

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“CONFECCIÓN DE UN MODELO DE COSTOS DE CICLO DE VIDA PARA UNA
BODEGA DE REPUESTOS USANDO LA METODOLOGÍA TDABC”**

Memoria para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

ALUMNO: Katty S. Carvajal Caneo.

PROFESOR GUIA: Orlando Durán Acevedo.

PROFESOR CO-GUIA: Rigoberto Guardia Díaz.

Quilpué, AGOSTO 2020

RESUMEN EJECUTIVO

El costeo de ciclo de vida, es un aspecto fundamental de la gestión de activos físicos. Una evidencia importante de esto lo constituye la ISO 55000. Específicamente, dicha norma declara que es vital la capacidad de cuantificar los costos de ciclo de vida de un activo, incorporando en esto “Los costos de capital (CAPEX) y costos operacionales y financieros (OPEX)”, para que sean considerados en el proceso de toma de decisiones. Además, la misma norma sostiene que al tomar decisiones en la gestión de activos, la organización deberá usar una metodología que sea capaz de evaluar opciones diversas de inversión, junto con elegir entre alternativas operacionales.

Para evaluar correctamente los costos del ciclo de vida, se hace necesario definir una estructura desagregada de costos (Cost Breakdown Structure – CBS). Entre las categorías de la CBS se sitúan los costos relacionados con la gestión y tenencia de repuestos.

Para lograr estimar el costo real de las actividades, en las últimas dos décadas dos técnicas han sobresalido como forma de generar bases de apropiación más adecuadas que las tradicionales. Estas técnicas son el costeo basado en actividades (ABC, activity based costing) y el “Time Driven ABC”.

El ABC, es un método muy complejo debido a que el cálculo de costos se realiza bajo muchos inductores, por lo que la información necesaria es mucho mayor a los métodos tradicionales, lo que se vuelve un método muy costoso y confuso.

El TDABC revoluciona la manera de realizar cálculos de costos debido a que como único inductor se utiliza el tiempo. Este método está siendo muy utilizado debido a que los cálculos se basan en las actividades y permite el cálculo del costo unitario de tiempo cada actividad, gracias a la tasa de capacidad de costo. Esto permite visualizar las actividades que tengan mayor costo y por ende tomar decisiones óptimas para lograr obtener un buen rendimiento en los procesos.

En la empresa KOMATSU, se determinó conocer los costos de ciclo de vida de sus repuestos en la bodega denominada "CDR LA PORTADA". Se decidió utilizar el método de costos TDABC, debido a su gran versatilidad y fácil aplicación. Para ello, se realizó una clasificación de los repuestos por su tamaño, de manera que se categorizaron como: PEQUEÑOS, MEDIANOS Y GRANDES. Esta clasificación es debido a que, dependiendo del tamaño se cambian los requerimientos de: ubicación, traslado, conteo y por ende los niveles de utilización de los recursos con que cuenta el centro de distribución.

Por consiguiente, se realizaron entrevistas a los trabajadores, para determinar cuánto es el tiempo que se demoran para cada actividad para cada repuesto y así determinar el costo de cada una de esas actividades.

Como una manera de proyectar este estudio a 6 años, se utilizó la distribución de Weibull para mapear las necesidades de repuestos de cada equipo. Los análisis realizados, son a partir de un historial real cedido por la empresa en la bodega. De

acuerdo a esto, se optó por elegir un repuesto de manera de ejemplificar el comportamiento de los repuestos del grupo a cuál pertenece. De esta manera se seleccionó para cada categoría un repuesto representativo, tal que se ejemplificara el comportamiento de los repuestos del grupo a cuál pertenece. Se seleccionó un repuesto grande, uno mediano y uno pequeño, de manera de modelar el comportamiento y la influencia de los 10.000 repuestos que se mueven anualmente en el CDR. A partir del repuesto representativo, se obtuvo la cantidad de veces que hubo un requerimiento de los clientes de dicho repuesto. Desde esto, se supuso que el tiempo medio entre fallas correspondía al tiempo medio entre solicitudes. De tal manera que cada pedido representa la falla de un componente perteneciente a un equipo u activo físico. Comenzando en los tiempos entre fallas, se calcularon los parámetros de Weibull para su posterior proyección para cada uno de los grupos de repuestos. Posteriormente se determinaron los gastos de la bodega y los costos de tener cada repuesto en ella.

Con la aplicación de la técnica TDABC, fue posible estimar el porcentaje de capacidad ociosa con la que la bodega estaría operando, llegando este valor a un 56%. Esto lleva a la conclusión que la empresa estaría presentando un bajo rendimiento por lo cual la rentabilidad de esta inversión podría verse aumentada significativamente si se establecen mejoras y una búsqueda de mayor eficiencia en las actividades.

Como investigación futura se propone continuar con el estudio y la obtención de los verdaderos costos de cada uno de los repuestos, de manera tal de llegar a una mejor estimación de las capacidades utilizadas y ociosas del centro de

distribución. Por lo tanto, con lo anterior, se podrán tomar decisiones de mejor manera que apunten al dimensionamiento de las capacidades tanto de mano de obra como de instalaciones y materiales para establecer mejores niveles de rentabilidad ante la inversión realizada en este centro de distribución de repuestos.

ÍNDICE

Índice de figuras	viii
Índice de tablas	x
Capítulo I	12
1.1.- Introducción	12
1.2.- Objetivos	13
1.3.- Justificativa	13
1.4.- Contexto	14
1.5.- Descripción del problema	14
Capítulo II	15
2.1.- Marco teórico	15
2.2.- Métodos de cálculo de costos	17
2.2.1.- Cálculo de costos tradicionales	17
Capítulo III	36
3.1.- Modelo matricial para el cálculo de costos de ciclo de vida para una bodega de repuestos	36
3.2.- Modelo de confiabilidad	42
3.3.- Integración de ambos modelos	45
Capítulo IV	47
4.1.- Confiabilidad	47
Capítulo V	61
5.1.- Aplicación de TDABC, caso real	61
5.2.- Antecedentes de la empresa	61

5.3.- Komatsu en Chile	63
5.4.- Centro de distribución de repuestos (CDR), Komatsu Cummins, la portada, Antofagasta	66
5.5.- Aplicación del modelo de confiabilidad	78
5.6.- Costeo del ciclo de vida para una bodega de repuestos, basado en TDABC.	109
Capítulo VI	123
6.1.- Conclusión.....	123
Nomenclatura general.....	125
Bibliografía.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.- Método tradicional de costos.	18
FIGURA 2.- Asignación de costos indirectos según modelo ABC.....	20
FIGURA 3.- Relación de costos.	21
FIGURA 4.- Asignación de costos indirectos, según método TDABC.....	27
FIGURA 5.- Curva de la Bañera	44
FIGURA 6.- Comportamiento del factor de forma.....	44
FIGURA 7.- Función de densidad de Probabilidad de Weibull para distintos β , con $\gamma = 0$	50
FIGURA 8.- Gráfico ejemplo de regresión lineal de modo de falla	53
FIGURA 9.- Curva de confiabilidad se Weibull, para diversos valores de β	58
FIGURA 10.-Curva de tasa de fallas, para diversos valores del parámetro de forma β	59
FIGURA 11.- Ubicación Centro de Distribución de repuestos, “LA PORTADA”, KOMATSU, CUMMINS.	66
FIGURA 12.- Centro de Distribución de repuestos, “La Portada”, Antofagasta, Komatsu.....	67
FIGURA 13.- Organigrama del centro de distribución de repuestos, Komatsu, Cummins.....	68
FIGURA 14.- Zonas de almacenamiento.....	70
FIGURA 15.- Racks de almacenamiento.....	71
FIGURA 16.- Casillas de almacenamiento	71

FIGURA 17.- Pick Service ord.....	77
FIGURA 18- Gráfico de Regresión lineal para repuestos pequeños.....	81
FIGURA 19.- Gráfico de Confiabilidad para los repuestos pequeños.	85
FIGURA 20.-Gráfico de tasa de falla vs tiempo, para repuestos pequeños.	88
FIGURA 21.- Gráfico de Regresión lineal para repuestos Medianos.....	91
FIGURA 22.- Gráfico de Confiabilidad para repuestos medianos.....	94
FIGURA 23- Gráfico de tasa de falla vs Tiempo, para repuestos medianos.	96
FIGURA 24.- Regresión lineal para repuestos Grandes.	99
FIGURA 25.- Gráfico de Confiabilidad para los repuestos grandes.....	104
FIGURA 26.-Gráfico de tasa de falla vs tiempo, para repuestos grandes.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.- Modelo de clasificación de piezas y repuestos para una bodega	16
TABLA 2.- Fases de aplicación de un modelo TDABC	28
TABLA 3.- Usos para método TDABC.....	30
TABLA 4.- Ejemplo de tabla de datos para modelo de Weibull.....	52
TABLA 5.- Ejemplo Test Kolmogorov- Smirnov	55
TABLA 6.- Tabla de Kolmogorov-Smirnov	57
TABLA 7 .- Datos para progresión lineal, repuesto Pequeño.....	80
TABLA 8.- Datos para validación a través del test Kolmogorov-Smirnov	82
TABLA 9.- Confiabilidad para repuestos pequeños.	84
TABLA 10.- Tiempo medio entre fallas	86
TABLA 11.- Datos de tasa de Falla para repuestos pequeño	87
TABLA 12.- Tasa de Fallas, para repuestos pequeños, de los siguientes 6 años.89	
TABLA 13.- Datos para progresión lineal, repuesto Mediano	90
TABLA 14.- Datos para validación a través del test Kolmogorov-Smirnov	92
TABLA 15.- Confiabilidad para repuestos medianos.	93
TABLA 16.- Tiempo medio entre fallas de repuestos medianos.	94
TABLA 17.- Datos de tasa de falla para repuestos medianos.....	95
TABLA 18.- Tasa de Fallas, para repuestos medianos, de los siguientes 6 años. 97	
TABLA 19.- Datos para progresión lineal para repuestos Grandes.....	98
TABLA 20.- Datos para validación a través del test Kolmogorov-Smirnov	101
TABLA 21.- Confiabilidad para repuestos Grandes.	103

TABLA 22.- Tiempo medio entre fallas repuestos grandes.....	104
TABLA 23.- Datos de Tasa de Falla para repuestos grandes.....	106
TABLA 24.- Tasa de Fallas, para repuestos grandes, de los siguientes 6 años.	108
TABLA 25.- Actividades y Sub- Actividades.	109
TABLA 26.-Recursos de Bodega	111
TABLA 27.- Recursos desde año 1 hasta año 6.....	112
TABLA 28.- Jornada Laboral Komatsu CDR	113
TABLA 29.- Valores de la tasa de capacidad practica de Bodega Komatsu	113
TABLA 30.- Tiempos de realización de sub-actividades, para repuestos en la bodega de Komatsu CDR	114
TABLA 31.- Tasa de fallas y cantidad de número de repuestos, para repuestos grandes.....	119
TABLA 32.-Tasa de fallas y cantidad de número de repuestos, para repuestos medianos.	119
TABLA 33.-Tasa de fallas y cantidad de número de repuestos, para repuestos Pequeños.....	120
TABLA 34.- Tiempos totales de cada sub actividad , para repuestos pequeños, medianos y grandes.....	120
TABLA 35.- Costo total de las sub actividades, para valores de λ_{it} proyectados a 6 años.	121

CAPÍTULO I

1.1.- Introducción

Para la administración de mantenimiento de activos, uno de los temas fundamentales es la correcta valorización de ciclo de vida de estos, en donde constantemente se busca el método más apropiado para ello.

Las técnicas de valorización de costos, son el soporte para la correcta toma de decisiones en aspectos como: costos de productos, rentabilidad y precios. Como resultado de lo anterior, la valorización de costos debe ser esencial, en cualquier empresa, lo que conlleva a estudiar y perfeccionar las metodologías existentes para que estas, posean información útil y fidedigna acerca de la asignación de costos a los productos.

Debido a lo anterior, se han establecido diversos métodos de gestión de costos, los cuales se han ido perfeccionando durante el tiempo. Uno de los métodos más utilizados es “Costos Basados en Actividades (ABC)”, desarrollado por Robert Kaplan y Steven Anderson (2004 y 2007) y el denominado “Time Driven Activity Based Costing (TDABC)”, desarrollado más recientemente por los mismos Robert Kaplan y Steve Anderson (2008). El TDABC es un nuevo modelo que establece diferentes grupos de recursos (departamentos), costos y su capacidad normal. La capacidad normal, es la base de este modelo, la estimación del tiempo, tal que, el parámetro tiempo es el principal inductor de costos.

El método TDABC, como sistema de gestión de costos, ha sido seleccionado para los cálculos de costos presentados en el desarrollo de los capítulos de este estudio, debido a que actualmente es el método con mayor potencial, sumado a simplicidad y que ha aportado diversas ventajas respecto a su antecesor ABC.

1.2.- Objetivos

1.2.1.- Objetivo general.

- ✓ Confeccionar un modelo de costos de ciclo de vida, que permita el cálculo preciso de costos de la gestión de repuestos en una bodega, utilizando el método "TDABC", a su vez, la implementación práctica de este, en un caso real y la obtención de conclusiones.

1.2.2.- Objetivos específicos.

- ✓ Desarrollar el modelo.
- ✓ Aplicar el modelo a una bodega de repuestos.
- ✓ Analizar la sensibilidad del modelo.
- ✓ Concluir respecto a la propuesta.

1.3.- Justificativa

Los costos implicados en las diversas actividades que involucra la gestión de repuestos, pueden ser muy elevados, es por esto, que conocer los costos de manera estricta, permitirá dar a conocer el desempeño de la gestión realizada, y en conjunto con la optimización de los recursos destinados a ello.

1.4.- Contexto

El mantenimiento de equipos es una función indispensable, ya que permite preservar un buen estado del equipo para realizar su función correctamente. Es por esto, que es necesario saber cómo se gestionarán los repuestos que serán requeridos a lo largo de su vida útil de uno o más activos. Por ende, conocer el costo de la gestión de repuestos se hace imprescindible, para la optimización del manejo de recursos solicitados a lo largo de la vida útil del equipo y el apoyo al proceso de toma de decisiones respecto del mantenimiento de dicho equipo.

1.5.- Descripción del problema

El inicio de la utilización de repuestos, comienza cuando un determinado equipo presenta una falla, y esta se puede suplir realizando el reemplazo del repuesto defectuoso. Es ahí donde se realiza la primera labor de la gestión de repuestos. Como actos seguidos se generan una serie de actividades las que dan vida al proceso de gestión de repuestos. El propósito de esta serie de actividades es responder a la demanda del equipo, siendo realizadas de diversas formas en función de las diferentes políticas de stock y características de confiabilidad del repuesto que varían de acuerdo a la etapa de vida de los equipos. Estas actividades demandan costos, los que se requieren conocer para la correcta toma de decisiones de políticas de inventario, modelos de control y canales logísticos entre otros

CAPÍTULO II

2.1.- Marco teórico.

La gestión de repuestos es una labor, la cual beneficia al mantenimiento de la empresa y su economía. Una excelente labor de la gestión de repuestos significa optimizar el nivel de inventarios y disminuir las probabilidades de sufrir desabastecimientos perjudicando la disponibilidad de activos físicos.

La gestión de repuestos debe cumplir con dos objetivos dentro de una empresa que son los siguientes:

- Asegurar la máxima disponibilidad de repuestos en todo momento (Nivel de servicio).
- Tener la mínima cantidad de repuestos inmovilizados, que representan costos retenidos.

Con el paso del tiempo las áreas destinadas a almacenamiento y abastecimiento de repuestos, conocidas como bodegas, cobran mayor importancia, las cuales se incorporan conceptos teóricos y matemáticos que logran el mayor beneficio global entre máxima disponibilidad y el mínimo nivel de existencia.

Las bodegas de repuestos tienen los siguientes objetivos: suministrar los repuestos y materiales de manera rápida, reducir al mínimo posible el nivel de stock, evitar el deterioro de los ítems almacenados e impedir la compra y almacenamiento de repuestos que no se utilizan en la empresa. Estos permiten realizar su función de manera muy eficiente para la mantención.

Existen modelos de referencia para clasificar piezas y repuestos, cada empresa adopta aquel que le brinde mejores beneficios. En las bodegas se organizan los materiales en función de algún criterio seleccionado.

Una forma de realizarlo es el siguiente, que se muestra en la tabla 2.

TABLA 1.- Modelo de clasificación de piezas y repuestos para una bodega.

DENONIMACION	TIPO	CARACTERISTICAS
ARTICULOS GENERALES	TORNILLOS, TUERCAS, ALAMBRES, PINTURAS, GOMAS, CANDADOS, REMACHES, ADHESIVOS, ETC.	ITEMS DE CONSUMO MASIVO Y FACIL OBTENCION EN EL MERCADO, ALTA ROTACION.
HERRAMIENTAS	LLAVES, CINTAS METRICAS, CALIBRES, DESTORNILLADORES, PINZAS, LIMAS, ETC.	ITEMS DE ALTO COSTO, BAJA ROTACION.
SUMINISTROS/CONSUMIBLES	LUBRICANTES, SOLVENTES, COMBUSTIBLES, FILTROS, ELECTRODOS, BARRAS METALICAS, CHAPAS, PERFILES, ETC.	ITEMS DE CONSUMO Y SUMINISTROS UTILIZADOS, ALTA ROTACION
REPUESTOS UNIVERSALES	RODAMIENTOS, EMPAQUETADURAS, RODAMIENTOS, JUNTAS, VALVULAS, RETENES, RELES, ETC.	REPUESTOS GENERICOS, INSTALADOS EN EQUIPOS DE LA PLANTA
REPUESTOS ESPECIFICOS	MOTORES, ACOPLAMIENTOS HIDRAULICOS, REDUCTORES DE VELOCIDAD, ROTORES, ETC.	REPUESTOS PROPIOS DEL DISEÑO, QUE NO SE PUEDEN SUSTITUIR CON REPUESTOS UNIVERSALES.
CONJUNTOS	ELEMENTOS ENSAMBLADOS	FACIL DE INTERCAMBIAR, SE UTILIZAN PARA REDUCIR EL TIEMPO MEDIO DE REPARACION.

Fuente: Elaboración Propia.

Cualquiera sea, el modelo utilizado para la organización de la empresa, y cualquier sea el ítem (artículo, repuesto, consumible, etc.) debe codificarse.

La organización del material comienza con la asignación de un código numérico a cada uno de los artículos de la bodega. La codificación numérica es la más utilizada debido a que admite administrar gran cantidad y variedad de ítems.

Al codificar los ítems, es posible distinguir, representar y visualizar las características, la cantidad disponible, su localización, etc. Con esta información se

hace mucho más sencillo la labor de prestarle el servicio correcto a la mantención, debido a que facilita la realización de pedidos además de asegurar stock óptimo, y la fácil ubicación de repuestos y suministros, etc.

Es por ello, que se debe contar con disponibilidad de repuestos en cantidad y calidad apropiadas. Si no se cuenta con estos, se corren riesgos de detención de equipos vitales en la producción y como consecuencia de esto, la obtención de producto.

La detención de la producción puede significar pérdidas en grandes magnitudes para la empresa aun en mayor cantidad en caso que las detenciones sean prolongadas. Sin contar con otro tipo de circunstancias no menos graves.

2.2.- Métodos de cálculo de costos.

2.2.1.- Cálculo de costos tradicionales.

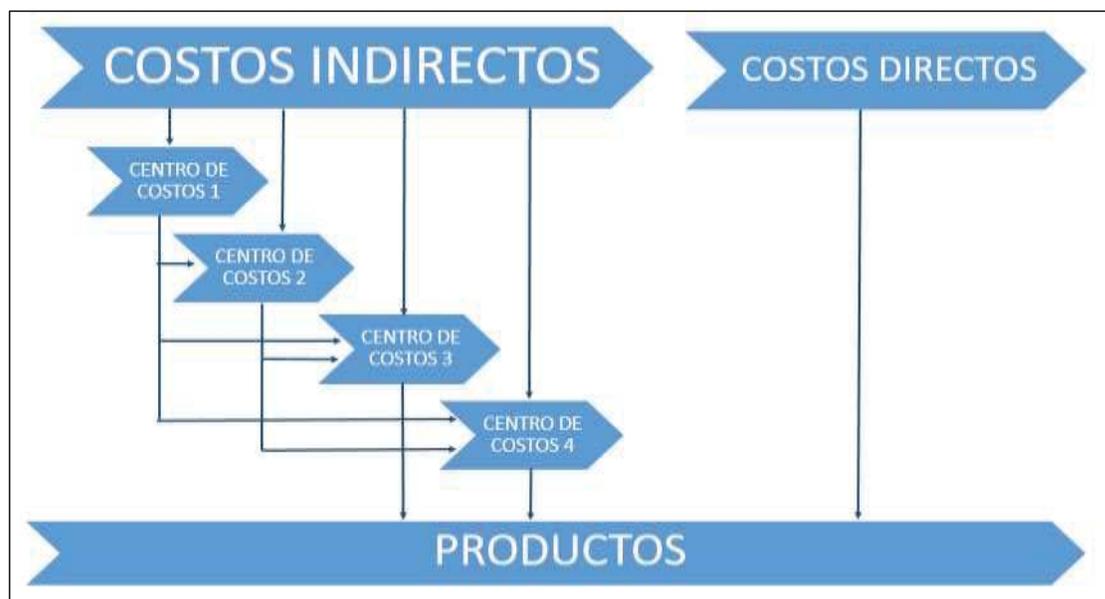
Los sistemas de cálculos de costos nacen a fines del siglo XVII, en conjunto con la revolución industrial y como resultado del nacimiento de los procesos de producción. Los empresarios de la época vieron la necesidad de averiguar el desempeño de los procesos necesarios para obtener sus productos, por lo que era necesario tener en conocimiento la contabilidad de costos como fin de conocer el valor total de los productos finalizados.

Estos cálculos se fundamentan en modelos industriales, donde se estaba de acuerdo con el lema filosófico de la época: "Vencer los competidores en el terreno de los costos", lo que representa, es que se buscaba el control de costos unitarios,

creyendo que el beneficio se fundamenta en la búsqueda de un volumen alto de producción y economía a escalas.

Los propósitos de los sistemas tradicionales constaban significativamente de la valoración de inventarios y del interés por conocimiento de los costos. Es así que la atribución de costos se efectúa de manera directa, para costos directos y en caso de costos indirectos se atribuyen a los diferentes centros de costos y por consiguiente a los productos. Para los costos indirectos, la atribución se realizaba de forma relativa, lo que proporcionaba costos imprecisos (Figura 1).

FIGURA 1.- Método tradicional de costos.



Fuente: Elaboración Propia.

Debido a los cambios en la economía a nivel mundial, las consideraciones de las partidas de costos se modifican, es por ello que, los costos indirectos comienzan a aumentar debido al crecimiento de actividades de apoyo como lo son: el mantenimiento de equipos, supervisión, planificación de operaciones, la logística, etc. Esto indujo que los costos directos descendieran como lo es el caso de la

mano de obra directa. Lo que ocasionó que los productos estuvieran recargados de costos indirectos y su rentabilidad disminuyera considerablemente. Por lo cual, nace una necesidad de buscar nuevos métodos de cálculos de costos.

Una vez, pasado el tiempo, cercano a la década de los ochenta, evolucionan los métodos, y quedan atrás los tradicionales para dar paso a la atribución de costos por medio de las actividades, dando origen al “Activity Based Costing” (Costeo basado en actividades).

2.2.2.- Método ABC.

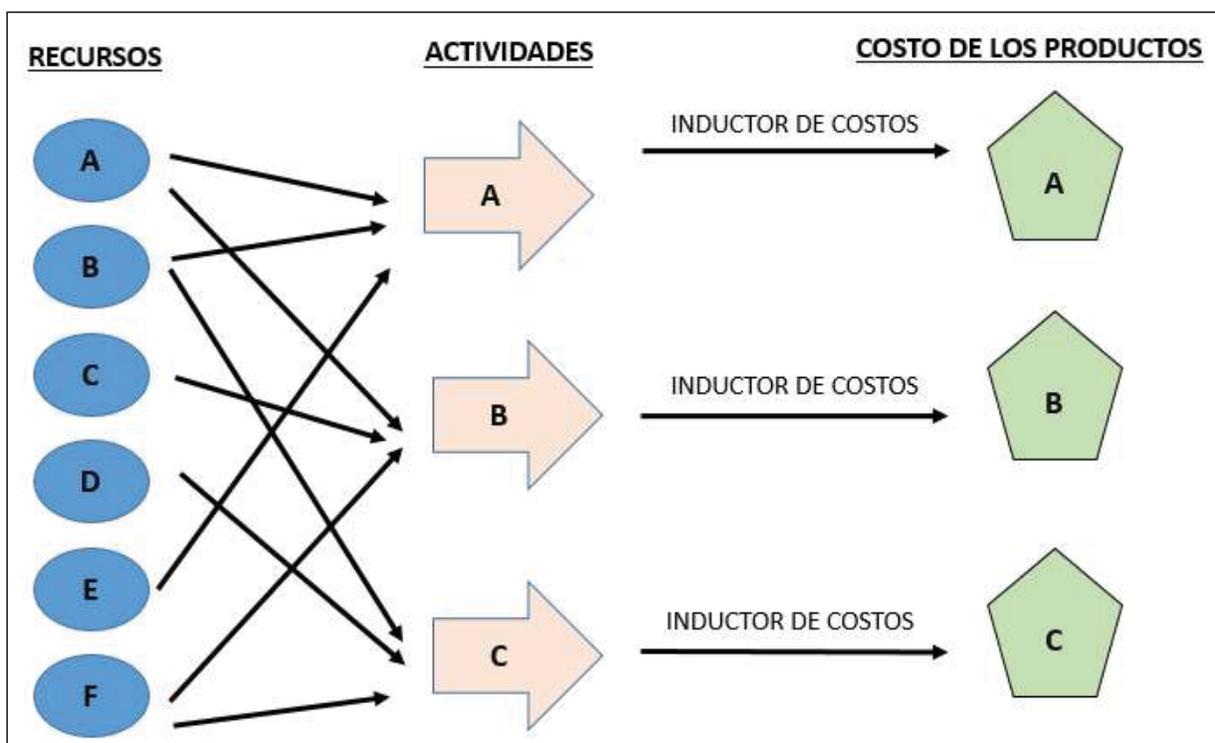
El Activity Based Costing, conocido como el ABC, es un modelo de cálculo de costos, desarrollado por Robín Cooper y Robert Kaplan, que como indica su nombre, divide la organización en actividades que se desarrollan en la producción, en donde cada actividad simboliza lo que realiza la empresa, el tiempo utilizado en realizar la actividad, y el producto obtenido.

Este método, permite determinar los derroches de la empresa a través de las actividades que generan valor y las que no. Las empresas no deben realizar actividades que agreguen valor, pero mediante el ABC y la reorganización de procedimientos, se podrá concluir cuáles son las actividades que se pueden mejorar y cuáles de ellas se pueden eliminar.

Lo fundamental no es el costo del producto, sino el costo de las actividades, por lo que se desarrolla captando, midiendo, y analizando el consumo de recursos comprometidos por la realización de estas. En primer lugar, para la atribución de costos indirectos, se realiza a las actividades desarrolladas. Posteriormente, se

asignan los costos de éstas a los productos y a otros objetos de costo. La premisa del método es que los productos consumen actividades y las actividades son las que consumen recursos, lo más relevante es el costo de la actividad que genera el producto, no el consumo de producto en sí mismo, así como se modela en la Figura 2.

FIGURA 2.- Asignación de costos indirectos según modelo ABC.



Fuente: Elaboración Propia.

Objetivos del método ABC.

- Mejorar el seguimiento del costo.
- Optimizar el ciclo de vida de las empresas.
- Ayudar a la toma de decisiones.
- Optimizar el proceso de inversiones.

- Ayudar a establecer una medida de rendimiento a través del resultado financiero.
- Permitir la adaptación a los niveles de automatización.

Para esclarecer el método ABC, se entiende por actividad como la ejecución de una acción que hace uso de una composición de materias primas, tecnologías y personas que son parte de un proceso específico. Estas actividades nos aclaran qué se hace en una compañía, fases de producción de una empresa, y como se gastan los recursos. Por ello cada vez que se ejecuta una acción en el proceso productivo y en los de apoyo, se refleja una actividad.

De acuerdo a esto, el origen de los costos de los productos o servicios, son las actividades que debe realizar una empresa para fabricar un producto o servicio.

En la ejecución de las actividades se produce un consumo de recursos, por ello son las actividades que se relacionan a los recursos como se observa en la figura 3.

FIGURA 3.- Relación de costos.



Fuente: Elaboración Propia.

Comparando el ABC, con los sistemas tradicionales:

- ✓ Es un método más realista.
- ✓ Permitió conocer los costos de las actividades, y así identificar actividades que no fueran necesarias.
- ✓ Utiliza varios factores de asociación, buscando obtener el costo más real y exacto posible (inductores).
- ✓ Los costos de la administración y ventas son llevados a los productos de manera apropiada.
- ✓ Entrega una visión sobre las actividades, sobre cómo se realizan y qué generan. Así es posible reducir costos desde su origen y por ello el precio final de los productos.
- ✓ Es un método simple y transparente porque se basa en datos verdaderos.
- ✓ Con la información determinada por el método ABC, se pueden tomar decisiones que comprenden muchos entornos de la empresa.
- ✓ Puede ser utilizado para cualquier tipo de empresa.

Desventajas del Método ABC, según Sáez Torrecilla (1993) y Ruiz de Arbulo López (2011):

- ✓ Modelo muy costoso en su implementación, debido a la necesidad de dividir a la empresa en actividades y a la identificación de inductores, por lo que lleva a que la información necesaria, es mucho mayor que en los sistemas de costos tradicionales.
- ✓ Es de alta complejidad definir (mapear) las actividades con exactitud, identificando su origen y su fin. Asimismo, en los casos de un alto número de

actividades y de inductores, permite que el entendimiento del método no sea del todo correcto. Además, es de mucha dificultad constituir los inductores de costo para cada actividad, por ello se debe desarrollar la relación causa-efecto para determinar los orígenes de los costos.

- ✓ La atribución de costos, puede ser efectuada de forma injustificada para los centros de costos comunes a las actividades, de esta forma también a la infraestructura, debido a que es complejo de repartir. De esta forma los inconvenientes del sistema tradicional no se eliminan, a menos que se incremente la cantidad de centro de costos.
- ✓ Este método pretende reunir todos los costos, por lo que amplía el uso de los métodos tradicionales, incorporando costos de investigación, desarrollo, marketing, etc.

Transformación del Modelo ABC a TDABC.

Si bien, las ventajas del método ABC, eran más favorables que los métodos tradicionales, este manifestaba obstáculos como:

- ✓ Gran cantidad de tiempo utilizado, debido a prolongadas entrevistas y encuestas a responsables de las actividades, lo que finaliza en un proceso muy prolongado y de complejo entendimiento.
- ✓ Se discute acerca de la atribución de costos a las actividades, debido a que los cálculos y datos no son justos debido a la atribución arbitraria. Se utiliza una estimación de porcentaje de tiempo extraído de encuestas y entrevistas ejecutadas a trabajadores responsables de cada actividad.

- ✓ La capacidad de tiempo utilizada no es real, debido a que se no consideran los tiempos de improductividad de los responsables, por lo que el cálculo de los inductores se realizaba como si fuese a utilizar toda su capacidad.
- ✓ Este método, incluye muchas actividades, lo que hace este modelo muy complejo y aumenta la inseguridad debido a la estimación de tiempo era considerablemente superior al existir muchas actividades.

Es por estos motivos descritos anteriormente, que Kaplan y Anderson (2008), desarrollaron el método TDABC, el cual nace para solucionar los inconvenientes presentados por el método ABC. Una de las mayores dificultades del ABC, es la gran cantidad de información para la realización del cálculo de costos, es una transformación de datos de alto valor y en determinadas oportunidades el resultado conseguido no es exacto.

Una de las características principales del método TDABC es que abastece de información más precisa que el modelo ABC, debido a que el TDABC puede expresar las tareas en ecuaciones de tiempo.

Las diferencias primordiales entre ambos métodos son las siguientes:

- Método TDABC: no tiene en cuenta entrevistas y encuestas a empleados para atribución de costos a las actividades y sub-actividades, sino que, a partir del tiempo real de ejecución de las tareas, se realiza el cálculo de costos.
- Método ABC: emplea diversos inductores, en cambio el método TDABC, utiliza como único generador de costos el tiempo.

2.2.3.- Método TDABC.

El método de cálculo TDABC (time driven activity based costing), fue desarrollado por Kaplan y Anderson (2008), con el propósito de acondicionarse a la modificación de entorno empresarial con base del antes expuesto método ABC.

El método TDABC, proporciona información sobre la rentabilidad, lo que permite tomar decisiones y desarrollar soluciones más convenientes ya que proporciona a la dirección de las empresas una visión más global de los costos de los procesos, productos y clientes. Además, toda esta información se obtiene a un costo más bajo y de forma más precisa y objetiva.

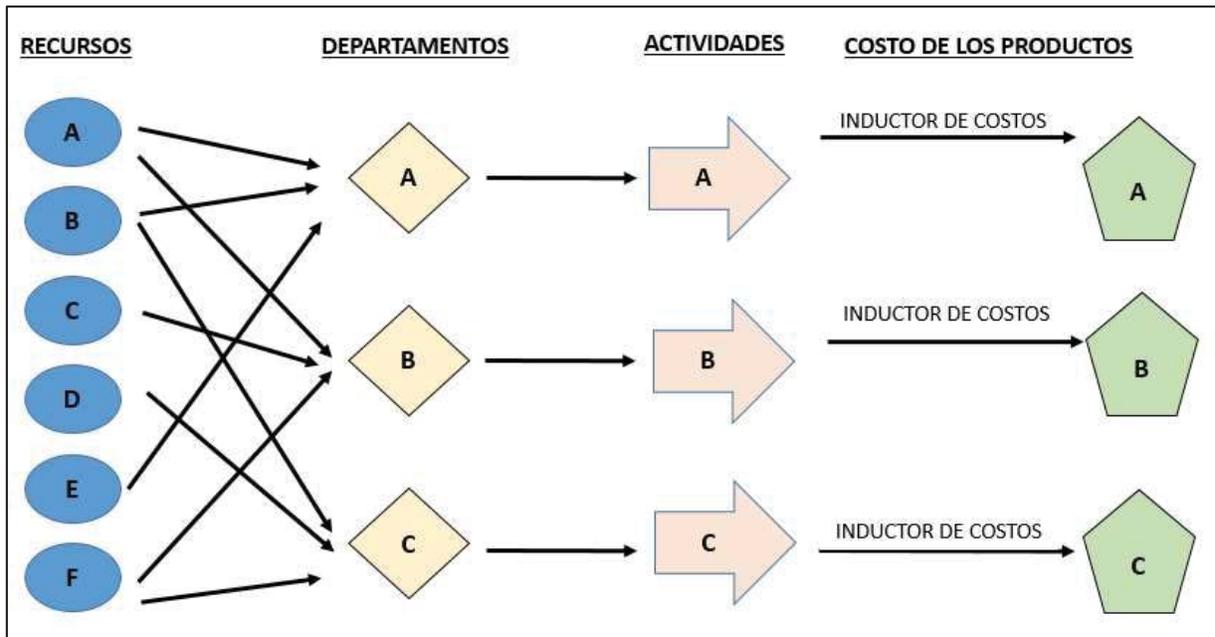
El método TDABC, fue implementado con la intención de solucionar todos los inconvenientes del método ABC, por lo que el método TDABC tiene variadas ventajas en comparación al método ABC, las que se describen a continuación.

- I. El método TDABC, utiliza como principal inductor de costos el tiempo, ya que permite valorar cuánto tiempo se demora en realizar una actividad, para cada operación, y para los casos en que las actividades necesitan varios inductores, se utilizan las ecuaciones de tiempo. Las cuales se desarrollan más adelante.
- II. El método TDABC, ofrece a las empresas un método práctico e inteligente sobre la determinación de costos exactos, y el uso de la capacidad de sus procesos productivos, dando a conocer que la complejidad de la operación se transforma a un modo sencillo pero muy preciso a la vez.

- III. El método TDABC, propone un procedimiento transparente, fácil de actualizar y de utilizar en las empresas.
- IV. El método TDABC, ofrece información útil, rápida, exacta y conveniente de los costos y la rentabilidad de pedidos, productos y clientes.
- V. El método TDABC, inicia su proceso con antecedentes reales y existentes, para luego basarse en hechos, lo que conlleva a una mejor aprobación del método.
- VI. El método TDABC, compromete a los responsables de las actividades, debido a que estos son los que facilitan la información sobre los recursos y el tiempo utilizado en cada una de ellas, lo que permite la realización de las ecuaciones de tiempo.
- VII. El método TDABC, representa una de las herramientas más eficaces para las compañías, ya que estas pueden perfilar sus niveles de servicio, la gestión de presupuestos y planes de expansión.

Una de las características fundamentales del método TDABC, por sobre el método ABC, es la mayor simplicidad en la asignación de costos indirectos, lo que se muestra a continuación en la Figura 4.

FIGURA 4.- Asignación de costos indirectos, según método TDABC.



Fuente: Elaboración Propia.

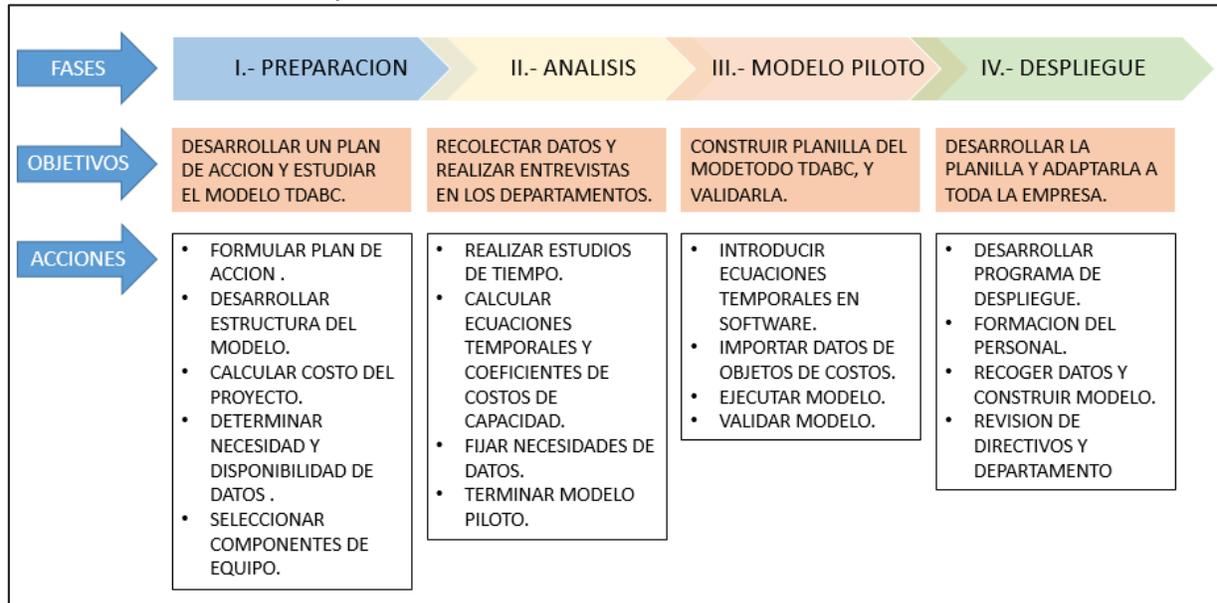
Como diferencia entre la asignación de costos indirectos del método ABC y el método TDABC, en este último no se desarrolla la fase de asignación de actividades, por lo que los recursos se asignan de manera directa a los departamentos. Por consiguiente, estos deben determinar las actividades que se realizan y con esto su capacidad práctica para realizar el desarrollo de las ecuaciones de tiempo adecuadas.

Además, el modelo TDABC presenta como estrategia a la hora de determinar los costos es la exactitud y no la precisión, por que como manifiestan Kaplan y Anderson (2008), “el TDABC procura ser aproximadamente correcto y no exactamente equivocado”.

2.2.3.1.- Implementación de un modelo TDABC.

La implementación del método para realizar el cálculo de costos fundamentado en tiempo invertido por actividad para una empresa será ejecutada de manera efectiva siguiendo los siguientes pasos descritos a continuación en la tabla 3.

TABLA 2.- Fases de aplicación de un modelo TDABC.



Fuente: Kaplan y Anderson (2008).

FASE I.- Preparación.

Como todos los proyectos deben comenzar, los encargados están en la obligación de realizar una especificación de lo que desean conseguir con este proyecto. Para un modelo utilizando el método TDABC, los propósitos buscados son los cuales buscan mejoras en: procesos, rentabilidad, reducción de costos, etc. Además de definir los alcances del modelo, los costos y las fuentes de obtención de datos. Por consiguiente, es apropiado efectuar un estudio de probabilidad de implementación

del modelo para toda la empresa, destinar el equipo delegado para la aplicación del modelo TDABC en la empresa y distinguir donde se aplicará el modelo.

FASE II.- Análisis.

Para realizar el análisis, es esencial el acceso a la información acerca de los procedimientos realizados en la empresa, debido a que se realiza con suficiente acceso, el modelo no revelará la realidad de costos.

FASE III.- Modelo Piloto.

Para esta fase de aplicación del proyecto, los encargados deben utilizar las ecuaciones temporales para realizar la atribución de los costos a los departamentos pertinentes. De esta manera este proyecto piloto facilita la adquisición a pequeña escala de experiencia para cuando llegue el momento de aplicación a toda la empresa sea de una manera más sencilla y menos arriesgado. Para cuando se haya construido el modelo debe ser corroborado financieramente y operativamente. La corroboración financiera se obtiene si los costos obtenidos por el modelo son próximos a los datos financieros verdaderos, entretanto la corroboración operativa confirma si los cálculos de las ecuaciones temporales son exactos y concuerdan con los tiempos de los procesos. Las empresas han utilizado el método TDABC, para diversos usos, los cuales se muestran en la tabla 3.

TABLA 3.- Usos para método TDABC.

<u>ESTRATEGICOS</u>	<u>OPERATIVOS</u>
• RENTABILIDAD DE LOS CLIENTES	• NEGOCIACIONES CON CLIENTES
• RENTABILIDAD DE LOS PRODUCTOS Y SERVICIOS	• PRECIOS DE LOS SERVICIOS DE VALOR AÑADIDO
• RENTABILIDAD DE LOS PROVEEDORES	• REPARO DE VALOR ENTRE LOS ACCIONISTAS
• RENTABILIDAD DE LAS INSTALACIONES	• OPTIMIZACION DE LOS PEDIDOS
• COMPARACION DE PROCESOS Y ESTRATEGIAS	• ASIGNACION DE COSTOS COMPARTIDOS
• CUADRO DE MANDO INTEGRAL	• CONTROLES INTERNOS
	• ANALISIS DE LA CAPACIDAD

Fuente: Kaplan y Anderson (2008).

FASE IV.- Despliegue.

El modelo TDABC se diseña desde un principio para una unidad organizacional (sección, unidad de negocio, etc.), en específico de una empresa, para luego ser aplicada a la totalidad de esta. Esto se denomina “DESPLIEGUE EMPRESARIAL BASICO”. La plantilla original del modelo piloto es la plantilla para el resto de las instalaciones o unidades.

2.2.3.2.- Etapas del método TDABC.

Según Kaplan y Anderson (2008), el proceso de implantación del modelo TDABC, se logra llevar a cabo mediante las siguientes etapas:

- I. Se define la estimación de la capacidad práctica de los recursos, como porcentaje de la capacidad teórica.
- II. Determinación de costos por unidad de tiempo que se tarda en suministrar recursos a las actividades de la empresa.
- III. Información del tiempo aproximado de cada actividad.

- IV. Definición y resultados de las ecuaciones de tiempo con los datos obtenidos anteriormente.
- V. Adquisición de costos por departamentos, para luego realizar los cálculos de costos de capacidad, la que viene dada de la siguiente manera:

$$C.C = \frac{COSTO DE CAPACIDAD SUMINISTRADA}{CAPACIDAD PRACTICA DE LOS RECURSOS SUMINISTRADOS}$$

Donde:

C.C = Coeficiente de costos de capacidad.

- VI. Una vez realizados los pasos anteriores, se logra obtener el costo de la producción y el tiempo utilizado por cada departamento, de esta manera se forman los inductores por actividad, que trasladan los recursos consumidos a los costos pertinentes.

2.2.3.3.- Ecuaciones de tiempo.

El método TDABC, soluciona la dificultad de implementación del costeo ABC mediante las ecuaciones de tiempo, las que facilitan el proceso con menos cálculos y más exactos. Hay presentes procesos y modelos para realizar la medición de tiempos requeridos para las actividades y sub-actividades, a pesar de que muchas empresas prefieren fundamentarse en datos reales de sus propios procesos.

Estas ecuaciones de tiempo manifiestan el tiempo necesario para realizar una actividad tomando en consideración diversos inductores. Este modelo necesita un

número menor de ecuaciones temporales que el modelo ABC, además de obtener información más completa y útil. La obligación de tener un inductor de costos para cada actividad propuesto por el método ABC, se soluciona con la adopción de las ecuaciones de tiempo en el sistema TDABC.

La forma general de las ecuaciones de tiempo del método TDABC se define como:

TIEMPO DEL PROCESO = Σ TIEMPOS ACTIVIDADES INDIVIDUALES

$$T = (\beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_i \cdot X_i) = \beta_0 + \Sigma \beta_i \cdot X_i$$

Donde:

β_0 = Tiempo estándar necesario para ejecutar una actividad básica.

β_i = Tiempo calculado para llevar a cabo una actividad incremental i.

X_i = Cantidad de actividad incremental i.

Considerando las ecuaciones descritas anteriormente, una de las principales ventajas es que se emplean como elemento fundamental para realizar cada actividad, por lo que no es imprescindible que todas las tareas necesiten el mismo tiempo para realizarlas. Así, la única necesidad de estas ecuaciones es medir los tiempos, a diferencia del método ABC del cual los inductores de costo podían ser muy diversos y de diferentes unidades de medida, lo que simplifica en gran medida la obtención de información para la implementación en la empresa.

La obtención de los tiempos puede ser realizada mediante:

- ❖ Observación directa.
- ❖ Entrevistas a empleados.
- ❖ Utilización de mapas de procesos.
- ❖ Calculando tiempos medios de transacciones similares o través de cálculos anteriores ya realizados por la empresa.

Para el método ABC los inductores de costo que se basan en el tiempo, se consulta a los empleados sobre cómo distribuyen sus tiempos al realizar cada una de sus tareas. En tanto, al usar el método TDABC, se consulta por el tiempo invertido en la realización de un paso en concreto de un determinado proceso, por lo cual a los empleados les resulta más simple que calcular un porcentaje del tiempo total que realizan una tarea en un determinado periodo.

Las ecuaciones de tiempo posibilitan la realización de simulaciones en un determinado periodo introduciendo posibles modificaciones en los procesos de producción y a su vez se pueden incluir de manera sencilla los cambios significativos que puedan producirse en las transacciones.

Los autores del método TDABC Kaplan y Anderson (2008), aconsejan seguir una serie de pasos para lograr de manera efectiva la realización de las ecuaciones temporales, los cuales son:

1. Se inicia por los procesos que producen más costos y los que consumen más tiempo.
2. Determinar los alcances del proceso.

3. Determinar los inductores de tiempo.
4. Emplear los medios necesarios para la obtención de información.
5. Al comienzo del modelo un único inductor de costos por ecuación, para hacerlo más sencillo.
6. Determinar personal operativo para la facilitación de la construcción y validación del modelo.

El método TDABC, aumenta linealmente con su complejidad y no de manera exponencial como lo hace el método ABC.

VENTAJAS DEL METODO TDABC

El método descrito anteriormente, es una herramienta de gestión de costos muy eficaz y moderna, que entrega muchas ventajas con respecto a su antecesor el método ABC, Kaplan y Anderson (2008), destacan de manera explícitas las siguientes ventajas:

- Proporciona un modelo de cálculo de costos más sencillo y rápido.
- Obtiene una excelente incorporación de datos de los sistemas de planificación de recursos.
- Los costos son asignados a los convenios y pedidos utilizando características particulares de los procesos, pedidos, clientes y proveedores.
- Da a conocer la correcta utilización de la capacidad y eficiencia de los procesos.
- Ejecuta un pronóstico de utilización de recursos.

- Se puede implementar en conjunto con modelos que abarquen la empresa por completo por medio de aplicaciones informáticas.
- Posibilita un mantenimiento rápido y económico del modelo.
- Propone datos específicos para simplificar a los usuarios reconocimiento de inconvenientes futuros.
- Su utilización es muy variada, debido a que se puede implementar en cualquier empresa, independiente de su complejidad, clientes, productos, procesos, etc.

DESVENTAJAS DEL METODO TDABC

Anteriormente se describieron inconvenientes de los sistemas de cálculos de costos tradicionales y método ABC. El método TDABC también posee desventajas que imposibilitan un progreso eficiente de este. Para Ruiz de Arbulo (2013), son los siguientes:

- El cálculo de tiempos no productivos de los empleados, permite que la estimación de capacidad práctica deba ser rigurosa.
- En los casos de las ecuaciones de tiempo no estén correctamente planteadas, los costos no serán reales, por lo que se debe ser cuidadoso.

CAPÍTULO III

3.1.- Modelo matricial para el cálculo de costos de ciclo de vida para una bodega de repuestos.

El modelo que se presenta a continuación, se basa en dos elementos fundamentales:

1.- TIME DRIVEN ACTIVITY BASED COSTING

2.- DISTRIBUCION DE WEIBULL.

Se integran ambas técnicas y en base a una representación matricial, se formula el modelo de costo de ciclo de vida para una bodega de repuestos no reparables.

Nomenclatura utilizada:

$C_i =$ Costos de los recursos i , (\$).

$P_i =$ Capacidad teorica de cada recurso i , (min).

$g_i =$ Tasa de capacidad practica del centro de recurso i (%).

$P'_i =$ Capacidad práctica de cada recurso i , (min * %).

$V_i =$ Tasa de costo de la capacidad por centro de recurso i , (\$/min).

$UT_{ij} =$ Tiempo unitario de la actividad j al consumir recursos del centro de recursos i , (min).

$R_j =$ Tasa del direccionador o inductor de costo de la actividad j (\$/min).

$AQ_{kj} =$ Monto de costo de la actividad j al objeto de costo x (min).

$CT_k = \text{Costo total apropiado al repuesto } k (\$)$

$Oh_x = \text{Costos indirectos apropiados al objeto de costo } x (\$/\text{min})$

Índices:

m = Número de actividades

d = Número de recursos.

n = Número de repuestos.

Por lo tanto, los índices poseen los siguientes rangos:

$i = 1, \dots, d$

$j = 1, \dots, m$

$k = 1, \dots, n$

a) Cálculo del costo unitario de la capacidad (V_i) está dado por:

$$V_i = \frac{C_i'}{P_i'} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$P_i' = P_i \cdot g_i \quad \text{Ecuación 2}$$

Tenemos:

$$V_i = \frac{C_i}{P_i \cdot g_i} \quad \text{Ecuación 3}$$

Matricialmente tenemos:

$$V_i = \begin{bmatrix} c_1 \\ \frac{P_1 * g_1}{c_2} \\ \frac{P_2 * g_2}{\vdots} \\ \frac{c_d}{P_d * g_d} \end{bmatrix}$$

Ecuación 4

- b) Cálculo de la tasa de costo unitario de la actividad (R_j). Se considera que el tiempo unitario de la actividad j al consumir recursos del centro de costos i, está dado por:

$$UT = \begin{bmatrix} UT_{11} & UT_{12} & \cdot & \cdot & UT_{1d} \\ UT_{21} & UT_{22} & \cdot & \cdot & UT_{2d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ UT_{m1} & UT_{m2} & \cdot & \cdot & UT_{md} \end{bmatrix}$$

Ecuación 5

Tenemos que:

$$R = UT * V$$

Ecuación 6

$$R_j = \begin{bmatrix} UT_{11} & UT_{12} & \cdot & \cdot & UT_{1d} \\ UT_{21} & UT_{22} & \cdot & \cdot & UT_{2d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ UT_{m1} & UT_{m2} & \cdot & \cdot & UT_{md} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ \frac{P_1 * G_1}{c_2} \\ \frac{P_2 * G_2}{\vdots} \\ \frac{c_d}{P_d * G_d} \end{bmatrix}$$

Ecuación 7

- c) Cálculo costo total apropiado al proceso de gestión del repuesto (CT_R).

Se considera AQ siendo la cantidad de veces que la actividad j es requerida o ejecutada por repuesto R.

Por lo tanto, el costo total apropiado al repuesto R estará dado por

$$CT = AQ * R$$

Ecuación 8

ó

$$\begin{bmatrix} CT_1 \\ CT_2 \\ \vdots \\ CT_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AQ_{11} & AQ_{12} & \cdot & \cdot & AQ_{1m} \\ AQ_{21} & AQ_{22} & \cdot & \cdot & AQ_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdot & \cdot & \cdot \\ AQ_{n1} & AQ_{n2} & \cdot & \cdot & AQ_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} UT_{11} & UT_{12} & \cdot & \cdot & UT_{1d} \\ UT_{21} & UT_{22} & \cdot & \cdot & UT_{2d} \\ \vdots & \vdots & \cdot & \cdot & \vdots \\ UT_{m1} & UT_{m2} & \cdot & \cdot & UT_{md} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{C_1}{P_1 * g_1} \\ \vdots \\ \frac{C_d}{P_d * g_d} \end{bmatrix}$$

Ecuación 9

Recordando que la matriz AQ muestra la cantidad de veces que una actividad j es o será ejecutada para gestionar o servir al repuesto R, estas cantidades dependerán de las demandas proyectadas y por ende, de las ejecuciones de las actividades para cada repuesto R.

Dicha demanda puede ser proyectada con el auxilio de un modelo de confiabilidad que permita estimar la tasa de fallas para un dado componente a partir de un determinado instante de tiempo t.

Los direccionadores de tiempo son variables, estos reflejan ciertas características de los objetos de costos que se relacionan con los tiempos de ejecución de las actividades.

Estos direccionadores pueden tomar las siguientes formas:

- Continuas
- Discretas

Entre ejemplos de estos direccionadores podemos citar: peso de una pieza, tamaño, distancias recorridas, números de pedidos, número de inspecciones, etc. También, estos direccionadores pueden representar diferentes clientes o niveles de criticidad. Por último, podemos retratar los niveles de urgencia de la ejecución de ciertas actividades a través de un valor dado para un determinado direccionador de tiempo.

Concepto de ciclo de vida en las ecuaciones de tiempo.

A través del uso de las ecuaciones de tiempo, el tiempo consumido por un evento de una actividad, se puede expresar como una función de diferentes características. Estas suelen llamarse direccionadores de tiempo o “time drivers”. La ecuación general de tiempo utilizada en la formulación general del TDABC es la siguiente:

$$t_{lm} = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \dots + \beta_P * X_P \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

t_{lm} = Tiempo requerido para ejecutar el evento “l” de la actividad “m”.

β_0 = Monto base de tiempo para la actividad m, independiente de las características del evento “k”.

β_i = Consumo de tiempo unitario extra para cada unidad del direccionador de tiempo X_i .

P = Número de direccionadores de tiempo.

El costo de cada actividad es calculado a través del producto entre el tiempo requerido por la actividad y el costo por unidad de tiempo.

Desde el punto de vista de costos de ciclo de vida, la composición de las ecuaciones de tiempo puede variar a lo largo de los periodos de dicho ciclo de vida. Esto se puede representar distribuyendo, en base a coeficientes, la demanda de repuestos entre los diferentes direccionadores de tiempo, de la siguiente forma general.

$$t_{ly} = \beta_{0y} + \beta_{1y} * \frac{\lambda_{jky1}}{q_{jky1}} * x_{1y} + \beta_{2y} * \frac{\lambda_{jky2}}{q_{jky2}} * x_{2y} + \dots + \beta_{py} * \frac{\lambda_{jkyp}}{q_{jkyp}} * x_{py} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde X_{iy} representa la proporción de la demanda de un dado repuesto en el periodo, "y" que corresponde a una característica "p" de los repuestos y "λ" corresponde a la tasa de falla de un determinado repuesto.

3.2.- Modelo de confiabilidad.

Todo equipo al ser utilizado debe ser mantenido, esto se debe a que durante su utilización este va sufriendo procesos de deterioro lo que lo lleva a sufrir pérdidas de eficiencia y fallas.

Estas fallas provocarán una caída en la disponibilidad del mismo, junto con esto, y por ocasión de las mencionadas fallas muchos componentes (no reparables) deberán ser reemplazados.

Normalmente todo equipo, a lo largo de su ciclo de vida, presenta diferentes comportamientos en lo que respecta a su tasa de falla, como ejemplo de esto, citamos aquí un modelo representativo y muy citado en la literatura, este es el llamado "Modelo de la curva de la bañera".

Dicho modelo establece un ciclo de vida compuesto por tres fases: BOL (Begin of life); MOL (Midde of life); y EOL (End of life). Durante estas fases el equipo presenta determinados niveles de confiabilidad. En la primera fase el equipo suele presentar la llamada mortalidad infantil y la tasa de fallas decae conforme el tiempo transcurre.

En la segunda fase, la llamada vida útil, la tasa de fallas es considerada constante. Finalmente, en la fase final, normalmente llamada de fase de desgaste, la tasa de fallas (λ) tiene un comportamiento creciente.

La función de Weibull es una de las distribuciones estadísticas más usadas para representar el comportamiento de la confiabilidad a lo largo de la vida útil de un

equipo. Siendo así la confiabilidad de un componente puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

β = Factor de forma que caracteriza el patrón de falla.

η = Parámetro de escala, que representa la vida característica del equipamiento.

t_0 = Parámetro de localización y representa el inicio del proceso de deterioración. También se considera el momento más temprano en que una falla puede ocurrir (estimación).

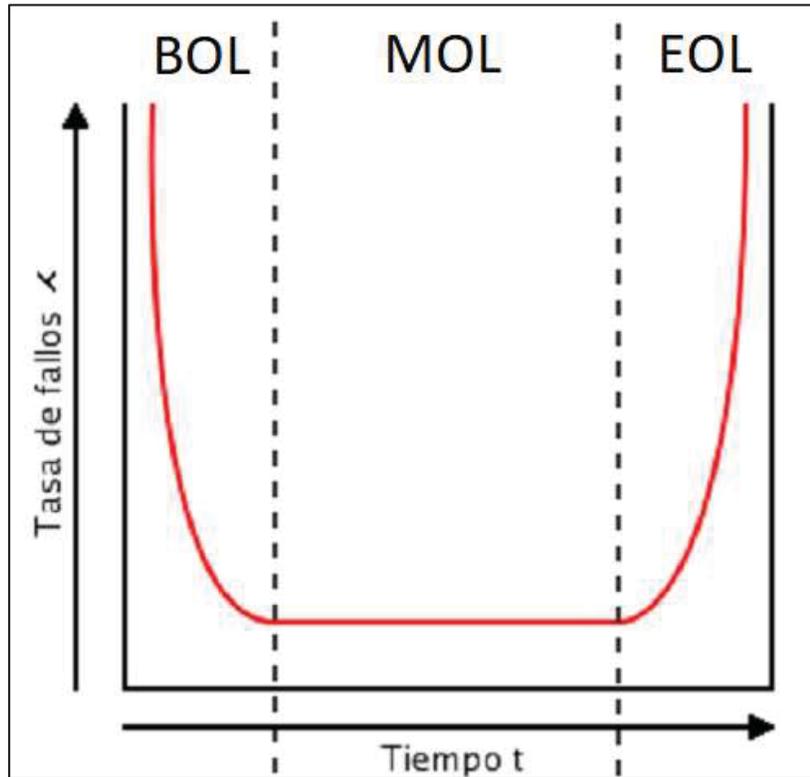
La vida característica está dada por el tiempo en que la probabilidad de que ocurra la falla es de 63,2%.

Por lo tanto, habiendo logrado conocer o estimar los parámetros de Weibull, será posible estimar la tasa de fallas y, por ende, las demandas o necesidades por repuestos en el futuro. Esta relación está dada por la siguiente ecuación:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \text{Ecuación 13}$$

Como se muestra en la figura 5, se puede establecer el comportamiento del parámetro de forma β . Este comportamiento se muestra en la figura 5.

FIGURA 5.- Curva de la Bañera.



Fuente: Pistarelli, 2014.

FIGURA 6.- Comportamiento del factor de forma.

β	λ	Fase
$\beta < 1$	DECRECE	BOL
$\beta = 1$	CONSTANTE	MOL
$\beta > 1$	CRECIENTE	EOL

Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto, al cambiar los valores de los parámetros de Weibull a lo largo de la vida de un determinado equipo, la tasa de fallas se verá influenciada y la demanda por un nuevo repuesto no reparable se percibe en bodega.

3.3.- Integración de ambos modelos.

Como se mencionó anteriormente, la matriz AQ_{kj} representa la cantidad de veces que un determinado repuesto R requiere de la ejecución de una determinada actividad j.

El número de ejecuciones de las actividades en un periodo dado, llamadas también transacciones, se consideran proporcionales al número de unidades requeridas en el mismo periodo de un determinado repuesto. A su vez, como ya fue mencionado, las unidades requeridas en la bodega, corresponderá a las fallas ocurridas para un determinado período.

También es fundamental destacar que ciertas actividades se realizan en función de un determinado tamaño de lote. Esto requiere decir, por ejemplo, cuando se ingresa a bodega un repuesto y dicho repuesto se adquiere en lotes de tamaño diferente a la unidad, el tiempo de ejecución de la misma deberá ser subdividido en el número de unidades que componen el lote. A ese tamaño de lote se denominara como q_k .

En función de lo mencionado en los apartados anteriores , la matriz AQ_{kj} deberá ser modificada para incorporar el tamaño del lote en relación a la cual cada actividad j es ejecutada, es decir :

$$AQ = \begin{bmatrix} \frac{AQ_{11}}{q_{11}} & \cdot & \cdot & \frac{AQ_{1m}}{q_{1m}} \\ \frac{AQ_{21}}{q_{21}} & \cdot & \cdot & \frac{AQ_{2m}}{q_{2m}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{AQ_{n1}}{q_{n1}} & \cdot & \cdot & \frac{AQ_{nm}}{q_{nm}} \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 14}$$

Por otro lado, la cantidad de repuestos será representado por la respectiva demanda de repuestos específicos, λ_{KY} , donde “y” representa el periodo del ciclo de vida respectivo.

En resumen, el procedimiento matricial puede ser resumido en el siguiente algoritmo:

$$\begin{bmatrix} CT_{1y} \\ \cdot \\ \cdot \\ CT_{ny} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\lambda_{jky}}{q_{jky}} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} UT_{11y} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ UT_{m1y} & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{1y} \\ P_{1y} * g_{1y} \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 15}$$

Como fue comentado anteriormente, el subíndice “y” representa el periodo del ciclo de vida, con:

$$y = 1, \dots, cv$$

cv = Duración del ciclo de vida.

CAPÍTULO IV

4.1.- Confiabilidad.

Los actuales modelos de confiabilidad, se desarrollan mediante distribuciones probabilísticas, las cuales muestran la probabilidad de que una falla ocurra en el futuro. Son fundamentales para el estudio, ya que logran proyectar eventos futuros por medio del análisis de los acontecimientos pasados.

Algunas de las distribuciones probabilísticas que se utilizan en la confiabilidad son:

- Distribución de Weibull.
- Distribución Exponencial.
- Distribución Gaussiana.
- Distribución Geométrica.
- Distribución de Poisson.

Para nuestro estudio seleccionaremos la distribución de Weibull, debido a que es la más utilizada para estimar una probabilidad basada en datos reales.

Distribución de Weibull: Este modelo de distribución probabilística es de fácil interpretación y adaptación de datos experimentales, los cuales pueden ser de diversos tamaños muestrarios, los que se transforman en parámetros precisos. Una de las características principales es su gran flexibilidad, lo que permite ser utilizado en sistemas mecánicos.

La distribución de Weibull se muestra a continuación matemáticamente:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$$t - \gamma \geq 0;$$

β : Parámetro de forma (Adimensional).

η : Parámetro de escala (Unidades de tiempo).

γ : Parámetro de localización (Unidades de tiempo).

El parámetro de forma β

Es el indicador del mecanismo de falla, y nos señala en que punto de la curva de la bañera se encuentra el elemento analizado, como se muestra a continuación;

- ✓ Para valores $0 < \beta < 1$; nos indica que el componente se encuentra con fallas prematuras o infantiles, por lo que comienzan con una alta tasa de fallas las inicio de un proyecto o diseño, y esto se debe a problemas de desconocimiento de equipo, desconocimiento operacional, problemas de ensamble o alineamiento, problemas de overhaul , etc. Cuando se encuentra el problema, la tasa de fallas decrece con la edad.

- ✓ Para valores de $\beta = 1$; nos indica que el componente se encuentra con fallas constantes y aleatorias, en donde el componente se encuentra con fallas de madurez, las cuales se deben a errores de mantención, errores humanos, fallas debido condiciones climáticas adversas, overhaul no apropiados, entre otros.
- ✓ Para valores de $1 < \beta < 4$; nos indica que el componente se encuentra con fallas por deterioro prematuro, donde comienzan a fallar mucho antes de cumplir con su ciclo de vida, debido a bajos ciclos de fatiga, corrosión, erosión, entre otros.
- ✓ Para valores de $\beta > 4$; nos indica que el componente se encuentra con fallas debido a que ya alcanzaron su ciclo de vida y la tasa de falla comienza a aumentar de manera exponencial.

Parámetro de escala η

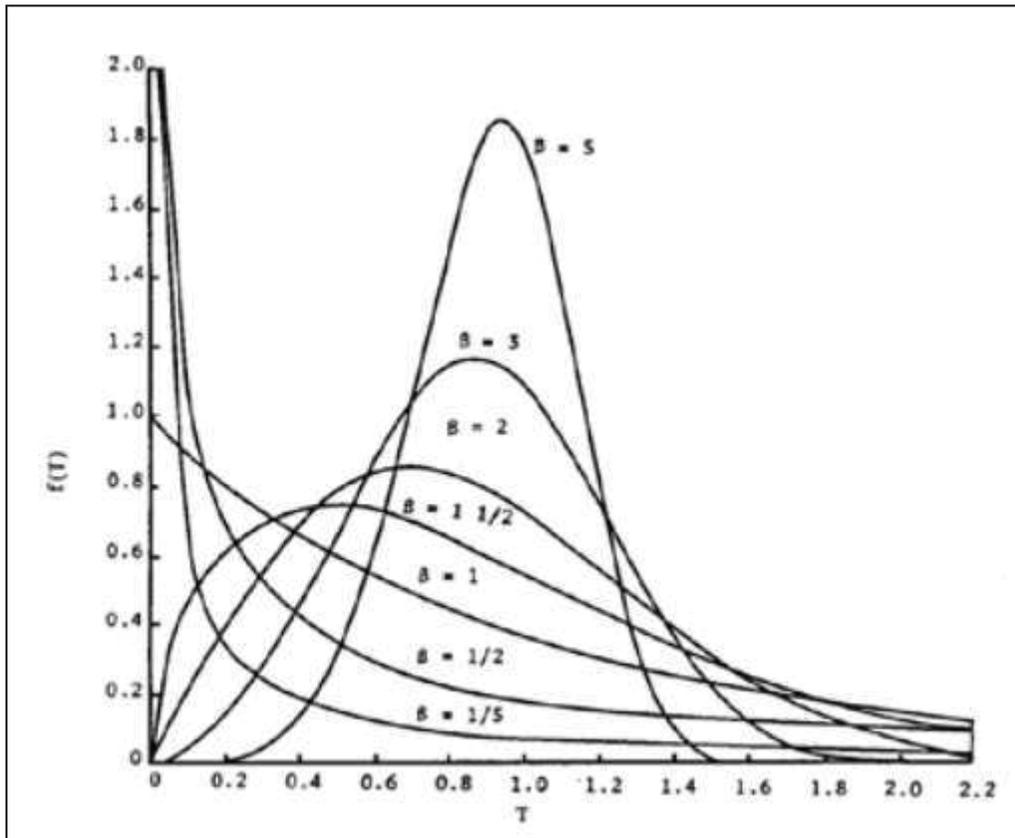
Es quien indica el tiempo o vida característica. Cuando existe una variación de magnitud de η sucede lo mismo con la distribución, lo que genera un cambio de escala en la abscisa, esto es, cuanto mayor sea η , más amplia es la distribución, más se extiende sobre o-x.

Parámetro de Localización γ

Se utiliza para situar el inicio de la distribución a lo largo de la abscisa.

En la figura 7, se muestra la distribución de Weibull, para variados valores de β .

FIGURA 7.- Función de densidad de Probabilidad de Weibull para distintos β , con $\gamma = 0$.



Fuente: Apuntes mantenimiento R. Guardia (2016).

Método mínimo cuadrados.

El método de los mínimos cuadrados, nos permitirá determinar los parámetros de forma y escala, para la distribución de Weibull, por medio de una regresión lineal.

El método consiste en que a través de una transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa se obtengan los parámetros. Para utilizarlo se deben tener:

1. Los tiempos medios de fallas (TBF) de los equipos, repuestos o activos a analizar.
2. Ordena los tiempos de mayor a menor.
3. Para cuando existan poca cantidad de datos y debido a esto puede que no sean representativos cuando se tenga que modelar la frecuencia de falla, según Pascual (2005), para minimizar el error, es necesario determinar la función de distribución $F(i)$, con el método de los rangos medianos, el cual es utilizado para población de datos pequeñas.

La función es la siguiente:

Ecuación 17

$$F(i) = \frac{(i - 0,3)}{(\sum fallas + 0,4)}$$

Para determinar los valores de la abscisa y ordenada, se utiliza el método de los mínimos cuadrados, el cual se muestra a continuación:

$$x_i = \ln(TBF) \quad \text{Ecuación 18}$$

$$y_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(i)}\right)\right) \quad \text{Ecuación 19}$$

4. Como siguiente paso, se grafica como abscisa x_i y como ordenada y_i , para obtener la regresión lineal, como se ejemplifica en la siguiente tabla y gráfico.

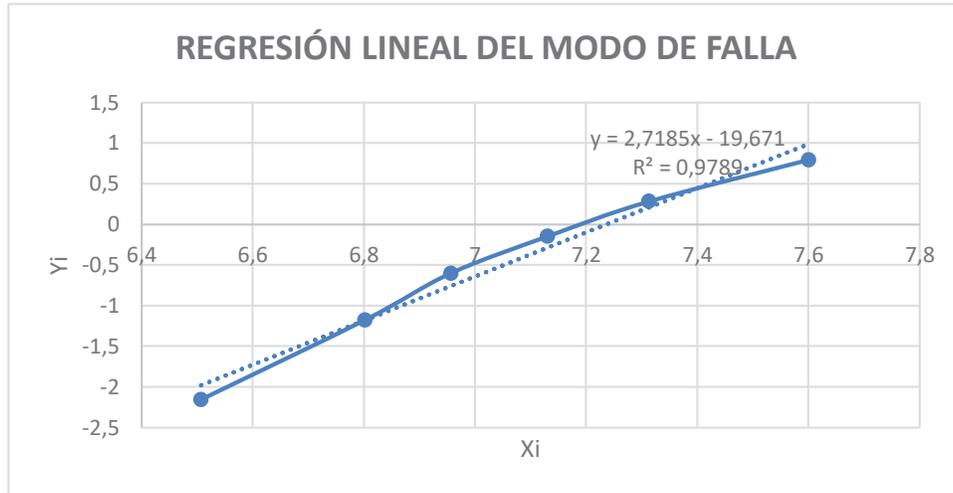
En la tabla 4, se ejemplifican datos de números de fallas y posteriores cálculos de las funciones, para graficar la regresión lineal.

TABLA 4.- Ejemplo de tabla de datos para modelo de Weibull.

MODO DE FALLA					
Nº FALLA	TIEMPO DE FALLA				
i	t _i		F (i)	Xi	Y (i)
	Dias	Horas			
1	28	670	0,109375	6,50727771	-2,155
2	38	900	0,265625	6,80239476	-1,1752
3	44	1050	0,421875	6,95654544	-0,6015
4	52	1250	0,578125	7,13089883	-0,1472
5	63	1500	0,734375	7,31322039	0,2819
6	83	2000	0,890625	7,60090246	0,7943

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 8.- Gráfico ejemplo de regresión lineal de modo de falla.



Fuente: Elaboración propia.

5. Por consiguiente, se obtiene la línea de tendencia de la curva, y el error cuadrático. Según Pascual (2005), como primera aproximación del parámetro de localización, se considera $\gamma = 0$.

Donde la ecuación de línea de tendencia, es la ecuación de una recta, la que tiene por forma:

$$y = ax + b \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

a : Es la pendiente de la recta, y es la representante del parámetro de forma.

b : Es utilizado para obtener el parámetro de escala η .

6. Para obtener el parámetro de escala η se calcula de la siguiente forma:

$$\eta = e^{\left(\frac{-b}{a}\right)} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde; a y b se describen en el apartado anterior.

En el caso, de que la regresión no se adhiera con una línea recta, como se mostró en el ejemplo anterior, sino mostrara una curva similar a una asíntota vertical, significa que el parámetro de localización $\gamma \geq 0$. (Meruane 2011)

Por ello el valor obtenido de los parámetros es estimado, se rectifica internado y corrigiendo la escala de tiempo así:

$$t_i + 1 = ti - y_i \quad \text{Ecuación 22}$$

Para los casos, en que la asíntota sea curva en otra dirección, significa que el valor del parámetro de localización se encuentra entre 0 y el último γ obtenido. Por consiguiente, el valor de γ que más minimice el error cuadrático se tomará como el parámetro de localización. Este valor nos indica el comienzo de la distribución de Weibull a lo largo de la abscisa. Para terminar, se obtienen los parámetros de Weibull.

7. Método para la comprobación de modelo de Weibull.

Para, determinar si los parámetros obtenidos son correctos, se comprueban a través del test de KOLMOGOROV-SMIRNOV. Para que el modelo sea confiable debe ser comprobado, debido a que primero se debe aceptar que se incurre en algunos errores y para minimizar estos, se determina un nivel de confianza α , a la probabilidad de el modelo sea erróneo.

El test de KOLMOGOROV-SMIRNOV puede ser aplicado a cualquier número de muestras y su principio se basa en comparar la verdadera función de distribución con la propuesta. Para ello se utiliza el valor absoluto de las diferencias entre una y otra medición.

A continuación, en la tabla 5, se muestra un ejemplo para el test de Kolmogorov-Smirnov.

TABLA 5.- Ejemplo Test Kolmogorov- Smirnov.

MODO DE FALLA					
N° FALLA	TIEMPO DE FALLA		F (i)	F (t)	D_{ni}
	i	ti			
	Dias	Horas			
0	0	0	0	0	0
1	28	670	0,109375	0,1191	0,0097
2	38	900	0,265625	0,244	0,021
3	44	1050	0,421875	0,3532	0,068
4	52	1250	0,578125	0,5182	0,0598
5	63	1500	0,734375	0,7169	0,017
6	83	2000	0,890625	0,9484	0,05778

Fuente: Elaboración Propia.

Para realizar la comprobación se deben obtener los siguientes datos

- a). Del apartado número 3, se obtuvo $F(i)$. Por lo que se vuelve a utilizar.
- b). Se determina $F(t)$, donde se asume que el número de datos obedece a una distribución Gaussiana, para posteriormente obtener la media y la desviación standard del tiempo entre fallas. Para determinar $F(t)$ se utiliza la función de distribución normal de Excel, de la siguiente manera:

$$F(t) = \text{Distr. Norm. Estand} \left(\frac{TBF_i - \bar{X}_{TBF}}{\sigma_{TBF}} \right) \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

TBF: Es el tiempo entre fallas de cada falla.

\bar{X}_{TBF} : Es la media de los tiempos entre fallas.

σ_{TBF} : Es la desviación standard del tiempo entre fallas.

- c). Como siguiente paso, se obtiene D_{ni} , que es el valor absoluto de la diferencia entre $F(i)$ y $F(t)$.

$$D_{ni} = |F(i) - F(t)| \quad \text{Ecuación 24}$$

- d). Para terminar el test, una vez obtenido D_{ni} , de las observaciones, se compara el mayor valor calculado D_{ni} , con el que se obtiene de la tabla 6 de KOLMOGOROV-SMIRNOV, para un determinado valor de confiabilidad α y número de datos.

TABLA 6.- Tabla de Kolmogorov-Smirnov.

TAMAÑO DE MUESTRA n	NIVEL DE SIGNIFICANCIA α				
	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
1	0.9	0.1	0.975	0.99	0.995
2	0.684	0.776	0.842	0.9	0.929
3	0.565	0.636	0.708	0.689	0.829
4	0.493	0.565	0.624	0.689	0.829
5	0.477	0.509	0.563	0.627	0.669
6	0.41	0.468	0.519	0.577	0.617
7	0.381	0.436	0.483	0.538	0.576
8	0.359	0.41	0.454	0.507	0.542
9	0.339	0.387	0.43	0.48	0.513
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.486
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.295	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.39	0.418
15	0.266	0.304	0.338	0.377	0.404
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.352
25	0.208	0.238	0.264	0.295	0.317
30	0.19	0.218	0.242	0.27	0.29
40	0.165	0.189	0.21	0.235	0.252
n grande	$1.07n^{1/2}$	$1.22n^{1/2}$	$1.36n^{1/2}$	$1.52n^{1/2}$	$1.63n^{1/2}$

Fuente: Pascual 2005.

Por lo tanto, para una muestra de n datos, y un valor de confianza α , se obtiene el valor de $D_{ni\ tabla}$, para luego realizar la comparación con el $D_{ni\ max}$ calculado en donde debe seguir la siguiente relación:

$$D_{ni\ max} > D_{ni\ tabla} \qquad \text{Ecuación 25}$$

En caso de no cumplir con la relación, se rechaza la hipótesis.

Confiabilidad de Weibull

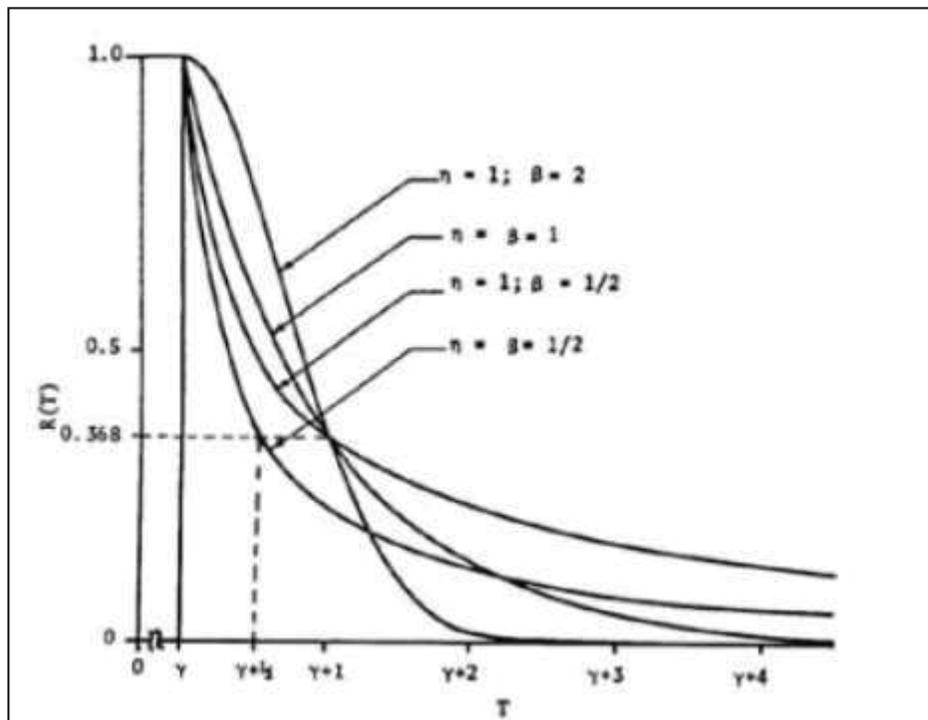
Una vez, conocidos los tiempos entre fallas del equipo u componente, los parámetros de Weibull calculados y la comprobación del modelo a través del test de Kolmogorov-Smirnov, se procede al cálculo de la confiabilidad.

Para obtener la confiabilidad, se procede con la ecuación 12:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta}$$

En la figura 9, se observan diversos valores de β , para los cuales la curva muestra su tendencia:

FIGURA 9.- Curva de confiabilidad se Weibull, para diversos valores de β .



Fuente: Pascual (2005).

En la figura se puede observar, que la confiabilidad comienza en el valor 1, debido a que todos los equipos, de manera inicial, se encuentran en óptimas condiciones, con un nivel de confiabilidad de un 100%, a medida que pasa el tiempo, su confiabilidad disminuye.

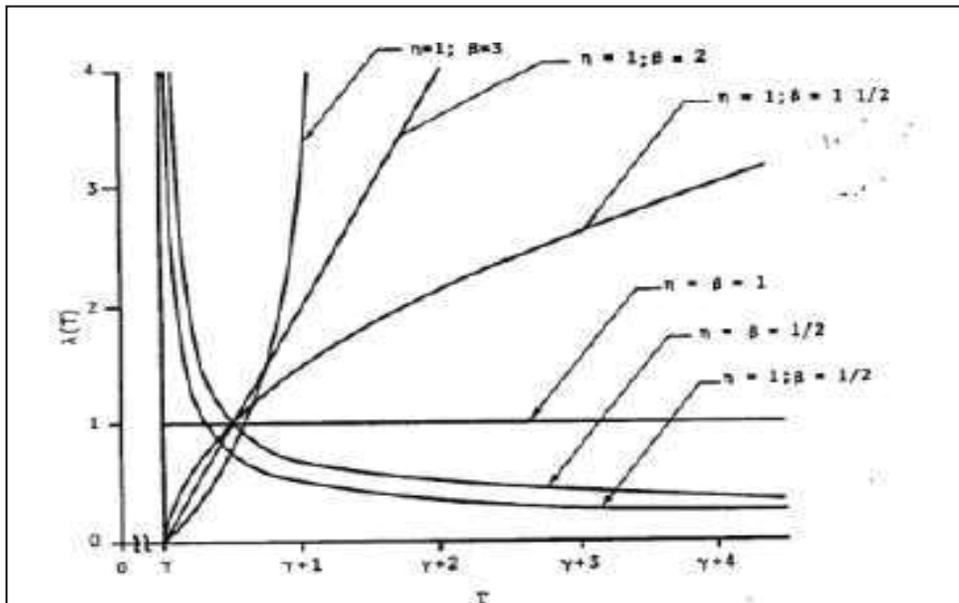
Tasa de fallas de Weibull

Una vez obtenidos los parámetros de Weibull y la comprobación del modelo a través del test de Kolmogorov-Smirnov, se inicia el cálculo de tasa de fallas.

Para obtener el valor de tasa de fallas de Weibull, se procede con la ecuación 13:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

FIGURA 10.-Curva de tasa de fallas, para diversos valores del parámetro de forma β .



Fuente: Pascual (2005).

Para valores de la tasa de falla de:

- ✓ $0 < \beta < 1$, comienza en ∞ , para valores de $t = \gamma$, para luego comenzar a descender, cuando $t \rightarrow \infty$ y $\lambda \rightarrow 0$. Esto permite que la distribución de Weibull, sea utilizada para aplicarla en equipos o componentes que presenten fallas prematuras.
- ✓ $\beta = 1$, la tasa de fallas representa que es constante en la vida útil de los equipos.
- ✓ $\beta > 1$, la tasa de fallas crece , cuando el valor de $t \rightarrow \infty$, y es utilizada para representar las fallas por desgaste de los equipos.
- ✓ $1 < \beta < 2$, la curva de la tasa de fallas es cóncava.
- ✓ $\beta > 2$, la curva de la tasa de fallas se utiliza para modelar las fallas debido a la edad.

Tiempo medio entre fallas de Weibull (MTBF).

Para obtener el tiempo medio

entre fallas, se utilizan los parámetros de Weibull anteriormente obtenidos.

La ecuación es la siguiente:

$$MTBF = \gamma + \eta \zeta \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Ecuación 26

Donde:

γ = *Parámetro de localización.*

η = *Parámetro de Escala.*

Γ = *Representa la función Gamma utilizada en excel.*

β = *Parámetro de forma.*

Capítulo V

5.1.- Aplicación de TDABC, caso real.

A continuación, se realiza la aplicación del TDABC, en un caso real, el cual nos permitirá desarrollar el modelo a cabalidad, el objetivo es obtener los costos mediante la aplicación del método.

Por ello, a continuación, se realiza la descripción breve de los antecedentes de la empresa bajo estudio.

5.2.- Antecedentes de la empresa.

La empresa bajo estudio es KOMATSU, la cual distribuye a lo largo de todo Chile, equipos y repuestos para contratos y ventas de la misma marca.

Komatsu es una empresa japonesa, la segunda mayor dedicada principalmente a la fabricación de maquinaria para la industria de la construcción y minería después de Caterpillar.

La empresa lleva el nombre de la ciudad de Komatsu, que está ubicada en la prefectura de Ishikawa, en la región de Hokuriku en Japón. El nombre Komatsu, se traduce al castellano como "Pequeño Árbol de pino". En aquel momento el monje emperador Kazán plantó un pino joven durante una gira por la región de Hokuriku, donde el pino llegó a ser llamado "Sono sin Komatsubara", que se traduce como pequeño campo de pino con jardines. Este nombre se acortó y dio origen a "KOMATSU".

Se fundó en 1884, por Meitaro Takeuchi, bajo el nombre de “Takeuchi Mining Industry”, quien descubrió que el negocio fundamental de la empresa era la minería, lo que lo llevo a concentrarse en esta actividad. Luego de percatarse de la existencia y el crecimiento del rubro, Takeuchi decidió entregarle a un tercero la responsabilidad de fabricación de máquinas para el movimiento de tierra, y dio paso a establecer “Komatsu Iron Works”.

En 1921, el Sr. Meitaro Takeuchi decide separase de su socio, para dar origen a “Komatsu Ltda.”, para fortalecer el desarrollo como fabricante de máquinas y equipos, dirigidos a la minería.

Sus ventas fueron consolidadas por más de US 5.000 Millones en el año 2009, la empresa tiene subsidiarias en América, Europa, África, Asia y Oceanía, y a su vez en Estados Unidos, Brasil, Chile, Alemania, Reino Unido, Suecia, Italia, Noruega, Rusia, Indonesia, Tailandia, India, China, y Japón con plantas de fabricación.

VISIÓN DE LA EMPRESA:

“Ser una empresa de servicios de clase mundial que entrega los productos, soluciones y sistemas más confiables y productivos para resolver los desafíos más complejos de la minería”.

MISIÓN DE LA EMPRESA:

“Asociarnos directamente con nuestros clientes para ayudarles a alcanzar la meta de daño cero, el nivel máximo de producción y el costo de la vida útil más bajo para sus operaciones mineras, haciendo de cada cliente una referencia”.

VALORES DE LA EMPRESA:

“Nos enorgullece que nuestro personal base su conducta en los siguientes valores”:

- INTEGRIDAD
- RESPETO
- DIVERSIDAD
- TRABAJO EN EQUIPO
- CONFIABILIDAD
- DESEMPEÑO

5.3.- Komatsu en Chile.

Su aparición Chile fue en el año 1971, originalmente por medio de empresas distribuidoras como lo es Atom (con equipos de movimiento de tierra) y Disca (con camiones para la minería). En 1999 se decidió establecer en Chile, dando origen a “HOLDING Komatsu Cummins Chile Ltda.”.

Luego de 10 años de su establecimiento en Chile, la empresa toma la decisión de trasladar la oficina regional de minería en Latinoamérica desde Miami hasta Santiago, lo que simbolizó un voto de confianza para el país y de reconocimiento al trabajo realizado.

De esta manera, en abril de 2011, se estableció también la División de Tecnología e Innovación en equipos mineros en nuestro país. Esto ocurre debido a la considerable cifra de operaciones mineras en nuestro país, con el objetivo de utilizar el mayor potencial de los equipos actuales y diseñar lo que la industria necesita a mediano y a largo plazo a nivel mundial, como para minería a rajo abierto y subterráneas y, por consiguiente, proponer soluciones tecnológicas a clientes que maximicen la productividad y costos en operación y mantención. Hoy en día, la oficina ubicada en Chile, es la regional, la cual es la responsable de distribuir componentes del sector minero para toda Latinoamérica.

En nuestro país, durante 2010 comenzó con la construcción de dos modernos centros de distribución, ubicados en Santiago y Antofagasta. Estos comienzan sus funciones durante enero y febrero del 2011 respectivamente, las cuales simbolizan una inversión de US 8 millones, y cuentan con una moderna tecnología. Para la bodega de Antofagasta denominada "LA CHIMBA", ubicada en Av. Pedro Aguirre Cerda 6435, se consideró una inversión de US 4 millones, dispone de 14.000 m², techados con disposición para almacenamiento de repuestos y componentes, y con 5.000 m² de exterior, para depósito de elementos de desgaste rodados y otros componentes de equipos. Así mismo para el centro de Santiago, se construyeron 5.000 m² techados y 2.000 m² en el exterior, con una inversión de US 4 millones,

además ambos centros cuentan con Quality Assurance, en conjunto con indicadores de gestión y planes de almacenaje, las cuales disminuyen los tiempos de suministros.

Durante el año 2017, Komatsu completa su transacción de compra de la empresa Joy Global, que era un líder mundial en soluciones mineras de alta productividad y proporcionaba marcas de productos como P&H, Joy y Montabert. Actualmente funciona como subsidiaria de “Komatsu”, bajo el nombre de “Komatsu Mining Corp.”, la cual continuará con los suministros de las marcas antes mencionadas. El objetivo de esta adquisición suma a más de 1.000 profesionales de gran conocimiento y experiencia en la industria minera, y su enfoque va direccionado a proporcionar a sus clientes un suministro interrumpido de equipos y servicios.

Para el futuro, en Chile hay muchos proyectos para desarrollar, uno de los más importante es en las áreas de reclutamiento y formación de personal, ya que para continuar creciendo se necesita pues Chile sigue siendo el país con mercado minero más grande de Latinoamérica.

Para el año 2021, que es donde Komatsu cumple 100 años de servicios, las perspectivas en Chile son hacer crecer el negocio en un 50 %.

5.4.- Centro de distribución de repuestos (CDR), Komatsu Cummins, la portada, Antofagasta.

5.4.1.- Ubicación

El centro de distribución de repuestos, La Portada, se encuentra ubicado en Avenida el Agua #15020, Barrio Industrial, Antofagasta (Ex joy global), como se muestra en la Figura 11.

FIGURA 11.- Ubicación Centro de Distribución de repuestos, “LA PORTADA”, KOMATSU, CUMMINS.



Fuente: Google Earth, junio 2020.

Su construcción es de 2000 m² techados, que se utiliza para el almacenamiento de repuestos e insumos que necesiten ser resguardados del ambiente, y 2350 m² de patio exterior para almacenamiento de equipos y repuestos de gran tamaño que no tengan problemas con la intemperie y brisa marina.

En la figura 12, se puede observar la organización bajo techo de la bodega, donde se ubican los racks con repuestos.

FIGURA 12.- Centro de Distribución de repuestos, “La Portada”, Antofagasta, Komatsu.



Fuente: Fotografía Propia.

5.4.2.- Organigrama de la bodega del centro de distribución de repuestos, Komatsu, Cummins.

La bodega, posee hoy en día, 16 funcionarios, los cuales son encargados de las diversas áreas que componen la bodega del centro de distribución de repuestos.

Principalmente se compone de 4 áreas que son:

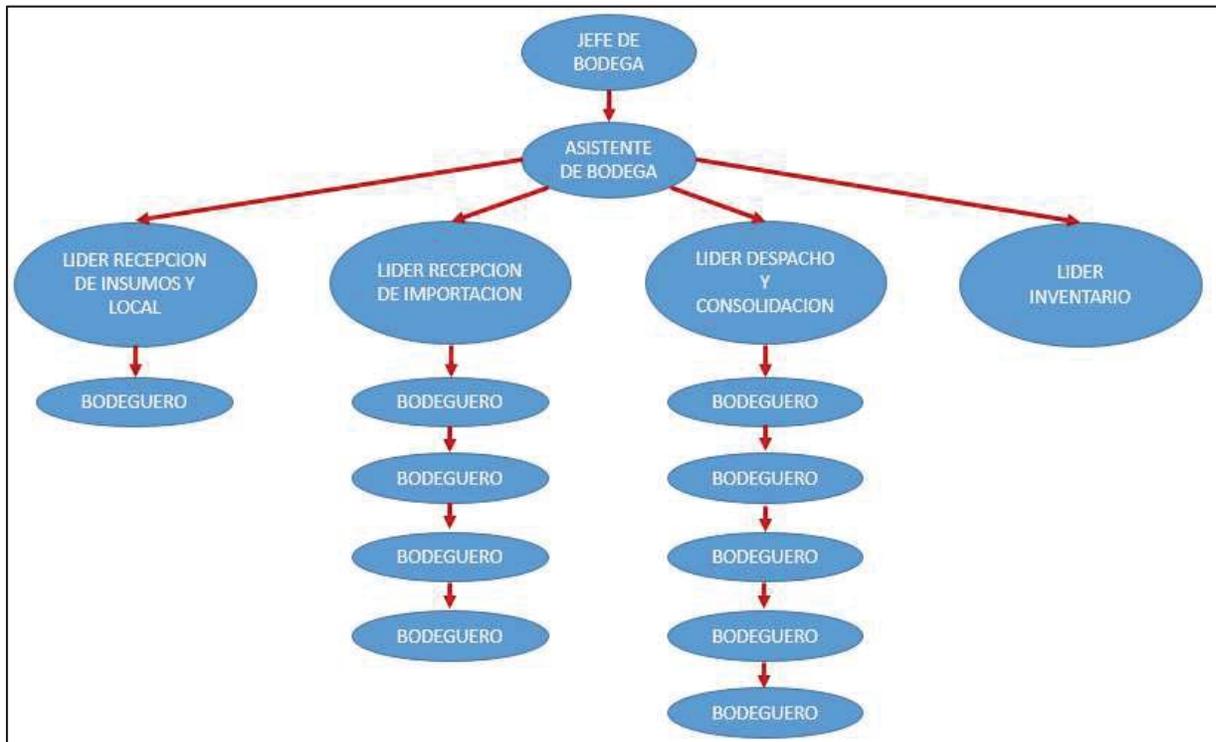
1. RECEPCIÓN DE INSUMOS Y REPUESTOS DE FABRICACIÓN LOCAL.
2. RECEPCIÓN DE IMPORTACIÓN.

3. DESPACHO Y CONSOLIDACIÓN.

4. INVENTARIO.

El organigrama de la bodega se puede observar a continuación en la Figura 13.

FIGURA 13.- Organigrama del centro de distribución de repuestos, Komatsu, Cummins.



Fuente: Elaboración propia.

Cada una de las áreas anteriormente mencionadas, posee un líder, el cual está encargado de distribuir las horas hombres disponibles en la bodega para realizar las diversas tareas correspondientes al área.

A su vez, existen 10 bodegueros disponibles para realizar las tareas de la bodega, las cuales se dividen según corresponda el área a la cual está delegado.

5.4.3.- Funciones del centro de distribución de repuestos.

El centro de distribución de repuestos, como bien dice su nombre, es el encargado de distribuir los repuestos que sean solicitados de las diversas empresas que cuenten con contrato vigente, clientes que necesiten comprar insumos y repuestos para sus equipos e importaciones.

Este centro de distribución de repuestos posee alrededor de 11.000 repuestos, de los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

- ✓ TIPO A: Repuestos Grandes
- ✓ TIPO B: Repuestos Medianos
- ✓ TIPO C: Repuestos Pequeños

Para los cuales, existen 3 tipos de ubicaciones disponibles dentro de la empresa, las cuales se definen a continuación:

- a) ZONAS DE ALMACENAMIENTO: Corresponden a sectores, en donde el lugar está destinado para repuestos de grandes dimensiones, como se observa en la figura 14. Las zonas son denominadas por ZO- XX, donde XX representa el número de la zona. Las zonas se encuentran fuera del galpón techado, a la intemperie que es donde hay mayor dimensión de lugares disponible. La mayoría de los repuestos tipo A, son destinados a estas zonas.

FIGURA 14.- Zonas de almacenamiento.



Fuente: Fotografía Propia.

- b) **RACKS DE ALMACENAMIENTO:** Son sectores de la bodega, que se pueden encontrar tanto como en la bodega techada, como a la intemperie. Se denominan por ZE- XX, donde la designación XX corresponde al número del rack, como se muestra en la figura 15. Los racks son una clase de estantes que están divididos por pisos, los cuales se almacenan los repuestos tipo B.

FIGURA 15.- Racks de almacenamiento.



Fuente: Fotografía Propia.

- c) CASILLAS DE ALMACENAMIENTO: Son pequeños estantes, en los cuales se dividen en espacios pequeños, como se observa en la figura 16. Se denominan por AB-00-XX, donde AB corresponde a la ubicación del estante, 00 es el piso del estante y XX el casillero correspondiente. Se utilizan las casillas para almacenar los pequeños repuestos, que son la mayor cantidad los del tipo C.

FIGURA 16.- Casillas de almacenamiento.



Fuente: Fotografía Propia.

El centro de distribución de repuestos, específicamente la bodega de repuestos se compone principalmente de 3 áreas de trabajo:

1. Recepción de Insumos: En esta área, se reciben todos los insumos (elementos de protección personal, artículos de escritorio, zapatos de seguridad, café, té, azúcar, etc.) consumidos por los diversos contratos donde se mantienen talleres, bodegas y oficinas de la empresa.

2. Repuestos de fabricación local y Recepción de Importación
 - a. Repuestos de Fabricación local: Existen casos donde el repuesto tarda mucho tiempo en llegar, y como medida se opta por realizar la reparación (si es que existe reparación) con fabricantes locales de confianza, con los cuales la empresa tiene contrato. Estos realizan reparaciones y réplicas de los repuestos, en tiempos mucho más reducidos, en comparación a traerlos desde la fábrica, la cual se encuentra fuera del país.

 - b. Recepción de Importación: En la mayoría de los casos, se solicitan los repuestos a la fábrica y llegan a la ciudad de Santiago, donde se encuentra la bodega principal de Komatsu. Desde allí se distribuye a los demás centros de distribución ubicados a lo largo del país. Desde Santiago hasta la ciudad de Antofagasta por medio aéreo y vía Puerto desde Valparaíso. Una vez en la ciudad de Antofagasta son

transportados hasta “La Chimba”, que es centro de acopio en la ciudad de la empresa, en donde se descargan los container y se almacenan los repuestos e insumos. Desde el centro de acopio se trasladan los repuestos e insumos hasta el centro de distribución de repuestos por intermedio de camiones de ruta, pero solo cuando se tengan en disposición horas hombres para poder recibir los pedidos. Si el pedido es de urgencia, se lleva de inmediato desde el puerto o aeropuerto hasta el centro de distribución de repuestos.

3. Despacho y consolidación: Como bodega, existen 3 clientes de productos los cuales son:

- **CONTRATOS CON FAENAS:** La empresa, posee contratos con diversas faenas mineras de la zona. En muchos de estos contratos, la empresa se encarga de las mantenciones de los equipos, y por lo tanto de sus respectivos repuestos e insumos. Es por ello que a medida que se realizan mantenciones, o en caso de falla, se mandan a pedir a la bodega interna.

Para cada contrato, la empresa cuenta con bodegas dentro de la faena, y es el bodeguero el encargado del inventario y en caso de falta de repuestos e insumos se piden al centro de distribución de repuestos, “La Portada”, Antofagasta.

- **VENTAS:** La empresa cuenta también con ventas de repuestos e insumos a clientes que poseen equipos de la empresa, los

cuales son abastecidos por el centro de distribución de repuestos, “La Portada”, Antofagasta.

- **IMPORTACIONES:** Alrededor del mundo, Komatsu posee diversas sucursales, como, por ejemplo: México, Australia, Perú entre otras. Para los casos en que las empresas no cuenten con los repuestos necesarios, se pide este a la sucursal más cercana, la cual tenga el repuesto disponible, para luego enviarlo de la manera deseada por el cliente.
4. **Inventario:** En la bodega, se utiliza el inventario cíclico, el cuál es un método de conteo y control, el que se procede a contar en intervalos regulares establecidos, que son a diario, pero se procede a contar solo una parte de los ítems. La cantidad de ítems y el tipo de ítems a contar son establecidos por el reporte.

El encargado de inventario, es a la vez el encargado de las importaciones, es por ello, que existen ocasiones en que las importaciones son de gran cantidad, y debido a esto, el encargado aplaza el inventario del día para el día siguiente, y es así, como se acumulan inventarios el cual el encargado es el responsable de realizarlo lo antes posible.

5.4.4.- Ciclo de vida de los repuestos en la Bodega.

A. RECEPCIÓN: Una vez, que el transporte llega a las puertas de la bodega con los repuestos, estos se ingresan. Todo pedido viene acompañado de una orden de compra.

El proceso de recepción se realiza de la siguiente manera:

- Verificar Orden de compra: Es el proceso el cual, la persona responsable comprueba la cantidad de bultos que viene en el pedido.
- Ingreso al Sistema: El siguiente paso, es ingresarlos al sistema, en donde arroja una "REC STORE", que es un documento el cual permite observar el detalle de los bultos que ingresaron, donde se detalla la denominación del repuesto y la cantidad de repuestos. Esto permite ingresar los repuestos e ítems, para actualizar el inventario. Una vez ingresados, se verifican si la cantidad descrita es la correspondiente con la física, si los repuestos e ítems están en buenas condiciones, si son sobrantes o son faltantes.
- Revisión de Calidad: Se verifica si los productos procedentes, vienen en óptimas condiciones para ser utilizados sin tener inconvenientes de ningún tipo.
- Revisión de Cantidad: Se procede a realizar el conteo de los productos, se comprueba con la orden de compra si las cantidades descritas son exactamente las provenientes desde los bultos llegados.

Al verificar la cantidad de repuestos en algunos casos es muy tediosa, debido a que existen ocasiones en que los repuestos son muy pequeños y vienen en gran cantidad, como son por ejemplo las golillas, las tuercas, pernos pequeños, etc, por lo que la verificación de cantidad puede llegar a durar de 24 a 48 horas.

B. ALMACENAJE: Este realiza, una vez desembalado los repuestos de sus bultos, y son transportados a las áreas de almacenaje, dependiendo del "PICK SERVICE ORD", que es donde se indica el lugar de almacenaje. El tipo de transporte del repuesto a su ubicación depende de las dimensiones de éste. Los tipos de transporte son:

- Traslado a Pie. Para la mayor cantidad de las ocasiones se utiliza para repuestos tipo C.
- Traslado en Grúa Horquilla de 3 ton: Utilizado para repuestos categorizados en Tipo B.
- Traslado en Grúa Horquilla de 10 ton: Utilizado para repuestos tipo B y Tipo A.

C. RECOLECCIÓN Y DESPACHO DE REPUESTOS.

El proceso del despacho, se realiza mediante las siguientes etapas:

- a) Recolección: La empresa, crea un documento conocido como "PICK SERVICE ORD", el cual contiene el pedido, como se observa en la figura 17. Esta orden describe el tipo de repuesto necesario, la

cantidad, el peso, la ubicación de los repuestos en la bodega, la fecha de recepción de la orden del pedido a la empresa, y la fecha que el pedido debe estar listo. La recolección, consiste en reunir todos los repuestos de la orden de pedido en un lugar dispuesto por la empresa.

FIGURA 17.- Pick Service ord.

Pick Service Ord.							Pick Service Ord.		
Date	Time	Order No.	Item	Page	Plant	Sloc	Date	Time	Page
05/24/18	09:13	2016067	130	11/01	6B2	801	05/24/18	09:13	17/17
Part Number		Quantity	Unit	Deliver to		Item	Part Number		
2002600255		6,000	EA	6B2/81E01		130	2002600255		
First Bin		Description				Order No.	Reqd. Date		
AD-03-05		3/8-36UNC X 5/8 HEX HEAD CAPSC				2016067	04/24/18		
Second Bin		Third Bin	Reservation	Item	Operation	Plant	Sloc	First Bin	
			71655430	13	0050	6B2	801	AD-03-05	
PBatch	Weight					Second Bin	Third Bin		
438714	0.12 LB								
Barcode		Assembly		Required Date		Deliver To		Qty. Picked	
00125551000000		RPEEM1154W1		04/25/18		6B2/81E01			
						Initials			

Fuente: Fotografía Propia.

- b) Confirmación Ítem por Ítem en el sistema: Una vez, recolectados por repuestos, se procede a verificar la "PICK SERVICE ORD" (orden de pedido) por el bodeguero en el sistema, si existe el stock necesario, para aquellos que no están disponibles se informa al jefe de bodega.
- c) Rebajar del Inventario: Por consiguiente, luego de la confirmación de toda la orden de pedido, se rebaja del inventario, para actualizar el stock de la bodega.

- d) Embalar: Consiste en la envoltura, con la cual se protege el repuesto, para transportarlo donde sea necesario.

- e) Consolidación: Radica, en dejar los embalajes dispuestos al transporte en el lugar indicado por la empresa, para ser recogidos por el transporte. Al finalizar la consolidación, se procede a informar que el pedido está listo para ser retirado.

5.5.- Aplicación del modelo de confiabilidad.

Se presenta el modelo de confiabilidad, para la posterior proyección de la cantidad de repuestos a utilizar, durante los siguientes 6 años.

5.5.1.- Alcances.

Los análisis realizados, son a partir de un historial de pedidos en la bodega. En la bodega se clasifican los repuestos en Grandes, Medianos y pequeños. A partir del año 2012 hasta el año 2018, se realizó una selección de un repuesto que representa el comportamiento de los repuestos al grupo del cual pertenece. Se realizó la elección de un repuesto grande, uno mediano y uno pequeño.

A partir del repuesto ejemplificativo, se obtuvo la cantidad de veces que el repuesto se mandó a pedir, y a partir de ello se supuso que el tiempo entre pedido y pedido será considerado como tiempo medio entre fallas. De tal manera que cada pedido corresponde a la falla de un equipo u activo. A partir de estos tiempos entre fallas

se calcularon los parámetros de Weibull para su posterior proyección para cada uno de los grupos de repuestos.

A continuación, se muestra el análisis de Weibull y validación del modelo, su respectiva curva de confiabilidad, el MTBF y la tasa de falla para cada grupo de repuestos.

5.5.2.- Repuestos Pequeños.

En la tabla 7, se muestra el cálculo de rangos medianos F_i , los valores del eje X (X_i) y valores del eje Y (Y_i), con el método de los mínimos cuadrados, que posteriormente nos servirán para obtener una regresión lineal y su respectivo gráfico. El gráfico obtenido, es una recta, la cual, su pendiente representa el valor del parámetro de forma β para su posterior análisis.

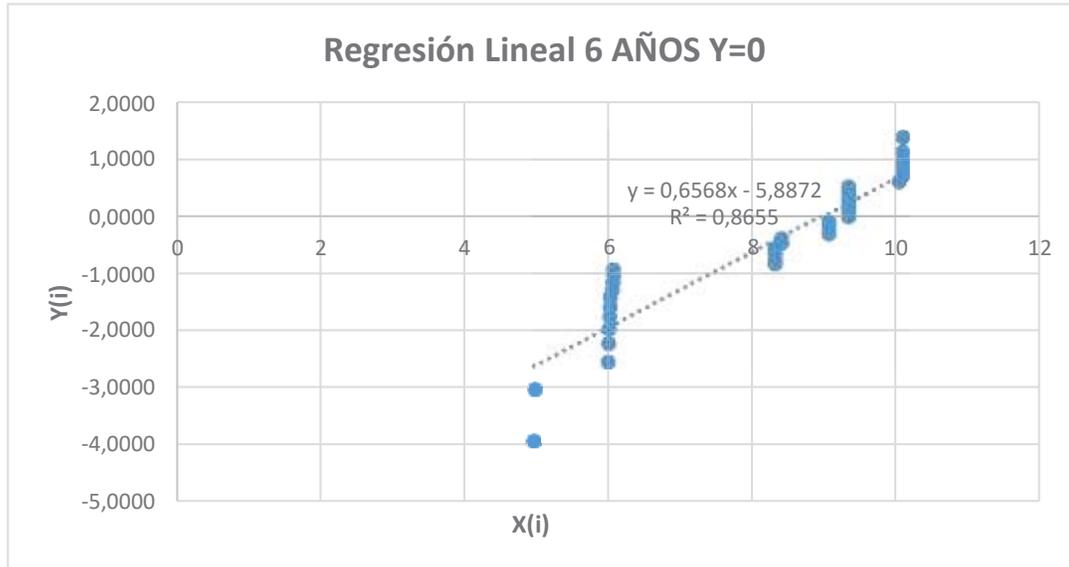
TABLA 7 .- Datos para progresión lineal, repuesto Pequeño.

REPUESTO PEQUEÑO					
Nº DE FALLA (i)	TIEMPO DE FALLA		F(i)	Xi	Y (i)
	[Hr] ti		$\frac{(i - 0,3)}{(\sum Fallas + 0,4)}$	$\ln(TBF)$	$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(i)}\right)\right)$
	Días	Horas			
1	6	144	0,019230769	4,9698133	-3,9416
2	6,1	146,4	0,046703297	4,986342602	-3,0401
3	17	408	0,074175824	6,011267174	-2,5630
4	17,1	410,4	0,101648352	6,017132294	-2,2331
5	17,2	412,8	0,129120879	6,022963214	-1,9787
6	17,3	415,2	0,156593407	6,028760332	-1,7702
7	17,4	417,6	0,184065934	6,034524037	-1,5925
8	17,5	420	0,211538462	6,040254711	-1,4369
9	18	432	0,239010989	6,068425588	-1,2978
10	18,1	434,4	0,266483516	6,073965769	-1,1715
11	18,2	436,8	0,293956044	6,079475424	-1,0553
12	18,3	439,2	0,321428571	6,08495489	-0,9474
13	172	4128	0,348901099	8,325548307	-0,8461
14	172,1	4130,4	0,376373626	8,326129534	-0,7503
15	172,2	4132,8	0,403846154	8,326710422	-0,6592
16	172,3	4135,2	0,431318681	8,327290974	-0,5719
17	189	4536	0,458791209	8,419800845	-0,4878
18	189,1	4538,4	0,486263736	8,420329806	-0,4064
19	364	8736	0,513736264	9,075207698	-0,3271
20	364,1	8738,4	0,541208791	9,075482386	-0,2495
21	364,2	8740,8	0,568681319	9,075756998	-0,1733
22	364,3	8743,2	0,596153846	9,076031534	-0,0979
23	478	11472	0,623626374	9,347664563	-0,0231
24	478,1	11474,4	0,651098901	9,347873746	0,0516
25	478,2	11476,8	0,678571429	9,348082885	0,1266
26	478,3	11479,2	0,706043956	9,348291981	0,2024
27	478,4	11481,6	0,733516484	9,348501033	0,2795
28	478,5	11484	0,760989011	9,348710041	0,3585
29	478,6	11486,4	0,788461538	9,348919006	0,4404
30	478,7	11488,8	0,815934066	9,349127927	0,5262
31	967	23208	0,843406593	10,05225233	0,6174
32	1016	24384	0,870879121	10,10168246	0,7164
33	1016,1	24386,4	0,898351648	10,10178088	0,8269
34	1016,2	24388,8	0,925824176	10,10187929	0,9560
35	1016,3	24391,2	0,953296703	10,10197769	1,1197
36	1016,4	24393,6	0,980769231	10,10207608	1,3740

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la figura 18, se muestra la regresión lineal del repuesto pequeño para $\gamma = 0$.

FIGURA 18- Gráfico de Regresión lineal para repuestos pequeños.



Fuente: Elaboración propia.

La forma de la curva, nos indica que nuestro $\gamma > 0$. Así es como, iterando se realizan ajustes a la curva, de manera de modificar el parámetro de localización γ , sin embargo, el error cuadrático aumentaba para cualquier $\gamma > 0$, por ende se toman los parámetros de Weibull sin modificar la curva:

$$\beta = 0,6568$$

$$\gamma = 0$$

$$\eta = 7812$$

Validación por medio del test Kolmogorov- Smirnov.

Para continuar, se realizará la validación, para ello, se asume que el grupo de datos, sigue una distribución Gaussiana, y necesitamos obtener la media y desviación estándar. Los resultados se muestran en la siguiente tabla 8.

TABLA 8.- Datos para validación a través del test Kolmogorov-Smirnov.

TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV					
Nº FALLA (i)	Tiempo de falla		F(i)	F(t)	Dn _i
	Dias	Horas			
0	0	0			
1	6	144	0,019230769	0,2188137	0,1996
2	6,1	146,4	0,046703297	0,218898395	0,1722
3	17	408	0,074175824	0,228242567	0,1541
4	17,1	410,4	0,101648352	0,228329319	0,1267
5	17,2	412,8	0,129120879	0,228416089	0,0993
6	17,3	415,2	0,156593407	0,228502878	0,0719
7	17,4	417,6	0,184065934	0,228589685	0,0445
8	17,5	420	0,211538462	0,228676511	0,0171
9	18	432	0,239010989	0,229110917	0,0099
10	18,1	434,4	0,266483516	0,229197854	0,0373
11	18,2	436,8	0,293956044	0,229284809	0,0647
12	18,3	439,2	0,321428571	0,229371783	0,0921
13	172	4128	0,348901099	0,382106437	0,0332
14	172,1	4130,4	0,376373626	0,382215863	0,0058
15	172,2	4132,8	0,403846154	0,382325299	0,0215
16	172,3	4135,2	0,431318681	0,382434744	0,0489
17	189	4536	0,458791209	0,400837358	0,0580
18	189,1	4538,4	0,486263736	0,400948264	0,0853
19	364	8736	0,513736264	0,599051736	0,0853
20	364,1	8738,4	0,541208791	0,599162642	0,0580
21	364,2	8740,8	0,568681319	0,59927354	0,0306
22	364,3	8743,2	0,596153846	0,59938443	0,0032
23	478	11472	0,623626374	0,718353949	0,0947
24	478,1	11474,4	0,651098901	0,718450792	0,0674
25	478,2	11476,8	0,678571429	0,718547619	0,0400
26	478,3	11479,2	0,706043956	0,71864443	0,0126
27	478,4	11481,6	0,733516484	0,718741225	0,0148
28	478,5	11484	0,760989011	0,718838004	0,0422
29	478,6	11486,4	0,788461538	0,718934766	0,0695
30	478,7	11488,8	0,815934066	0,719031513	0,0969
31	967	23208	0,843406593	0,976198527	0,1328
32	1016	24384	0,870879121	0,983059141	0,1122
33	1016,1	24386,4	0,898351648	0,983071197	0,0847
34	1016,2	24388,8	0,925824176	0,983083245	0,0573
35	1016,3	24391,2	0,953296703	0,983095286	0,0298
36	1016,4	24393,6	0,980769231	0,98310732	0,0023
Media		6637		Máx Dni	0,1996
Desv estándar		8365			

Fuente: Elaboración propia.

Para un 95% de confiabilidad y 36 datos, según la tabla de Kolmogorov-Smirnov, se obtiene que , $D_{ni} (36; 0,05) = 0,2228$, y el mayor valor de los D_{ni} obtenidos en la tabla es de 0,1996 . Por lo que $0,2228 > 0,1996$, se admite la hipótesis, y por ello, el modelo con los parámetros descritos. Además, se observa que el modelo de Weibull simboliza el comportamiento de los repuestos pequeños.

Confiabilidad

Para elaborar la curva de confiabilidad, debemos obtener $R(t)$ según la ecuación 12, como se observa en la siguiente tabla 9.

TABLA 9.- Confiabilidad para repuestos pequeños.

CONFIABILIDAD			
Nº FALLA	TIEMPO DE FALLAS		R(t)
(i)	Días	Horas	
0	0	0	1
1	6	144	0,92998869
2	6,1	146,4	0,92925217
3	17	408	0,86601958
4	17,1	410,4	0,86553889
5	17,2	412,8	0,86505944
6	17,3	415,2	0,86458121
7	17,4	417,6	0,86410419
8	17,5	420	0,86362838
9	18	432	0,86126702
10	18,1	434,4	0,86079823
11	18,2	436,8	0,86033059
12	18,3	439,2	0,85986408
13	172	4128	0,51803243
14	172,1	4130,4	0,51790235
15	172,2	4132,8	0,51777233
16	172,3	4135,2	0,51764237
17	189	4536	0,49672429
18	189,1	4538,4	0,49660353
19	364	8736	0,34090308
20	364,1	8738,4	0,34083689
21	364,2	8740,8	0,34077073
22	364,3	8743,2	0,34070458
23	478	11472	0,27608641
24	478,1	11474,4	0,27603759
25	478,2	11476,8	0,27598878
26	478,3	11479,2	0,27593999
27	478,4	11481,6	0,27589121
28	478,5	11484	0,27584244
29	478,6	11486,4	0,27579368
30	478,7	11488,8	0,27574493
31	967	23208	0,12945388
32	1016	24384	0,12100859
33	1016,1	24386,4	0,12099207
34	1016,2	24388,8	0,12097556
35	1016,3	24391,2	0,12095904
36	1016,4	24393,6	0,12094253

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa, en la figura 19, el gráfico de confiabilidad para los repuestos pequeños.

FIGURA 19.- Gráfico de Confiabilidad para los repuestos pequeños.



Fuente: Elaboración Propia.

Tiempo medio entre fallas

Según la ecuación 26 :

$$MTBF = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Con los parámetros de Weibull obtenidos, obtenemos el MTBF y se tiene la tabla

10.

TABLA 10.- Tiempo medio entre fallas.

MTBF	
β	0,6568
η	7812
γ	0
MTBF (HRS)	10552

Fuente: Elaboración Propia.

Por consiguiente, se obtiene el tiempo medio entre fallas en la tabla 10 que sería el MTBF =10552 [Hrs], es decir, alrededor de un año y 3 meses.

Tasa de Fallas

La tasa de fallas, se define según la ecuación 13 :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

La tabla 11, muestra los datos de la tasa de falla para los repuestos pequeños.

TABLA 11.- Datos de tasa de Falla para repuestos pequeño.

Tasa de Fallas			
Nº FALLA (i)	Tiempo de falla		Tasa de Fallas
	Días	Horas	λ Hrs.
0	0	0	0,00000
1	6	144	0,00033
2	6,1	146,4	0,00033
3	17	408	0,00023
4	17,1	410,4	0,00023
5	17,2	412,8	0,00023
6	17,3	415,2	0,00023
7	17,4	417,6	0,00023
8	17,5	420	0,00023
9	18	1	0,00023
10	18,1	434,4	0,00023
11	18,2	436,8	0,00023
12	18,3	439,2	0,00023
13	172	4128	0,00010
14	172,1	4130,4	0,00010
15	172,2	4132,8	0,00010
16	172,3	4135,2	0,00010
17	189	4536	0,00010
18	189,1	2	0,00010
19	364	8736	0,00008
20	364,1	8738,4	0,00008
21	364,2	8740,8	0,00008
22	364,3	8743,2	0,00008
23	478	11472	0,00007
24	478,1	11474,4	0,00007
25	478,2	11476,8	0,00007
26	478,3	11479,2	0,00007
27	478,4	3	0,00007
28	478,5	11484	0,00007
29	478,6	11486,4	0,00007
30	478,7	11488,8	0,00007
31	967	23208	0,00006
32	1016	24384	0,00006
33	1016,1	24386,4	0,00006
34	1016,2	24388,8	0,00006
35	1016,3	24391,2	0,00006
36	1016,4	4	0,00006

Fuente: Elaboración Propia.

Al realizar el gráfico de la tasa de fallas vs tiempo, se obtiene la figura 20.

FIGURA 20.-Gráfico de tasa de falla vs tiempo, para repuestos pequeños.



Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de Resultados.

Según el modelo de Weibull utilizado anteriormente en los repuestos pequeños del centro de distribución de repuestos Komatsu, se concluye que es factible utilizar los valores anteriormente calculados, los cuales son $\beta = 0,6568$ $\eta = 7812$ y $Y = 0$, para realizar la proyección de los próximos 6 años, lo que nos permite observar la tabla 12, en donde se estima que los repuestos a ocupar serían 0,00033 cantidad de repuestos por hora, por lo se obtiene la cantidad de 3 repuestos pequeños por año.

TABLA 12.- Tasa de Fallas, para repuestos pequeños, de los siguientes 6 años.

REPUESTOS PEQUEÑOS PARA LOS PROXIMOS 6 AÑOS							
Nº FALLA (i)	Días	Horas	F(i)	F(t)	D_{ni}	R(t)	λ (HORAS)
0	0	0	0	0	-	100%	0,00000
1	6	144	0,01923077	0,2188137	0,1996	93%	0,00033
2	6,1	146,4	0,0467033	0,21889839	0,1722	93%	0,00033
3	17	408	0,07417582	0,22824257	0,1541	87%	0,00023
4	17,1	410,4	0,10164835	0,22832932	0,1267	87%	0,00023
5	17,2	412,8	0,12912088	0,22841609	0,0993	87%	0,00023
6	17,3	415,2	0,15659341	0,22850288	0,0719	86%	0,00023
7	17,4	417,6	0,18406593	0,22858968	0,0445	86%	0,00023
8	17,5	420	0,21153846	0,22867651	0,0171	86%	0,00023
9	18	432	0,23901099	0,22911092	0,0099	86%	0,00023
10	18,1	434,4	0,26648352	0,22919785	0,0373	86%	0,00023
11	18,2	436,8	0,29395604	0,22928481	0,0647	86%	0,00023
12	18,3	439,2	0,32142857	0,22937178	0,0921	86%	0,00023
13	172	4128	0,3489011	0,38210644	0,0332	52%	0,00010
14	172,1	4130,4	0,37637363	0,38221586	0,0058	52%	0,00010
15	172,2	4132,8	0,40384615	0,3823253	0,0215	52%	0,00010
16	172,3	4135,2	0,43131868	0,38243474	0,0489	52%	0,00010
17	189	4536	0,45879121	0,40083736	0,0580	50%	0,00010
18	189,1	4538,4	0,48626374	0,40094826	0,0853	50%	0,00010
19	364	8736	0,51373626	0,59905174	0,0853	34%	0,00008
20	364,1	8738,4	0,54120879	0,59916264	0,0580	34%	0,00008
21	364,2	8740,8	0,56868132	0,59927354	0,0306	34%	0,00008
22	364,3	8743,2	0,59615385	0,59938443	0,0032	34%	0,00008
23	478	11472	0,62362637	0,71835395	0,0947	28%	0,00007
24	478,1	11474,4	0,6510989	0,71845079	0,0674	28%	0,00007
25	478,2	11476,8	0,67857143	0,71854762	0,0400	28%	0,00007
26	478,3	11479,2	0,70604396	0,71864443	0,0126	28%	0,00007
27	478,4	11481,6	0,73351648	0,71874122	0,0148	28%	0,00007
28	478,5	11484	0,76098901	0,718838	0,0422	28%	0,00007
29	478,6	11486,4	0,78846154	0,71893477	0,0695	28%	0,00007
30	478,7	11488,8	0,81593407	0,71903151	0,0969	28%	0,00007
31	967	23208	0,84340659	0,97619853	0,1328	13%	0,00006
32	1016	24384	0,87087912	0,98305914	0,1122	12%	0,00006
33	1016,1	24386,4	0,89835165	0,9830712	0,0847	12%	0,00006
34	1016,2	24388,8	0,92582418	0,98308325	0,0573	12%	0,00006
35	1016,3	24391,2	0,9532967	0,98309529	0,0298	12%	0,00006
36	1016,4	24393,6	0,98076923	0,98310732	0,0023	12%	0,00006

Fuente: Elaboración propia.

5.5.3.- Repuestos Medianos.

En la tabla 13, se muestra el cálculo de rangos medianos F_i , los valores del eje X (X_i) y valores del eje Y (Y_i), con el método de los mínimos cuadrados, que posteriormente nos servirán para obtener una regresión lineal y su respectivo gráfico. El gráfico obtenido, es una recta, la cual, su pendiente representa el valor del parámetro de forma β para su posterior análisis.

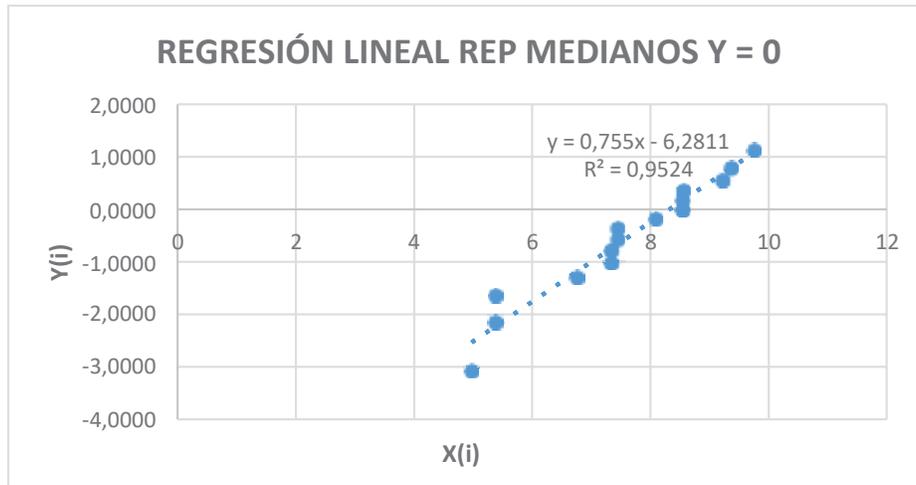
TABLA 13.- Datos para progresión lineal, repuesto Mediano.

REPUESTO MEDIANO					
N° DE FALLA (i)	TIEMPO DE FALLA		F(i)	X_i	Y (i)
	[Hr]		$\frac{(i - 0,3)}{(\sum Fallas + 0,4)}$	$\ln(TBF)$	$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(i)}\right)\right)$
	Días	Horas			
1	6	144	0,045454545	4,9698133	-3,067872615
2	9	216	0,11038961	5,375278408	-2,145823454
3	64	1536	0,175324675	5,386328244	-1,646280772
4	71	1704	0,24025974	6,764346696	-1,29178935
5	136	3264	0,305194805	7,336936914	-1,010261447
6	217	5208	0,37012987	7,338498194	-0,771667529
7	421	10104	0,435064935	7,440733707	-0,560288167
8	489	11736	0,5	7,442141167	-0,366512921
9	715	17160	0,564935065	8,090708716	-0,183610407
10	664,4	15946,7	0,62987013	8,539345996	-0,006117338
11	750	18001,1	0,694805195	8,539815369	0,171264823
12	835,6	20055,5	0,75974026	8,557951184	0,354897648
13	921,2	22109,9	0,824675325	9,220686664	0,554526136
14	1007	24164,3	0,88961039	9,37041632	0,79015558
15	1092	26218,7	0,954545455	9,750336373	1,128508398

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, en la figura 21, se muestra el gráfico de la regresión lineal del repuesto mediano.

FIGURA 21.- Gráfico de Regresión lineal para repuestos Medianos.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura de la curva, nos indica que nuestro $\gamma > 0$. Así es como, iterando se realizan ajustes a la curva, de manera de modificar el parámetro de localización, de forma de obtener el menor error cuadrático. Pero aun así no disminuye el error cuadrático y aumenta, por lo que nos quedamos con $\gamma = 0$ [Hrs].

Del gráfico anterior obtenemos los siguientes parámetros de Weibull:

$$\beta = 0,755$$

$$\gamma = 0 \text{ [Hrs]}$$

$$\eta = 4102$$

Validación por medio del test Kolmogorov- Smirnov.

Para continuar, se realizará la validación del modelo, para ello, se asume que el grupo de datos, sigue una distribución Gaussiana, y necesitamos obtener la media y desviación estándar. Los resultados se muestran en la siguiente tabla 14.

TABLA 14.- Datos para validación a través del test Kolmogorov-Smirnov.

TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV					
Nº FALLA (i)	Tiempo de Fallas		F(i)	F(t)	Dn _i
	Días	Horas			
0	0	0	0	0	-
1	6	144	0,045454545	0,377104557	0,3317
2	9	216	0,11038961	0,3825975	0,2722
3	9,1	218,4	0,175324675	0,382781012	0,2075
4	36,1	866,4	0,24025974	0,433161758	0,1929
5	64	1536	0,305194805	0,486379971	0,1812
6	64,1	1538,4	0,37012987	0,48657173	0,1164
7	71	1704	0,435064935	0,499808131	0,0647
8	71,1	1706,4	0,5	0,5	0,0000
9	136	3264	0,564935065	0,622530006	0,0576
10	213	5112	0,62987013	0,752525536	0,1227
11	213,1	5114,4	0,694805195	0,752677519	0,0579
12	217	5208	0,75974026	0,758565762	0,0012
13	421	10104	0,824675325	0,953795133	0,1291
14	489	11736	0,88961039	0,977777134	0,0882
15	715	17160	0,954545455	0,999021874	0,0445
Media	1706,4			Máx Dni	0,3317
Desv estándar	4990				

Fuente: Elaboración Propia.

Para un 95% de confiabilidad y 15 datos, según la tabla de Kolmogorov-Smirnov, se obtiene que $D_{ni} (15; 0,05) = 0,338$, y el mayor valor de los D_{ni} obtenidos en la tabla es de 0,3317. Por lo que $0,338 > 0,3317$, se admite la hipótesis, y por ello, el modelo con los parámetros descritos. Además, se observa que el modelo de Weibull simboliza el comportamiento de los repuestos medianos.

Confiabilidad

Para elaborar la curva de confiabilidad, debemos obtener $R(t)$ según la ecuación 12, como se observa en la siguiente tabla 15.

TABLA 15.- Confiabilidad para repuestos medianos.

CONFIABILIDAD			
Nº FALLA (i)	Tiempo de falla		R(t)
	Dias	Horas	
0	0	0	100%
1	6	144	92%
2	9	216	90%
3	9,1	218,4	90%
4	36,1	866,4	73%
5	64	1536	62%
6	64,1	1538,4	62%
7	71	1704	60%
8	71,1	1706,4	60%
9	136	3264	43%
10	213	5112	31%
11	213,1	5114,4	31%
12	217	5208	30%
13	421	10104	14%
14	489	11736	11%
15	715	17160	5%

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa, en la figura 22, el gráfico de confiabilidad para los repuestos medianos.

FIGURA 22.- Gráfico de Confiabilidad para repuestos medianos.



Fuente: Elaboración Propia.

Tiempo medio entre fallas

Según la ecuación 26:

$$MTBF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Con los parámetros de Weibull obtenidos, obtenemos el MTBF y se tiene la tabla 16.

TABLA 16.- Tiempo medio entre fallas de repuestos medianos.

MTBF	
β	0,755
η	4102
γ	0
MTBF (Hrs)	4858

Fuente: Elaboración Propia.

Por consiguiente, se obtiene el tiempo medio entre fallas, como se muestra en la tabla 16 que sería el MTBF =4858[Hrs], es decir, alrededor de 7 meses.

Tasa de Fallas

La tasa de fallas, se define según la ecuación 13:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

La tabla 17 se muestra los datos de la tasa de falla para los repuestos medianos.

TABLA 17.- Datos de tasa de falla para repuestos medianos.

Tasa de Fallas			
Nº FALLA (i)	Tiempo de falla		Tasa de Fallas λ [Hrs]
	Dias	Horas	
0	0	0	-
1	6	144	0,00042
2	9	216	0,00038
3	9,1	218,4	0,00038
4	36,1	866,4	0,00027
5	64	1536	0,00023
6	64,1	1538,4	0,00023
7	71	1704	0,00023
8	71,1	1706,4	0,00023
9	136	3264	0,00019
10	213	5112	0,00017
11	213,1	5114,4	0,00017
12	217	5208	0,00017
13	421	10104	0,00015
14	489	11736	0,00014
15	715	17160	0,00013

Fuente: Elaboración Propia.

Al realizar el gráfico de la tasa de fallas vs tiempo, se obtiene la figura 23.

FIGURA 23- Gráfico de tasa de falla vs Tiempo, para repuestos medianos.



Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de Resultados.

Según el modelo de Weibull utilizado anteriormente en los repuestos medianos del centro de distribución de repuestos Komatsu, se concluye que es factible utilizar los valores anteriormente calculados, los cuales son $\beta = 0,755$, $\eta = 4858$ y $Y = 0$, para realizar la proyección de los próximos 6 años, lo que nos permite observar la tabla 18, en donde se estima que los repuestos a ocupar serian 0,00042 cantidad de repuestos por hora, por lo se obtiene la cantidad de 4 repuestos medianos por año.

TABLA 18.- Tasa de Fallas, para repuestos medianos, de los siguientes 6 años.

REPUESTOS MEDIANOS PARA LOS PROXIMOS 6 AÑOS							
Nº FALLA (i)	Días	Horas	F(i)	F(t)	D_{ni}	R(t)	λ (Hora)
0	0	0	0	0	-	100%	0,00000
1	6	144	0,0454545	0,3771046	0,3317	92%	0,00042
2	9	216	0,1103896	0,3825975	0,2722	90%	0,00038
3	9,1	218,4	0,1753247	0,382781	0,2075	90%	0,00038
4	36,1	866,4	0,2402597	0,4331618	0,1929	73%	0,00027
5	64	1536	0,3051948	0,48638	0,1812	62%	0,00023
6	64,1	1538,4	0,3701299	0,4865717	0,1164	62%	0,00023
7	71	1704	0,4350649	0,4998081	0,0647	60%	0,00023
8	71,1	1706,4	0,5	0,5	0,0000	60%	0,00023
9	136	3264	0,5649351	0,62253	0,0576	43%	0,00019
10	213	5112	0,6298701	0,7525255	0,1227	31%	0,00017
11	213,1	5114,4	0,6948052	0,7526775	0,0579	31%	0,00017
12	217	5208	0,7597403	0,7585658	0,0012	30%	0,00017
13	421	10104	0,8246753	0,9537951	0,1291	14%	0,00015
14	489	11736	0,8896104	0,9777771	0,0882	11%	0,00014
15	715	17160	0,9545455	0,9990219	0,0445	5%	0,00013
Media		1706,4		Max Dni	0,3317		
Desv estándar		4990,19					

Fuente: Elaboración Propia.

5.5.4.- Repuestos Grandes.

En la tabla 19, se muestra el cálculo de rangos medianos F_i , los valores del eje X (X_i) y valores del eje Y (Y_i), con el método de los mínimos cuadrados, que posteriormente nos servirán para obtener una regresión lineal y su respectivo gráfico. El gráfico obtenido, es una recta, la cual, su pendiente representa el valor del parámetro de forma β para su posterior análisis.

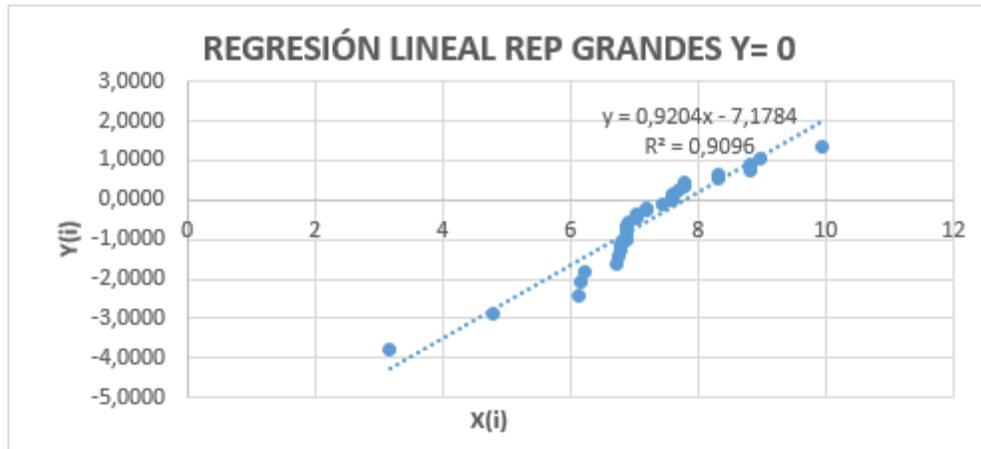
TABLA 19.- Datos para progresión lineal para repuestos Grandes.

REPUESTOS GRANDES					
N° DE FALLA [i]	TIEMPO DE FALLA [Hr] ti		F(i)	Xi	Y (i)
	Días	Horas	$\frac{(i - 0,3)}{(\sum Fallas + 0,4)}$	$\ln(TBF)$	$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(i)}\right)\right)$
1	1	24	0,022292994	3,17805383	-3,792231396
2	5	120	0,054140127	4,78749174	-2,888478304
3	19	456	0,085987261	6,12249281	-2,408937543
4	20	480	0,117834395	6,1737861	-2,076442206
5	21	504	0,149681529	6,22257627	-1,81926843
6	35	840	0,181528662	6,73340189	-1,607854661
7	36	864	0,213375796	6,76157277	-1,427096984
8	37	888	0,24522293	6,78897174	-1,26821681
9	37,1	890,4	0,277070064	6,7916708	-1,12564551
10	40	960	0,308917197	6,86693328	-0,995616359
11	40,1	962,4	0,340764331	6,86943016	-0,875450675
12	40,2	964,8	0,372611465	6,87192083	-0,763163596
13	40,3	967,2	0,404458599	6,8744053	-0,657231212
14	42	1008	0,436305732	6,91572345	-0,556445126
15	47	1128	0,468152866	7,02820143	-0,459817012
16	47	1128	0,5	7,02820143	-0,366512921
17	56	1344	0,531847134	7,20340552	-0,275805678
18	56,1	1346,4	0,563694268	7,20518964	-0,187038191
19	71	1704	0,595541401	7,44073371	-0,099592848
20	84	2016	0,627388535	7,60887063	-0,012863328
21	84,1	2018,4	0,659235669	7,6100604	0,073774629
22	84,2	2020,8	0,691082803	7,61124875	0,160997479
23	92	2208	0,722929936	7,69984241	0,249578931
24	99	2376	0,75477707	7,77317368	0,34045541
25	99,1	2378,4	0,786624204	7,77418327	0,434829954
26	172	4128	0,818471338	8,32554831	0,534351733
27	172,1	4130,4	0,850318471	8,32612953	0,641456641
28	281	6744	0,882165605	8,8164085	0,760092992
29	281,1	6746,4	0,914012739	8,81676431	0,89753845
30	325	7800	0,945859873	8,96187901	1,070274418
31	856	20544	0,977707006	9,93032421	1,335917183

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, en la figura 24, se muestra el gráfico de regresión lineal para repuestos grandes.

FIGURA 24.- Regresión lineal para repuestos Grandes.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura de la curva, nos indica que nuestro $\gamma > 0$. Así es como, iterando se realizan ajustes a la curva, de manera de modificar el parámetro de localización, de forma de obtener el menor error cuadrático.

Pero aun así no disminuye el error cuadrático y aumenta, por lo que nos quedamos con $\gamma = 0$ [Hrs].

Del gráfico anterior obtenemos los siguientes parámetros de Weibull:

$$\beta = 0,9204$$

$$\gamma = 0 \text{ [Hrs]}$$

$$\eta = 2438$$

Validación por medio del test Kolmogorov- Smirnov.

Para continuar, se realizará la validación del modelo, para ello, se asume que el grupo de datos, sigue una distribución Gaussiana, y necesitamos obtener la media y desviación estándar. Los resultados se muestran en la siguiente tabla 20.

TABLA 20.- Datos para validación a través del test Kolmogorov-Smirnov.

TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV					
Nº FALLA (i)	Tiempo de falla		F(i)	F(t)	Dn _i
	Dias	Horas			
0	0	0	-	-	-
1	1	24	0,022	0,388	0,365
2	5	120	0,054	0,397	0,343
3	19	456	0,086	0,431	0,345
4	20	480	0,118	0,433	0,316
5	21	504	0,150	0,436	0,286
6	35	840	0,182	0,470	0,289
7	36	864	0,213	0,473	0,259
8	37	888	0,245	0,475	0,230
9	37	890	0,277	0,476	0,198
10	40	960	0,309	0,483	0,174
11	40	962	0,341	0,483	0,142
12	40	965	0,373	0,483	0,111
13	40	967	0,404	0,483	0,079
14	42	1008	0,436	0,488	0,051
15	47	1128	0,468	0,500	0,032
16	47	1128	0,500	0,500	0,000
17	56	1344	0,532	0,522	0,010
18	56	1346	0,564	0,523	0,041
19	71	1704	0,596	0,559	0,036
20	84	2016	0,627	0,591	0,037
21	84	2018	0,659	0,591	0,068
22	84	2021	0,691	0,591	0,100
23	92	2208	0,723	0,610	0,113
24	99	2376	0,755	0,626	0,128
25	99	2378	0,787	0,627	0,160
26	172	4128	0,818	0,781	0,038
27	172	4130	0,850	0,781	0,069
28	281	6744	0,882	0,927	0,045
29	281	6746	0,914	0,927	0,013
30	325	7800	0,946	0,958	0,012
31	856	20544	0,978	1,000	0,022
Media	1128			Máx Dni	0,3654
Des Stand	3869,01				

Fuente: Elaboración Propia.

Para un 95% de confiabilidad y 31 datos, según la tabla de Kolmogorov-Smirnov, se obtiene que , $D_{ni} (31; 0,05) = 0,388$, y el mayor valor de los D_{ni} obtenidos en la tabla es de 0,3654, por lo que $0,388 < 0,3654$, por lo que no cumple con la relación el modelo con los parámetros descritos. Además, se observa que el modelo de Weibull simboliza el comportamiento de los repuestos grandes.

Confiabilidad

Para elaborar la curva de confiabilidad, debemos obtener $R(t)$ según la ecuación 12, como se observa en la siguiente tabla 21.

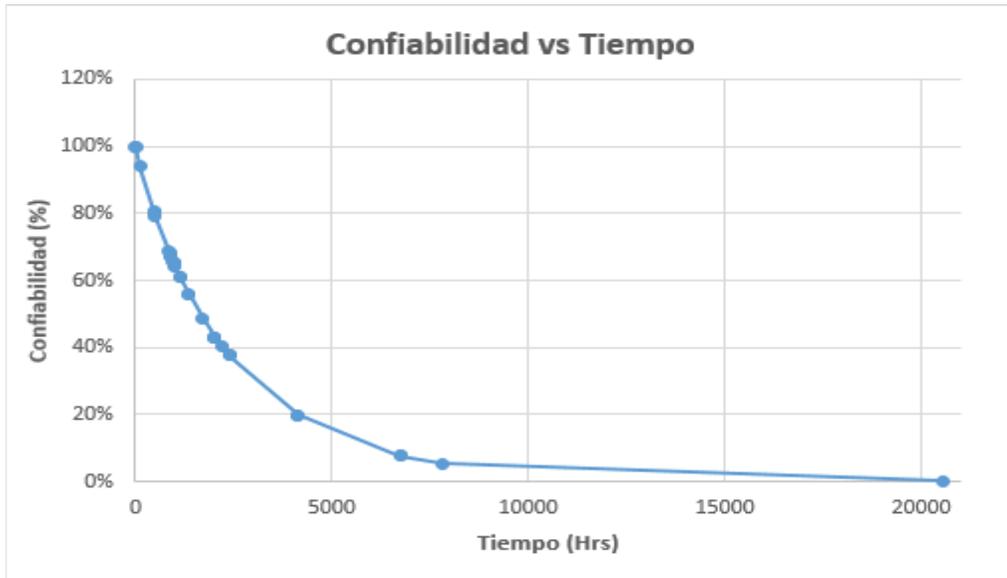
TABLA 21.- Confiabilidad para repuestos Grandes.

CONFIABILIDAD			
Nº FALLA (i)	Tiempo de falla		R(t)
	Dias	Horas	
0	0	0	100%
1	1	24	100%
2	5	120	94%
3	19	456	81%
4	20	480	80%
5	21	504	79%
6	35	840	69%
7	36	864	68%
8	37	888	67%
9	37	890	67%
10	40	960	65%
11	40	962	65%
12	40	965	65%
13	40	967	65%
14	42	1008	64%
15	47	1128	61%
16	47	1128	61%
17	56	1344	56%
18	56	1346	56%
19	71	1704	49%
20	84	2016	43%
21	84	2018	43%
22	84	2021	43%
23	92	2208	40%
24	99	2376	38%
25	99	2378	38%
26	172	4128	20%
27	172	4130	20%
28	281	6744	8%
29	281	6746	8%
30	325	7800	5%
31	856	20544	0%

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa, en la figura 25, el gráfico de confiabilidad para los repuestos grandes.

FIGURA 25.- Gráfico de Confiabilidad para los repuestos grandes.



Fuente: Elaboración Propia.

Tiempo medio entre fallas

Según la ecuación 26:

$$MTBF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Con los parámetros de Weibull obtenidos, obtenemos el MTBF y se tiene la tabla

22.

TABLA 22.- Tiempo medio entre fallas repuestos grandes.

MTBF	
β	0,9204
η	2438
γ	0
MTBF (Hrs)	2535

Fuente: Elaboración Propia.

Por consiguiente, se obtiene el tiempo medio entre fallas en la tabla 22 que sería el MTBF = 2535 [Hrs], es decir, alrededor de 4 meses.

Tasa de Fallas

La tasa de fallas, se define según la ecuación 13:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

La tabla 23, muestra los datos de la tasa de falla para los repuestos grandes.

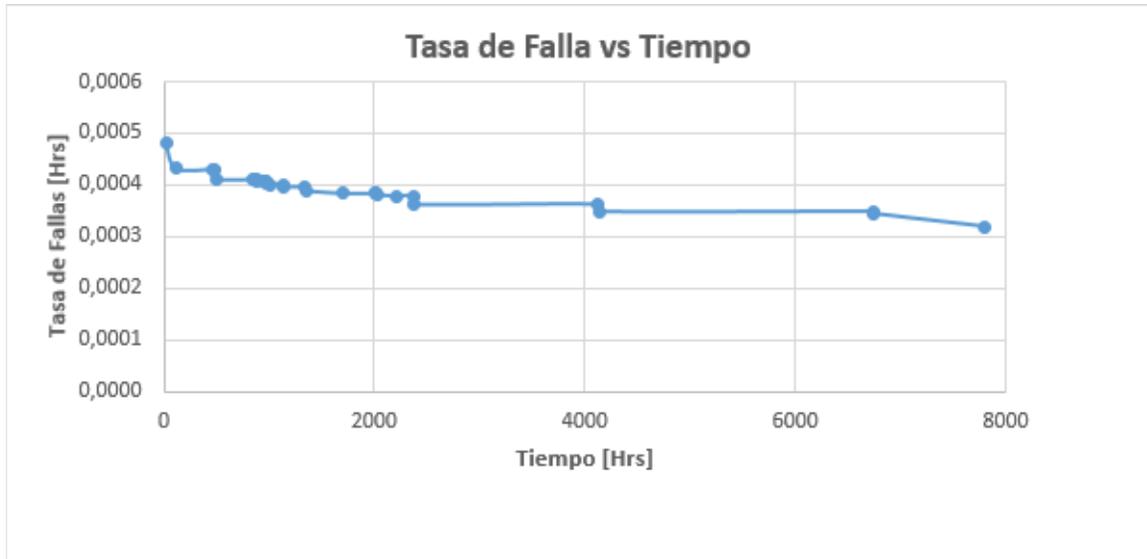
TABLA 23.- Datos de Tasa de Falla para repuestos grandes.

Tasa de Fallas			
Nº FALLA (i)	Tiempo de falla		Tasa de Fallas
	Dias	Horas	λ [Hrs]
0	0	0	0,00000
1	1	24	0,0000
2	5	120	0,0005
3	19	456	0,0004
4	20	480	0,0004
5	21	504	0,0004
6	35	840	0,0004
7	36	864	0,0004
8	37	888	0,0004
9	37	890	0,0004
10	40	960	0,0004
11	40	962	0,0004
12	40	965	0,0004
13	40	967	0,0004
14	42	1008	0,0004
15	47	1128	0,0004
16	47	1128	0,0004
17	56	1344	0,0004
18	56	1346	0,0004
19	71	1704	0,0004
20	84	2016	0,0004
21	84	2018	0,0004
22	84	2021	0,0004
23	92	2208	0,0004
24	99	2376	0,0004
25	99	2378	0,0004
26	172	4128	0,0004
27	172	4130	0,0004
28	281	6744	0,0003
29	281	6746	0,0003
30	325	7800	0,0003
31	856	20544	0,0003

Fuente: Elaboración Propia.

Al realizar el gráfico de la tasa de fallas vs tiempo, se obtiene la figura 26.

FIGURA 26.-Gráfico de tasa de falla vs tiempo, para repuestos grandes.



Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de Resultados.

Según el modelo de Weibull utilizado anteriormente en los repuestos grandes del centro de distribución de repuestos Komatsu, se concluye que es factible utilizar los valores anteriormente calculados, los cuales son $\beta = 0,9204$, $\eta = 2438$ y $Y = 0$, para realizar la proyección de los próximos 6 años, lo que nos permite observar la tabla 24, en donde se estima que los repuestos a ocupar serian 0,0005 cantidad de repuestos por hora, por lo se obtiene la cantidad de 5 repuestos grandes por año.

TABLA 24.- Tasa de Fallas, para repuestos grandes, de los siguientes 6 años.

REPUESTOS GRANDES PARA LOS PROXIMOS 6 AÑOS							
Nº FALLA i	TIEMPO DE FALLA [ti]		F(i)	F(t)	D _{ni}	R(t)	λ (HORA)
	Días	Horas					
0	0	0	-	-	-	100%	0,0000
1	1	24	0,02229299	0,38769017	0,3654	100%	0,0000
2	5	120	0,05414013	0,3972268	0,3431	94%	0,0005
3	19	456	0,08598726	0,43105539	0,3451	81%	0,0004
4	20	480	0,11783439	0,43349433	0,3157	80%	0,0004
5	21	504	0,14968153	0,43593581	0,2863	79%	0,0004
6	35	840	0,18152866	0,47033107	0,2888	69%	0,0004
7	36	864	0,2133758	0,47279948	0,2594	68%	0,0004
8	37	888	0,24522293	0,47526892	0,2300	67%	0,0004
9	37,1	890,4	0,27707006	0,47551592	0,1984	67%	0,0004
10	40	960	0,3089172	0,48268258	0,1738	65%	0,0004
11	40,1	962,4	0,34076433	0,48292982	0,1422	65%	0,0004
12	40,2	964,8	0,37261146	0,48317707	0,1106	65%	0,0004
13	40,3	967,2	0,4044586	0,48342432	0,0790	65%	0,0004
14	42	1008	0,43630573	0,48762851	0,0513	64%	0,0004
15	47	1128	0,46815287	0,5	0,0318	61%	0,0004
16	47	1128	0,5	0,5	0,0000	61%	0,0004
17	56	1344	0,53184713	0,52226068	0,0096	56%	0,0004
18	56,1	1346,4	0,56369427	0,52250776	0,0412	56%	0,0004
19	71	1704	0,5955414	0,55917399	0,0364	49%	0,0004
20	84	2016	0,62738854	0,5907661	0,0366	43%	0,0004
21	84,1	2018,4	0,65923567	0,59100712	0,0682	43%	0,0004
22	84,2	2020,8	0,6910828	0,5912481	0,0998	43%	0,0004
23	92	2208	0,72292994	0,60993177	0,1130	40%	0,0004
24	99	2376	0,75477707	0,62648696	0,1283	38%	0,0004
25	99,1	2378,4	0,7866242	0,62672186	0,1599	38%	0,0004
26	172	4128	0,81847134	0,78094604	0,0375	20%	0,0004
27	172,1	4130,4	0,85031847	0,78112921	0,0692	20%	0,0004
28	281	6744	0,88216561	0,92668443	0,0445	8%	0,0003
29	281,1	6746,4	0,91401274	0,92677069	0,0128	8%	0,0003
30	325	7800	0,94585987	0,9576887	0,0118	5%	0,0003
31	856	20544	0,97770701	0,99999974	0,0223	0%	0,0003
Media		1128	Max Dni		0,3654		
Des Stand		3869,00959					

Fuente: Elaboración Propia

5.6.- Costeo del ciclo de vida para una bodega de repuestos, basado en TDABC.

Para la aplicación del modelo “TIME DRIVEN ACTIVITY BASED COSTING”, se deben constituir en primer lugar las actividades y sub- actividades que son necesarias para la gestión de bodega de cada repuesto, como se muestra en la tabla 25, así en segundo lugar se deben definir los recursos necesarios para desarrollar las actividades, como tercer lugar, es necesario realizar reuniones con los trabajadores, para conocer los tiempos de realización de actividades.

TABLA 25.- Actividades y Sub- Actividades.

ACTIVIDADES	SUB-ACTIVIDADES
I.- RECEPCIÓN REPUESTO	VERIFICAR ORDEN DE COMPRA
	REVISIÓN CALIDAD
	REVISIÓN DE CANTIDAD
II.- ALMACENAJE REPUESTOS	DETERMINAR SI LA UBICACIÓN CORRESPONDE SEGÚN TAMAÑO
	IMPRIMIR Y PEGAR SELLOS CORRESPONDIENTES
	TRASLADO AL LUGAR DE ALMACENAJE
III.- RECOLECCIÓN Y DESPACHO DE REPUESTOS	CONFIRMAR ITEM X ITEM SISTEMA, SI EL REPUESTO ESTA EN BODEGA
	RECOLECCIÓN DE REPUESTOS PARA DESPACHO
	REBAJAR INVENTARIO
	EMBALAR PEDIDO
	ENTREGAR PICKING PARA POSTERIOR GUIA DE DESPACHO

Fuente: Elaboración Propia.

Las actividades y Sub- Actividades antes descritas, son aquellas que permiten realizar la gestión de los repuestos en la bodega, y fueron definidas por el personal responsable de cada una de ellas.

La bodega, está ubicada en un sitio, el cual es arrendado. Para su correcto funcionamiento son necesarios la cantidad de 16 trabajadores, de los cuales se desarrollan según el organigrama descrito anteriormente en la figura 5.5. También es de mucha importancia, la utilización de grúas horquillas, de dos tamaños, debido a las diferencias de peso de los repuestos, la más utilizada es la de 3 toneladas.

A continuación, se muestran los recursos necesarios para ejecutar las actividades en la bodega, como se muestran en la tabla 26.

TABLA 26.-Recursos de Bodega.

GASTOS MENSUALES BODEGA		
ITEM	RECURSOS	VALOR
1	ARRIENDO	\$ 15.000.000
2	SUELDOS	\$ 19.500.000
3	LUZ	\$1.513.300
4	AGUA	\$1.620.360
5	TELEFONO	\$ 500.000
6	ALIMENTACION	\$5.546.590
7	SERV. VIGILANCIA	\$5.581.535
8	SERV. ASEO	\$4.028.288
9	RETIRO DE RESIDUOS	\$355.000
10	MANT. OBRAS MENORES	\$1.080.000
11	MANT. SIST CCTV	\$1.150.000
12	MANT. AREAS VERDES	\$402.048
13	CONTROL PLAGAS	\$150.000
14	ABAST. AGUA PURIFICADA	\$90.250
15	MANT. AIRE ACONDICIONADO	\$1.204.800
16	TRANSPORTE DE PERSONAL	\$2.698.427
17	INSUMOS	\$300.000
18	MAQUINARIA	3 TON \$ 4.753.760
		10 TON \$ 5.038.986
TOTAL RECURSOS		\$ 70.513.344

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo, a los objetivos, se realizará una proyección a partir del año 2018, como año 1 hasta el año 6, para la obtención de cantidad de repuestos solicitados y resultados en cuanto al porcentaje de ociosidad de parte de los trabajadores.

Es por esto, que se proyecta el valor de los gastos durante el año el 2018, para los siguientes cinco años, en donde se utiliza como gestor principal el valor de la tasa promedio de inflación en nuestro país.

Para realizar el cálculo, se utiliza la fórmula de interés compuesto que es la siguiente:

$$V_F = V_P(1 + i)^n$$

Ecuación 267

Donde:

$V_F = \text{Valor futuro (\$)}$

$V_P = \text{Valor Presente (\$)}$

$i = \text{Tasa de interes (-)}$

$n = \text{Numero de periodos entre el valor presente y valor futuro .}$

Los resultados se muestran en la tabla 27.

TABLA 27.- Recursos desde año 1 hasta año 6.

AÑO	INFLACIÓN	RECURSOS
1	0,023	\$ 846.160.123
2	0,026	\$ 868.160.286
3	0,029	\$ 893.336.935
4	0,032	\$ 921.923.717
5	0,035	\$ 954.191.047
6	0,038	\$ 990.450.306

Fuente: Elaboración Propia.

Continuamos con las horas de trabajo de la bodega, la cual funciona 8 horas al día, durante 22 días del mes, por 12 meses al año, para 16 trabajadores que realizan las actividades descritas en el apartado 5.4.2, como lo describe la tabla 28.

TABLA 28.- Jornada Laboral Komatsu CDR.

JORNADA LABORAL KOMATSU	
Horas al día	8
Días al mes	22
Meses al año	12
Total horas año empresa	2112
Total min año empresa	126720
Nº de Trabajadores	16
Total horas disponible empresa	33792

Fuente: Elaboración Propia.

La tasa de capacidad práctica, es el valor en pesos chilenos del min de funcionamiento de la bodega, la cual se obtiene de la división del valor de los recursos del determinado año por la cantidad de minutos de funcionamiento de la bodega durante ese año, como se muestra a continuación en la tabla 29.

TABLA 29.- Valores de la tasa de capacidad práctica de Bodega Komatsu.

AÑO	RECURSOS	TASA DE CAPACIDAD DE COSTO (\$/HR.)	TASA DE CAPACIDAD DE COSTO (MIN/HORA)
1	\$ 869.121.541	\$ 25.720	\$ 429
2	\$ 891.718.702	\$ 26.388	\$ 440
3	\$ 917.578.544	\$ 27.154	\$ 453
4	\$ 946.941.057	\$ 28.023	\$ 467
5	\$ 980.083.994	\$ 29.003	\$ 483
6	\$ 1.017.327.186	\$ 30.106	\$ 502

Fuente: Elaboración Propia.

Los tiempos de realización de las sub-actividades se obtuvieron directamente de los trabajadores responsables, mediante una entrevista, los cuales se observan en la tabla 30.

TABLA 30.- Tiempos de realización de sub-actividades, para repuestos en la bodega de Komatsu CDR.

TIEMPOS DE REALIZACIÓN DE ACTIVIDADES				
ACTIVIDADES		REP GRANDE (min/#LOTES)	REP MEDIANO (min/#LOTES)	REP PEQUEÑO (min/#LOTES)
1.	VERIFICAR ORDEN DE COMPRA	10	15	30
2.	REVISION CALIDAD	20	10	5
3.	REVISION DE CANTIDAD	15	15	25
4.	DETERMINAR SI LA UBICACIÓN CORRESPONDE SEGÚN TAMAÑO	10	10	10
5.	IMPRIMIR Y PEGAR SELLOS CORRESPONDIENTES	5	5	5
6.	TRASLADO AL LUGAR DE ALMACENAJE	10	10	10
7.	CONFIRMAR ITEM X ITEM SISTEMA, SI EL REPUESTO ESTA EN BODEGA	10	10	10
8.	RECOLECCION DE REPUESTOS PARA DESPACHO	15	10	5
9.	REBAJAR DE INVENTARIO	5	5	5
10.	EMBALAR PEDIDO	20	10	5
11.	ENTREGAR PICKING PARA POSTERIOR GUIA DE DESPACHO	10	10	10

Fuente: Elaboración Propia.

5.6.1.- Ecuaciones de Tiempo

Las ecuaciones de tiempo, corresponden a cada sub-actividad, que para nuestro caso ejemplificativo son 11 sub actividades, como se muestra en la tabla 5.22. y se representan de la siguiente forma:

$$t_{E,A} = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_3 + \beta_p * X_p \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

β_n = Corresponde al tiempo de ejecución de la sub-actividad, depende de la categoría del repuesto a analizar (min).

X_n = Corresponde a la división de la cantidad de repuestos por el número de lotes correspondiente a la sub actividad.

Ecuación de Tiempo para sub actividad:

1. Verificar orden de compra: La ecuación de tiempo 1 (T_1), para el proceso de verificar orden de compra, considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G), Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el valor del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación T_1 sería de la siguiente manera:

$$T_1 = \beta_1 * X_{11} + \beta_2 * X_{12} + \beta_3 * X_{13}.$$

$$T_1 = 10 * X_{11} + 15 * X_{12} + 30 * X_{13}.$$

2. Revisión de Calidad: La ecuación de tiempo 2 (T_2), considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G), Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el valor del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación (T_2) sería de la siguiente manera:

$$T_2 = 20 * X_{21} + 10 * X_{22} + 5 * X_{23}.$$

3. Revisión de Cantidad: La ecuación de tiempo 3 (T_3), considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G),

Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el valor del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación (T_3) sería de la siguiente manera:

$$T_3 = 15 * X_{31} + 15 * X_{32} + 25 * X_{33}.$$

4. Determinar si la ubicación corresponde según tamaño: La ecuación de tiempo 4 (T_4), considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G), Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el valor del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación (T_4) sería de la siguiente manera:

$$T_4 = 10 * X_{41} + 10 * X_{42} + 10 * X_{43}.$$

5. Imprimir y pegar sellos correspondientes : La ecuación de tiempo 5 (T_5), considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G), Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el valor del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación (T_5) sería de la siguiente manera:

$$T_5 = 5 * X_{51} + 5 * X_{52} + 5 * X_{53}.$$

6. Traslado al lugar de almacenaje : La ecuación de tiempo 6 (T_6), considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G), Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el

valor del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación (T_6) sería de la siguiente manera:

$$T_6 = 10 * X_{61} + 10 * X_{62} + 10 * X_{63}.$$

7. Confirmar ítem por ítem en el sistema, si el repuesto está en bodega : La ecuación de tiempo 7 (T_7), considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G), Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el valor del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación (T_7) sería de la siguiente manera:

$$T_7 = 10 * X_{71} + 10 * X_{72} + 10 * X_{73}.$$

8. Recolección de repuestos para despacho : La ecuación de tiempo 8 (T_8), considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G), Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el valor del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación (T_8) sería de la siguiente manera:

$$T_8 = 15 * X_{81} + 10 * X_{82} + 5 * X_{83}.$$

9. Rebajar el inventario : La ecuación de tiempo 9 (T_9), considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G), Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el valor

del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación (T_9) sería de la siguiente manera:

$$T_9 = 5 * X_{91} + 5 * X_{92} + 5 * X_{93}.$$

10. Embalar pedido : La ecuación de tiempo 10 (T_{10}), considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G), Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el valor del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación (T_{11}) sería de la siguiente manera:

$$T_{10} = 20 * X_{101} + 10 * X_{102} + 5 * X_{103}.$$

11. Entregar picking para posterior guía de despacho : La ecuación de tiempo 11 (T_{11}), considera que el tiempo consumido por las sub actividad depende de la categoría de repuesto. En este caso, las categorías de repuesto se clasificaron en tres clases Grande (G), Mediano (M) y Pequeño (P). Por consiguiente para los valores de X_n , es el valor del número de lotes, por sobre la cantidad de repuestos en ese lote. Por ende, la ecuación (T_{11}) sería de la siguiente manera:

$$T_{11} = 10 * X_{111} + 10 * X_{112} + 10 * X_{113}.$$

Para los valores de X_n , es representado por la división de λ_{it} y el número de repuestos por lote. Los valores de λ_{it} se obtienen según las tablas anteriormente mostradas. La tabla 5.8 representa los valores para repuestos pequeños, la tabla 5.14 representa los valores de λ para repuestos medianos y por último la tabla 5.19 representa los valores de λ para repuestos grandes, las cuales se obtuvieron

anteriormente por el método de Weibull. A continuación, en las siguientes tablas se muestra el número de repuestos por cada lote que corresponde al valor dado por los trabajadores de la bodega y la tasa de falla λ_{it} obtenida anteriormente. Según la entrevista a los trabajadores de la bodega, los números de lotes para todos los repuestos es de 1. La empresa no tenía disponible la cantidad exacta del número de categorías para cada tipo de repuesto, por lo que procedió a realizar un supuesto, como se muestra en las siguientes tablas 31, 32 y 33, valores de los cuales se asemejan a los de la bodega.

TABLA 31.- Tasa de fallas y cantidad de número de repuestos, para repuestos grandes.

REPUESTOS GRANDES			
AÑOS	λ_{it}	Nº CATEGORIAS	TOTAL REPUESTOS
1	4	600	2400
2	4	600	2400
3	4	600	2400
4	4	600	2400
5	4	600	2400
6	4	600	2400

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 32.-Tasa de fallas y cantidad de número de repuestos, para repuestos medianos.

REPUESTOS MEDIANOS			
AÑOS	λ_{it}	Nº CATEGORIAS	TOTAL REPUESTOS
1	4	950	3800
2	4	950	3800
3	4	950	3800
4	4	950	3800
5	4	950	3800
6	4	950	3800

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 33.-Tasa de fallas y cantidad de número de repuestos, para repuestos Pequeños.

REPUESTOS PEQUEÑOS			
AÑOS	λ_{it}	Nº CATEGORIAS	TOTAL REPUESTOS
1	3	1100	3300
2	3	1100	3300
3	3	1100	3300
4	3	1100	3300
5	3	1100	3300
6	3	1100	3300

Fuente: Elaboración Propia.

Por consiguiente, reemplazando en las 11 ecuaciones de tiempo correspondiente a cada sub actividad, se obtiene el tiempo total de cada sub actividad considerando los tres tipos de repuestos, como se muestra en la tabla 34.

TABLA 34.- Tiempos totales de cada sub actividad , para repuestos pequeños, medianos y grandes.

TIEMPOS TOTALES DE EJECUCIÓN DE CADA ACTIVIDAD												
Años	Tec.1	TEC.2	TEC.3	TEC.4	TEC.5	TEC.6	TEC.7	TEC.8	TEC.9	TEC.10	TEC.11	ΣTi
1	180000	102500	175500	95000	47500	95000	95000	90500	47500	102500	95000	1126000
2	180000	102500	175500	95000	47500	95000	95000	90500	47500	102500	95000	1126000
3	180000	102500	175500	95000	47500	95000	95000	90500	47500	102500	95000	1126000
4	180000	102500	175500	95000	47500	95000	95000	90500	47500	102500	95000	1126000
5	180000	102500	175500	95000	47500	95000	95000	90500	47500	102500	95000	1126000
6	180000	102500	175500	95000	47500	95000	95000	90500	47500	102500	95000	1126000

Fuente: Elaboración Propia.

Obtenidos los tiempos totales de cada sub actividad, se pueden obtener los costos de cada una de ellas, al multiplicar los tiempos por las tasas de capacidad de costo de cada año, y por consiguiente también se obtiene la capacidad ociosa de los trabajadores, con los recursos no utilizados, como se muestra en la tabla 35.

TABLA 35.- Costo total de las sub actividades, para valores de λ_{it} proyectados a 6 años.

COSTOS Y GASTOS DE BODEGA						
AÑO	Σt_i	TASA DE COSTO	COSTOTAL	RECURSOS UTILIZADOS	CAPACIDAD OCIOSA	%
1	1126000	\$ 429	\$ 482.673.836	\$ 869.121.541	\$ 386.447.706	56%
2	1126000	\$ 440	\$ 495.223.356	\$ 891.718.702	\$ 396.495.346	56%
3	1126000	\$ 453	\$ 509.584.833	\$ 917.578.544	\$ 407.993.711	56%
4	1126000	\$ 467	\$ 525.891.548	\$ 946.941.057	\$ 421.049.510	56%
5	1126000	\$ 483	\$ 544.297.752	\$ 980.083.994	\$ 435.786.243	56%
6	1126000	\$ 502	\$ 564.981.066	\$ 1.017.327.186	\$ 452.346.120	56%

Fuente: Elaboración Propia.

Se comprende por capacidad ociosa a aquellas situaciones económicas de un servicio o bien, que es menor a la capacidad óptima. Bajo este contexto, la capacidad ociosa de este caso es de un 56%, lo que nos informa que es una empresa de muy bajo rendimiento, debido a que provoca que los costos medios del paso de los repuestos de la bodega se incrementen y por lo tanto el margen o ganancias de la empresa se vea reducido. Ante estos valores de tiempos de ociosidad, pueden existir dos alternativas para reducirlos, una es deshacer la capacidad ociosa, realizando modificaciones en la estructura productiva y la otra opción, es utilizar la capacidad ociosa en un momento de peak de repuestos en la bodega, lo que no vale la pena realizar la modificación ya que la demanda se puede estar recuperando y la capacidad ociosa será reducida en el tiempo.

La estacionalidad de una empresa, es el parámetro sobre la capacidad de fabricación de una empresa tiende a situarse cerca del 85% de su capacidad productiva, es decir que un 15% aprox. es de capacidad ociosa. Si la capacidad productiva es superior a estos niveles la empresa muestra un alto grado de

eficiencia mientras si está por debajo de estos valores, simbolizaría un bajo grado de eficiencia, por lo cual nuestro caso de estudio es ineficiente.

Debido a la cantidad de tiempo que no es utilizado para los trabajos encomendados por la empresa, las acciones que se podrían llevar a cabo para suprimir estos son:

- Asignar metas diarias específicas a cada trabajador.
- Supervisar y controlar las metas.
- Compensar económicamente a quien supere las metas.
- Crear incentivos para aquellas áreas cumplan con las metas.

Capítulo VI

6.1.- Conclusión

La preparación del presente tema de memoria, además de lograr los objetivos planteados, también ha permitido extraer una serie de conclusiones que se han alcanzado como resultado de realización de este, y que a continuación se plantean:

- La investigación de los sistemas tradicionales de costos ha proporcionado conocer las limitaciones que posee su implementación en las empresas. Es por esto que se seleccionó por el uso y estudio de sistemas de cálculo de costos como el TDABC, para exponer las ventajas que presentan los nuevos métodos de control y gestión de costos implican con su puesta en marcha en las empresas.
- La realización de este tema de memoria, ha constatado que el uso de TDABC es de sencilla implementación y desarrollo en el sector de bodegas de repuestos, y podría llegar a ser una herramienta básica a la hora de conocer los costos reales a cada actividad y repuesto. A su vez, es apto para empresas de este rubro, debido a la comodidad de asignar costos utilizando el tiempo como único inductor, por ello optar por este método es una alternativa muy aconsejable.
- Por consiguiente, el utilizar ecuaciones de tiempo, resulta muy atrayente a las empresas, debido a que facilita información sobre la eficiencia de los departamentos, lo que resulta ser muy ventajoso ya que se identifican las

mejoras de los procesos.

La implementación del método TDABC para una bodega de repuestos o para una empresa similar, permite conocer los costos a cada tipo de actividad que conlleva el paso del repuesto por la bodega, lográndose una fijación de costos más rigurosa, adaptado al tiempo que cuesta llevar a cabo cada una de las actividades, lo que, a corto o mediano plazo, implica la incrementación de sus beneficios para enfocarse en las actividades que se realizan para el almacenaje de los repuestos.

Mediante los tiempos de realización de las actividades para cada repuesto y los costos de la bodega se concluye que, la empresa no utiliza el 100% de sus recursos destinados a la bodega. Para nuestro modelo existe un porcentaje de los recursos que no son utilizados, lo que se podría estimar que existe un nivel de desocupación de los trabajadores, que se refleja en el 56% de capacidad ociosa.

El modelo TDABC resulta de manera muy eficaz en las empresas cuando se requiere conocer realmente los costos de sus productos y servicios, este modelo será el encargado de informar de manera clara y breve, de manera de tomar decisiones oportunas.

NOMENCLATURA GENERAL

ABC Costeo basado en actividades.

AQ_{kj} Monto de costo de la actividad j al objeto de costo x.

β Factor de forma que caracteriza el patrón de falla.

β_i Tiempo calculado para llevar a cabo una actividad incremental i.

β_0 Tiempo estándar necesario para ejecutar una actividad básica.

C.C Coeficiente de costos de capacidad.

C_i Costos de los recursos i.

CT_k Costo total apropiado al repuesto k.

CV Duración del ciclo de vida.

g_i Tasa de capacidad practica del centro de recurso i.

i Tasa de interés.

σ_{TBF} Es la desviación standard del tiempo entre fallas.

MTBF Tiempo medio entre fallas.

η = Parámetro de escala, que representa la vida característica del equipamiento.

Oh_x Costos indirectos apropiados al objeto de costo x.

P Número de direccionadores de tiempo.

P_i Capacidad teórica de cada recurso i .

P_i' Capacidad practica de cada recurso i .

R_j Tasa del direccionador de costo de la actividad j .

Γ Función Gamma de Excel.

TBF Es el tiempo entre fallas de cada falla.

TDABC Time driven activity costing.

t_{lm} Tiempo requerido para ejecutar el evento "l" de la actividad "m".

t_0 Parámetro de localización y representa el inicio del proceso de deterioración.

UT_{ij} Tiempo unitario de la actividad j al consumir recursos del centro de recursos i .

V_F Valor futuro.

V_P Valor presente.

V_i Tasa de costo de la capacidad por centro de recurso i .

X_i Cantidad de actividad incremental i .

\bar{X}_{TBF} Es la media de los tiempos entre fallas.

γ Parámetro de localización.

BIBLIOGRAFÍA

-Guardia, R. (2016). Apuntes Mantenición Industrial. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quilpué, Chile.

-J García Márquez (2010). El uso del time driven activity based costing (TDABC), en la industria de componentes plásticos para automóvil. Congreso de ingeniería de organización, Donostia, San Sebastián, España.

- J Gómez Valdés (2015). Costes basados en el tiempo invertido por actividad (TDABC): Una aplicación práctica. Universidad de león, España.

- Komatsu (2020). Historia. <https://www.komatsulatioamerica.com/chile/nuestra-empresa/historia-komatsu/>

- Komatsu (2020). Ubicación. Google maps.

-M Lamban (2013). Modelo para el cálculo del costo de almacenamiento de un producto: Caso de estudio en un entorno logístico. Universidad de Zaragoza, España.

-Mendoza, C. (2014). Estudio de Factibilidad en la Implementación de Mantenimiento Basado en Confiabilidad Aplicado a Equipos Médicos Críticos (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

- Meruane, V. (2011). Gestión de Activos Físicos, Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

- Pascual, R. (2005). El Arte de Mantener, Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

-Pistarelli (2014). Manual del mantenimiento. Argentina.

- Ruiz de Arbulo (2013). Aplicación de TDABC en la producción de componentes de automóviles. DYNA CL, Bilbao, España.