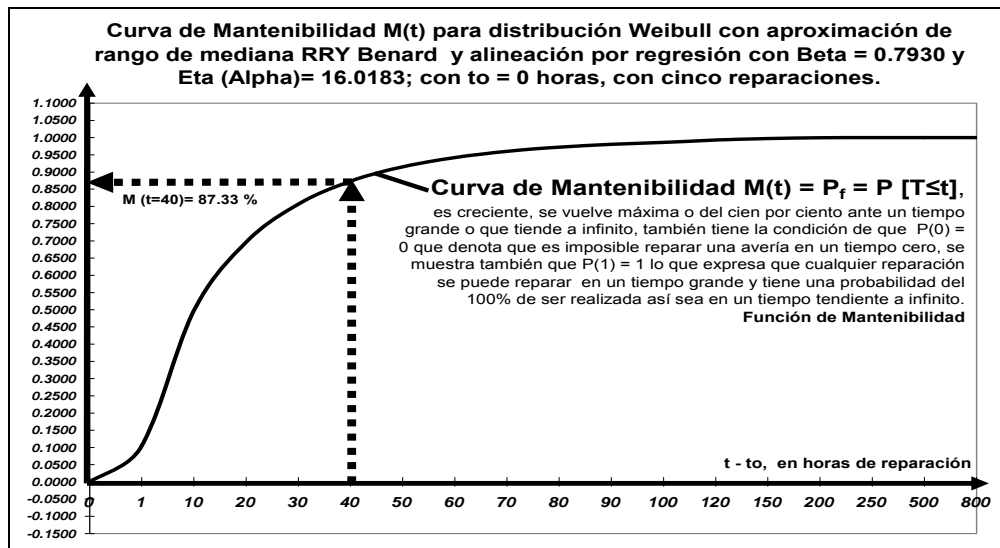
abuso o desuso; en esta fase ya se pueden empezar a utilizar acciones planeadas de tipo preventivo ya que las fallas se conocen y se tiene algún control sobre ellas, es la etapa donde la ingeniería de confiabilidad principia a tener dominio sobre el sistema, es la zona de ingeniería por excelencia; en la etapa II de la fase III se incrementa la tasa de fallas en forma constante con pendiente positiva en forma rectilínea, en esta sección se inicia la transición de acciones preventivas hacia acciones predictivas, el comportamiento de las fallas empieza a ser predecible, es la franja donde se logra implementar de una forma sólida las acciones preventivas, por último aparece la zona III de la fase III de envejecimiento puro, donde la vida útil del elemento se acelera y la tasa de fallas se incrementa aceleradamente, en esta etapa normalmente se estabiliza el uso de acciones predictivas y cuando estas ya no mejoran la mantenibilidad de la máquina se usa la reposición o sustitución como única alternativa, en esta etapa III de la fase III aún se continúa con el uso de técnicas preventivas y eventualmente correctivas y modificativas, la mayoría de las fallas son causadas por acción del tiempo y como tal se usan las acciones predictivas para tipificar el comportamiento futuro de los elementos con el fin de conocer su verdadera vida útil en tiempo presente.

**Ilustración 22. - Curva de la bañera o de Davies.**

Fuente de la Ilustración: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.



**5.3.2. Curva de mantenibilidad**

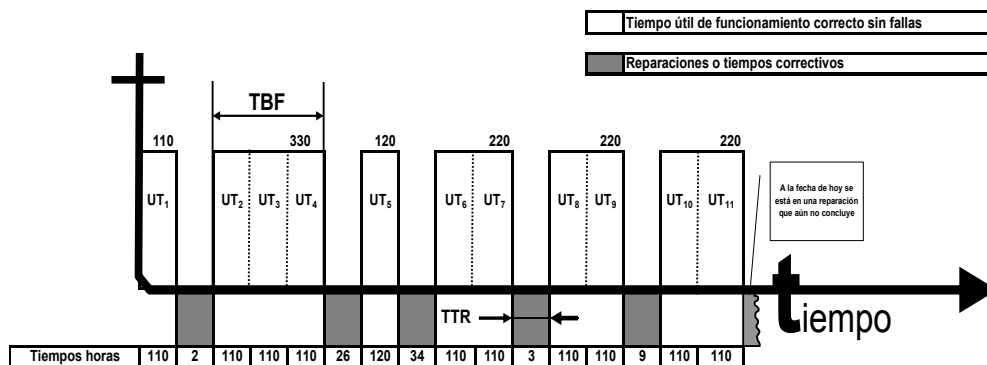


Se lee de la gráfica y de la tabla que existe una probabilidad del 87.33 % de que una reparación que se haga en el equipo no dure más de 40 horas, también se puede leer que el 87.33% de las reparaciones deben realizarse en tiempos inferiores a 40 horas y por último para múltiples equipos similares se puede describir que el 87.33 % de las veces que se reparan estas máquinas no duran más de 40 horas las reparaciones.

**Ejercicio 7 - Ejemplo de Curva de Mantenibilidad en  $A_1$  - Registros Históricos y cálculos con  $\beta$ eta y  $E$ ta, Weibull**

Ejercicio tomado de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.

Se toma como base de cálculo del mismo ejemplo de disponibilidad inherente anterior, con los procesos de estimación de parámetros mediante Weibull.

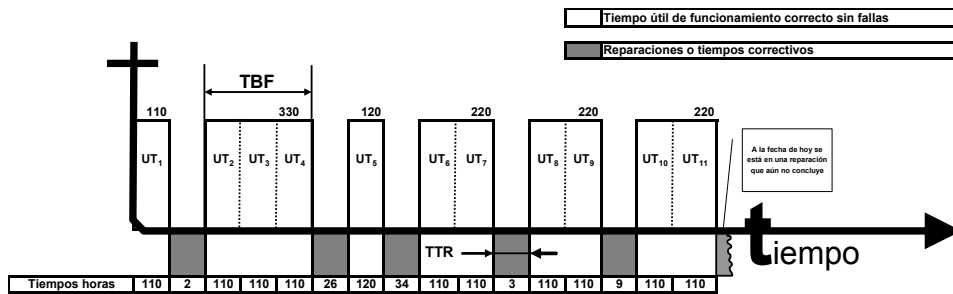


<b>MTBF</b>	es el promedio de los TBF individuales calculados por distribución Weibull :	110, 330, 120, 220, 220, 220	=	207.5
<b>MTTR</b>	es el promedio de los TTR individuales calculados por distribución Weibull :	2, 26, 34, 3, 7	=	16.02

Con cálculos puntuales da

<b>MTBF</b>	es el promedio de los TBF individuales :	110, 330, 120, 220, 220, 220	=	203.3
<b>MTTR</b>	es el promedio de los tiempos de reparación correctiva netos individuales :	2, 26, 34, 3, 9	=	14.8

<b>Disponibilidad Inherente = <math>\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{203.3}{203.3 + 14.8} = 93.21\%</math></b>				
--	--	--	--	--



Estimación de parámetros con aproximación de Rango de Medianas Benard RRY - Weibull					Alineación con regresión - Mínimos Cuadrados		
1	2	3	4	5	6	7	8
NO - DATO	Datos de operación sin fallas - Runs Hours = $\lambda$ - en horas	CENSURADO	Horas de operación sin fallos, organizados con $\lambda$ ascendente	RM - Rango de Mediana Benard - $M(t)$	Uno sobre (uno menos R.M.) -	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-R.M.)))$ - Y de la regresión	$\text{Ln}$ de datos - X de la regresión
1	2	1	2	0.1296	1.148936	-1.974459	0.693147
2	26	1	3	0.3148	1.459459	-0.972686	1.098612
3	34	1	9	0.5000	2.000000	-0.366513	2.197225
4	3	1	26	0.6852	3.176471	0.144767	3.258097
5	9	1	34	0.8704	7.714286	0.714455	3.526361

5 Elementos totales

Intercepto	-2.1995	
$\beta$ - Beta	0.7930	horas
Alpha o Eta	16.0183	$\eta$
r	0	$R_0$
MTTR Tiempo promedio de reparaciones	18.2649	horas
$MTTR = \eta * \text{Gamma } \Gamma (1 + 1 / \beta)$		

#### 5.4. ESTIMACIÓN DE NO CONFIABILIDAD $F(t)$ y DE MANTENIBILIDAD $M(t)$

La estimación de los respectivos parámetros tanto en no confiabilidad como de mantenibilidad se realizan inicialmente acorde a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a partir de la función de Weibull, ya que ella tiene la ventaja de simular el comportamiento de la función de no confiabilidad o de mantenibilidad, indiferente de la fase en que se encuentre la tasa de fallas (decreciente, casi constante y creciente, Curva de la bañera o de Davies) o de reparaciones del equipo en estudio, en el suceso de que la función Weibull cumpla y se ajuste adecuadamente (lo cual se verifica con la prueba de tres bondades de

ajuste en el modelo propuesto (Kolgomórov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi cuadrado( $\chi^2$ )), solo se utiliza una función.

En el evento de que la función Weibull no se ajuste bien, se utiliza y se selecciona una segunda opción de función, la cual depende del valor de  $\beta$  encontrado en la primera función (para el caso particular del Modelo propuesto se sugiere que si el valor de  $\beta$  está entre 1.05 y 1.95 se utilice Gamma o Log-Normal, si está entre 1.95 y 2.05 solo Weibull, si se encuentra por encima de 2.05 se usa Normal); ya en el caso donde no cumpla con ninguna de las opciones anteriores se recomienda revisar los datos actuales o esperar un tiempo prudencial hasta que se tengan más eventos de fallas, reparaciones, mantenimientos, *LDT*, etc., de tal forma que sí se ajuste a alguna de las funciones descritas.

El cálculo mediante los modelos de confiabilidad y mantenibilidad al utilizar distribuciones presenta una gran ventaja frente a los modelos puntuales que se desarrollan como ejemplos en el capítulo 2 en cada una de las disponibilidades presentadas. Cuando el cálculo del *MTBF* o del *MTTR* se realiza con el método puntual de promedios, se tiene la desventaja de que varias curvas de confiabilidad o de mantenibilidad pueden entregar los mismos valores de *MTTF* o *MTTR*, lo que le resta credibilidad al método puntual, es decir se puede obtener el mismo tiempo promedio entre fallas o de reparaciones para casos totalmente diferentes o antagónicos.

#### **5.4.1. Métodos de estimación y cálculo de la no confiabilidad y de la mantenibilidad.**

Para estimar ambos parámetros es necesario obtener los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla  $F(t)$  y para cada ítem de reparación  $M(t)$ ; entre los métodos existentes que enuncia el modelo propuesto para el cálculo de la no

confiabilidad y de la mantenibilidad, son: i-kaésimo, el rango de mediana ( por tabla y el de Benard por aproximación) y el estimador de Kaplan-Meier.

### 5.4.2. Método i-kaésimo o Estimador No Sesgado

Para estimar la función de no confiabilidad se utiliza el estimador

Ecuación 6. - Método de estimación i-kaésimo para  $A_1$

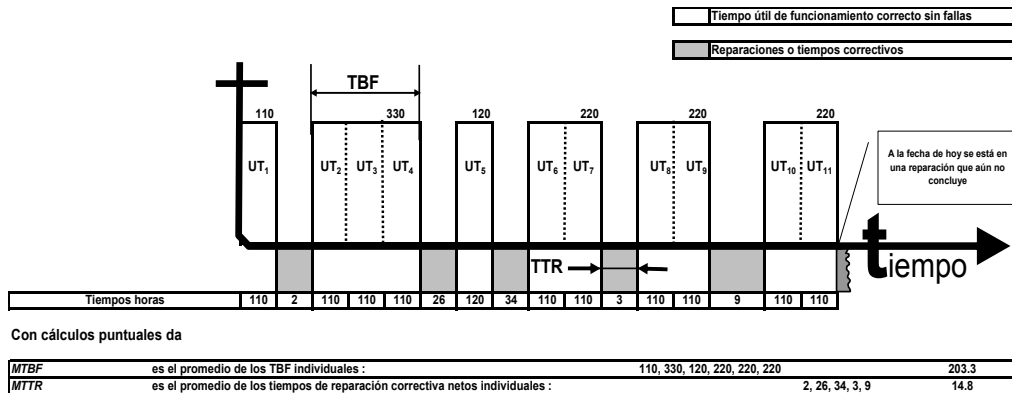
$F(t_i) = 1 - R(t_i) = \frac{j}{N+1}$  donde N es el número total de datos, j es el número consecutivo del dato que se evalúa, cuando la muestra es muy grande o tiende a infinito se puede usar  $F(t) = \frac{j}{N}$

Fuente Bibliográfica Ecuación: Rojas, 1975, 69

Para el caso particular del ejemplo de disponibilidad inherente que se trae, se tiene:

#### Ejercicio 8 - Método de estimación i-kaésimo para $A_1$

Ejercicio tomado de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.



#### Método i-kaésimo

No Confiabilidad				
No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	F(t) = j / (N + 1)	F(t) con aproximación Rango Medianas Benard	R(t) = 1 - F(t) de i-kaésimo
1	110	14.29%	10.90%	85.71%
2	330	28.57%	26.60%	71.43%
3	120	42.86%	42.20%	57.14%
4	220	57.14%	57.80%	42.86%
5	220	71.43%	73.40%	28.57%
6	220	85.71%	89.10%	14.29%
Media		50.00%	50.00%	

Mantenibilidad		
No. Dato j	Datos de reparaciones en horas	M(t) = j / (N + 1)
1	2	16.67%
2	3	33.33%
3	9	50.00%
4	26	66.67%
5	34	83.33%
Media		50.00%

De esta forma se obtienen las curvas de no confiabilidad, confiabilidad y mantenibilidad por el método i-kaésimo de aproximación para conocer los valores porcentuales acumulados de F(t), R(t) y M(t) respectivamente.

### 5.4.3. Método de Rango de Medianas – Tabla

El método se usa para obtener un estimado de la no confiabilidad para cada falla o en mantenibilidad para cada reparación. Éste es el valor que la probabilidad real de falla debe tener para la enésima falla, para una muestra de N datos con un nivel de confianza del 50%. Esto significa esencialmente que éste es el mejor estimativo para la no confiabilidad, en una población de datos.

El rango puede ser encontrado para cualquier punto de porcentaje P, mayor a cero y menor a uno, resolviendo la distribución binomial acumulada para Z, cuyo resultado representa el rango, o estimado de la no confiabilidad, para la enésima falla; o del estimado de la mantenibilidad para la enésima reparación.

*Ecuación 7 - Ecuación de la distribución binomial acumulada, para la estimación por Rango de Medianas puro. Tabla*

$$P = \sum_{j=1}^N \binom{N}{j} Z^j (1-Z)^{N-j} \quad \text{Donde } N \text{ es el número de datos de la muestra, } j \text{ posición de la}$$

$$0.5 = \sum_{j=i}^N \binom{N}{j} Z^j (1-Z)^{N-j}$$

*falla en orden ascendente.*

Fuente Bibliográfica Ecuación: Reliasoft@,2000

## **6. IMPLEMENTACIÓN DEL CMD EN BUZCA S. A.**

BUZCA S. A. cuenta con una diversidad de equipos los cuales son utilizados para realizar los diferentes trabajos en la parte marina, submarina y terrestre; estos equipos se encuentran clasificados por grupos, como son: Los compresores, moto soldadores, Plantas eléctricas, Retro excavadoras, moto bombas, remolcadores, Lanchas, maquinas de soldar, entre otros.

Como sabemos la actividad de nuestra empresa es de servicio, por lo cual la criticidad de los equipos depende de la cantidad de contratos que estén en curso al mismo tiempo.

Recordemos que una de las causas principales para que un equipo sea crítico es que este sea único en su proceso.

Al igual por la misma actividad que se dedica la empresa, cada los equipos no se encuentran operando continuamente, factor que se debe tener en cuenta al momento de aplicar el CMD.

La empresa cuenta con cada uno de los historiales de los equipos, los cuales se utilizarán al máximo para recolectar toda la información necesaria para el estudio a realizar.

Esta implementación nos ayudará a organizar esta información, ya que en la actualidad no contamos con exactitud con los datos recomendados para la implementación del CMD.

A continuación relaciono una lista de los equipos con que cuenta la empresa:

*Ilustración 23. Lista de equipos.*

Fuente de la Ilustración: Formatos de mantenimiento de BUZCA S.A.

COD.	EQUIPOS	COD.	EQUIPOS	COD.	EQUIPOS	COD.	EQUIPOS
20061	Motor F/B 40 suzuki 04003 - 374403	200639	Lancha de 23pies casco fibra	200622	Compresor de aire GD 410 (Mako)	200679	Camioneta GNL 703
20064	Motor F/B 40 suzuki 512797	200640	Lancha Taxi con M/F borda	200624	Compresores de baja (Quincy) #1	200664	Campero BPP 024
52006	Motor F/B 40 suzuki 681600	200670	Remolcador Sanz	200623	Compresores de baja (Quincy) #2	200666	Campero BPP 027
200676	Motor F/B 115 Yamaha 1067341J	200780	Remolcador Pappy	200621	Compresor de aire 8.4 (Bauer)	200667	Campero BPO 911
200641	Bote Sodía	200669	Bote grúa de 200 Toneladas	200782	Compresor Atlascopco (nuevo)	200648	Umbilicales Divers Supply, Inc.
20068	Moto Bomba de 4" (Koler)	200643	Retroexcavadora 416	200626	Unidad Hidráulica con Motor (Hatz)	200649	C.C.T.V. (Outland technology)
20069	MotoBomba 4"(Reggerini)	200644	Retroexcavadora 428	200628	Planta Eléctrica 4,5 (Honda)	200892	Casco de buceo KMB 37
200610	Motobomba de 4" GX 240 (Honda)	200646	Retroexcavadora 320 L	200629	Planta Eléctrica 4,5 kw (Kama Diesel)	200893	Casco de buceo 17
200612	Motobomba de 3" WP30X(Honda) #1	200642	Winche con motor 671	200677	Planta Electrica Blizzer 1	200894	Casco de buceo 37
200613	Motobomba de 3" WP30X(Honda) #2	200668	Martillo Diesel	200678	Planta Electrica Blizzer 2	200655	Mascara KMB
200614	Motobomba de 4" Yanmar	200786	Rana motovibradora	200781	Planta electrica EXL 8000	200889	Caja de control DSI - 2A
200787	Motobomba Ecomax #1	200674	Vibrador Mecánico	200627	HidroLavadora con Boquilla (Honda)	200890	Caja de control 8225
200788	Motobomba Ecomax #2	200675	Trompo Concretero	200634	Motosoldadora Miller	200891	Caja de control DSC - 2A
200616	Bomba de diafragma de 2"	200671	Guadañadora	200633	Motosoldadora Explores	200650	Ecosonda Garmin
200617	Compresor de aire disel (Atlas copco)	200647	descomprenion	200635	No 1	200651	Buckleys
200618	Compresor para Pintura (Lessom)	200663	Camioneta BPO 380	200636	Maquina de soldar Hobart No 2	200653	Calibrador Cygnus 1
200619	Unidad compresora (Bauer Junior)	200895	Camioneta GNO 717	200631	Maquina para Soldar Disel (Lincon)	200657	Aire acondicionado Almacén
200620	Compresor Honda (Bauer capitano)	200665	Camioneta GNJ 717	200632	Maquina para Soldar Eléctrica	200658	Aire acondicionado S. Ingeniería
200638	Lancha Coralia	200659	Aire Central oficina	200637	Draga de 4" con motor Lister	200660	Aire mini split contenedor 40
200785	Lancha Tortuga II	200661	Aire mini split contenedor 20				

## **6.1. ESTUDIO DE CRITICIDAD.**

Como la criticidad en este caso dependería de la cantidad de contrato que esté en curso, teniendo en cuenta la misma disponibilidad de los equipos y con el fin de facilitar los cálculos, realizaremos el estudio tomando como referencia un proyecto a la vez en donde se involucran todos los equipos.

Para registrar el estudio de criticidad a cada uno de los equipos se deben recolectar un grupo de información que nos puedan ayudar a ver que tan crítico puede ser nuestros equipos.

Entre los datos a recolectar tenemos la frecuencia de fallas, el impacto operacional que le puede causar a la operación la falta de este equipo, la flexibilidad operacional del equipo (que dificultad hay en conseguir los repuestos), el costo de mantenimiento del equipo y el impacto en la Seguridad, el Ambiente y la Higiene (SAH) en el momento de un daño.

En la actualidad se llevan varios registros que evidencian la cantidad de mantenimientos correctivos, preventivos y los costos de cada uno de ellos.

En base a estos documentos y el seguimiento de los mismos, nos permitimos realizar un estudio de criticidad de cada uno de los equipos por el MÉTODO DE FACTORES PONDERADOS BASADOS EN EL COCEPTO DE RIESGO, donde los costos de mantenimiento anual son críticos cuando iguala o sobre pasa el 5% del costo del equipo.

Entre la documentación recopilada tenemos el plan de mantenimiento del año 2007 y 2008, los manuales de cada uno de los equipos, el formato de Horas Maquinas mensual, los chequeos diarios, las historias del equipo registrada en el software de gestión de equipo, el presupuesto del año pasado y cotizaciones del costo actual del equipo. (Ver anexos).

Como forma de ejemplo para esta monografía, registraremos el estudio de criticidad de un equipo, en representación de cada grupo.

Para facilitar la recopilación de datos y el estudio de cada uno de los equipos, utilizamos los siguientes formatos:

ESTUDIO DE CRITICIDAD POR LOS FACTORES PONDERADOS BASADO EN EL CONCEPTO DE RIESGO

Equipo: \_\_\_\_\_  
 Marca: \_\_\_\_\_  
 Fecha: \_\_\_\_\_



Frecuencia de Fallas	Opciones	Seleccionado
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	
Promedio 1 - 2 fallas / año	3	
Buena 0.5 - 1 falla / año	2	
Excelente menos de 0.5 fallas / año	1	
<b>Impacto Operacional</b>		
Pérdida de todo el despacho	10	
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusiones en otros sistemas	7	
Impactos en niveles de inventarios o calidad	4	
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	
<b>Flexibilidad Operacional</b>		
No existe opciones de producción y no hay función de repuesto	4	
Hay opciones de repuestos compartidos/almacen	2	
Función de repuesto disponible	1	
<b>Costos de Mantenimiento</b>		
Costo de mantenimiento anual mayor o igual al 5% del costo del equipo	2	
Costo de mantenimiento anual menor al 5% del costo del equipo	1	
<b>Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene (SAH)</b>		
Afecta la seguridad humana tanato interna como externa y requiere la notificación a entes externos de la organización.	8	
Afecta el ambiente /instalaciones	7	
Afecta las instalaciones causando daños severos	5	
Provoca daños menores (ambiente-seguridad)	3	
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1	

Tabla 3. Estudio de criticidad por los factores ponderados basado en el cocepto de riesgo.

Los datos obtenidos en el formato anterior, son registrados en la siguiente tabla, elaborada en excel para mayor comodidad y agilidad en el momento de hallar la criticidad de un equipo.

**TABLA DE APLICACIÓN DE CRITERIOS BAJO EL METODO DE FACTORES PONDERADOS BASADO EN EL CONCEPTO DEL RIESGO**

ITEM	CRITERIO	VALOR ESTIMADO
1	Frecuencia de fallas	
2	Impacto Operacional	
3	Flexibilidad	
4	Costos de Mantenimiento	
5	Impacto en SHA	
<b>CONSECUENCIA</b>		
<b>Criticidad Total</b>		

*Tabla 4. Aplicación de criterios bajo el método de factores ponderados bajo el concepto del riesgo.*

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Tabla 5. Diagrama de criticidad

A continuación realizaremos el estudio de criticidad de los equipos anteriormente mencionados.

### 6.1.1. ESTUDIO DE CRITICIDAD DEL REMOLCADOR PAPPY.

**Método de los factores ponderados basados en el concepto de riesgo.**

Según la tabla de factores ponderados a ser evaluado tenemos:

1. Frecuencia de fallas: 3
2. Impacto operacional: 7
3. Flexibilidad operacional: 2
4. Costo del mantenimiento: 2
5. Impacto en seguridad, ambiente e higiene: 8

Criticidad Total = Frecuencia X Consecuencia de fallas.

- Frecuencia: 3
- Consecuencia: 25
- **Criticidad total: 75**

Si lo plasmamos en el diagrama de Frecuencia vs. Consecuencia tenemos:

Tabla 5. Diagrama de criticidad del Remolcador Pappy.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	R/R Pappy	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

El equipo se encuentra en el área de **Media Criticidad**.

## 6.1.2. RETROEXCAVADORA CATERPILLAR.

### Método de los factores ponderados basados en el concepto de riesgo.

Según la tabla de factores ponderados a ser evaluado tenemos:

6. Frecuencia de fallas: 3
7. Impacto operacional: 7
8. Flexibilidad operacional: 2
9. Costo del mantenimiento: 2
10. Impacto en seguridad, ambiente e higiene: 7

Criticidad Total = Frecuencia X Consecuencia de fallas.

- Frecuencia: 3
- Consecuencia: 23
- **Criticidad total: 69**

Si lo plasmamos en el diagrama de Frecuencia vs. Consecuencia tenemos:

Tabla 6. Diagrama de criticidad de la Retro excavadora.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	Retro 320 L	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

El equipo se encuentra en el área de **Media Criticidad**.

### 6.1.3. COMPLEJO HIPERBARICO.

**Método de los factores ponderados basados en el concepto de riesgo.**

Según la tabla de factores ponderados a ser evaluado tenemos:

1. Frecuencia de fallas: 2
2. Impacto operacional: 10
3. Flexibilidad operacional: 4

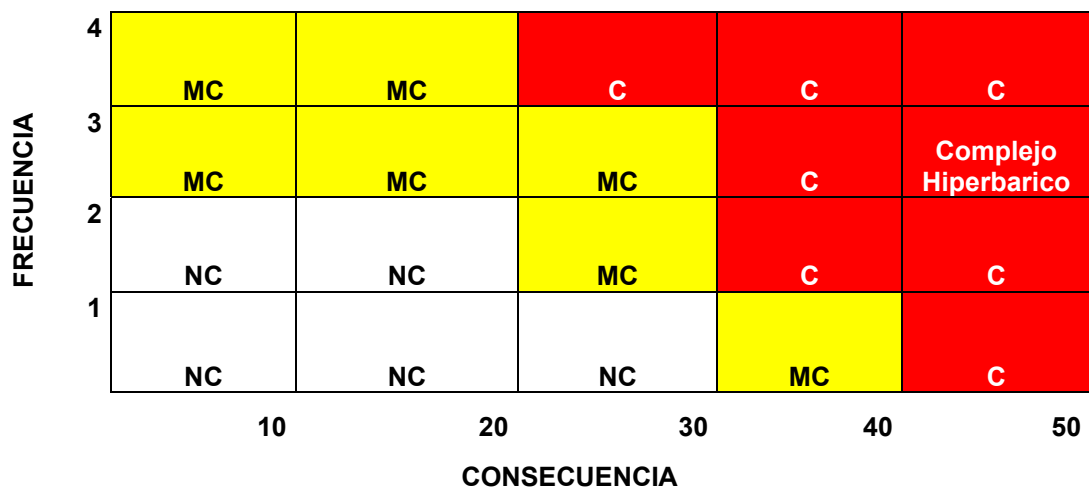
- 4. Costo del mantenimiento: 2
- 5. Impacto en seguridad, ambiente e higiene: 8

Criticidad Total = Frecuencia X Consecuencia de fallas.

- Frecuencia: 3
- Consecuencia: 50
- **Criticidad total: 150**

Si lo plasmamos en el diagrama de Frecuencia vs. Consecuencia tenemos:

*Tabla7. Diagrama de criticidad del complejo hiperbarico.*



El equipo se encuentra en el área de **Crítico**.

#### **6.1.4. COMPRESORES.**

##### **Método de los factores ponderados basados en el concepto de riesgo.**

Según la tabla de factores ponderados a ser evaluado tenemos:

1. Frecuencia de fallas: 3
2. Impacto operacional: 4
3. Flexibilidad operacional: 2
4. Costo del mantenimiento: 1
5. Impacto en seguridad, ambiente e higiene: 7

Criticidad Total = Frecuencia X Consecuencia de fallas.

- Frecuencia: 3
- Consecuencia: 16
- **Criticidad total: 51**

Si lo plasmamos en el diagrama de Frecuencia vs. Consecuencia tenemos:

Tabla 8. Diagrama de criticidad de los compresores.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	Compresores	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

El equipo se encuentra en el área de **Media Criticidad**.

### 6.1.5. VEHICULOS

**Método de los factores ponderados basados en el concepto de riesgo.**

Según la tabla de factores ponderados a ser evaluado tenemos:

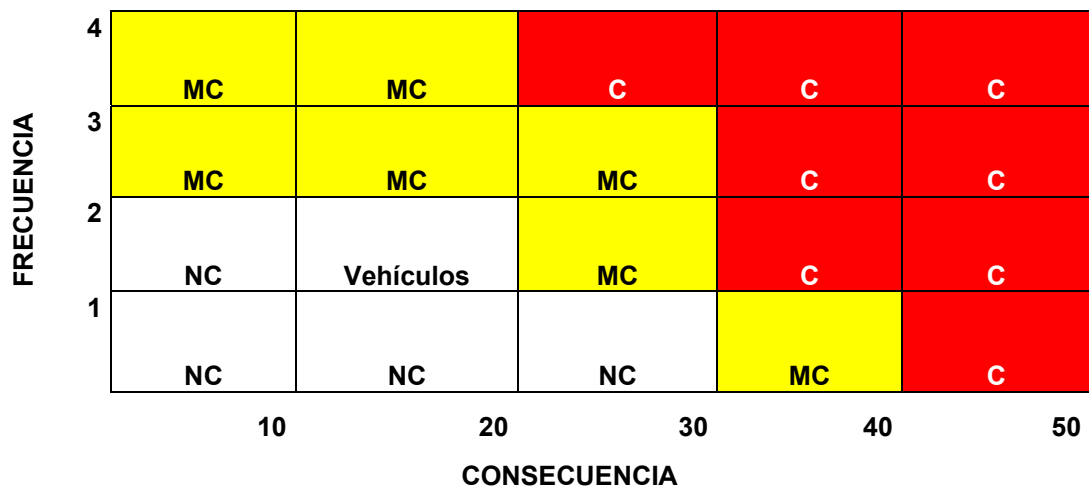
1. Frecuencia de fallas: 2
2. Impacto operacional: 4
3. Flexibilidad operacional: 1
4. Costo del mantenimiento: 2
5. Impacto en seguridad, ambiente e higiene: 5

Criticidad Total = Frecuencia X Consecuencia de fallas.

- Frecuencia: 2
- Consecuencia: 11
- **Criticidad total: 22**

Si lo plasmamos en el diagrama de Frecuencia vs. Consecuencia tenemos:

Tabla 9. Diagrama de criticidad de los vehículos.



El equipo se encuentra en el área de **No Criticidad**.

### 6.1.6. PLANTAS ELECTRICAS.

#### Método de los factores ponderados basados en el concepto de riesgo.

Según la tabla de factores ponderados a ser evaluado tenemos:

1. Frecuencia de fallas: 3
2. Impacto operacional: 4
3. Flexibilidad operacional: 1
4. Costo del mantenimiento: 1
5. Impacto en seguridad, ambiente e higiene: 3

Criticidad Total = Frecuencia X Consecuencia de fallas.

- Frecuencia: 3
- Consecuencia: 8
- **Criticidad total: 24**

Si lo plasmamos en el diagrama de Frecuencia vs. Consecuencia tenemos:

Tabla 60. Diagrama de criticidad de las plantas eléctricas.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	Plantas Eléctricas	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

El equipo se encuentra en el área de **Media Criticidad**.

#### 6.1.7. MOTO BOMBAS.

**Método de los factores ponderados basados en el concepto de riesgo.**

Según la tabla de factores ponderados a ser evaluado tenemos:

1. Frecuencia de fallas: 2
2. Impacto operacional: 4
3. Flexibilidad operacional: 1
4. Costo del mantenimiento: 1

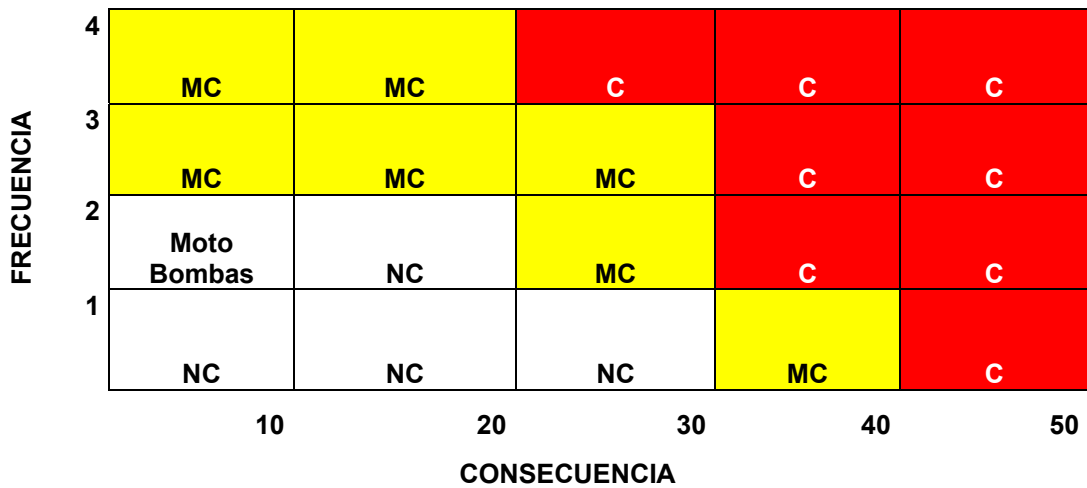
5. Impacto en seguridad, ambiente e higiene: 3

Criticidad Total = Frecuencia X Consecuencia de fallas.

- Frecuencia: 2
- Consecuencia: 8
- **Criticidad total: 16**

Si lo plasmamos en el diagrama de Frecuencia vs. Consecuencia tenemos:

Tabla 71. Diagrama de criticidad de las Moto Bombas.



El equipo se encuentra en el área de **No Critica**.

Como resultado del estudio realizado, podemos resumir en la siguiente tabla el resultado o la criticidad de los equipos que tomados como muestra.

*Tabla 82. Resumen de nivel de criticidad de los equipos.*

<b>EQUIPO</b>	<b>CRITICIDAD</b>
Remolcador	Equipo de media Criticidad
Retro Excavadora	Equipo de media Criticidad
Planta electrica	Equipo de media Criticidad
Compresor	Equipo de media Criticidad
Complejo hiperbarico	Equipo Critico
Vehiculo	Equipo No critico
Moto soldadora	Equipo No critico
Lancha	Equipo No critico
Moto Bomba	Equipo no critico

Después de realizar este análisis podemos reorganizar nuestro plan de mantenimientos y las tareas específicas de cada uno de los equipos con el fin de suministrarle el tiempo, la importancia y las manos de obras necesarias a cada uno de los equipos.

Esto no quiere decir que debemos descuidar los equipos que no son críticos, si no que se pueden realizar inspecciones programadas de menos intensidad aquellos equipos no críticos y dedicarles más tiempos a los que de alguna forma nos pueden perjudicar el buen curso de una obra o nos pueden generar grandes gastos económicos.

Teniendo en cuenta lo anterior, replanteamos la periodicidad de los mantenimientos preventivos, sin dejar a un lado lo recomendado por los fabricantes y colocamos las actividades recomendadas para cada intervención.

La periodicidad no vario mucho con respecto a lo existente por que se tuvo en cuenta lo recomendado por el fabricante y la experiencia obtenida por el personal de mantenimiento.

La variación que se puede notar en este desarrollo, son las tareas asignadas para cada intervención, las cuales se encuentran registradas junto a las fichas técnicas de cada equipo, las cuales fueron más rigurosas en los equipos críticos, pero sin menos preciar la importancia de los demás.

El plan de mantenimiento y las fichas técnicas se encuentran en los documentos anexos a este proyecto.

## **6.2. ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD PARA LOS EQUIPOS DE BUZCA S.A.**

Como vimos en la definición de Disponibilidad, es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico.

Luego de estudiar todas las opciones que existen para modelar la Disponibilidad de un equipo, tomamos la recomendación que enumera la Síntesis Universal de Medición CMD para las empresas que están comenzando a implementar este sistema, que es la DISPONIBILIDAD GENERICA O DE STEADY – STATE ya que no medimos los tiempos logísticos, ni los administrativos, ni los tiempos de demora por repuestos o recursos humanos y no exige grandes cantidades de datos históricos.

Tenemos que tener en cuenta que la actividad económica de nuestra empresa es de prestación de servicio y los equipos no operan de forma continua por lo tanto hay que asumir el tiempo en que el equipo esta disponible pero no produce.

Los datos necesarios para registrar la disponibilidad de los equipos son sacados del historial, la hoja de vida y el plan de mantenimiento de los años anteriores y el actual de cada uno de los equipos.

Se realizó una recolección de datos como son las horas de mantenimiento correctivo y las horas de mantenimiento preventivo; Tomamos el formato de de horas de maquinas mensuales y le realizamos una pequeña modificación con el fin de facilitar la recopilación de la información. Este formato se utilizará desde ahora en adelante para registrar la información necesaria.

También tomamos como mantenimiento las reparaciones que se realizan en el equipo pero que no deshabilita la maquina para operar, siempre y cuando no este en operación. Se asumen las demás horas como productivas, contando únicamente las hábiles cuando no hay proyectos y las 24 horas cuando el proyecto lo amerita.

Las horas de mantenimiento empiezan desde el momento en que el equipo queda fuera de servicio.

Para implementar este sistema tomamos el programa de mantenimiento y el historial de los equipos, que es donde podemos evidenciar el momento en que el equipo se encontraba en mantenimiento y cuando se encontraba operativo.

Para el estudio vamos a tomar el historial a partir de enero de 2008, para garantizar una mejor aproximación a los datos reales, ya que anteriormente no se llevaban con precisión estos registros.

A continuación se relaciona el reporte diario utilizado para recolectar el historial de las horas en que el equipo estuvo en mantenimiento y las horas operativas.





La formula que vamos a utilizar para medir la disponibilidad de los equipos es la siguiente:

$$\text{Disponibilidad Genérica} = A_G = \frac{\sum UT}{\sum UT + \sum DT} = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

*La disponibilidad genérica en este caso se mide en porcentaje, mientras que MUT y MDT se miden en unidades de tiempo: horas, minutos, entre otros.*

A continuación realizaremos el estudio a cada uno de los equipos que tomamos de muestra.

### **6.2.1. Estudio de Disponibilidad del remolcador Pappy.**

Este equipo trabaja las 24 horas del día por lo tanto debiera trabajar aproximadamente 720 horas mensuales.

Hay que tener en cuenta que los mantenimientos realizados a este equipo se miden a través de las 24 horas de trabajo diarias.

La información recolectada se encuentra registrada en el siguiente formato donde se registran las horas operativas y las horas que estuvo en mantenimiento durante el mes:

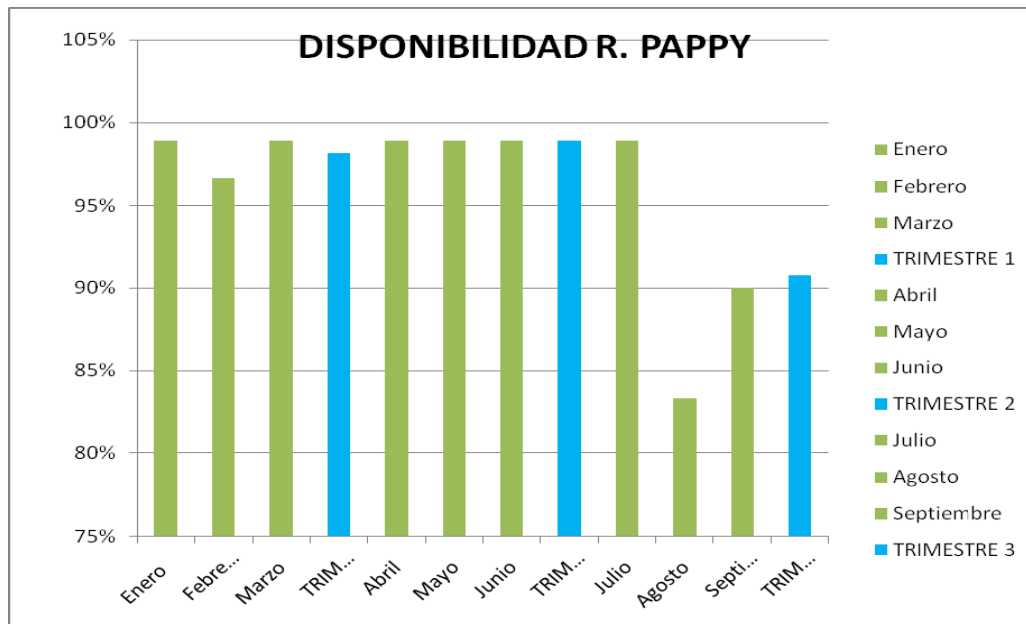
Tabla 115. Disponibilidad del Remolcador Pappy



% DISPONIBILIDAD DEL R. PAPPY



AÑO 2008	Horas operativas	Horas de Mantenimiento	INDICADOR	META
Enero	716	8	99%	
Febrero	696	24	97%	
Marzo	716	8	99%	
<b>TRIMESTRE 1</b>	<b>709</b>	<b>13</b>	<b>98%</b>	<b>&gt;=90%</b>
Abril	716	8	99%	
Mayo	716	8	99%	
Junio	716	8	99%	
<b>TRIMESTRE 2</b>	<b>716</b>	<b>8</b>	<b>99%</b>	<b>&gt;=90%</b>
Julio	716	8	99%	
Agosto	600	120	83%	
Septiembre	648	72	90%	
<b>TRIMESTRE 3</b>	<b>655</b>	<b>67</b>	<b>91%</b>	<b>&gt;=90%</b>
Octubre			#¡DIV/0!	
Noviembre			#¡DIV/0!	
Diciembre			#¡DIV/0!	
<b>TRIMESTRE 4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>#¡DIV/0!</b>	<b>&gt;=90%</b>



### 6.2.2. Estudio de Disponibilidad de la Retro excavadora 320L.

Este equipo trabaja ocho horas diarias, sus actividades no son continuas, la mayoría de las veces se encuentra en stand by.

Las horas de mantenimiento se sacan con relación a las ocho horas diarias.

La información recolectada se encuentra registrada en el siguiente formato:

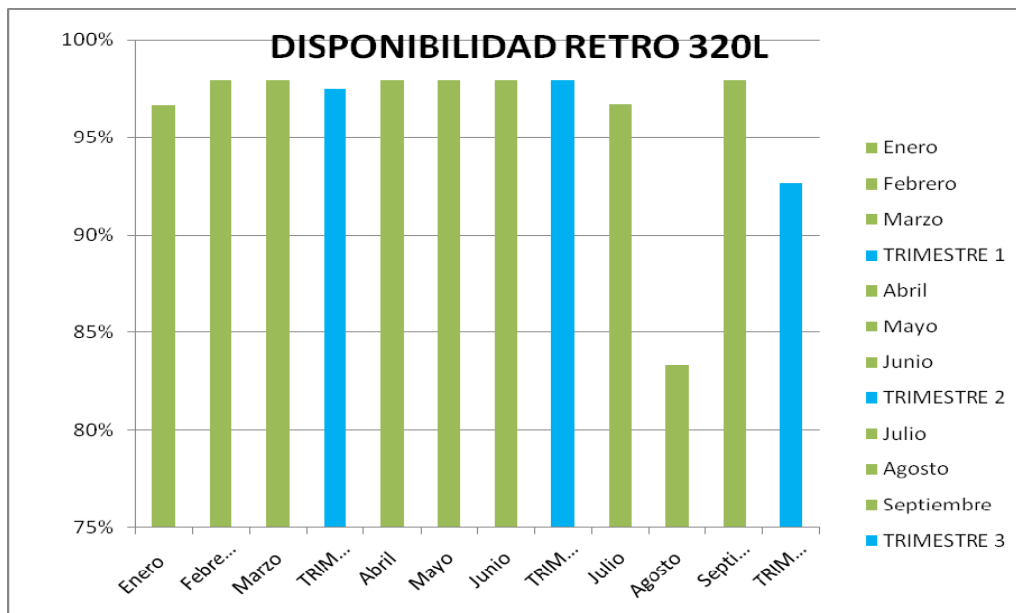
Tabla 126. Disponibilidad de la Retro excavadora de la 320L



#### % DISPONIBILIDAD DE LA RETRO 320L



AÑO 2008	Horas operativas	Horas de Mantenimiento	INDICADOR	META
Enero	232	8	97%	
Febrero	235	5	98%	
Marzo	235	5	98%	
<b>TRIMESTRE 1</b>	<b>234</b>	<b>6</b>	98%	<b>&gt;=90%</b>
Abril	235	5	98%	
Mayo	235	5	98%	
Junio	235	5	98%	
<b>TRIMESTRE 2</b>	<b>235</b>	<b>5</b>	98%	<b>&gt;=90%</b>
Julio	235	8	97%	
Agosto	200	40	83%	
Septiembre	235	5	98%	
<b>TRIMESTRE 3</b>	<b>223</b>	<b>18</b>	93%	<b>&gt;=90%</b>
Octubre			#¡DIV/0!	
Noviembre			#¡DIV/0!	
Diciembre			#¡DIV/0!	
<b>TRIMESTRE 4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	#¡DIV/0!	<b>&gt;=90%</b>



En los anexos podemos encontrar el estudio de Disponibilidad de los otros equipos que hacen parte de la muestra.

Este estudio nos muestra en porcentaje la disponibilidad de cada uno de los equipos y nos ayuda a controlar y a verificar el comportamiento de ellos con el fin de mantener o mejorar su estado.

Revisando los registros anteriores podemos concluir que los equipos de BUZCA S. A. se encuentran con un buen porcentaje de Disponibilidad, los cuales se deben mantener y si es el caso mejorar.

El formato de disponibilidad y su gráfica lo utilizamos como un indicador para realizarle el seguimiento a los equipos de la empresa.

### 6.3. ESTUDIO DE CONFIABILIDAD EN LOS EQUIPOS DE BUZCA S. A.

Recordemos que la confiabilidad de un equipo es la probabilidad de que desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que fue diseñado, durante el período de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación dadas.

Podemos notar que entre mas paradas por mantenimiento tenga un equipo menos confiable será para operación o producción si es el caso.

Existen diferentes formas para hallar la confiabilidad de un equipo; para nuestro caso, que estamos empezando a desarrollar el concepto de CMD y que no contamos con un historial profundo y detallado sobre el comportamiento de nuestros equipos vamos a utilizar el método distribución de Weibull, donde los datos son las horas en que el equipo se encuentra operativo y las horas en que estuvo en reparación.

Los datos para esta evaluación lo tomamos del seguimiento del programa de mantenimiento de la empresa, donde nos muestras las paradas que han tenido los equipos durante el año y señalando cuales son los programados y los no programados.

Tomamos los datos de los mantenimientos incluyendo los preventivos y correctivos, estas nos indican cuantas interrupciones ha tenido durante su operación. Este dato se lo suministramos a la siguiente tabla.

**Tabla 137. Estudio de Confiabilidad.**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	F(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj + Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)	
1	454	392	20.00%	-1.50	5.97	-8.96	35.66	-1.27	-0.23	0.05	-0.412	0.170	-1.054	1.111	0.434	
2	855	454	40.00%	-0.67	6.12	-4.11	37.43	-0.98	0.31	0.09	-0.265	0.070	-0.226	0.051	0.060	
3	807	807	60.00%	-0.09	6.69	-0.59	44.80	0.17	-0.26	0.07	0.310	0.096	0.358	0.128	0.111	
4	392	855	80.00%	0.48	6.75	3.21	45.58	0.29	0.19	0.03	0.368	0.135	0.922	0.850	0.339	
Media			50.00%													
						Suma	-10.44	163.47	-1.78	0.00	0.25	0.00	0.47	0.00	2.14	0.94

Y media	-0.446
X media	6.383
Pendiente b	2.0029
Intercepto a	-13.2312

Escala η	739.536
Forma β	2.0029
MTBF	655.379

Arrojándonos los MTBF (la media del tiempo entre fallas del equipo en horas).

Los datos obtenidos para el estudio de Confiabilidad son los mismos registrados en la tabla de Disponibilidad.

Realizaremos como ejemplo dentro del cuerpo de implementación de esta Monografía el estudio de Disponibilidad del Remolcador Pappy, los otros estudios se encuentran en los documentos anexos.

### Confiabilidad del Remolcador Pappy.

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	F(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	716	600	11,11%	-2,14	6,40	-13,68	40,92	-2,28	0,14	0,02	-0,139	0,019	-1,655	2,738	0,229
2	696	648	22,22%	-1,38	6,47	-8,94	41,91	-1,28	-0,10	0,01	-0,062	0,004	-0,897	0,804	0,065
3	716	696	33,33%	-0,90	6,55	-5,91	42,84	-0,36	-0,55	0,30	0,010	0,000	-0,418	0,175	-0,004
4	716	716	44,44%	-0,53	6,57	-3,49	43,21	0,01	-0,54	0,29	0,038	0,001	-0,047	0,002	-0,002
5	716	716	55,56%	-0,21	6,57	-1,38	43,21	0,01	-0,22	0,05	0,038	0,001	0,275	0,075	0,010
6	716	716	66,67%	0,09	6,57	0,62	43,21	0,01	0,08	0,01	0,038	0,001	0,578	0,334	0,022
7	600	716	77,78%	0,41	6,57	2,68	43,21	0,01	0,40	0,16	0,038	0,001	0,892	0,796	0,034
8	648	716	88,89%	0,79	6,57	5,17	43,21	0,01	0,78	0,60	0,038	0,001	1,271	1,617	0,048
Media			50,00%												
Suma						-24,93	341,74	-3,87	0,00	1,44	0,00	0,03	0,00	6,54	0,39

Y media -0,484  
X media 6,536

Pendiente b 12,9612  
Intercepto a -85,1930

Escala η	715,47
Forma β	12,9612
MTBF	687,540

Ajuste 0,00  
Se 0,3616 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0,7802 Coeficiente de determinación muestral  
r 0,8833 Coeficiente de correlación multiple

Podemos decir que la Confiabilidad del Remolcador Pappy para operar o trabajar sin presentar ninguna falla es de aproximadamente 687,540 horas de trabajo.

Los datos registrados por este estudio nos ayudan a tener un estimativo de las horas de trabajo que puede tener un equipo sin ninguna dificultad, resultado que debemos mantener o aumentar para garantizar nuestro servicio.

El seguimiento con respecto a la Confiabilidad de cada equipo lo llevaremos y lo registraremos por la tabla de indicadores que mostraremos luego de estudiar la mantenibilidad, la cual se reflejará mensualmente.

Ahora estudiaremos el sistema de Mantenibilidad con el fin de socializarlo con el de Confiabilidad y al final registraremos la tabla de Indicadores mencionada en el párrafo anterior.

#### 6.4. ESTUDIO DE MANTENIBILIDAD.

Recordemos que mantenibilidad es la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica la realización de unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción. La normalidad del sistema al ser restaurado puede referirse a su cuerpo como a su función.

Para hallar la mantenibilidad de los equipos escogemos la misma metodología de distribución de Weibull y la información de los mantenimientos realizados durante el periodo estudiado.

Los mantenimientos escogidos son tanto los preventivos como los correctivos y se lo suministramos a la siguiente tabla:

Tabla 148. Estudio de Mantenibilidad.

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(t)=j/(N+1)$	$\ln(\ln(1/(1-F(t))))$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	$X_j + Y_j$	$X_j^2$	Y estimada	$Y_j - Y$ estimada	$(Y_j - Y$ estimada) <sup>2</sup>	$X_j - X$ media	$(X_j - X$ media) <sup>2</sup>	$Y_j - Y$ media	$(Y_j - Y$ media) <sup>2</sup>	$(X_j - X$ media)*(Y_j - Y media)
1	8	8	10,00%	-2,25	2,08	-4,68	4,32	-0,95	-1,30	1,69	-0,667	0,445	-1,760	3,098	1,174
2	24	8	20,00%	-1,50	2,08	-3,12	4,32	-0,95	-0,55	0,30	-0,667	0,445	-1,010	1,020	0,674
3	8	8	30,00%	-1,03	2,08	-2,14	4,32	-0,95	-0,08	0,01	-0,667	0,445	-0,541	0,292	0,361
4	8	8	40,00%	-0,67	2,08	-1,40	4,32	-0,95	0,28	0,08	-0,667	0,445	-0,182	0,033	0,121
5	8	8	50,00%	-0,37	2,08	-0,76	4,32	-0,95	0,58	0,34	-0,667	0,445	0,124	0,015	-0,082
6	8	8	60,00%	-0,09	2,08	-0,18	4,32	-0,95	0,86	0,74	-0,667	0,445	0,403	0,162	-0,269
7	8	24	70,00%	0,19	3,18	0,59	10,10	-0,19	0,38	0,14	0,432	0,186	0,676	0,457	0,292
8	120	72	80,00%	0,48	4,28	2,04	18,29	0,56	-0,09	0,01	1,530	2,341	0,966	0,933	1,478
9	72	120	90,00%	0,83	4,79	3,99	22,92	0,92	-0,08	0,01	2,041	4,165	1,324	1,753	2,703
Media			50,00%												
Suma						-5,66	77,25	-4,41	0,00	3,32	0,00	9,36	0,00	7,76	6,45

Y media	-0,490
X media	2,747
Pendiente b	0,6890
Intercepto a	-2,3825

Escala $\eta$	31,75
Forma $\beta$	0,689
MTTR	40,82

Ajuste	0,00
Se	0,5494 Error estandar del estimado o variación o error típico
r <sup>2</sup>	0,5724 Coeficiente de determinación muestral
r	0,7566 Coeficiente de correlación multiple

Esta tabla nos arroja el MTTR (el promedio de la reparación de un equipo) en horas de trabajo.

Los datos obtenidos para este estudio son los mismos registrados en la tabla de Disponibilidad.

Tomaremos como ejemplo para el cuerpo del trabajo, el Remolcador Pappy para realizarle el estudio de Mantenibilidad.

El estudio de los demás equipos se encuentran en los anexos y los resultados los mostraremos mas adelante en una tabla de resumen.

### Estudio de Mantenibilidad del Remolcador Pappy.

MANTENIBILIDAD																
No. Datos j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	M(t)=(1/(N+1))	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)	
1	8	8	10.00%	-2.25	2,08	-4,68	4,32	-0,95	-1,30	1,69	-0,667	0,445	-1,760	3,098	1,174	
2	24	8	20.00%	-1,50	2,08	-3,12	4,32	-0,95	-0,55	0,30	-0,667	0,445	-1,010	1,020	0,674	
3	8	8	30.00%	-1,03	2,08	-2,14	4,32	-0,95	-0,08	0,01	-0,667	0,445	-0,541	0,292	0,361	
4	8	8	40.00%	-0,67	2,08	-1,40	4,32	-0,95	0,28	0,08	-0,667	0,445	-0,182	0,033	0,121	
5	8	8	50.00%	-0,37	2,08	-0,76	4,32	-0,95	0,58	0,34	-0,667	0,445	0,124	0,015	-0,082	
6	8	8	60.00%	-0,09	2,08	-0,18	4,32	-0,95	0,86	0,74	-0,667	0,445	0,403	0,162	-0,269	
7	8	24	70.00%	0,19	3,18	0,59	10,10	-0,19	0,38	0,14	0,432	0,186	0,676	0,457	0,292	
8	120	72	80.00%	0,48	4,28	2,04	18,29	0,56	-0,09	0,01	1,530	2,341	0,966	0,933	1,478	
9	72	120	90.00%	0,83	4,79	3,99	22,92	0,92	-0,08	0,01	2,041	4,165	1,324	1,753	2,703	
Media			50.00%													
						Suma	-5,66	77,25	-4,41	0,00	3,32	0,00	9,36	0,00	7,76	6,45

Y media	-0,490
X media	2,747
Pendiente b	0,6890
Intercepto a	-2,3825

Escala η	31,75
Forma β	0,689
MTTR	40,82

Ajuste	0,00
Se	0,5494 Error estandar del estimado o variación o error típico
r^2	0,5724 Coeficiente de determinación muestral
r	0,7566 Coeficiente de correlación múltiple

Podemos concluir que cada intervención de Mantenimiento que se le realiza al remolcador Pappy tiene una duración de aproximadamente 40,82 horas.

El seguimiento con respecto a la mantenibilidad de cada equipo lo llevaremos mensualmente registrándolo en la tabla de indicadores, buscando disminuir lo que más se pueda con respecto al último valor registrado, con el fin de demostrar la eficiencia del departamento de Mantenimiento.

A continuación registraremos en la siguiente tabla el resumen de los equipos y su estado.

Esta tabla la utilizaremos como indicador final, la cual se suministrara mensualmente a la gerencia, comparándola siempre con las anteriores.

**Tabla 19. Indicador de CMD.**

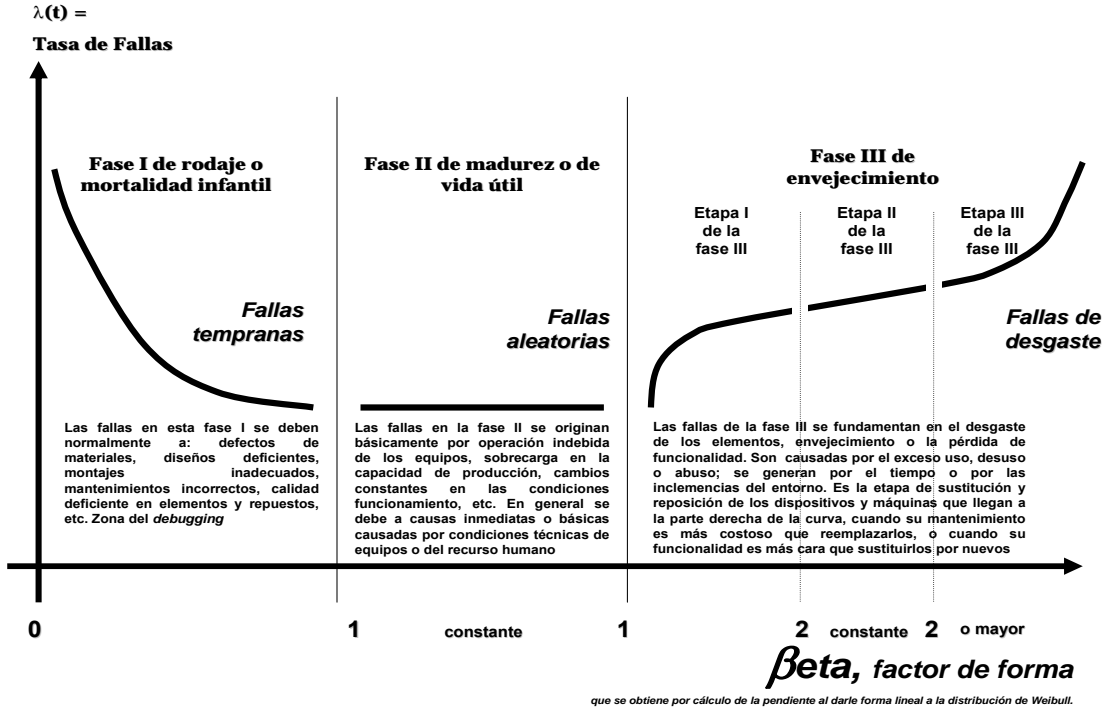
Fuente de la Tabla: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.

INDICADORES DE CMD							
EQUIPO	CONFIABILIDAD			MANTENIBILIDAD			DISPONIBILIDAD
	FACTOR DE ESCALA $\eta$	FACTOR DE FORMA $\beta$	MTBM	FACTOR DE ESCALA $\eta$	FACTOR DE FORMA $\beta$	MTTR	%
Remolcador Pappy	715,470	12,961	687,540	31,752	0,689	40,816	91,00%
Retro 320L	239,340	13,017	230,035	11,784	0,939	12,126	93,00%
Planta electrica	232,200	15,950	224,648	17,630	1,085	17,091	97,00%
Compresor 1	232,120	77,278	230,424	10,534	3,096	9,420	97,00%
Complejo hiperbarico	235,164	91,858	233,713	7,016	2,120	6,214	97,00%
Camioneta 380	235,164	91,858	233,713	7,016	2,120	6,214	98,00%
Moto soldadora Miller	237,493	14,237	228,954	12,176	0,801	13,787	98,00%
Lancha Coralia	235,959	208,035	235,310	4,153	2,813	3,699	99,00%
Moto bomba Rugerine	236,551	136,456	235,563	4,903	2,552	4,352	98,00%

Ahora teniendo en cuenta el Beta de Mantenibilidad podemos definir en que estado se encuentra el equipo según la curva de la Bañera o de Davies.

*Ilustración 24. Curva de Davies.*

Ilustración tomada de: Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio.



Registramos el estado según la curva de Davies de cada uno de los equipos estudiados en esta monografía en la siguiente tabla.

*Tabla 150. Curva de Davies.*

EQUIPO	CURVA DE LA BAÑERA
Remolcador Pappy	Fase I Mortalidad Infantil
Retro 320L	Fase I Mortalidad Infantil
Planta eléctrica	Etapa I de la Fase III Envejecimiento
Compresor 1	Etapa III de la Fase III Envejecimiento
Complejo hiperbarico	Etapa II de la Fase III Envejecimiento
Camioneta 380	Etapa I de la Fase III Envejecimiento
Moto soldadora Miller	Fase I Mortalidad Infantil
Lancha Coralia	Etapa III de la Fase III Envejecimiento
Moto bomba Rugerine	Etapa III de la Fase III Envejecimiento

## 7. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

BUZCA S.A. es una empresa prestadora de servicios, cuya actividad en cierta forma debilita el funcionamiento productivo continuo de los equipos, ya que estos dependen de los proyectos que hallan en demanda en esos momentos y su participación activa dentro de ellos.

Muchos de los equipos presentan poca actividad operativa durante el año, a pesar que están en óptimas condiciones, ayudando esto a aumentar considerablemente su confiabilidad y disponibilidad y disminuir la mantenibilidad.

Los indicadores del CMD nos ayudan a controlar el ritmo operacional de los equipos. Por tal motivo se deben monitorear o verificar periódicamente; en nuestro caso lo realizamos trimestralmente, obteniendo unos valores excelentes para nuestra operación pero con muy pocas variaciones en los datos históricos.

En busca de mejorar y obtener resultados mucho más confiables, recomendamos aumentar el periodo de verificación del comportamiento de los equipos; el cual pasaría de trimestral a semestral.

Los datos obtenidos al comienzo de esta implementación no son 100% confiable debido a que no se tenían registro que puntualizaran la información deseada, por tal razón se crearon y se mejoraron algunos formatos que arrojen dicha información.

Con respecto a este punto recomendamos para un futuro, adquirir un programa computacional donde se registren cierta información básica y este nos arroje los datos que se requieren para alimentar los indicadores del CMD e incluso que este nos suministre las curvas de los indicadores mencionados.

## 8. CONCLUSIONES

Como pudimos observar en este contenido, el Mantenimiento es fundamental en todas las empresas, es el departamento que vigila por los intereses de la industria y vela por el buen funcionamiento y control de los equipos que participan en la producción.

La identificación y estado de Criticidad de los equipos nos ayudan a distribuir de una mejor forma los recursos humanos y económicos en la mantenibilidad de los equipos.

Muchas veces suministramos grandes cantidades de recursos en equipos que no son considerados críticos y descuidamos aquellos que en realidad necesitan atención especial y que son de vital importancia para nuestros proyectos.

Para nuestro caso, elaboramos un plan de mantenimiento donde se distribuyeron las horas de mantenimiento dependiendo su criticidad, las recomendaciones de los fabricantes y las experiencias obtenidas por el personal de mantenimiento. También se desarrollaron las hojas o fichas técnicas donde se reflejan las actividades a realizar durante cada intervención.

Por otro lado la aplicación del CMD nos demuestra lo importante que es realizarles una buena Mantenibilidad a los equipos, para poder tener como resultado una alta confiabilidad y una larga disponibilidad.

Teniendo en cuenta los resultados durante el estudio CMD, BUZCA S.A. cuenta con unos equipos óptimos con respecto al estudio del CMD, datos que se deben mantener o mejorar para demostrar la eficiencia del departamento.

No obstante debemos saber que al momento de comenzar este estudio no contamos con una larga lista de datos históricos y confiables, es por eso que

debemos comenzar a registrar cuidadosamente cada uno de los datos exigidos en los formatos realizados para tal fin.

Con respecto a los costos de mantenimiento, su variación se podrá evidenciar a largo plazo, llevando un control estricto en los gastos de cada intervención.

Como recomendación podemos estudiar la posibilidad de obtener un software de mantenimiento más avanzado, donde se registren y se suministre todos los datos que se requieren para el estudio del CMD y a la vez arroje los indicadores y diagramas correspondientes al estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. 2ª Ed. Medellín: AMG, 2007.

Availability. [en línea]. Febrero 1998. [Citado en 18 Julio de 2001]. Disponible en Internet <[http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#\\_Toc404493935](http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#_Toc404493935)>.

BARRINGER, Paul – *An Overview of Reliability Engineering Principles* – [en línea]. Febrero 1996. [citado en 17 Agosto de 2001]. disponible en Internet <[http://www.barringer1.com/pdf/Oview\\_REP.pdf](http://www.barringer1.com/pdf/Oview_REP.pdf)>.

BARRINGER, Paul – *Availability, Reliability, Maintainability, and Capability* [en línea]. Febrero 1997. [citado en 6 Agosto de 2001]. disponible en Internet <<http://www.barringer1.com/pdf/ARMandC.pdf>>

BARRINGER, Paul y KOTLYAR, Michael – *Reliability Of Critical Turbo/Compressor Equipment* – [en línea]. Octubre 1996. [citado en 28 Julio de 2001]. Disponible en Internet <[http://www.barringer1.com/pdf/Rel\\_Crit\\_Turbo\\_Comp.pdf](http://www.barringer1.com/pdf/Rel_Crit_Turbo_Comp.pdf)>.

BARRINGER, Paul y WEBER, David – *Where Is My Data For Making Reliability Improvements* – [en línea]. Noviembre 1995. [citado en 3 Agosto de 2001]. disponible en Internet <[http://www.barringer1.com/pdf/Where's\\_My\\_Data.pdf](http://www.barringer1.com/pdf/Where's_My_Data.pdf)>

CAMPBELL, John. *The Reliability Handbook* . Diciembre 1999. [en línea]. [citado en 14 Agosto de 2001]. disponible en Internet <[http://www.plantmaintenance.com/articles/reliability\\_book.pdf](http://www.plantmaintenance.com/articles/reliability_book.pdf)>.

Computerized Maintenance Management Systems (CMMS) and other Maintenance Software. [en línea]. Junio 2001 [citado en 17 Junio de 2001]. disponible en Internet <[http://www.plantmaintenance.com/maintenance\\_software.shtml](http://www.plantmaintenance.com/maintenance_software.shtml)>

D. Keith Denton. Seguridad Industrial. Mc Graw-Hill. 1984. México.

DUNN, Sandy. *Maintenance Terminology - Some Key Terms* . [en línea]. [citado en 21 Julio de 2001]. disponible en Internet <<http://www.plantmaintenance.com/terminology.shtml>>.

Exponential Distribution. [en línea]. Julio 2000. [citado en 5 Agosto de 2001]. disponible en Internet  
<[http://www.weibull.com/LifeDataWeb/exponential\\_distribution.htm](http://www.weibull.com/LifeDataWeb/exponential_distribution.htm)>.

Grimaldi-Simonds. La Seguridad Industrial Su Administración. Alfaomoga México 1985.

HOSSEINI, Manou– *Reliability Revolution* – [en línea]. Abril 1999. [citado en 1 Septiembre de 2001]. Disponible en Internet  
<[http://www.plantmaintenance.com/articles/reliability\\_revolution.shtml](http://www.plantmaintenance.com/articles/reliability_revolution.shtml)>.

Lognormal Distribution. [en línea]. Julio 2000. [citado en 15 Junio de 2001]. disponible en Internet  
<[http://www.weibull.com/LifeDataWeb/lognormal\\_distribution.htm](http://www.weibull.com/LifeDataWeb/lognormal_distribution.htm)>.

Maintainability. [en línea]. Febrero 1998. [citado en 18 Julio de 2001]. disponible en Internet  
<[http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#\\_Toc404493934](http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#_Toc404493934)>.

MOORE, Clive. *Maintainability, Another Maintenance Improvement Opportunity*. [en línea]. [citado en 8 Agosto de 2001]. disponible en Internet  
<[http://www.tpmonline.com/articles\\_on\\_total\\_productive\\_maintenance/reliaty.htm](http://www.tpmonline.com/articles_on_total_productive_maintenance/reliaty.htm)>.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. 2ª Ed. Medellín: AMG, 2007.

Reliability Glossary. [en línea]. [citado en 16 Agosto de 2001]. disponible en Internet  
<[http://www.weibull.com/knowledge/rel\\_glossary.htm](http://www.weibull.com/knowledge/rel_glossary.htm)>.

Reliability. [en línea]. Febrero 1998. [citado en 18 Julio de 2001]. disponible en Internet  
<[http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#\\_Toc404493933](http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#_Toc404493933)>.

RELIABILITY™ Magazine. [en línea]. Junio 2001. [citado en 17 Agosto de 2001]. disponible en Internet <<http://www.reliability-magazine.com>>.

The "Bath Curve". [en línea]. Febrero 1998. [citado en 18 Julio de 2001]. disponible en Internet  
<[http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#\\_Toc404493941](http://www.wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#_Toc404493941)>.

<http://www.amtce.com.mx/config>.

<http://www.mantenimiento/mundial>.

[www.mantencion.htm](http://www.mantencion.htm).

[www.mantenimientos.htm](http://www.mantenimientos.htm).

# **ANEXOS**

## Anexo A. Estudio de criticidad Remolcador Pappy.

### ESTUDIO DE CRITICIDAD POR LOS FACTORES PONDERADOS BASADO EN EL CONCEPTO DE RIESGO

Equipo: Remolcador Pappy  
 Marca: \_\_\_\_\_  
 Fecha: 18/04/2008



Frecuencia de Fallas	Opciones	Seleccionado
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	3
Promedio 1 - 2 fallas / año	3	
Buena 0.5 - 1 falla / año	2	
Excelente menos de 0.5 fallas / año	1	
<b>Impacto Operacional</b>		
Pérdida de todo el despacho	10	7
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusiones en otros sistemas	7	
Impactos en niveles de inventarios o calidad	4	
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	
<b>Flexibilidad Operacional</b>		
No existe opciones de producción y no hay función de repuesto	4	2
Hay opciones de repuestos compartidos/almacen	2	
Función de repuesto disponible	1	
<b>Costos de Mantenimiento</b>		
Costo de mantenimiento anual mayor o igual al 5% del costo del equipo	2	2
Costo de mantenimiento anual menor al 5% del costo del equipo	1	
<b>Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene (SAH)</b>		
Afecta la seguridad humana tanato interna como externa y requiere la notificación a entes externos de la organización.	8	8
Afecta el ambiente /instalaciones	7	
Afecta las instalaciones causando daños severos	5	
Provoca daños menores (ambiente-seguridad)	3	
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1	

Javier Blanco  
 Realizado por:

Roberto Carlos Orozco Majul  
 Revisado por:

Anexo B. Estudio de criticidad lancha Coralía.

ESTUDIO DE CRITICIDAD POR LOS FACTORES PONDERADOS BASADO EN EL CONCEPTO DE RIESGO

Equipo: Lancha  
 Marca: \_\_\_\_\_  
 Fecha: 18/04/2008



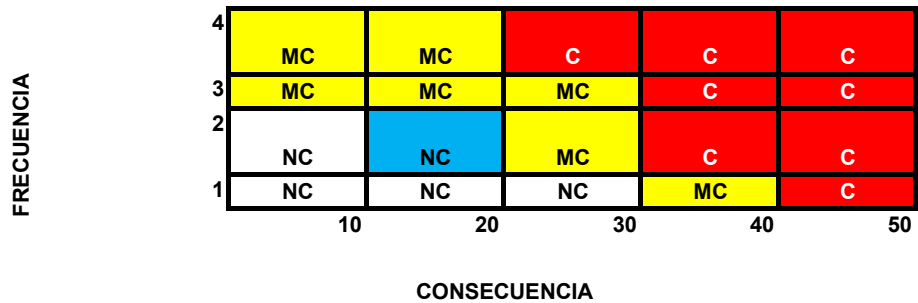
Frecuencia de Fallas	Opciones	Seleccionado
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	2
Promedio 1 - 2 fallas / año	3	
Buena 0.5 - 1 falla / año	2	
Excelente menos de 0.5 fallas / año	1	
<b>Impacto Operacional</b>		
Pérdida de todo el despacho	10	4
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusiones en otros sistemas	7	
Impactos en niveles de inventarios o calidad	4	
No genera ningun efecto significativo sobre operaciones y producción	1	
<b>Flexibilidad Operacional</b>		
No existe opciones de producción y no hay función de repuesto	4	1
Hay opciones de repuestos compartidos/almacen	2	
Función de repuesto disponible	1	
<b>Costos de Mantenimiento</b>		
Costo de mantenimiento anual mayor o igual al 5% del costo del equipo	2	1
Costo de mantenimiento anual menor al 5% del costo del equipo	1	
<b>Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene (SAH)</b>		
Afecta la seguridad humana tanato interna como externa y requiere la notificación a entes externos de la organización.	8	8
Afecta el ambiente /instalaciones	7	
Afecta las instalaciones causando daños severos	5	
Provoca daños menores (ambiente-seguridad)	3	
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1	

Javier Blanco  
 Realizado por:

Roberto Carlos Orozco Majul  
 Revisado por:

**TABLA DE APLICACIÓN DE CRITERIOS BAJO EL  
METODO DE FACTORES PONDERADOS BASADO EN  
EL CONCEPTO DEL RIESGO**

ITEM	CRITERIO	VALOR ESTIMADO
1	Frecuencia de fallas	2
2	Impacto Operacional	4
3	Flexibilidad	1
4	Costos de Mantenimiento	1
5	Impacto en SHA	8
<b>CONSECUENCIA</b>		<b>13</b>
<b>Criticidad Total</b>		<b>26</b>



Anexo C. Estudio de criticidad para las Moto soldadoras.

ESTUDIO DE CRITICIDAD POR LOS FACTORES PONDERADOS BASADO EN EL CONCEPTO DE RIESGO

Equipo: Motosoldadora  
 Marca: \_\_\_\_\_  
 Fecha: 18/04/2008



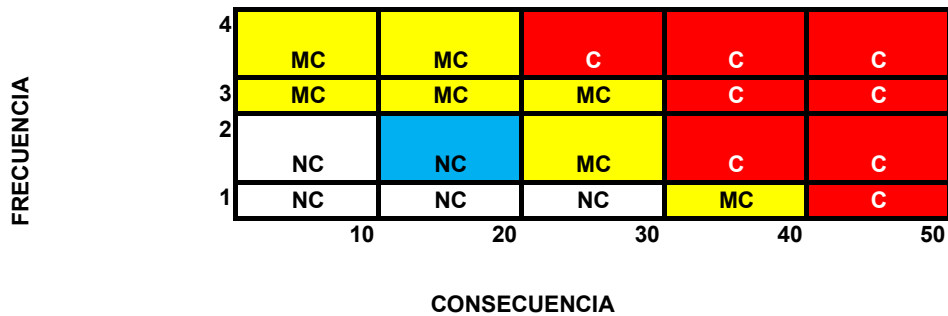
Frecuencia de Fallas	Opciones	Seleccionado
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	2
Promedio 1 - 2 fallas / año	3	
Buena 0.5 - 1 falla / año	2	
Excelente menos de 0.5 fallas / año	1	
<b>Impacto Operacional</b>		
Pérdida de todo el despacho	10	4
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusiones en otros sistemas	7	
Impactos en niveles de inventarios o calidad	4	
No genera ningun efecto significativo sobre operaciones y producción	1	
<b>Flexibilidad Operacional</b>		
No existe opciones de producción y no hay función de repuesto	4	1
Hay opciones de repuestos compartidos/almacen	2	
Función de repuesto disponible	1	
<b>Costos de Mantenimiento</b>		
Costo de mantenimiento anual mayor o igual al 5% del costo del equipo	2	1
Costo de mantenimiento anual menor al 5% del costo del equipo	1	
<b>Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene (SAH)</b>		
Afecta la seguridad humana tanato interna como externa y requiere la notificación a entes externos de la organización.	8	8
Afecta el ambiente /instalaciones	7	
Afecta las instalaciones causando daños severos	5	
Provoca daños menores (ambiente-seguridad)	3	
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1	

Javier Blanco  
 Realizado por:

Roberto Carlos Orozco Majul  
 Revisado por:

**TABLA DE APLICACIÓN DE CRITERIOS BAJO EL  
METODO DE FACTORES PONDERADOS BASADO EN  
EL CONCEPTO DEL RIESGO**

ITEM	CRITERIO	VALOR ESTIMADO
1	Frecuencia de fallas	2
2	Impacto Operacional	4
3	Flexibilidad	1
4	Costos de Mantenimiento	1
5	Impacto en SHA	8
<b>CONSECUENCIA</b>		<b>13</b>
<b>Criticidad Total</b>		<b>26</b>











Anexo H. Hoja de vida Remolcador Pappy.



REGISTRO HOJA DE VIDA DE EQUIPOS

<b>EQUIPO:</b>	R/R PAPPY	<b>COMPRADO A:</b>	East coast Marine
<b>MARCA:</b>	Detroit Diesel	<b>FECHA DE ADQUISICION:</b>	15/01/2007
<b>MODELO:</b>	12V 71	<b>COMPANIA DE SEGUROS:</b>	
<b>SERIE:</b>	12VA-72846; 12VA-72620	<b>No. POLIZA:</b>	
<b>No.MOTOR</b>	7128-7300	<b>DESDE:</b>	<b>HASTA:</b>
<b>PLACA:</b>	Registro matricula MC-03-0110	<b>TEL:</b>	
<b>Eslora total:</b>	18,92 Metros	<b>Franco bordo:</b>	<b>Puntal util:</b>
<b>Manga maxima:</b>	5,48 Metros	<b>Calado vacio:</b>	<b>Desplazamiento util:</b> 21 nudos
<b>Puntal costado:</b>	2,80 Metros	<b>Potencia total:</b>	1000 HP

Consumibles	
Filtro de combustible propulsor	3539 y P829231
Filtro de aceite propulsor	P551670
filtro Aceite del generador	1806
Filtro combustible generador	3547
Filtro combustible sistema	L624F
Correa generador	1752-13AV1320
Tipo de aceite	SAE 15W-40 (ACPM)

Característica	
Maxima velocidad de operación:	18 Nudos
Consumo de combustible:	50gph
Cap. llenado aceite Motor:	
Capacidad tk combustible:	1100 galones
capacidad del generador	30KW
Capacidad de agua potable	150 galones



MANTENIMIENTO

Cada trabajo / mensual	Cada 250 horas / Cada 2 meses	Cada 1,000 horas o Anual
Chequear lubricación de motores	Revisar el nivel de liquido y estado de terminales de la bateria	Limpiar intercambiador
Chequear refrigerante y filtros	Chequear presión del compresores de aire	Chequear o Ajustar tornillería
Drenar el fitro y tk de combustible	Chequear fugas de aire, aceite o combustible	Engrasar bisagras
Chequear nivel de combustible	Chequear alternador	Engrasar guayas y poleas
Chequear bomba de agua	Chequear correas	Chequear switches o interductores
Chequear toma fuerza	Chequear mangueras	Limpiar tanque de combustible
Chequear indicadores	Pintar partes afectadas de la estructura	Cambiar filtro de aire
Chequear y limpiar sentinas	Chequear y limpiar sentinas	Cambiar filtro de combustible
Diligenciar lista de chequeo	Chequear sistema electrico	Chequear fugas de aire, aceite o combustible
Verificar punto de corrosión	Chequear o Ajustar tornillería	Revisar el nivel de liquido y estado de terminales de la bateria
Pintar partes afectadas	Engrasar bisagras	Limpieza de las sentinas
	Engrasar guayas y poleas	Revisar comunicaciones
	Limpiar tanque de combustible	Revisar luces
	Cambiar aceite del motor	Diligenciar lista de chequeo
	Cambiar filtro de aceite motor	
	Cambiar filtro de combustible	
	Chequear sistema hidraulico	
	Limpieza aire acondicionado	

Anexo I. Hoja de vida Retroexcavadora.



HOJA DE VIDA DE EQUIPOS

<b>EQUIPO:</b>	RETROEXCAVADORA 320 L	<b>COMPRADO A:</b>	AGROCOSTA
<b>MARCA:</b>	CATARPILAR	<b>FECHA DE ADQUISICION:</b>	15/03/2006
<b>MODELO:</b>	1993	<b>COMPANIA DE SEGUROS:</b>	
<b>SERIE:</b>	3XK00802	<b>No. POLIZA:</b>	
<b>No. MOTOR</b>	3116	<b>DESDE:</b>	<b>HASTA:</b>
<b>PESO NETO:</b>	46,300 LB.	<b>TEL:</b>	
<b>RETRO DE ORUGA</b>			

Consumibles	
Filtro de combustible	P551315 (1R0751) y TR0753 (A888)
Filtro de aceite motor	P554004 (A67)
Filtro de aceite hidraulico	P170480 (B78333)
Aceite	Mobil Delvac MX 15W 40
Filtro de aire motor	P181080 (AZ2548)



Características	
<b>Potencia del motor:</b>	138hp
<b>Combustible:</b>	A. C. P. M.
<b>Fuerza de excavación:</b>	18,900 lb
<b>Mando de rotación</b>	2,1 gal.
<b>Cantidad de combustible</b>	106 gal.
<b>Cantidad de aceite motor</b>	7,9 gal.
<b>Mandos finales (cada uno)</b>	2,6 gal.
<b>Sistema y Tanque hidraulico</b>	53 gal.

**MANTENIMIENTO**

Cada trabajo / mensual	Cada 250 horas o 3 meses	Cada 1000 horas / 1 año
Chequear nivel de refrigerante	Inspeccionar y ajustar alternador y correas	Inspeccionar y ajustar valvulas
Chequear encendido del motor	Chequiar nivel de liquido en la bateria	Cambiar aceite de mandos finales
Chequear el estado de los indicadores	Limpieza del radiador	Ajustar inyección de combustible
Chequear nivel de aceite	Cambiar aceite del motor y filtros	Cambiar agua refrigerante
Drenar el filtro separador de agua	Cambiar filtros de combustibles	Inspeccionar el motor de arranque
Realizar una inspección general	Inspeccionar mangueras	Inspeccionar bomba de agua
Cerciorarse que no haya fugas	Chequear nivel de mandos finales y de rotación	
Engrasar articulaciones	cambiar aceite mando de rotación	

## Anexo J. Hoja de vida Camioneta.



### REGISTRO HOJA DE VIDA DE EQUIPOS

<b>EQUIPO:</b>	CAMIONETA	<b>COMPRADO A:</b>	NISSAN
<b>MARCA:</b>	NISSAN	<b>FECHA DE ADQUISICION:</b>	04/06/2008
<b>MODELO:</b>	D 21	<b>COMPANIA DE SEGUROS:</b>	LIBERTY DE SEGURO
<b>No CHASIS:</b>	3N6DD13S0ZK864932	<b>No. POLIZA:</b>	
<b>No. MOTOR</b>	KA24387250A	<b>DESDE:</b>	<b>HASTA:</b>
<b>PLACA:</b>	GNO 717	<b>PESO:</b>	

Consumibles	
Filtro de combustible	
Filtro de aceite motor	
Filtro de aceite caja	
Aceite del motor	
Filtro de aceite hidraulico	
Filtro de aire motor	



Características	
<b>Código</b>	KA24E
<b>Tipo</b>	4 Cilindros en línea - SOHC
<b>Cilindrada (c.c.)</b>	2390
<b>Diámetro por carrera (mm. x mm.)</b>	89.0 x 96.0
<b>Potencia máx. (sin plomo)</b>	134 / 5200
<b>Torque máx. (sin plomo)</b>	21.3 / 3600
<b>Relación de compresión</b>	8.6 : 1
<b>Combustible</b>	Control de Inyección Electrónica de

### MANTENIMIENTO

Cada 5,000 KMS / 3meses	Cada 20,000 KMS o 12 meses	Cada 48,000 KMS / 48 meses
Cambiar aceite del motor	Revisar sistema de enfriamiento	Revisar sistema de enfriamiento
Cambiar filtro de aceite al motor	Limpiar filtro purificador de aire	Revisar bandas impulsadoras
Revisar las pastillas de frenos, los rotores y demas componentes de freno	Cambiar aceite del motor	Cambiar agua de refrigeración del motor
Revisar la grasa del cubo de rueda libre	Cambiar filtro del motor	Revisar las líneas del combustible
Limpiar filtro purificador de aire	Cambiar filtro de combustible	Revisar el precalentador del sensor de oxígeno
Revisar bujias de encendido	Ajustar las olguras de las valvulas	Revisar los cables de encendido
Revisar rpm en marcha minima	Revisar el sistema de ventilación positiva	Cambiar el filtro purificador de aire
Revisar liquido de freno y embrague	Cambiar las bujias	Cambiar el aceite del motor
Revisar el aceite del mecanismo de dirección manual	Revisar las rpm de marcha minima	Cambiar filtro de aceite del motor
Revisar el aceite de la transmisión.	Revisar el nivel y fugas del liquido de frenos	Ajustar las olguras de las valvulas
Revisar freno de mano	Revisar el aceite del mecanismo de la dirección hidraulica.	Revisar las rpm de marcha minima
Cada 5,000 KMS / 3meses	Cada 20,000 KMS o 12 meses	Cada 48,000 KMS / 48 meses
Revisar sistema de enfriamiento	Revisar alineaciones de las ruedas	Revisar el sistema de control de la EGR
Cambiar filtro de combustible	Lubricar las cerraduras, las bisagras y el cerrojo del cofre	Revisar las líneas de vapor EVAP
	Cambiar liquido de frenos	Revisar el sistema de ventilación positiva
	Revisar la caja y el varillaje de dirección, las partes del eje y de la suspensión, las flechas propulsoras y flechas de velocidad constante.	Cambiar el filtro de la PCV
	Revisar el aceite del engranaje del diferencial.	Cambiar las bujias
		Cambiar liquido de frenos
		Cambiar el liquido de freno
		Inspeccionar las mangueras de vacío del servofreno las conexiones y las valvulas de retención.
		Revisar el aceite del mecanismo de la dirección hidraulica.
		Revisar sistema de freno
		Cambiar aceite de l transmisión
		Revisar alineación de ruedas
		Revisar pastillas de frenos
		Lubricar las cerraduras, las bisagras y el cerrojo del cofre
		Apretar los soportes de la carroceria

Anexo K. Hoja de vida Lancha Coralia.



REGISTRO HOJA DE VIDA DE EQUIPOS

<b>EQUIPO:</b>	LANCHA CORALIA	<b>COMPRADO A:</b>	Tomomar C.H.L. Marina S.A
<b>MARCA:</b>	YAMAHA	<b>FECHA DE ADQUISICION:</b>	
<b>MODELO:</b>	MOTOR F/B 115	<b>Motors comprado a:</b>	Eduardoño
<b>SERIE:</b>	1067341J	<b>No. POLIZA:</b>	
<b>No.MOTOR</b>		<b>DESDE:</b>	<b>HASTA:</b>
<b>PLACA:</b>	N/A	<b>TEL:</b>	
<b>Tipo de Motor</b>	Cuatro Tiempo	<b>Proporcion gasolina aceite</b>	
<b>Numero de cilindros :</b>	cuatro	<b>Capacida de aceite de engranaje:</b>	610ml
<b>Calibre y carrera</b>	79.0 x 71.0 mm.		
<b>Desplamiento de piston</b>	696 cm2		
<b>Salida maxima</b>	29.4 kw		


Consumibles	
Filtro de combustible	
Filtro de aceite motor	
Aceite del motor	
Filtro de aire compresor	
Filtro de aire motor	
Filtro separador de condensado	
Filtro unidad condensadora	

Característica	
Maxima presión del compresor:	
Maxima velocidad de operación:	
Minima velocidad de operación	
Consumo de combustible motor:	
Cap. llenado aceite Motor:	
Capacidad tk combustible:	

MANTENIMIENTO

Cada 100 horas / 6 Meses	Cada 200 horas / 1 año	Cada 500 horas o 2,5 años
Inspeccionar anodos	Inpeccionar anodos	Inspeccionar anodos
Revisar baterias	Revisar bateria	Revisar baterias
Limpiar conducto de refrigeración	Limpiar conducto de refrigeración	Limpieza conducto de refrigeración
Inspeccionar o cambiar aceite de transmisión	Cambiar filtro de combustible	Cambio filtro de combustible
Revisar o cambiar filtro de combustible	Cambiar aceite de transmisión	Cambiar aceite de transmisión
Revisar el sistema de combustible	Limpiar tanque de combustible	Engrasar articulaciones
Engrasar las articulaciones	Engrasar articulaciones	Limpieza general del motor
Revisar propela	Inspeccionar motor	Limpieza del tanque de combustible
limpieza de bujias	Inspeccionar propela	Revisar propela
Lavado general	Inspeccionar fusibles	Revisar y limpiar bujias
Prender y refrigerar con agua dulce	Cambio de bujias	Inspeccionar y ajustar valvulas
Registrar horometro	Inspeccionar bomba de agua	
Lavado general	Lavado general	Lavado general
Revisar baterias	Revisar baterias	Revisar baterias
Revisar luces	Revisar luces	Revisar luces
Revisar bomba de achique	Revisar bomba de achique	Revisar bomba de achique
Revisar guaya del timon	Revisar guaya del timon	Revisar guaya del timon
Revisar casco	Revisar casco	Revisar casco
Pintar partes afectadas	Pintar partes afectadas	Pintar partes afectadas
Revisar Verduguillo	Revisar Verduguillo	Revisar Verduguillo

Anexo L. Formato de orden de trabajo.

BUZCA S.A.		
<b>Informe:</b>	<b>Mantenimiento de equipo</b>	
Fecha:	28/10/2008	

<b>Datos equipo:</b>			
» <u>Núm. interno:</u>	200619	» <u>Descripción:</u>	BAUER JUNIOR
» <u>Nombre:</u>	COMPRESOR	» <u>Fabricante:</u>	BAUER

<b>Datos mantenimiento:</b>			
» <u>Número:</u>	30	» <u>Fecha inicio:</u>	23/10/2008
		» <u>Fecha alta prevista:</u>	23/10/2008
» <u>Mantenimiento:</u>	Correctivo		
» <u>Tipo:</u>	Externo	» <u>Personal:</u>	Ayudante tecnico
» <u>Proveedor:</u>		» <u>Responsable:</u>	JAMER BLANCO
» <u>Tiempo total de Mto:</u>	3 €	» <u>Kilometros:</u>	
» <u>Trabajos:</u>	El equipo no presenta funcionamiento del compresor, por favor revisar y reparar.		
» <u>Observaciones:</u>			

Fdo. Responsable Alta:

Fin del mantenimiento:

23/10/2008

VB. Responsable Mantenimiento:

VB. Responsable Almacén:

## Anexo M. Estudio de Confiabilidad y Mantenibilidad de los equipos.

RETROEXCAVADORA 320L															
CONFIABILIDAD															
No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	F(t)=(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	232	200	10,00%	-2,25	5,30	-11,92	28,07	-2,34	0,09	0,01	-0,142	0,020	-1,760	3,098	0,250
2	235	232	20,00%	-1,50	5,45	-8,17	29,67	-0,41	-1,09	1,20	0,006	0,000	-1,010	1,020	-0,007
3	235	235	30,00%	-1,03	5,46	-5,63	29,81	-0,24	-0,79	0,63	0,019	0,000	-0,541	0,292	-0,010
4	235	235	40,00%	-0,67	5,46	-3,67	29,81	-0,24	-0,43	0,19	0,019	0,000	-0,182	0,033	-0,004
5	235	235	50,00%	-0,37	5,46	-2,00	29,81	-0,24	-0,13	0,02	0,019	0,000	0,124	0,015	0,002
6	235	235	60,00%	-0,09	5,46	-0,48	29,81	-0,24	0,15	0,02	0,019	0,000	0,403	0,162	0,008
7	235	235	70,00%	0,19	5,46	1,01	29,81	-0,24	0,42	0,18	0,019	0,000	0,676	0,457	0,013
8	230	235	80,00%	0,48	5,46	2,60	29,81	-0,24	0,71	0,51	0,019	0,000	0,966	0,933	0,019
9	235	235	90,00%	0,83	5,46	4,55	29,81	-0,24	1,07	1,15	0,019	0,000	1,324	1,753	0,026
Media			50,00%												
Suma						-23,70	266,39	-4,41	0,00	3,90	0,00	0,02	0,00	7,76	0,30
Y media	-0,490														
X media	5,440														
Pendiente b	13,0171	Escala η													239,34
Intercepto a	-71,3060	Forma β													13,0171
		MTBF													230,035
Ajuste	0,00														
Se	0,5955 Error estandar del estimado o variación o error típico														
r^2	0,4977 Coeficiente de determinación muestral														
r	0,7055 Coeficiente de correlación multiple														

MANTENIBILIDAD															
No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	M(t)=(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	8	5	10,00%	-2,25	1,61	-3,62	2,59	-0,81	-1,45	2,09	-0,335	0,113	-1,760	3,098	0,581
2	5	5	20,00%	-1,50	1,61	-2,41	2,59	-0,81	-0,69	0,48	-0,335	0,113	-1,010	1,020	0,339
3	5	5	30,00%	-1,03	1,61	-1,86	2,59	-0,81	-0,23	0,05	-0,335	0,113	-0,541	0,292	0,181
4	5	5	40,00%	-0,67	1,61	-1,08	2,59	-0,81	0,13	0,02	-0,335	0,113	-0,182	0,033	0,061
5	5	5	50,00%	-0,37	1,61	-0,59	2,59	-0,81	0,44	0,19	-0,335	0,113	0,124	0,015	-0,041
6	5	5	60,00%	-0,09	1,61	-0,14	2,59	-0,81	0,72	0,52	-0,335	0,113	0,403	0,162	-0,135
7	8	8	70,00%	0,19	2,08	0,39	4,32	-0,36	0,55	0,30	0,135	0,018	0,676	0,457	0,091
8	40	8	80,00%	0,48	2,08	0,99	4,32	-0,36	0,84	0,71	0,135	0,018	0,966	0,933	0,130
9	5	40	90,00%	0,83	3,69	3,08	13,61	1,15	-0,31	0,10	1,744	3,041	1,324	1,753	2,309
Media			50,00%												
Suma						-5,05	37,80	-4,41	0,00	4,45	0,00	3,75	0,00	7,76	3,53
Y media	-0,490														
X media	1,945														
Pendiente b	0,9393	Escala η													11,78
Intercepto a	-2,3171	Forma β													0,939
		MTTR													12,13
Ajuste	0,00														
Se	0,6362 Error estandar del estimado o variación o error típico														
r^2	0,4265 Coeficiente de determinación muestral														
r	0,6531 Coeficiente de correlación multiple														

**PLANTA ELECTRICA**

**CONFIABILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallos en horas	Datos de operación sin fallos odenados de menor a mayor	F(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	208	200	9.09%	-2.35	5.30	-12.45	28.07	-2.16	-0.19	0.04	-0.114	0.013	-1.855	3.443	0.212
2	208	208	18.18%	-1.61	5.34	-8.57	28.49	-1.59	-0.02	0.00	-0.075	0.006	-1.111	1.234	0.083
3	200	208	27.27%	-1.14	5.34	-6.11	28.49	-1.59	0.44	0.20	-0.075	0.006	-0.649	0.421	0.049
4	232	231	36.36%	-0.79	5.44	-4.32	29.62	-0.06	-0.73	0.54	0.030	0.001	-0.299	0.089	-0.009
5	232	232	45.45%	-0.50	5.45	-2.73	29.67	0.00	-0.50	0.25	0.034	0.001	-0.005	0.000	0.000
6	232	232	54.55%	-0.24	5.45	-1.29	29.67	0.00	-0.24	0.06	0.034	0.001	0.258	0.066	0.009
7	236	232	63.64%	0.01	5.45	0.06	29.67	0.00	0.01	0.00	0.034	0.001	0.507	0.257	0.017
8	235	232	72.73%	0.26	5.45	1.43	29.67	0.00	0.26	0.07	0.034	0.001	0.757	0.573	0.026
9	231	235	81.82%	0.53	5.46	2.91	29.81	0.19	0.34	0.12	0.047	0.002	1.029	1.058	0.048
10	232	236	90.91%	0.87	5.46	4.78	29.85	0.25	0.62	0.39	0.051	0.003	1.370	1.876	0.070
Media			50.00%												
Suma						-26.30	293.00	-4.95	0.00	1.66	0.00	0.03	0.00	9.02	0.51

Y media -0.495  
X media 5.413

Pendiente b 14.5624  
Intercepto a -79.3158

Escala n	231.97
Forma β	14.5624
MTBF	223.797

Ajuste 0.00  
Se 0.3881 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0.8163 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.9035 Coeficiente de correlación multiple

**MANTENIBILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallos en horas	Datos de operación sin fallos odenados de menor a mayor	M(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	32	4	9.09%	-2.35	1.39	-3.26	1.92	-1.61	-0.74	0.55	-1.027	1.054	-1.855	3.443	1.905
2	32	5	18.18%	-1.61	1.61	-2.58	2.59	-1.37	-0.24	0.06	-0.804	0.646	-1.111	1.234	0.893
3	40	8	27.27%	-1.14	2.08	-2.38	4.32	-0.86	-0.29	0.08	-0.334	0.111	-0.649	0.421	0.217
4	8	8	36.36%	-0.79	2.08	-1.65	4.32	-0.86	0.06	0.00	-0.334	0.111	-0.299	0.089	0.100
5	8	8	45.45%	-0.50	2.08	-1.04	4.32	-0.86	0.36	0.13	-0.334	0.111	-0.005	0.000	0.002
6	8	8	54.55%	-0.24	2.08	-0.49	4.32	-0.86	0.62	0.38	-0.334	0.111	0.258	0.066	-0.086
7	4	9	63.64%	0.01	2.20	0.03	4.83	-0.73	0.74	0.55	-0.216	0.047	0.507	0.257	-0.109
8	5	32	72.73%	0.26	3.47	0.91	12.01	0.65	-0.38	0.15	1.053	1.108	0.757	0.573	0.797
9	9	32	81.82%	0.53	3.47	1.85	12.01	0.65	-0.11	0.01	1.053	1.108	1.029	1.058	1.083
10	8	40	90.91%	0.87	3.69	3.23	13.61	0.89	-0.01	0.00	1.276	1.628	1.370	1.876	1.748
Media			50.00%												
Suma						-5.40	64.27	-4.95	0.00	1.91	0.00	6.04	0.00	9.02	6.55

Y media -0.495  
X media 2.413

Pendiente b 1.0848  
Intercepto a -3.1130

Escala n	17.63
Forma β	1.085
MTTR	17.09

Ajuste 0.00  
Se 0.4172 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0.7877 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.8875 Coeficiente de correlación multiple

**COMPRESOR BAUER**

**CONFIABILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	F(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	232	225	10,00%	-2,25	5,42	-12,19	29,33	-2,41	0,16	0,02	-0,025	0,001	-1,760	3,098	0,044
2	230	230	20,00%	-1,50	5,44	-8,16	29,57	-0,71	-0,79	0,63	-0,003	0,000	-1,010	1,020	0,003
3	230	230	30,00%	-1,03	5,44	-5,61	29,57	-0,71	-0,32	0,10	-0,003	0,000	-0,541	0,292	0,002
4	225	230	40,00%	-0,67	5,44	-3,65	29,57	-0,71	0,04	0,00	-0,003	0,000	-0,182	0,333	0,001
5	232	230	50,00%	-0,37	5,44	-1,99	29,57	-0,71	0,34	0,12	-0,003	0,000	0,124	0,015	0,000
6	230	232	60,00%	-0,09	5,45	-0,48	29,67	-0,04	-0,05	0,00	0,006	0,000	0,403	0,162	0,002
7	235	232	70,00%	0,19	5,45	1,01	29,67	-0,04	0,23	0,05	0,006	0,000	0,676	0,457	0,004
8	232	232	80,00%	0,48	5,45	2,59	29,67	-0,04	0,52	0,27	0,006	0,000	0,966	0,933	0,006
9	230	235	90,00%	0,83	5,46	4,55	29,81	0,95	-0,12	0,01	0,019	0,000	1,324	1,753	0,025
Media			50,00%												
Suma						-23,92	266,43	-4,41	0,00	1,21	0,00	0,00	0,00	7,76	0,08

Y media -0,490  
X media 5,441

Pendiente b 77,2776  
Intercepto a -420,9508

Escala η	232,12
Forma β	77,2776
MTBF	230,424

Ajuste 0,00  
Se 0,3311 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0,8447 Coeficiente de determinación muestral  
r 0,9191 Coeficiente de correlación múltiple

**MANTENIBILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	M(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	8	5	10,00%	-2,25	1,61	-3,62	2,59	-2,31	0,06	0,00	-0,587	0,344	-1,760	3,098	1,033
2	10	8	20,00%	-1,50	2,08	-3,12	4,32	-0,85	-0,65	0,42	-0,117	0,014	-1,010	1,020	0,118
3	10	8	30,00%	-1,03	2,08	-2,14	4,32	-0,85	-0,18	0,03	-0,117	0,014	-0,541	0,292	0,063
4	15	8	40,00%	-0,67	2,08	-1,40	4,32	-0,85	0,18	0,03	-0,117	0,014	-0,182	0,333	0,021
5	8	10	50,00%	-0,37	2,30	-0,84	5,30	-0,16	-0,21	0,04	0,106	0,011	0,124	0,015	0,013
6	10	10	60,00%	-0,09	2,30	-0,20	5,30	-0,16	0,07	0,01	0,106	0,011	0,403	0,162	0,043
7	5	10	70,00%	0,19	2,30	0,43	5,30	-0,16	0,35	0,12	0,106	0,011	0,676	0,457	0,072
8	10	10	80,00%	0,48	2,30	1,10	5,30	-0,16	0,64	0,41	0,106	0,011	0,966	0,933	0,103
9	8	15	90,00%	0,83	2,71	2,26	7,33	1,09	-0,26	0,07	0,512	0,262	1,324	1,753	0,678
Media			50,00%												
Suma						-7,54	44,10	-4,41	0,00	1,13	0,00	0,69	0,00	7,76	2,14

Y media -0,490  
X media 2,196

Pendiente b 3,0956  
Intercepto a -7,2887

Escala η	10,53
Forma β	3,096
MTTR	9,42

Ajuste 0,00  
Se 0,3204 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0,8546 Coeficiente de determinación muestral  
r 0,9244 Coeficiente de correlación múltiple

**COMPLEJO HIPERBARICO**

**CONFIABILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	F(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	235	232	16,67%	-1,70	5,45	-9,27	29,67	-1,24	-0,46	0,21	-0,009	0,000	-1,243	1,546	0,011
2	237	232	33,33%	-0,90	5,45	-4,92	29,67	-1,24	0,34	0,12	-0,009	0,000	-0,444	0,197	0,004
3	234	234	50,00%	-0,37	5,46	-2,00	29,76	-0,46	0,09	0,01	0,000	0,000	0,092	0,009	0,000
4	232	235	66,67%	0,09	5,46	0,51	29,81	-0,06	0,16	0,02	0,004	0,000	0,553	0,306	0,002
5	232	237	83,33%	0,58	5,47	3,19	29,90	0,71	-0,13	0,02	0,013	0,000	1,042	1,086	0,013
Media			50,00%												
Suma						-12,48	148,80	-2,29	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	3,14	0,03

Y media -0,459  
X media 5,455

Pendiente b 91,8581  
Intercepto a -501,5712

Escala η	235,16
Forma β	91,8581
MTBF	233,713

Ajuste 0,00  
Se 0,1850 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0,8802 Coeficiente de determinación muestral  
r 0,9382 Coeficiente de correlación múltiple

**MANTENIBILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	M(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	5	3	16,67%	-1,70	1,10	-1,87	1,21	-1,80	0,10	0,01	-0,633	0,401	-1,243	1,546	0,787
2	3	5	33,33%	-0,90	1,61	-1,45	2,59	-0,72	-0,18	0,03	-0,122	0,015	-0,444	0,197	0,054
3	6	6	50,00%	-0,37	1,79	-0,66	3,21	-0,33	-0,03	0,00	0,060	0,004	0,092	0,009	0,006
4	8	8	66,67%	0,09	2,08	0,20	4,32	0,28	-0,18	0,03	0,348	0,121	0,553	0,306	0,192
5	8	8	83,33%	0,58	2,08	1,21	4,32	0,28	0,31	0,09	0,348	0,121	1,042	1,086	0,362
Media			50,00%												
Suma						-2,57	15,66	-2,29	0,00	0,17	0,00	0,66	0,00	3,14	1,40

Y media -0,459  
X media 1,732

Pendiente b 2,1196  
Intercepto a -4,1293

Escala η	7,02
Forma β	2,120
MTTR	6,21

Ajuste 0,00  
Se 0,1251 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0,9453 Coeficiente de determinación muestral  
r 0,9722 Coeficiente de correlación múltiple

**CAMIONETA 380**

**CONFIABILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	F(t)=(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	220	208	10.00%	-2.25	5.34	-12.01	28.49	-1.63	-0.63	0.39	-0.074	0.005	-1.760	3.098	0.130
2	234	208	20.00%	-1.50	5.34	-8.01	28.49	-1.63	0.13	0.02	-0.074	0.005	-1.010	1.020	0.074
3	235	208	30.00%	-1.03	5.34	-5.50	28.49	-1.63	0.59	0.35	-0.074	0.005	-0.541	0.292	0.040
4	235	231	40.00%	-0.67	5.44	-3.66	29.62	-0.01	-0.66	0.44	0.031	0.001	-0.182	0.033	-0.006
5	232	232	50.00%	-0.37	5.45	-2.00	29.67	0.06	-0.42	0.18	0.035	0.001	0.124	0.015	0.004
6	236	232	60.00%	-0.09	5.45	-0.48	29.67	0.06	-0.14	0.02	0.035	0.001	0.403	0.162	0.014
7	236	232	70.00%	0.19	5.45	1.01	29.67	0.06	0.13	0.02	0.035	0.001	0.676	0.457	0.024
8	236	232	80.00%	0.48	5.45	2.59	29.67	0.06	0.42	0.18	0.035	0.001	0.966	0.933	0.034
9	237	235	90.00%	0.83	5.46	4.55	29.81	0.25	0.58	0.34	0.048	0.002	1.324	1.753	0.064
Media			50.00%												
Suma						-23.49	263.56	-4.41	0.00	1.93	0.00	0.02	0.00	7.76	0.38

Y media -0.490  
X media 5.411

Escala η	231.16
Forma β	15.3916
MTBF	223.407

Pendiente b 15.3916  
Intercepto a -83.7784

Ajuste 0.00  
Se 0.4184 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0.7520 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.8672 Coeficiente de correlación muestral

**MANTENIBILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	M(t)=(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	20	4	10.00%	-2.25	1.39	-3.12	1.92	-1.53	-0.72	0.52	-0.885	0.783	-1.760	3.098	1.558
2	6	5	20.00%	-1.50	1.61	-2.41	2.59	-1.27	-0.23	0.06	-0.862	0.438	-1.010	1.020	0.668
3	5	8	30.00%	-1.03	2.08	-2.14	4.32	-0.71	-0.32	0.10	-0.192	0.037	-0.541	0.292	0.104
4	8	8	40.00%	-0.67	2.08	-1.40	4.32	-0.71	0.04	0.00	-0.192	0.037	-0.182	0.033	0.035
5	8	8	50.00%	-0.37	2.08	-0.76	4.32	-0.71	0.35	0.12	-0.192	0.037	0.124	0.015	-0.024
6	4	8	60.00%	-0.09	2.08	-0.18	4.32	-0.71	0.63	0.39	-0.192	0.037	0.403	0.162	-0.077
7	4	9	70.00%	0.19	2.20	0.41	4.83	-0.58	0.76	0.58	-0.074	0.005	0.676	0.457	-0.050
8	4	32	80.00%	0.48	3.47	1.65	12.01	0.91	-0.43	0.19	1.194	1.427	0.966	0.933	1.154
9	3	32	90.00%	0.83	3.47	2.89	12.01	0.91	-0.07	0.01	1.194	1.427	1.324	1.753	1.582
Media			50.00%												
Suma						-5.07	50.66	-4.41	0.00	1.97	0.00	4.23	0.00	7.76	4.95

Y media -0.490  
X media 2.271

Escala η	14.73
Forma β	1.171
MTTR	13.95

Pendiente b 1.1708  
Intercepto a -3.1493

Ajuste 0.00  
Se 0.4232 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0.7463 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.8639 Coeficiente de correlación muestral

**MOTO BOMBA RUGERINI**

**CONFIABILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	F(t)=(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	232	232	9.09%	-2.35	5.45	-12.80	29.67	-2.65	0.30	0.09	-0.016	0.000	-1.855	3.443	0.029
2	237	235	18.18%	-1.61	5.46	-8.77	29.81	-0.90	-0.71	0.50	-0.003	0.000	-1.111	1.234	0.003
3	237	235	27.27%	-1.14	5.46	-6.25	29.81	-0.90	-0.25	0.06	-0.003	0.000	-0.649	0.421	0.002
4	238	235	36.36%	-0.79	5.46	-4.34	29.81	-0.90	0.10	0.01	-0.003	0.000	-0.299	0.089	0.001
5	236	236	45.45%	-0.50	5.46	-2.74	29.85	-0.32	-0.18	0.03	0.001	0.000	-0.005	0.000	0.000
6	236	238	54.55%	-0.24	5.46	-1.30	29.85	-0.32	0.08	0.01	0.001	0.000	0.258	0.066	0.000
7	236	236	63.64%	0.01	5.46	0.06	29.85	-0.32	0.33	0.11	0.001	0.000	0.507	0.257	0.001
8	235	237	72.73%	0.26	5.47	1.43	29.90	0.26	0.00	0.00	0.006	0.000	0.757	0.573	0.004
9	235	237	81.82%	0.53	5.47	2.92	29.90	0.26	0.28	0.08	0.006	0.000	1.029	1.058	0.006
10	235	238	90.91%	0.87	5.47	4.79	29.95	0.83	0.04	0.00	0.010	0.000	1.370	1.876	0.013
Media			50.00%												
Suma						-26.59	298.39	-4.95	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	9.02	0.06

Y media -0.495  
X media 5.463

Escala η	236.55
Forma β	136.4565
MTBF	235.563

Pendiente b 136.4565  
Intercepto a -745.8939

Ajuste 0.00  
Se 0.2843 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0.9014 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.9494 Coeficiente de correlación muestral

**MANTENIBILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas odenados de menor a mayor	M(t)=(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	8	2	9.09%	-2.35	0.89	-1.63	0.48	-2.29	-0.06	0.00	-0.703	0.494	-1.855	3.443	1.304
2	3	3	18.18%	-1.61	1.10	-1.76	1.21	-1.25	-0.35	0.12	-0.297	0.088	-1.111	1.234	0.330
3	3	3	27.27%	-1.14	1.10	-1.26	1.21	-1.25	0.11	0.01	-0.297	0.088	-0.649	0.421	0.193
4	2	4	36.36%	-0.79	1.39	-1.10	1.92	-0.52	-0.27	0.08	-0.009	0.000	-0.299	0.089	0.003
5	4	4	45.45%	-0.50	1.39	-0.69	1.92	-0.52	0.02	0.00	-0.009	0.000	-0.005	0.000	0.000
6	4	4	54.55%	-0.24	1.39	-0.33	1.92	-0.52	0.28	0.08	-0.009	0.000	0.258	0.066	-0.002
7	4	5	63.64%	0.01	1.61	0.02	2.59	0.05	-0.04	0.00	0.214	0.046	0.507	0.257	0.108
8	5	5	72.73%	0.26	1.61	0.42	2.59	0.05	0.21	0.04	0.214	0.046	0.757	0.573	0.162
9	5	5	81.82%	0.53	1.61	0.86	2.59	0.05	0.48	0.23	0.214	0.046	1.029	1.058	0.220
10	5	8	90.91%	0.87	2.08	1.62	4.32	1.25	-0.37	0.14	0.684	0.468	1.370	1.876	0.937
Media			50.00%												
Suma						-3.66	20.75	-4.95	0.00	0.72	0.00	1.27	0.00	9.02	3.25

Y media -0.495  
X media 1.396

Escala η	4.90
Forma β	2.552
MTTR	4.35

Pendiente b 2.5518  
Intercepto a -4.0568

Ajuste 0.00  
Se 0.2551 Error estandar del estimado o variación o error típico  
r^2 0.9206 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.9595 Coeficiente de correlación muestral

LANCHA CORALIA															
CONFIABILIDAD															
No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	F(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	234	234	9.09%	-2.35	5.46	-12.82	29.76	-1.73	-0.62	0.38	-0.006	0.000	-1.855	3.443	0.011
2	237	235	18.18%	-1.61	5.46	-8.77	29.81	-0.85	-0.78	0.58	-0.002	0.000	-1.111	1.234	0.002
3	237	235	27.27%	-1.14	5.46	-6.25	29.81	-0.85	-0.30	0.09	-0.002	0.000	-0.649	0.421	0.001
4	236	235	36.36%	-0.79	5.46	-4.34	29.81	-0.85	0.05	0.00	-0.002	0.000	-0.299	0.089	0.001
5	235	235	45.45%	-0.50	5.46	-2.73	29.81	-0.85	0.35	0.12	-0.002	0.000	-0.005	0.000	0.000
6	235	235	54.55%	-0.24	5.46	-1.30	29.81	-0.85	0.61	0.37	-0.002	0.000	0.258	0.066	0.000
7	235	235	63.64%	0.01	5.46	0.06	29.81	-0.85	0.86	0.74	-0.002	0.000	0.507	0.257	-0.001
8	235	236	72.73%	0.26	5.46	1.43	29.85	0.04	0.23	0.05	0.003	0.000	0.757	0.573	0.002
9	235	237	81.82%	0.53	5.47	2.92	29.90	0.92	-0.38	0.15	0.007	0.000	1.029	1.058	0.007
10	235	237	90.91%	0.87	5.47	4.78	29.90	0.92	-0.04	0.00	0.007	0.000	1.370	1.876	0.009
Media			50.00%												
Suma						-27.01	298.26	-4.95	0.00	2.47	0.00	0.00	0.00	9.02	0.03
Y media	-0.495														
X media	5.461														
Pendiente b	208.0351														
Intercepto a	-1136.6326														
	Escala n		235.96												
	Forma β		208.0351												
	MTBF		235.310												
Ajuste	0.00														
Se	0.4743 Error estandar del estimado o variación o error típico														
r^2	0.7256 Coeficiente de determinación muestral														
r	0.8518 Coeficiente de correlación múltiple														

MANTENIBILIDAD															
No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	M(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	6	3	9.09%	-2.35	1.10	-2.58	1.21	-0.91	-1.44	2.06	-0.149	0.022	-1.855	3.443	0.277
2	3	3	18.18%	-1.61	1.10	-1.76	1.21	-0.91	-0.69	0.48	-0.149	0.022	-1.111	1.234	0.166
3	3	3	27.27%	-1.14	1.10	-1.26	1.21	-0.91	-0.23	0.05	-0.149	0.022	-0.649	0.421	0.097
4	4	3	36.36%	-0.79	1.10	-0.87	1.21	-0.91	0.12	0.01	-0.149	0.022	-0.259	0.066	0.045
5	5	3	45.45%	-0.50	1.10	-0.55	1.21	-0.91	0.41	0.17	-0.149	0.022	-0.005	0.000	0.001
6	3	3	54.55%	-0.24	1.10	-0.26	1.21	-0.91	0.68	0.46	-0.149	0.022	0.258	0.066	-0.038
7	3	3	63.64%	0.01	1.10	0.01	1.21	-0.91	0.93	0.86	-0.149	0.022	0.507	0.257	-0.076
8	3	4	72.73%	0.26	1.39	0.36	1.92	-0.11	0.37	0.13	0.139	0.019	0.757	0.573	0.105
9	3	5	81.82%	0.53	1.61	0.86	2.59	0.52	0.01	0.00	0.362	0.131	1.029	1.058	0.372
10	3	6	90.91%	0.87	1.79	1.57	3.21	1.04	-0.16	0.03	0.544	0.296	1.370	1.876	0.745
Media			50.00%												
Suma						-4.49	16.17	-4.95	0.00	4.26	0.00	0.60	0.00	9.02	1.69
Y media	-0.495														
X media	1.248														
Pendiente b	2.8134														
Intercepto a	-4.0057														
	Escala n		4.15												
	Forma β		2.813												
	MTTR		3.70												
Ajuste	0.00														
Se	0.6220 Error estandar del estimado o variación o error típico														
r^2	0.5281 Coeficiente de determinación muestral														
r	0.7267 Coeficiente de correlación múltiple														

MOTO SOLDADORA MILLER															
CONFIABILIDAD															
No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	F(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	208	204	9.09%	-2.35	5.32	-12.50	28.28	-2.16	-0.19	0.03	-0.117	0.014	-1.855	3.443	0.218
2	204	208	18.18%	-1.61	5.34	-8.57	28.49	-1.89	0.28	0.08	-0.098	0.010	-1.111	1.234	0.109
3	235	235	27.27%	-1.14	5.46	-6.25	29.81	-0.15	-0.99	0.99	0.024	0.001	-0.649	0.421	-0.016
4	236	235	36.36%	-0.79	5.46	-4.34	29.81	-0.15	-0.64	0.41	0.024	0.001	-0.299	0.089	-0.007
5	236	235	45.45%	-0.50	5.46	-2.73	29.81	-0.15	-0.35	0.12	0.024	0.001	-0.005	0.000	0.000
6	235	236	54.55%	-0.24	5.46	-1.30	29.85	-0.09	-0.15	0.02	0.028	0.001	0.258	0.066	0.007
7	235	236	63.64%	0.01	5.46	0.06	29.85	-0.09	0.10	0.01	0.028	0.001	0.507	0.257	0.014
8	236	236	72.73%	0.26	5.46	1.43	29.85	-0.09	0.35	0.12	0.028	0.001	0.757	0.573	0.022
9	236	236	81.82%	0.53	5.46	2.91	29.85	-0.09	0.62	0.39	0.028	0.001	1.029	1.058	0.029
10	236	236	90.91%	0.87	5.46	4.78	29.85	-0.09	0.96	0.93	0.028	0.001	1.370	1.876	0.039
Media			50.00%												
Suma						-28.50	295.46	-4.95	0.00	3.11	0.00	0.03	0.00	9.02	0.41
Y media	-0.495														
X media	5.435														
Pendiente b	14.2371														
Intercepto a	-77.8790														
	Escala n		237.49												
	Forma β		14.2371												
	MTBF		228.894												
Ajuste	0.00														
Se	0.5320 Error estandar del estimado o variación o error típico														
r^2	0.6547 Coeficiente de determinación muestral														
r	0.8091 Coeficiente de correlación múltiple														

MANTENIBILIDAD															
No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	M(t)=j/(N+1)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	32	4	9.09%	-2.35	1.39	-3.26	1.92	-0.89	-1.46	2.13	-0.495	0.245	-1.855	3.443	0.918
2	36	4	18.18%	-1.61	1.39	-2.23	1.92	-0.89	-0.71	0.51	-0.495	0.245	-1.111	1.234	0.549
3	5	4	27.27%	-1.14	1.39	-1.59	1.92	-0.89	-0.25	0.06	-0.495	0.245	-0.649	0.421	0.321
4	4	4	36.36%	-0.79	1.39	-1.10	1.92	-0.89	0.10	0.01	-0.495	0.245	-0.299	0.089	0.148
5	4	4	45.45%	-0.50	1.39	-0.69	1.92	-0.89	0.39	0.15	-0.495	0.245	-0.005	0.000	0.003
6	5	5	54.55%	-0.24	1.61	-0.38	2.59	-0.71	0.47	0.23	-0.271	0.074	0.258	0.066	-0.070
7	5	5	63.64%	0.01	1.61	0.02	2.59	-0.71	0.72	0.52	-0.271	0.074	0.507	0.257	-0.138
8	4	5	72.73%	0.26	1.61	0.42	2.59	-0.71	0.97	0.95	-0.271	0.074	0.757	0.573	-0.296
9	4	32	81.82%	0.53	3.47	1.85	12.01	0.77	-0.24	0.06	1.585	2.512	1.029	1.058	1.630
10	4	36	90.91%	0.87	3.58	3.13	12.84	0.87	0.01	0.00	1.703	2.899	1.370	1.876	2.332
Media			50.00%												
Suma						-3.83	42.23	-4.95	0.00	4.62	0.00	6.85	0.00	9.02	5.49
Y media	-0.495														
X media	1.881														
Pendiente b	0.8006														
Intercepto a	-2.0011														
	Escala n		12.18												
	Forma β		0.801												
	MTTR		13.79												
Ajuste	0.00														
Se	0.6483 Error estandar del estimado o variación o error típico														
r^2	0.4873 Coeficiente de determinación muestral														
r	0.6980 Coeficiente de correlación múltiple														

