



300617 33 2ej  
**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**  
**INCORPORADA A LA U. N. A. M.**

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A  
VEHICULOS INDUSTRIALES**

**TESIS PROFESIONAL**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
**P R E S E N T A**  
**SALVADOR ANTONIO**  
**MENCHACA SOTELO**

**Asesor: Ing. Jorge Salcedo González**

MEXICO, D. F.

1994

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Gracias Señor**, por haberme dado la oportunidad de terminar este trabajo y de alcanzar la meta tan anhelada.

**A mis Padres:**

A quienes siempre se preocuparon por mi bienestar y han dado lo mejor de ellos para que, nosotros sus hijos seamos hombres de provecho. Quiero agradecerles su ejemplo, su esfuerzo, su amor y su cariño ya que todo eso han forjado mi educación. A ustedes les debo lo que soy.

**A mi Esposa:**

Laura Beatriz, desde que te conocí has iluminado mi vida, le has dado emoción y sentido al futuro. Gracias por tu entrega siempre desinteresada y al apoyo que me me has brindado para terminar esta tesis.

**A mi hija Mari Pili y a mi futuro Bebé:**

Porqué ustedes son mi esperanza, mi legado al futuro. Que les sirva de ejemplo, que para no ser un mediocre en la vida, es necesario esforzarse para terminar lo que uno comienza.

### **A mis Hermanos:**

Gisela, Luis, Gabriel, Osvaldo y Juan Carlos. Por haber compartido en forma maravillosa nuestra infancia y juventud. Pido a Dios, nos conserve siempre unidos.

### **A mi Familia Política:**

Gracias por todos los bellos momentos que me hacen pasar en su compañía.

### **A Mis profesores:**

Al Ing. Jorge Salcedo González por su ayuda y apoyo en la dirección del presente trabajo.

Al Dr. Ezequiel Ruíz Muñiz, ya que gracias a su constante seguimiento, me impulsó a terminar esta tesis.

A ellos y a todo mis demás profesores, a los cuales les debo mi formación académica. Gracias por ello.

## INDICE

	PAGINA
<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b>	
- Objetivos de la Tesis	2
- Descripción de la Tesis	2
<b><u>CAPITULO I      VEHICULOS INDUSTRIALES</u></b>	
I.1.- Descripción del vehículo industrial	5
I.2.- Uso dentro de la planta automotriz	10
<b><u>CAPITULO II      ASPECTOS TECNICOS Y DE CONTROL DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO</u></b>	
II.1.- Conceptos del Mantenimiento.	16
II.2.- Problemática del Mantenimiento.	34
II.3.- Planeación y Organización de la función de Mantenimiento	52
II.4.- Medición del Trabajo de Mantenimiento.	70
II.5.- Análisis del Desempeño de la mano de Obra.	91
II.6.- Tópicos Especiales para el Mantenimiento Preventivo a Vehículos Industriales Eléctricos y con Motor de Combustión Interna.	114
II.7.- Almacén y control de Inventarios.	127
<b><u>CAPITULO III      ASPECTOS ECONOMICOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO</u></b>	
III.1.- Determinación del Costo de un Mantenimiento Preventivo Programado.	153
III.2.- Determinación del Nivel Optimo de Mantenimiento.	161
III.3.- Presupuesto.	195
III.4.- Objetivos de Costo y su Administración.	214
<b><u>CAPITULO IV      DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</u></b>	
IV.1.- Estructura del Programa	236
IV.2.- Elaboración del Programa	248
IV.3.- Registro e índices de Control en el Mantenimiento Preventivo.	258
IV.4.- La Computadora como apoyo al manejo del Programa.	286
<b><u>CONCLUSIONES</u></b>	297
<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b>	300

**APENDICES**

302

- Apéndice A Método de Simulación Montecarlo
- Apéndice B Uso de equipo adicional
- Apéndice C Mantenimiento por Fallas Vs Mantenimiento Preventivo
- Apéndice D Mantenimiento Preventivo Vs Fallas Otro enfoque
- Apéndice E Mantenimiento por Fallas Vs Reemplazo por bloques.
- Apéndice F Reemplazo económico de equipo.

## **INTRODUCCION**

### **OBJETIVO DE LA TESIS**

Debido a los múltiples beneficios que se obtienen de un programa de mantenimiento preventivo el objetivo de esta tesis es analizar los elementos de juicio para implantarlo, mantenerlo y controlarlo obteniendo la máxima eficiencia de los recursos humanos, técnicos, económicos y materiales utilizados.

### **DESCRIPCION DE LA TESIS**

Esta tesis más que presentar un panorama específico por cada tipo de mantenimiento se enfoca a mostrar las grandes ventajas del mantenimiento preventivo en una aplicación práctica y objetiva en los Vehículos Industriales tales como los Tractores Montacargas y los Tractores Remolcadores.

En el capítulo I se describen los diferentes tipos y usos de los vehículos industriales existentes en el Mercado Nacional.

Posteriormente en el capítulo II se define una clasificación aceptable de los métodos o sistemas de mantenimiento a saber:

- Mantenimiento por avería
- Mantenimiento de rutina
- Mantenimiento programado
- Mantenimiento Preventivo

- **Mantenimiento Correctivo**
- **Reparaciones mayores**

Así como la problemática de la implantación del mantenimiento preventivo considerando los diferentes criterios de medición de la eficiencia del mismo; por otro lado las decisiones que se tienen que tomar, para confeccionar un sistema de mantenimiento preventivo de acuerdo a nuestras propias necesidades. Es en este capítulo donde se encuentran los principales aspectos para la implantación del mantenimiento preventivo, desde la planeación y organización del mismo ; medición y análisis del desempeño de la mano de obra y la definición de los elementos para determinar el nivel óptimo del mantenimiento preventivo.

Analizando por aparte el manejo de almacén y control de inventarios debido a la importancia que éste tiene en la reposición de partes en esta clase de mantenimiento.

En el capítulo III se muestra la evaluación económica del mantenimiento preventivo desde la determinación de los costos de un mantenimiento programado, la evaluación del nivel óptimo de mantenimiento para la determinación correcta de un presupuesto y su administración.

Los diferentes estándares preestablecidos son la base para la elaboración inicial de un programa de mantenimiento preventivo, el cual es desarrollado en el capítulo IV, mostrándose la forma en que dicho programa deberá modificarse en función de datos históricos, clínicas de costo, análisis de causas de fallas, avances tecnológicos, etc...

Así como también los registros y controles necesarios para manejar dicho programa tanto en forma manual como apoyados en el uso de la computadora.

**CAPITULO I      VEHICULOS INDUSTRIALES****I.1 DESCRIPCION DEL VEHICULO INDUSTRIAL**

Un vehículo industrial es una unidad móvil diseñada para cargar, transportar o posicionar materiales es utilizada en la industria para el manejo de materiales. Un vehículo industrial puede tener o no lugar para transportar al operador y puede ser controlado manual o automáticamente. Los mismos se dividen en elementos de carga o de arrastre como sigue:

**Elementos de Carga:**

- Montacargas
- Carretillas
- Grúas de Patio o Interior
- Cargadores Frontales
- Picker Car

**Elementos de Arrastre:**

- Remolcadores
- Track Movil

Cada uno tiene su uso específico como se ve:

Montacarga:

Vehículo pesado usado para cargar y transportar material de un lugar a otro. Es más bien conocido como estibador



Figura 1.1

Carretilla:

Vehículo usado para cargar y mover (estibar) material. Es usado generalmente en las líneas productivas para mover o retirar las canastillas vacías y colocar en su lugar otras con material



Figura 1.2

Grúa de Patio o interior: Vehículo utilizado para localizar o retirar material de lugares poco accesibles para otro tipo de vehículo industrial

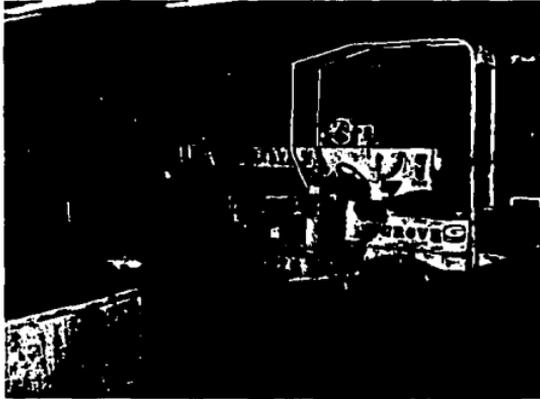


Figura 1.3

Cargador Frontal: Vehículo usado para movillar material dentro o fuera de la nave industrial en localidades de almacenamiento bastante altas.



Figura 1.4

**Picker Car:**

Este vehículo es utilizado para transportar personal y/o cargas pequeñas del almacén a las líneas productivas.



Figura I.5

**Remolcador:**

Vehículo usado para jalar una o más cargas de material que se encuentran sobre plataformas con ruedas.



Figura I.6

**Track Movil**

Vehículo usado para movillar los furgones de ferrocarril y localizar los mismos sobre los andenes de descarga para ser vaciados de material que llega a la planta.



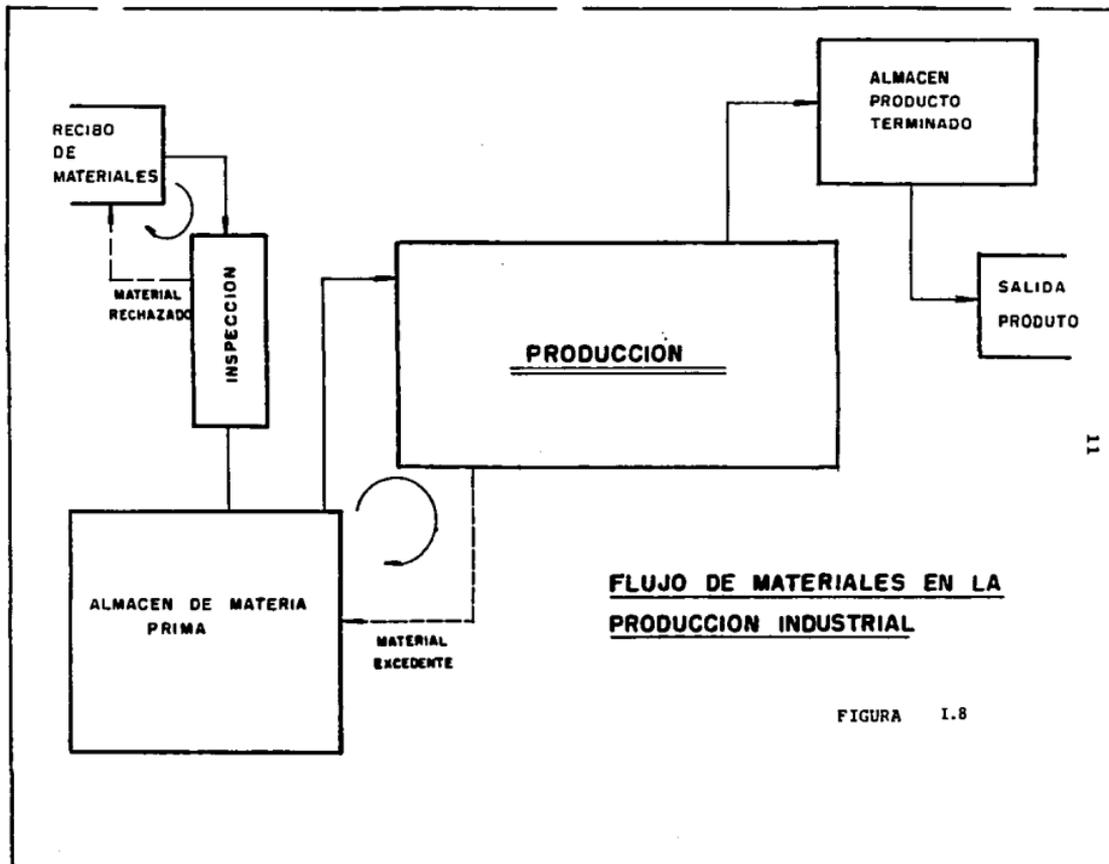
**Figura 1.7**

## **I.2 USO DENTRO DE LA PLANTA**

Puesto que la base para la producción industrial descansa esencialmente en un eficiente movimiento masivo de material, es importante dar un vistazo a las unidades motorizadas que forman la columna vertebral del equipo mecanizado requerido para mantener la rotación de los materiales . Ver figura (I.8).

Aproximadamente 1500 toneladas de material se mueven diariamente de los andenes de descarga, en una planta promedio de ensamble automotriz y aproximadamente el 85 % de este material es manejado dos veces.

Se puede decir que en base a la experiencia adquirida para que opere efectivamente la función de manejo de materiales en una planta, se debe mantener un sistema de transportación para sostener una corriente uniforme de material de los andenes de descarga a las bodegas de almacenamiento; así como a las áreas de surtido en las líneas. Para lo cual se tienen dos opciones cargar o empujar, que equivale respectivamente a transportar con montacargas o remolcadores. La transportación por arrastre consiste de remolcadores y plataformas que operan dentro de rutas preestablecidas dentro de la planta. Junto con éstos se usan tractores montacarga para cargar y descargar plataformas en los andenes de recibo y en las zonas de almacenamiento.



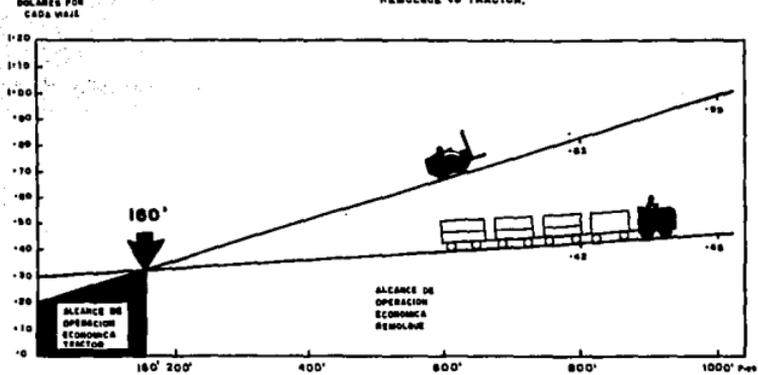
El sistema de remolque es uno de los principios básicos para el movimiento de materiales en distancias que excedan 47.74 mts (150 pies); con rutas asignadas tomando en cuenta la carga de trabajo y están establecidas de manera que toda la planta, incluyendo los patios tengan el servicio de remolcadores.

La experiencia ha mostrado que las plantas con trabajo pesado al operar con el sistema de acarreo de tren por remolque obtiene buenos costos de operación.

Un número limitado de plataformas y su versatilidad ajustarán con precisión un programa uniforme de manejo de materiales.

Los tractores montacarga son a menudo conocidos como elevadores portátiles puesto que su operación más económica es la de levantar y estibar. La transportación de carga resulta económica sólo cuando se efectúa una distancia de 91.44 mts (300 pies) como viaje redondo. Ver figura (1.9)

COMPARACION DE COSTOS DE TRANSPORTACION  
REMOLQUE VS TRACTOR.



SOBRE LA BASE DE CARGA DE 3000 LBS  
POR VIAJE EN TRACTOR.

BASADO EN 3000 LBS PROMEDIO DE CARGA  
EN CUATRO PLATAFORMAS POR REMOLQUE.

Número de  
Cargas Movilizadas

PRODUCTIVIDAD DE TRACTORES  
POR MOVIMIENTO HORIZONTAL

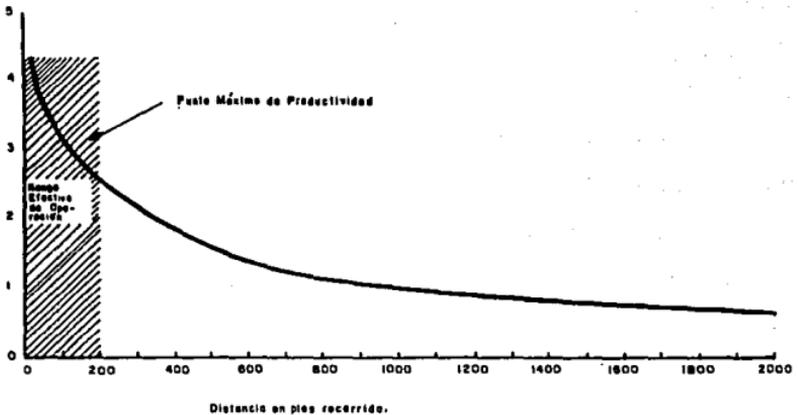


Figura I.9

Debe reconocerse que la función primaria de los tractores montacargas es levantar material, lo que a su vez trae por resultado las siguientes ventajas al sistema de Manejo de Materiales.

- Facilita el uso completo del espacio cúbico en la bodega de la planta de ensamble
  
- Elimina la mayoría de los esfuerzos manuales en la operación del manejo de materiales.
  
- Aporta economías en la operación de manejo de materiales como una parte integral del sistema de transportación de la planta de ensamble.

Existen varios tipos de montacargas para una planta entre los cuales se incluyen tractores con capacidad de 1,814.06 Kg (4000 lb) a 4,535.15 Kg (10,000 lb) con alcance de elevación de 4.60 mts (181 pulg.). Varias plantas están usando también tractores estibadores de gran alcance hasta de 6.73 mts (265 pulg.) para ser usados en pasillos angostos dentro de las áreas de almacenamiento.

La mayoría del surtido de líneas, bodegas de reserva usan tractores montacarga de 1,814.06 Kg (4000 lb ) a 2,721.09 Kg (6000 lb) de capacidad. Las áreas de reserva donde las cargas unitarias son bajas, usan unidades de 2,721.09 Kg (6000 lb) 4.6 mts (181 pulg ) que permitan el estibaje a su altura máxima. Los tractores de 3,628.12 Kg (8000 lb) 3.30 mts (130 pulg.) son asignados a los andenes de ferrocarril para el manejo de cargas pesadas en contenedores que vienen en furgones grandes del tren. Los tractores de 4,535.15 Kg (10,000 lb) son asignados para la descarga de cargas muy pesadas como motores y transmisiones. Los tractores de redar Pneumática son asignados al servicio de patios.

Cada tractor es asignado a un trabajo específico de manera que se obtenga el máximo provecho para lo que ha sido diseñado y de acuerdo a su capacidad. La carga de trabajo está basada en el estudio de tiempos efectuado por el Departamento de Ingeniería Industrial . Los estudios de tiempos incluyen los procedimientos reconocidos, tales como el manejo seguro de cargas, velocidades de tránsito, seguridad de peatones, cuidado adecuado de materiales y prácticas correctas de operación.

En general, los Vehículos Industriales son difíciles de obtener, operar y mantener, pero si se usan con efectividad, los ahorros pueden superar con creces la inversión. La efectividad y productividad de cada unidad depende enteramente de su uso y mantenimiento dentro del sistema de transportación dentro de la planta .

**CAPITULO II ASPECTOS TECNICOS Y DE CONTROL DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO****II.1 CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO**

El mantenimiento se define como el efecto de conservar una cosa en su ser, darle vigor; sostenerla para que no caiga o se tuerza.

El enfoque - filosofía del mantenimiento-, depende en cada caso de una serie de factores, como son: tamaño de la empresa, complejidad de la maquinaria, número de máquinas iguales, naturaleza de los procesos productivos, costo de los paros, etc. Pero no se puede perder de vista que, en definitiva, será necesario tener un sistema que evite o al menos reduzca las averías, detecte y diagnostique los efectos y repare o corrija los efectos del uso, sujetándose en todo momento, naturalmente, a los presupuestos de la empresa.

Dentro del confucionismo que existe sobre este tema, debido a la amplia gama de posibilidades a elegir, tanto por la eficacia, seguridad y grado de detalle ofrecidos por el servicio como por los medios de gestión y control más o menos sofisticados a emplear, una clasificación aceptable de los métodos o sistemas de mantenimiento sería la siguiente:

- a.- **Mantenimiento por averías.-** Sólomente se atiende al equipo o instalación cuando aparece un fallo. El servicio de mantenimiento lo subsana lo más rápidamente que se puede.

- b.- **Mantenimiento de rutina.**- Se dan unas instrucciones generales para el mantenimiento de grupos homogéneos de máquinas (montacargas eléctricos o de combustión interna) y una frecuencia más o menos arbitraria para realizar los trabajos correspondientes al mismo.
  
- c.- **Mantenimiento programado.**- Se suele partir de las instrucciones de mantenimiento de los fabricantes de la maquinaria o instalación. De aquí se obtienen unos ciclos de revisiones y sustituciones para los componentes más importantes de la maquinaria, y el conjunto de dichos ciclos indica la carga de trabajos que es necesario programar.
  
- d.- **MANTENIMIENTO PREVENTIVO.**- Más perfecto que el anterior, utiliza todos los medios disponibles , incluso los estadísticos, para determinar la frecuencia de las revisiones, sustitución de piezas clave, probabilidad de aparición de averías etc.
  
- e.- **Mantenimiento correctivo.**- Se incluyen las actividades de todo tipo, así como la modificación de los diseños de la maquinaria, encaminadas a tratar de eliminar la necesidad del mantenimiento.

- f.- **Las Reparaciones Mayores (Over Haul)**.- se definen como la renovación de la maquinaria a condiciones originales. Este tipo de reparaciones se efectúa cada determinado tiempo, en donde la máquina o equipo se retira de la producción y se desarma por completo para arreglar las fallas críticas del equipo que no pueden ser reparadas dentro del rol de servicios preventivos o correctivos.

Se debe aclarar que esta clasificación no es rígida. En realidad, en cada empresa se deberá llegar a un compromiso entre uno u otro método, de forma de que se contemplen, dándose el caso normal de que unas máquinas o zonas de instalación se atiendan por un sistema preventivo avanzado y, en cambio, se deja funcionar a otras máquinas hasta la parada forzosa por avería. Lo que no es admisible es que una misma máquina participe de dos sistemas diferentes.

A continuación se comentará más ampliamente cada una de estas modalidades.

### **II.1.1.- MANTENIMIENTO POR AVERIA**

Como se apuntaba en el apartado anterior, este sistema consiste en dejar los equipos en servicio hasta que surja la avería. En este momento el departamento de producción avisa a mantenimiento para que repare el fallo.

Una vez reparado éste, se deja el equipo o maquinaria funcionando hasta nueva avería.

En estas condiciones está claro que no se cuenta con ninguna información sobre

pérdidas de tiempo y de producción por averías, sobre las causas de las mismas, el costo directo e indirecto de las paradas, no existiendo tampoco stock de piezas de recambio, ni presupuesto o previsión de ninguna clase. A pesar de la aparente economía del sistema, no es necesario insistir en que sólo puede estar justificado en contadas ocasiones, y siempre coexistiendo con otros sistemas de mantenimiento.

Un ejemplo de este caso podría darse en una sección de producción con muchas máquinas iguales y capacidad holgada, de forma que el transtorno producido por la avería en una de ellas sea despreciable. Otro caso típico sería el de maquinaria especial o con reglajes muy difíciles, en que la aparición de la avería o el desajuste del reglaje sean totalmente imprevisibles; en estas circunstancias suele resultar más conveniente esperar a que surja la avería en lugar de intentar evitarla de alguna manera.

De todas formas, siempre se podrá mejorar una situación tan primitiva, aunque sea subcontratando estos trabajos de mantenimiento, incluso adiestramiento a los propios operarios de las máquinas para que efectúen reparaciones sencillas, y por supuesto procurando tener algunas piezas de repuesto que respondan al menos a las reparaciones más frecuentes y conocidas.

### **II.1.2.- MANTENIMIENTO RUTINARIO**

El segundo escalón en el perfeccionamiento de la maquinaria o equipo es el mantenimiento rutinario, o de rutina. Se piensa que todo elemento de la fábrica debe ser revisado de una forma regular, periódica, sin esperar a que falle. Estas revisiones suelen incluir engrases, pruebas, inspecciones y reglajes. Para determinar el trabajo a realizar en cada caso, mas que pararse a estudiar cada caso particular, el responsable de mantenimiento fija unas instrucciones generales sencillas, basadas en el buen sentido y la experiencia, y globales para grupos de máquinas o aparatos homogéneos. Este tipo de instrucciones son similares a las que se indican a continuación, a título de ejemplo:

- Engrase completo de dos máquinas por semana ( u otro período de tiempo). A este ritmo, quedarán engrasadas todas las máquinas en un cierto período; después vuelve a comenzar el ciclo.
- Inspección ( es decir, revisión, ajustes, recambios y pequeñas reparaciones si procede, para el buen funcionamiento) de los montacargas cada 200 horas de operación.

Con estos datos se confecciona unos programas o rutinas con indicaciones muy simples, de forma, que, cuando esté comprendida en ellos toda la instalación o equipo de un grupo homogéneo, constituye el ciclo completo, ya que se puede repetir indefinidamente.

En la figura (II.1) viene representado uno de estos programas para vehículos industriales.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO A VEHICULOS INDUSTRIALES  
PLANTA: CAMIONES

AÑO: 1985

☐ SERVICIO POR REALIZARSE

☒ SERVICIO REALIZADO

SEC.	VEHICULO	TIPO MANT.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323</
------	----------	------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------

El personal de mantenimiento se divide en dos grupos: el de trabajos rutinarios y el de averías, ocupándose éste último en reparar las que surjan y las que detectan las inspecciones de rutina. La duración del ciclo de revisiones dependerá, por todo lo dicho del tamaño de la instalación o flotilla y del número de operarios que se pueda dedicar a estos trabajos.

La documentación a emplear es muy simple, ya que podría bastar el programa con las indicaciones mencionadas, de forma que, cuando se efectúa un trabajo, baste poner una señal en la casilla correspondiente. Se puede añadir una lista de control (figura(II.2)), para cada grupo de máquinas de modo que se pueda marcar con la misma sencillez el resultado de la inspección para así avisar, cuando sea necesario, al equipo de reparaciones ejecutar las tareas de reacondicionamiento precisas.

Las ventajas de este sistema sobre el anterior son evidentes, desde el momento en que cualquier elemento productivo es revisado al año por lo menos el número de veces que cabe el ciclo total en los doce meses. De esta manera gran cantidad de averías quedan interceptadas antes de producirse, y el efecto de estos cuidados regulares sobre la vida de la instalación se deja sentir de una manera notable.

Por otro lado, y precisamente por su simplicidad, cabe señalar que el costo es bajo, teniendo en cuenta las mejoras que se obtienen.

No. Vehículo línea de inspección	Realizado	Requiere Reparaciones y			OBSERVACIONES
		A 200 hrs.	B 1000 hrs.	C 1200 hrs.	
1	- Checar operación del Manómetro	■	■	■	
2	- Lavar el vehículo	■	■	■	
10	- Checar la batería	■	■	■	
14	- Verificar el estado del Sistema eléctrico	■	■	■	
17	- Checar el sistema hidráulico	■	■	■	
18	- Checar el engranaje del sistema de Tarea	■	■	■	
19	- Lubricación General	■	■	■	
20	- Checar el estado de los neumáticos	■	■	■	
21	- Verificar el estado de los frenos	■	■	■	
22	- Checar y Lubricar los baleros de las ruedas	■	■	■	
23	- Checar el eje matriz	■	■	■	
24	- Checar el sistema de la dirección	■	■	■	
25	- Checar la alineación de las ruedas	■	■	■	
29	- Checar el sistema de la suspensión	■	■	■	
30	- Checar el estado de la carrocería y la pintura	■	■	■	
31	- Verificar el estado de los controles eléctricos	■	■	■	
32	- Verificar el estado de los motores eléctricos	■	■	■	
33	- Verificar la operación del generador de voltaje	■	■	■	
34	- Verificar el funcionamiento de los switches de límite	■	■	■	
35	- Verificar el funcionamiento del sistema de luces	■	■	■	
36	- Verificar la operación del Clutch	■	■	■	
37	- Verificar el estado del equipo especial	■	■	■	
38	- Verificar el estado del equipo de - -servicio	■	■	■	
39	- Checar si no existen Leaks	■	■	■	
40	- Probar la operación de - -vehículo	■	■	■	

Figura II.2

### II.1.3.- MANTENIMIENTO PROGRAMADO O PLANIFICADO

El principal avance de este sistema respecto al anterior está en el estudio más profundo, que se realiza de la maquinaria e instalaciones. En el mantenimiento rutinario se veía que, de acuerdo con los efectivos disponibles, se fijaba un periodicidad para las revisiones de cada grupo de máquinas homogéneas sin otra base que el buen sentido y experiencia del responsable de mantenimiento. Se daban instrucciones muy sencillas y globales para cada tipo de máquina, que no se volvía a tocar hasta el siguiente ciclo si antes no resultaba averiada.

En el mantenimiento programado, se considera cada máquina en particular, y se estudia el funcionamiento de cada uno de los componentes de la misma, teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante, forma o régimen de utilización (continua, intermitente, número de turnos), lugar donde esté emplazada (polvo, humedad, etc.) y cualquier otro factor que pueda influir en el desgaste o desajuste de dichos componentes.

Con toda esta información y su propia experiencia personal, el responsable de mantenimiento establece unas instrucciones detalladas de trabajo para las revisiones de cada uno de los órganos de cada máquina, y fija la frecuencia para cada una de estas revisiones.

El conjunto de estos trabajos, para toda la maquinaria e instalación, se encajan en un calendario anual y constituyen así la carga de trabajo regular o prevista del departamento de mantenimiento. Esta carga, para su ejecución eficiente, se deberá programar en períodos cortos, por ejemplo semanales.

Esta es otra diferencia fundamental con respecto al sistema anterior, la exigencia de una programación detallada que requiere un seguimiento de cerca y que también lleva aparejado un registro escrupuloso de todos los datos, así como de las incidencias ocurridas.

Esta programación característica, que precisamente da nombre al sistema, permite por el análisis de los datos registrados (causas de averías, frecuencias, piezas dañadas, etc.) sacar consecuencias para mejorar el sistema en el futuro, en forma de cambios de frecuencia de revisiones, mejora de stocks de piezas de repuesto, corrección de defectos de instalación, etc., etc. Por otro lado, de estas programaciones se pueden obtener copias para enviarlas a los departamentos de producción, de forma que estén al corriente del calendario de paradas de máquinas para efectuar las distintas revisiones. Como es lógico, en caso de conflicto de intereses se discutirán las modificaciones precisas para adaptar el programa a las necesidades de ambas partes.

Hay que señalar que, al comienzo de la implantación de un mantenimiento programado, deben extremarse los cuidados tanto en las frecuencias como en las revisiones propiamente dichas, con el correspondiente aumento de trabajo que ello supone. Esto es natural, y a medida que transcurre el tiempo y se acumulan datos, se va encajando cada cosa en su sitio, la carga disminuye y es posible situarse en el punto económico entre los dos extremos que serían el mantenimiento por averías y la ausencia de las mismas, eliminadas a cualquier precio.

Las principales ventajas de este sistema son:

- a) Se programa técnicamente el trabajo, con eliminación de posibles olvidos de partes a revisar.

- b) Como consecuencia del punto anterior, da tiempo a preparar las reparaciones y a realizar su estudio económico.
- c) Funcionamiento más eficiente del mantenimiento, como consecuencia del mejor empleo de la mano de obra.
- d) Al eliminar la falta de conocimiento de la averfa y sus causas se evitan también:
  - la falta de repuestos;
  - la falta de personal adecuado;
  - la falta de herramienta y utillaje necesarios.

Evidentemente, una mejora notable de eficiencia del servicio de mantenimiento tiene como consecuencia inmediata una mayor disponibilidad de las instalaciones productivas, al disminuir las averfas, y consiguientemente un aumento de la moral de trabajo del personal.

Además de lo expuesto, el análisis de los datos registrados destacará inmediatamente:

- altos costos de reparación;
- excesiva repetición de averfas;
- equipo y utillaje inadecuados.

## II.1.4.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Es una variante del mantenimiento programado en la que se utilizan, dentro de las posibilidades de cada caso, la estadística y el cálculo de probabilidades al objeto de fijar con la máxima seguridad la frecuencia de las revisiones y el detalle de los trabajos a realizar, fundamentalmente la sustitución de piezas clave.

Para ello se registran cuidadosamente las horas de duración de las piezas más importantes y todos aquellos datos que ayuden a calcular la "esperanza de la vida" de las piezas o partes, aún en funcionamiento. En este sistema, llegado el momento previsto de antemano, se sustituye la pieza o conjunto, aún encontrándolos en buenas condiciones de funcionamiento.

Por otro lado, en las investigaciones o visitas periódicas se utilizan en lo posible instrumentos de medida de precisión (métodos electromagnéticos, rayos X, resistencia eléctrica, etc.) para detectar cambios que puedan provocar la aparición de una avería. Inmediatamente se toman las medidas para volver al estado inicial de seguridad, de funcionamiento.

El aplicar el mantenimiento preventivo a toda clase de equipo sin discriminación no es provechoso desde el punto de vista económico, porque hay máquinas que no justifican el gasto, aunque cabe aclarar que el porcentaje de equipo que está en estas condiciones no es muy grande. Para determinar los bienes a los cuales conviene el mantenimiento preventivo hay que tener presentes los siguientes aspectos:

- 1.- Si hay posibilidad de que una falla pueda lesionar o hacer que alguien pierda la vida.
- 2.- Si se cuenta con equipo sustituto en caso de descompostura.
- 3.- Si una descompostura perjudicaría los programas de producción
- 4.- Si el costo de efectuar una inspección de (MP) resulta más costoso que el de una reparación hasta que ocurra la avería.
- 5.- Si es muy improbable que ocurra una suspensión y/o grave daño con o sin control de (MP).

Es posible que un pequeño período de paro en la producción puede ser el justo nivel desde el punto de vista económico, si se compara el costo de mantenimiento con el del paro. La ausencia total de paros o una realista escasez de ellos es indicio de que hay un exceso de mantenimiento y que el precio de éste es desmesurado y antieconómico. (Ver Apéndices C Y D ).

Un ejemplo claro de la relación de mantenimiento con el valor total de paros es el que se muestra en la figura (II.3). Demasiado mantenimiento puede resultar tan costoso como poco. Tomando en cuenta los costos afectados por las funciones de mantenimiento, se puede establecer un nivel de éste que proporcione un máximo de beneficio.

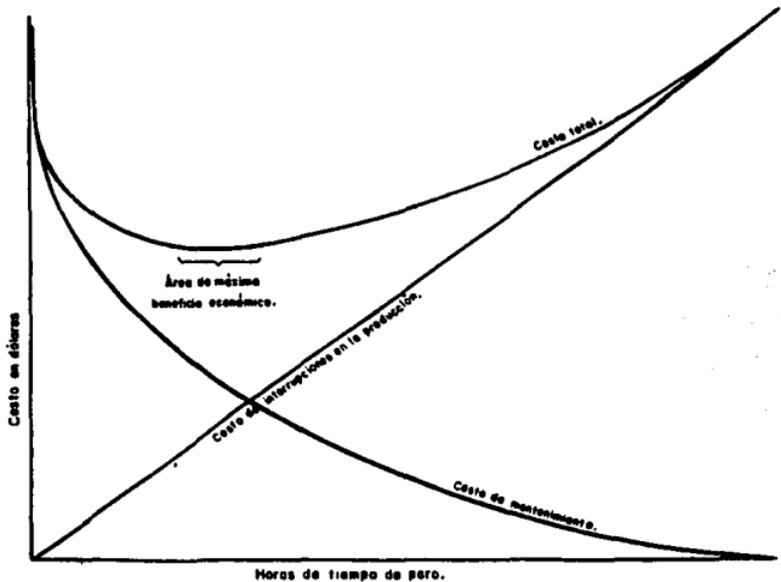


Figura II.3 *Relación de costo de mantenimiento-tiempo de paro.*

Cabe aclarar que los paros nunca podrán eliminarse por completo, porque si éste fuese el caso, el costo de un (MP) excesivo neutralizaría sus beneficios.

### **II.1.5.- MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Se define como la reparación de equipo que:

- 1.- Presenta una falla continua atacando las causas o sus efectos dependiendo del tiempo y recursos disponibles.
- 2.- Deja de funcionar en servicio de sus labores debido a una mala planeación de mantenimiento preventivo, mala ejecución del mismo o una sobre carga de trabajo.

El empleo de técnicas y controles de (MP) sacará a la luz situaciones de fallas repetidas por parte de una pieza o unidad de maquinaria. Cuando surjan estos casos habrá que recurrir a un mantenimiento correctivo. Otra forma de notar esa necesidad será el análisis periódico indispensable de la totalidad de los registros de reparación y equipo. El mantenimiento correctivo si se emplea de una manera apropiada, servirá para disminuir el costo de mantenimiento mediante la resolución, con mejores diseños de los problemas retirados y será de gran ayuda a la producción al reducir al mínimo los paros.

Como se ve, se parte de la existencia de un sistema de mantenimiento ya implantado y que además debe permitir recoger de una forma fiable toda la información citada. Es decir, que el mantenimiento correctivo se puede definir como un sistema complementario que, adosado al principal, actúa a medio plazo sobre

el conjunto del proceso de fabricación, disminuyendo sensiblemente la carga de trabajo de mantenimiento. Como consecuencia se produce un doble beneficio, al decrecer más aún las averías con su secuela de paradas y al abaratar el costo de mantenimiento que lógicamente desciende al disminuir su carga.

#### **II.1.6.- LAS REPARACIONES MAYORES (Over Haul )**

Esta clase de arreglos se precisarán estudiando los registros históricos de reparaciones a lo largo de dos o tres años, para observar la tendencia de las composturas que se han venido haciendo; si la frecuencia de las mismas, su costo y el tiempo total de paro demuestran ir aumentando siempre con mayores costos; convendrá hacer una reparación general, la cual puede planearse con seis meses a un año de anticipación, para permitir la entrega oportuna de las piezas de repuesto que se necesitan y que el departamento de producción pueda incorporar esa intervención a su programa.

Con anticipación a la obra habrá que compararse el costo de la reparación en gran escala, con el de una máquina nueva. Otro factor a considerar es el adelanto tecnológico ocurrido desde que se compró la máquina. Si el costo de la compostura es apenas una fracción del de una máquina nueva y si no han tenido lugar cambios de importancia en el diseño que pudieran incorporarse a la máquina vieja en forma económica; además de la existencia en el mercado las piezas de repuesto, lo más

prudente sería reparar a fondo esta última. Una Planeación de estas reparaciones es como la que se ve en la figura (II.4). En donde se enumeran los vehículos existentes para cada Planta y se considera las reparaciones mayores tomando en cuenta una vida útil del equipo de 10 años. (Vease apéndice F).



## II.2. PROBLEMATICA DEL MANTENIMIENTO.

Se dará una mirada sobre el índole de la problemática de mantenimiento y algunos factores y características que han de tomarse en cuenta para poder analizar el problema y diseñar el programa deseable.

### II.2.1 EFICIENCIA DEL MANTENIMIENTO

El concepto de eficiencia de mantenimiento, sin definir los criterios según los cuales se medirá esa eficiencia, carece de sentido. Desde el punto de vista de las operaciones el mantenimiento es eficiente si impide averías o, en el caso de que existieran, si vuelve a poner en servicio el equipo defectuoso en el menor tiempo posible. Desde el punto de vista de control de mano de obra, el mantenimiento es eficaz si todo el personal trabaja en todo momento sobre el nivel estándar de esfuerzo, sin excederse en cuanto al tiempo desocupado razonable y necesario para reparar el cansancio y satisfacer los requisitos personales. Desde el punto de vista del control de costos, la eficiencia del mantenimiento podrá medirse en función de la capacidad del departamento de mantenimiento a fin de no sobrepasar su presupuesto de materiales y mano de obra. El director de seguridad considera eficaz el mantenimiento cuando no se producen accidentes atribuibles a máquinas o equipo. Cada uno de estos criterios es real y razonable, con ciertas reservas . Una limitación consiste en que ninguno de los criterios puede considerarse en forma correcta como independiente de los demás. Por esta razón, con cada uno de los criterios existirá un nivel significativo de ineficiencia que deben balancearse para permitir la maximización de la eficiencia

total. Dado que la medición suele hacerse tradicionalmente en función de factores independientes, el mantenimiento se considera a menudo como intrínsecamente ineficaz. Sin embargo, para ser realistas, se tiene que definir que es lo que significa esa expresión. En términos más simples ella quiere decir, que ninguno de los criterios o medidas tradicionales de eficiencia puede aplicarse en forma independiente, porque a causa de sus características individuales están en pugna unos con otros. Por ejemplo, satisfacer los criterios de producción en cuanto a la prevención de desarreglos o a la restauración del equipo a la mayor brevedad posible engendra ineficiencia según los demás criterios; ya que las averías sobrevienen en forma aleatoria, el departamento de mantenimiento tendría que contar con personal suficiente como para satisfacer la demanda máxima, lo cual crearía de manera automática un exceso de desocupación en los períodos en que la demanda no llega al máximo, y así, desde el punto de vista de control de mano de obra, bajaría significativamente la medida de eficiencia. En este caso únicamente la continua evaluación y revisión sobre la base de datos exactos permitirá a la gerencia equilibrar las ineficiencias intrínsecas, buscando el punto en donde se equilibran los costos con el tiempo de operación o la cantidad de producción.



Aunque esta lista no es completa, ni mucho menos, representa seis de los puntos críticos que debe de considerar cualquier programa de mantenimiento. Se eximirá brevemente cada uno de ellos.

- 1.- **Mantenimiento Preventivo contra Averías** .- Podría decirse que el mantenimiento sirve para reparar algo que ha fallado. Hoy en día pocas industrias se permitirían ésto debido a que las averías son costosas, directa o indirectamente. Pocas veces falla uno de los componentes de una máquina o instalación sin provocar inmediatamente el desarreglo de un componente relacionado con ella, o bien un efecto adverso en éste, con lo cual se reducirá su tiempo admisible de avería. Aunque ese efecto resulte difícil o imposible de medir, existe.

Por añadidura la reposición del componente ( o de los componentes ) o una reparación mayor serán probablemente imprescindibles después de una avería, y a menos que se disponga al momento de un repuesto, se alarga el período de merma de la productividad del medio y, en consecuencia, aumenta la magnitud de los efectos adversos en cuanto a costo en todos los medios que mantienen vinculación con ellos.

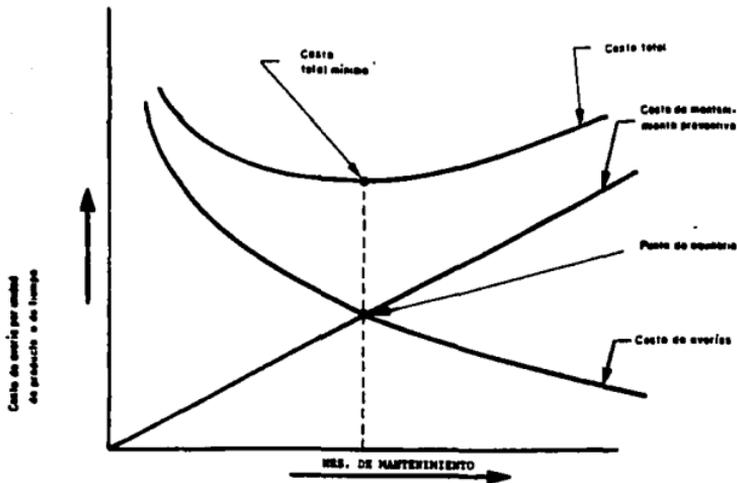
Para reducir esos efectos negativos y los gastos derivados, la gerencia recurre al mantenimiento preventivo. En su forma más simple, el mantenimiento preventivo podrá limitarse al engrase o lubricación diarios de cojinetes para impedir que se fundan y causen daños a la máquina. En el otro extremo el mantenimiento preventivo consistirá en quitar periódicamente del servicio la

máquina para realizar la sustitución de sus piezas desgastadas antes de que llegen a su punto de ruptura. Entre uno y otro extremo es posible encontrar una serie de procedimientos de inspección, evaluación y acción para reducir la probabilidad de averías entre las principales reconstrucciones y aumentar así los intervalos entre ellas. En la tentativa de aminorar las averías, la extensión de esas operaciones de mantenimiento preventivo pueden llegar a tal punto que su costo exceda el de las averías. Incumbe a la gerencia determinar el punto de equilibrio entre costos de averías y mantenimiento preventivo. Esas relaciones están reproducidas en la figura (II.6).

Obsérvese que, si bien se puede agregar o suprimir mantenimiento preventivo, de lo cual resulta una curva de costos aproximadamente lineal, al aumentar los costos de mantenimiento preventivo, la magnitud de la reducción de los costos por averías disminuye rápidamente y es asintótica. El objetivo consiste en encontrar el nivel de mantenimiento preventivo,  $P\$,$  que proporcione un costo  $P_c = F_c$  (Costo del Manto Preventivo = Costo por Falla o Avería), en  $P\$.$

Ahora bien, el costo por avería es igual a la probabilidad de avería multiplicada por el costo de avería si ésta ocurre:

Costo de mantenimiento preventivo por unidad producida o unidad de tiempo.



$$F_c = P(F) \times (C_f) \quad (1)$$

Donde:

$F_c$  .- Costo por avería

$P(F)$  .- Probabilidad de una Falla

$(C_f)$  .- Costo de una Falla

Pero  $P(F)$  como  $(C_f)$  dependen del nivel de mantenimiento preventivo, PML, puesto en práctica, de modo que:

$$F_c = \{ P(F) \cdot (C_f) \} \cdot PML. \quad (2)$$

Si se convierte ésto en una serie de ecuaciones de regresión tendremos:

$$P(F) = aPML \quad (3)$$

$$C_f = bPML \quad (4)$$

$$y \quad F_c = aPML \cdot bPML = abPML^2 \quad (5)$$

La ecuación optimizadora existe cuando  $P\$ML$  es aquel que  $PML$  reduce al mínimo  $abPML^2$ , donde  $P\$ML$  representa el nivel óptimo de mantenimiento preventivo por realizarse, y "a" y "b" son coeficientes de regresión no necesariamente constantes. Persiste el problema de medir  $PML$ , pero si se le establece, por ejemplo, en horas-hombre de mantenimiento preventivo asignadas por unidad de tiempo, se podrá llegar a una aproximación del nivel óptimo. (Véase apéndice C).

- 2.- Empleo de Personal de Servicio Interno o Externa.- La decisión de proveer el personal y los medios necesarios para el mantenimiento en la misma organización o de utilizar servicios externos es, ante todo, de índole económica. Surge el problema de evaluar la economía de las alternativas. Ninguna política puede ser la mejor para todas las funciones de mantenimiento. Sin embargo, uno de los mayores costos para la empresa que tiene sus propios medios de mantenimiento es el de la mano de obra, por hora de uso, éste varía cuando se modifica la utilización de tal mano de obra. Pero incorporar esa variación de costos en modelos de decisión puede resultar una tarea difícil. Si se trata de asignar individuos o cuadrillas a una serie específica de operaciones de mantenimiento, surgirá entonces la posibilidad de aplicar diversas técnicas de simulación como el método Monte Carlo a fin de establecer la magnitud económica de una cuadrilla para actividades fijas o los grupos económicos de operaciones de mantenimiento para una magnitud fija de cuadrillas,

Incrementando la variable hasta que se haya establecido el punto mínimo en la curva de costo total. Queda aún por comparar el costo de ese óptimo con el que produce el mismo servicio recurriendo a fuentes externas. Si se considera como variable la cuestión del personal, el costo de servicios externos puede tomarse como costo de carencia de personal en forma permanente.

Los costos relacionados con el personal de mantenimiento, en comparación con servicios externos, incluyen:

- 1.- Costo directo de mano de obra de mantenimiento tiempo completo (full-time.)
- 2.- Costos indirectos de mano de obra full-time.
- 3.- Costo por mantenimiento de existencias de repuestos mayores que las necesarias si se utilizan servicios externos.
- 4.- El valor del menor tiempo improductivo por reparaciones. En la mayoría de los casos , la disponibilidad de personal propio reducirá el tiempo entre la avería y el comienzo de las reparaciones. Sin embargo, no necesariamente ha de ser así, porque el personal propio podrá resultar menos adecuado para proveer un servicio por demanda que el personal de una organización especializada. Nuevamente pueden aplicarse Monte Carlo u otra simulación a la frecuencia y duración de demoras determinadas.
- 5.- Costos de Obsolescencia. Con ciertos equipos (sobre todo de

procesamiento de datos), alquiler y servicio se combinan a menudo en un solo contrato. En caso de que se compre el equipo, no sólo han de compararse los costos normales de posesión y mantenimiento con los de alquiler y servicio, sino que ha de tomarse en consideración la probabilidad de que se pueda disponer de equipos perfeccionados y éstos deberían conseguirse (Pero en tal caso resultaría una pérdida significativa sobre los equipos actuales ). Un medio de tomarlo en cuenta consiste en estimar la pérdida probable si el equipo actual llega a ser anticuado y multiplicar por la probabilidad estimada de obsolescencia en cualquier año, como estimación del costo de propiedad para aquel año debido al riesgo de obsolescencia.

- 3.- **Reparación o Reposición** .- Una vez más se está frente a un problema que es fundamentalmente una cuestión de economía. En síntesis, ciertos principios básicos de evaluación y decisión, frente al problema de reposición son los siguientes:
- a.- Los costos de inversión anterior en equipo, mantenimiento u operación son costos disminuidos y no influyen en la decisión actual.
  - b.- Al comparar alternativas, cada una de ellas ha de ser capaz de satisfacer los requisitos del proceso con respecto al cual se la considera. Si las demandas aumentan más allá de la vida prevista de una alternativa hasta

un punto en que esta ya no podrá satisfacer la demanda, la decisión tiene que basarse en reposición o suplemento para hacer frente al exceso de demanda en el momento de producirse.

- c.- El costo primero o inicial del equipo , es el del equipo instalado, listo para trabajar.
- d.- El costo primario del equipo existente es el valor justo de venta menos el costo de remoción, más cualquier costo necesario para reparar o transformar con el fin de atender las demandas del proceso.
- e.- La decisión se basa sobre el costo anual medio, igual a la suma de costo de inversión ( amortización y retorno sobre inversión), costos de operación ( mano de obra y mantenimiento) y gastos generales relacionados (incluso impuestos y seguros ).
- f.- El valor de la pérdida durante el cambio ( si no es directamente recuperable) es parte del primer costo del equipo causante de la pérdida.

Ahora bien, si surge la cuestión de reparación o reposición, tres son las alternativas que se presentan:

- 1.- Mantener el equipo actual en buenas condiciones.
- 2.- Reparar el equipo actual.
- 3.- Reponer el equipo actual.

Obsérvese, además, que (2) y (3) son, de hecho, alternativas de reposición, y la economía de cada una puede determinarse siguiendo las reglas mencionadas anteriormente. Por eso, el problema de reparación es en realidad otra alternativa de reposición y ha de tratarse como cualquier otra alternativa considerada, estableciendo el primer costo y la vida útil después de la reparación.

4.- Contrato permanente o contratación de servicios externos en cada caso. .-

Como en el punto 2 nuevamente el problema básico es económico, similar en muchos aspectos al de "Servicio interno o externo ". Tres factores principales influyen en los costos:

- 1.- Los incidentes de mantenimiento totales durante el período de decisión.
- 2.- El costo por incidente
- 3.- La eficacia del servicio.

Es necesario que los incidentes de mantenimiento totales sean considerados porque es probable que en un contrato de servicio se prevea un cierto mantenimiento preventivo que no se consideraría en contratos por incidentes individuales. La eficacia del servicio se refiere ante todo al valor de la demora en la reparación a causa de negociación y la programación del mantenimiento por incidente individual. La decisión se basa en la comparación de costos; las dos alternativas que se presentan ofrecen los siguientes costos:

- 1.- Costo de mantenimiento por contrato = Costo de mantenimiento preventivo adicional + costo por período de contrato + (probabilidad de avería durante el período) \* (valor del tiempo perdido en caso de avería).
- 2.- Costo de contrato por incidente individual = Costo de mantenimiento preventivo + (probabilidad de avería) \* (precio de reparación según contrato + valor del tiempo perdido en caso de avería).

Obsérvese que tanto la probabilidad de avería como el posible tiempo perdido en caso de avería diferirán en cada una de estas políticas y han de establecerse independientemente para cada alternativa antes de compararse los costos de cada una.

5.- **Existencias de repuesto.**- Las existencias de repuesto presentan los mismos costos que los depósitos de materias primas o los inventarios de piezas acabadas, es decir, costos de piezas, de espacio, de pedido y de transporte. A ello se agrega el que sobreviene cuando no se dispone de una pieza en el momento necesario. Este último puede resultar considerable entonces puesto que es factible que el costo originado por la falta de una pieza llegue a representar la suma de todos los costos de producción perdida .

Las condiciones que se consideran como representativas del problema de repuestos son:

- a.- La pieza puede faltar.
- b.- Debe satisfacer requisitos distintos.
- c.- La demanda es discontinua
- d.- La demanda es variable
- e.- El tiempo de renovación de la orden es fijo y reconocido.

Todo esto será tratado con mayor detalle en el la sección II.7 de este capítulo.

6.- Control de asignación de las tareas de mantenimiento .- El seguimiento o control sirven, ante todo, para determinar la eficacia de la actividad de mantenimiento, pero antes de estudiar el control de asignación de tareas de mantenimiento se verá que son los objetivos de costo. El objetivo de costo como se verá más adelante, no consiste en minimizar el costo directo de mantenimiento, sino fundamentalmente es reducir al mínimo el costo total de mantenimiento y tiempo perdido. El costo de tiempo perdido incluye, en este caso, todos los costos relacionados con la incapacidad del equipo para rendir con eficiencia máxima a causa de su estado. El ingreso que compensa ese costo es el valor agregado al producto cuando el equipo trabaja. Si se debe minimizar el costo verdadero, puede ocurrir que resulte necesario prescindir en ciertos momentos de la utilización de la fuerza de mantenimiento con el fin de tenerla disponible cuando se le necesite en períodos críticos. (Obsérvese que cabe la posibilidad de disminuir los períodos de poca utilización recurriendo a servicios externos cuando se produce un pico de demanda ). En efecto, se puede deducir que la tenencia del equipo en funcionamiento será el factor principal y la utilización del personal de mantenimiento, el secundario. Por eso, como el factor principal requiere un cierto sacrificio de parte del secundario, la utilización del personal de mantenimiento puede ser relativamente baja con el fin de elevar la de los equipos de producción.

Fundamentalmente, la eficacia ha de medirse sobre la base de la disponibilidad de medios y la utilización del personal de mantenimiento.

No obstante, aunque sería necesario sacrificar la utilización del personal de mantenimiento para reducir al mínimo el costo total, es necesario mantener en su nivel máximo la efectividad y eficacia del personal de mantenimiento en la realización de sus tareas asignadas. La maximización de la eficacia no está en pugna con un sacrificio en la utilización. Esta última representa la relación entre el tiempo trabajado y el tiempo disponible para el trabajo. Designa, en efecto una medida de desocupación puesto que  $(1 - \text{Nivel de Utilización}) = \text{Nivel de desocupación}$ . No están implicadas ni la efectividad ni la eficiencia durante los períodos de actividad.

El aprovechamiento del personal de mantenimiento se mide por medio de la conservación de una relación satisfactoria en entre los tiempos de desocupación y un control de la realización del trabajo durante el tiempo activo .Con el propósito de medir la efectividad hay que establecer alguna medida de la calidad del trabajo. También existirá una íntima relación entre efectividad y eficacia. Esta puede definirse como una medida del rendimiento del personal de mantenimiento en comparación con un Estándar de producción. La medida mas satisfactoria para el rendimiento del trabajo es la hora estándar. Si se establece un tiempo estándar para la tarea, podemos medir el rendimiento en comparación con el estándar, que es una medida de eficiencia, por ejemplo:

$$E = \frac{P}{I} = \frac{HE}{HT} = R \quad (6)$$

Donde:

E	=	Eficiencia
P	=	Producto
I	=	Insumo
HE	=	Horas Estándar
HT	=	Horas Trabajadas
R	=	Rendimiento

Esto significa que, si se disponen de horas Estandar para tareas de mantenimiento y luego se llevan registros del tiempo real empleado en la tarea por cada individuo, grupo o función podemos obtener una medida de la eficacia, comparando el tiempo real ocupado con el tiempo estándar permitido. Obsérvese que se considera únicamente el tiempo para tareas asignadas, no el tiempo de desocupación.

El método más sencillo para obtener los datos necesarios de rendimiento consiste en una simple boleta de trabajo como la presentada en la figura (II.7). Aunque el dibujo muestra una ficha manual, se puede adaptar fácilmente a un procesamiento electrónico.

## Boleta de tareas de mantenimiento

BOLETA DE TAREA DE MANTENIMIENTO	
M-1503	
DESCRIPCION DE TAREA REPARAR COJINETES MAQUINA 1803	
LOCALIZACION DE TAREA NAVE 10-EDIFICIO 7	
TIEMPO ADMITIDO:	FECHA DE RECEPCION
TRASLADO 013 HS.	
TRABAJO 4 53 HS.	
TIEMPO TOTAL ADMITIDO	4 70 HS.
TAREA ASIGNADA A _____	
TIEMPO REAL:	FECHA _____
COMIENZO _____	
FIN _____	
	TIEMPO TRASCURRIDO _____
APROBACION DE TAREA TERMINADA	
	SUPERVISOR _____

Figura II.7

Si bien los tiempos para operaciones de mantenimiento son variables que para tareas comunes o de producción una serie de empresas prestigiadas ha establecido tiempos Estándar y los han empleado con éxito. Las medidas de eficacia en cuanto a tareas individuales tienen que tener en cuenta que existe un límite para basar estándares en promedios, pero si se fijan índices de rendimiento semanal o mensual, esa variación se reduce al mínimo y el control es significativo. Véase Fig (II.8).

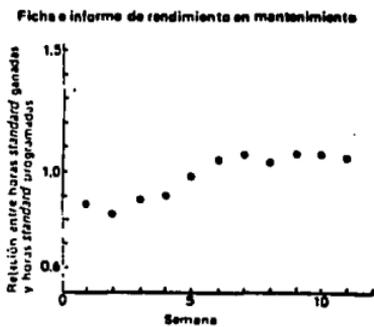


Figura II.8 Carta de tendencia del rendimiento del mantenimiento.

### II.3 PLANEACION Y ORGANIZACION DE LA FUNCION DE MANTENIMIENTO

La Planeación del mantenimiento se define como la directriz a seguir en la ejecución de las actividades propias del mantenimiento, persiguiendo las siguientes finalidades:

- II.3.1.- La mejor utilización del personal de Servicio.
- II.3.2.- La selección de actividades u operaciones preventivas de mantenimiento.
- II.3.3.- La determinación de la frecuencia de las operaciones de mantenimiento preventivo.
- II.3.4.- La definición de la mejor Política de Reposición.
- II.3.5.- La asignación necesaria del personal a la función de mantenimiento.
- II.3.6.- La programación de las actividades de mantenimiento.

En seguida se describirán cada una de ellas con el fin de dar a conocer como es cada una:

#### II.3.1.- La mejor utilización del personal de Servicio.

Esto es, si el mismo grupo de mantenimiento esta asignado a atender los servicios preventivos y los de emergencia se debe de asignar algun tiempo durante la programación para las averías imprevistas. Si el tiempo asignado a las emergencias es excesivo, decae la utilización del personal de mantenimiento. Si el tiempo asignado es insuficiente, el mantenimiento preventivo se posterga hasta

que se haya subsanado las emergencias. Si esto último ocurre con frecuencia probablemente redundará en un mantenimiento preventivo inadecuado que, a su vez, desembocará en excesivas demandas de emergencia. Estas, llegadas al extremo, podrán anular por completo el programa de mantenimiento preventivo. La solución consiste en no destinar un tiempo medio al mantenimiento de emergencia, pues por las estadísticas sabemos que el 50 % de los casos el tiempo asignado será insuficiente. Si se establecen divisiones separadas para el mantenimiento preventivo y el de emergencia, es posible conservar una utilización razonable alta del personal asignado al mantenimiento preventivo y recurrir a secuencias planificadas de operaciones de mantenimiento y a tiempos estándar. En tal caso el problema se reduce a encontrar la dotación óptima de personal para el mantenimiento de emergencia. En consecuencia se determinará el personal necesario para el mantenimiento preventivo y luego a ese último se le superpondrá el personal suplementario requerido para el mantenimiento de emergencia. Aunque en principio esto parece razonable, determinar el óptimo resultará difícil aún después de haber llegado a un acuerdo acerca de los criterios en que ha de basarse tal determinación.

**II.3.2.- La selección de actividades u operaciones preventivas de mantenimiento.**

Para seleccionar las actividades de mantenimiento y obtener los objetivos de todo programa de mantenimiento preventivo, que consiste en reducir el costo total de provisión de un servicio, obteniendo la eficiencia más alta de ese programa, para lo cual es necesario comparar sus costos con los que surgirían si no hubiese mantenimiento preventivo alguno. Para hacer esto con objetividad se requieren los siguientes conocimientos:

- 1.- La frecuencia de las averías.
- 2.- La causa de las averías.
- 3.- El costo de las averías (incluyendo reparaciones, pérdidas de producción, crédito, etc. )
- 4.- El costo de mantenimiento preventivo para reducir o eliminar las causas de avería.

El desarrollo del análisis es como sigue:

Si  $C_b$  es el costo de una avería y  $C_p$  el del mantenimiento preventivo, éste resultará económico si:

$$C_p < C_b \quad (7)$$

Para determinar el costo esperado de averías por período si no existe un mantenimiento preventivo; dividimos el costo de la avería  $C_b$  por el número esperado de períodos entre averías:

Donde el número esperado de averías:

$$E(n) = \sum_n^b Pn \cdot n \quad (8)$$

Donde:

n.- Es el período

Pn.- La probabilidad de averías en el período n.

De ahí resulta el costo total esperado por período de mantenimiento, siempre que no exista mantenimiento preventivo.

$$TC = \frac{Cb}{E(n)} \quad (9)$$

Por ejemplo supongamos la siguiente distribución de probabilidades de averías:

No de periodos a mantenimiento	Pn	Pn*n
1	0.1	0.1
2	0.2	0.4
3	0.4	1.2
4	0.3	1.2

Tabla II.1

Total: 2.9

Luego

$$TC = \frac{Cb}{2.9} \quad (10)$$

Esto sin mantenimiento preventivo. Cabe observar que, en una situación real, en vez de suponer la falta de mantenimiento preventivo, se puede empezar con el programa y los costos actuales de mantenimiento y establecer los costos totales por período esperados según la política actual de mantenimiento; ésto servirá de base para nuestro análisis. El conocimiento de  $C_b$  hace posible el análisis de la economía de políticas alternativas.

### II.3.3.- La determinación de la frecuencia de las operaciones de mantenimiento preventivo

El costo esperado por período carente de mantenimiento preventivo ya fue establecido anteriormente. Se desea determinar ahora la frecuencia óptima del mantenimiento preventivo. Con este propósito, buscamos los costos esperados por período para políticas de períodos cada vez mayores entre operaciones de mantenimiento, hasta que se haya encontrado el punto mínimo en la curva total de costos. A fin de ejemplificar se supondrá que una avería en el caso previamente expuesto cueste U\$S 100. Entonces, el costo esperado por período, sin mantenimiento es:

$$TC = \frac{Cb}{E(n)} = U\$s \frac{100}{2.9} = U\$s 34.48 \quad (11)$$

Si el mantenimiento preventivo  $C_p = U\$s 15$  y se lleva a cabo una vez por período, entonces el costo esperado por período es de  $U\$s 15$  por el mantenimiento preventivo más el costo esperado de averías entre operaciones de mantenimiento preventivo, o sea, el costo total esperado, con una política de período único es:

$$C_p + C_b \cdot (P_1) = U\$s(15 + 100 \cdot (0.1)) = U\$s 25.0 \quad (12)$$

Para una política de dos períodos, el costo medio por período de mantenimiento preventivo es  $C_p/2$ , pero puede darse el caso de una avería durante el primero o el segundo período y, en el primer caso, existe además la probabilidad de otra avería durante el segundo período. Si se llama  $F_1$  a la avería esperada en el primer período, la probabilidad de otra avería en el segundo mes es de  $F_1 \cdot P_1$ . Si se combina, el costo total esperado por período con una política de dos períodos es:

$$1/2 [ C_p + C_b \cdot (P_1 + P_2) + (F_1 \cdot P_1) \cdot C_b ] = \quad (13)$$

$$1/2 [ 15.0 + 100.0 (0.1 + 0.2) + (0.1 \cdot 0.1) \cdot 100 ] = \quad (14)$$

$$1/2 [ 15 + 30 + 1 ] = 23.0 \quad (15)$$

En términos generales, si  $F_n$  es la frecuencia total de averías esperada para el período  $n$ , el costo esperado por período con una política de  $n$  períodos, es:

$$1/n [ C_p + C_b * F_n ] \quad (16)$$

donde:

$$F_n = P_1 + P_2 + \dots + F_1 * P(n-1) + F_2 * P(n-2) \dots F(n-1) * P_n \quad (17)$$

Si se aplican estas fórmulas al ejemplo, se obtienen los siguientes datos:

<b>Política al final del período</b>	<b>Costo esperado por período</b>
<b>0 (sin Mantenimiento Preventivo ) ..... U\$S</b>	<b>34.48</b>
<b>1 .....</b>	<b>25.00</b>
<b>2 .....</b>	<b>23.00</b>
<b>3 .....</b>	<b>30.14</b>
<b>4 .....</b>	<b>33.18</b>

Para este caso, la política óptima de mantenimiento consiste en proveer mantenimiento preventivo al final de cada segundo período, de ahí resulta un costo esperado por período de U\$S 23.00 . Obsérvese que ésto se refiere a una sola pieza de equipo. Para estimar el costo respecto a  $N$  unidades se multiplica el costo determinado por  $N$ .

### II.3.4.- La definición de la mejor política de Reposición.

Antes de entrar en la discusión acerca de decisiones de reparación o reposición, cabe señalar que en aquellos casos en que la avería es total ( por ejemplo, en que ninguna reparación es posible, como en el caso de lámparas incandescentes ), la cuestión se reduce a la reposición periódica de la cantidad total, o reposición de averías, y el análisis es muy similar al expuesto anteriormente para la programación de mantenimiento. De hecho, cabe la posibilidad de practicar cuatro políticas:

- A.- Reponer periódicamente todo ( unidades buenas y descompuestas).
- B.- Reponer periódicamente sólo las unidades inutilizadas
- C.- Reponer únicamente las unidades descompuestas en el momento de fallar.
- D.- Reponer las unidades descompuestas en el momento y además restaurar periódicamente tanto las buenas como las malas.

Si se elige la política (D), y el costo de reponer un ítem periódicamente es  $C_p$  y el de reponer un ítem descompuesto en el momento de la falla es  $C_b$ , los costos esperados por período resultan idénticos a los determinandos previamente para los programas alternativos de mantenimiento preventivo. La política (C) redundará en un costo esperado igual al que existiera en caso de falta de mantenimiento preventivo.

La política (A) requiere que el lapso entre reposiciones sea lo más largo posible sin que disminuya el rendimiento del sistema por debajo de un nivel mínimo aceptable. Por ejemplo si el nivel mínimo admisible de iluminación fuese del 70 % del nivel máximo y se utilizan los datos del ejemplo anterior, se repondrían todas las lámparas al cabo de dos períodos, porque se esperaría que para entonces el nivel de alumbrado bajaría al 70 % del máximo  $(1 - (0.1 + 0.2) )$ . Reponer al final de un período duplicaría el costo, y si esperamos más de dos períodos, el nivel de iluminación descendería por debajo del mínimo aceptable. En cuanto a la política (B), el objetivo consiste en determinar un plan óptimo de reposición para las unidades descompuestas. Volviendo al ejemplo anterior en el cual se reponen al final de cada período, habrá descomposturas de los ítemes instalados durante períodos anteriores o descomposturas esperadas =  $F_n$ . Por eso, el costo esperado por período, con una política de período único, es  $(C_b * F_n)$ . Obsérvese que, si se desea determinar el costo cuando el período de reposición es igual a dos de los períodos arriba indicados, las probabilidades entre reposiciones son iguales a las sumas de cada uno de los pares exclusivos y secuenciales de períodos originales. Si  $F_n$ , significa las averías esperadas durante el período más largo, entonces el costo total por período de reposición =  $(C_b * F_n)$  y en función del costo esperado para el período original.

$$1/n (C_b * F_n)$$

(18)

Sin embargo , reposición y mantenimiento son inseparables. En consecuencia se procederá a observar la práctica industrial y algunos ejemplos básicos.

Un estudio de las prácticas de reposición en una muestra de industrias señala que un 56 % de las empresas interrogadas no tenfan política escrita. Dicho con otras palabras sólo el 21 % de la Industria posee una política estandar escrita para la inspección o reposición.

#### **II.3.5.- La asignación necesaria del personal a la función de mantenimiento.**

La dotación eficaz de la función de mantenimiento depende de la capacidad de la organización correspondiente para atender tanto los requisitos preventivos como de emergencia (averías). Una de las ventajas del mantenimiento preventivo consiste en que puede programarse. Aunque la variación del tiempo de operación será mayor que las operaciones de mantenimiento y establecidos los estándares de tiempo, los requisitos de la mano de obra y las asignaciones de tareas a hombres o cuadrillas puede determinarse con bastante facilidad. Al programar tareas para un hombre o una cuadrilla de producción, el objetivo consiste en asignar tareas individuales hasta que la suma de los tiempos de tales tareas resulte igual al tiempo de trabajo disponible. Los tiempos para la preparación o cambio de máquina se programan para los intervalos entre tareas. El mismo principio se aplica a las asignaciones de mantenimiento preventivo. Si los requisitos totales de período en período están equilibrados es posible mantener un balance en la utilización de personal

y equipo. Es factible la utilización de técnicas tales como las plantillas de Gantt, análisis de redes, programación secuencial y lineal, de la misma manera que para las operaciones de producción, con la previsión necesaria para el desplazamiento entre tareas ( cambios ) y la mayor variancia para los tiempos de operación.

La dotación para el personal designado al mantenimiento de emergencia presenta un problema más difícil a causa de lo aleatorio de las averías. En este caso resulta imprescindible disponer de una dotación de mantenimiento cuyo costo sea óptimo. Con este fin ha de buscarse un equilibrio entre el costo de dotación y el tiempo improductivo de los medios o instalaciones.

Si se dispone de suficientes datos históricos o si es posible obtener muestras que definan adecuadamente las características que siguen ciertas distribuciones conocidas, entonces, pueden utilizarse modelos analíticos que simulen en forma satisfactoria las características operativas del mantenimiento de emergencia y establecer así mismo niveles óptimos. Si las distribuciones no satisfacen los requisitos de los modelos analíticos, se podrá recurrir al empleo de los métodos de simulación Monte Carlo para estimar los óptimos.

Para ejemplificar el uso de modelos analíticos se supondrá supongamos que un equipo falla de tal manera que la probabilidad de que se descomponga "S" unidades en un tiempo "T" pueda ser aproximadamente la distribución de Poisson:

$$f(x,y) = \frac{e^{-\lambda t} \lambda^x}{x!} \quad (19)$$

Obsérvese que la media de la distribución es  $\lambda t$ , las fallas medias en el tiempo  $t$ . En ese caso, la tasa media de la falla del equipo es:

$$\frac{\lambda t}{t} = \lambda \quad (20)$$

Las máquinas se atienden por orden de desocupación, y el tiempo del servicio o cargo de una cuadrilla de magnitud fija es una variable aleatoria  $z$  que sigue una distribución exponencial negativa de modo que :

$$g(z) = m \cdot e^{-mz} \quad (21)$$

Siendo  $m$  la tasa media del servicio.

Si existe " $N$ " máquinas que pueden llegar a necesitar servicio y " $K$ " cuadrillas de servicio, es posible demostrar que:

- 1.- La probabilidad de que ninguna máquina espere servicio o sea atendida es:

$$P_0 = 1 - \sum_{n=1}^N P_n \quad (22)$$

- 2.- La probabilidad de que  $n$  máquinas esperen servicio o sean atendidas es:

$$P_n = \frac{M}{n! \cdot (N-n)!} \cdot \left[\frac{\rho}{m}\right]^n \cdot P_0 \quad (23)$$

$$0 \leq n < k$$

$$P_n = \frac{M}{(N-n)! \cdot k! \cdot k^{(n-k)}} \cdot \left[\frac{\rho}{m}\right]^n \cdot P_0 \quad (23a)$$

$$k \leq n \leq N$$

(24) resulta de (22), (23) y (23a)

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{k-1} \frac{M}{n! \cdot (N-n)!} \cdot \left[\frac{\rho}{m}\right]^n + \sum_{n=k}^N \frac{M}{(N-n)! \cdot k! \cdot k^{(n-k)}} \cdot \left[\frac{\rho}{m}\right]^n} \quad (24)$$

- 4.- El número esperado de máquinas que esperan servicio o están en atención es:

$$E(n) = \sum_{n=0}^N n P_n \quad (25)$$

Ahora bien, cabe señalar que, si el número esperado de máquinas atendidas o esperando servicio es  $E(n)$ , el costo del tiempo improductivo por hora,  $C_d$  es  $[ E(n) * \text{costo de hora improductiva por máquina} ]$  y el costo por hora del personal de mantenimiento,  $C_m$  es  $[ k * \text{tasa de mano de obra de mantenimiento por hora} * (\text{magnitud de cuadrilla}) ]$ , o el costo total,  $TC = C_d + C_m$ . El número óptimo de cuadrillas,  $k$ , por asignar al servicio de  $N$  máquinas puede determinarse encontrando una  $k$  que reduzca al mínimo el  $TC$ . Por ejemplo, se suponongamos la existencia de seis máquinas con fallas Poisson a una tasa media  $\lambda$ , con el tiempo de servicio en forma de exponencial negativa, y  $\lambda/m=0.1$ . Deseamos determinar el número de hombres de mantenimiento por asignar si el tiempo improductivo cuesta u\$s 32 por hora y la mano de obra de mantenimiento, incluso cargas sociales, alcanza a u\$s 5 la hora. Los cálculos probabilísticos resultantes son:

n	Pn	Pn	Pn
	k = 1	k = 2	k = 3
0	0.4845	0.5688	0.5702
1	0.2907	0.3413	0.3421
2	0.1454	0.0853	0.0855
3	0.0582	0.0028	0.0011
4	0.0175	0.0013	0.0001
5	0.0035	0.0003	0.0001
6	0.0003	0.0001	0

Para

6

$$k=1, E(n) = \sum_{n=0}^{\infty} np = 1(0.2907) + 2(0.1454) + 3(0.0582) + 4(0.0175) + 5(0.0035) + 6(0.0003) = \underline{0.7454}$$

6

$$k=2, E(n) = \sum_{n=0}^{\infty} np = 1(0.3413) + 2(0.0853) + 3(0.0028) + 4(0.0013) + 5(0.0003) + 6(0.0001) = \underline{0.5276}$$

\_ 6

$$k=3, E(n) = \sum_{n=0}^{\infty} np = 1(0.3421) + 2(0.0855) + 3(0.0011) + \\ n=0 \quad n \quad 4(0.0001) + 5(0.0001) + 6(0) =$$

0.5173

$$TC = C_d + C_m =$$

$$k=1, TC = (0.7454) (\text{u}\$s 32) + 1(\text{u}\$s 5) = \text{u}\$s 28.85 \text{ por hora.}$$

$$k=2, TC = (0.5276) (\text{u}\$s 32) + 2(\text{u}\$s 5) = \text{u}\$s 26.88 \text{ por hora.}$$

$$k=3, TC = (0.5173) (\text{u}\$s 32) + 3(\text{u}\$s 5) = \text{u}\$s 31.55 \text{ por hora.}$$

De lo cual resulta  $k=2$  hombres de mantenimiento a un costo total medio de **u\$ 26.88** por hora.

Antes de utilizar las fórmulas expuestas, deben de hacerse pruebas para asegurar la conformidad satisfactoria con las distribuciones de recepción y servicio. Si la conformidad es poco satisfactoria, se empleará la simulación Monte Carlo. Obsérvese, asimismo, que las relaciones indicadas no resuelven la cuestión del número óptimo de máquinas por asignar a una cuadrilla de magnitud fija. Este es un problema combinatorio que probablemente será manejado con igual conveniencia por la técnica Monte Carlo como por cualquier otro medio.

Con excepción de los casos relativamente sencillos, el análisis manual cuesta tiempo y está expuesto a errores de aritmética. Por éso es deseable utilizar una computadora en las soluciones analíticas o Monte Carlo para la mayoría de los problemas de este tipo. (Refiérase al apéndice A).

### **II.3.6.- La programación de las actividades de mantenimiento.**

Para programar es necesario , en primer lugar, que se definan las tareas por ejecutarse y, luego, que se disponga de un cálculo, tan exacto como sea razonable, del tiempo requerido para la ejecución. De antemano, ésto podrá resultar difícil y generalmente lo es, cuando se trata de reparaciones de fallas o averías, dada la imposibilidad de predecir cuando se producirán y la dificultad de establecer con anticipación las operaciones de reparación necesarias para devolver el equipo a sus funciones. No obstante, si bien con una variancia relativamente alta, se pueden establecer estándares para tipos de fallas que a la larga darán una media de la eficacia de las cuadrillas en obra. La dotación apropiada podrá ser la cuestión más importante con respecto al personal de mantenimiento de emergencia. Operaciones de mantenimiento preventivo, incluyendo reparaciones de rutina, detenciones o revisiones de equipos, pueden programarse eficientemente, puesto que es posible definir las operaciones y establecer tiempos estándar razonables.

Para planificar y programar el mantenimiento disponemos de sistemas de procesamiento de datos, tanto manuales como electrónicos. Como los principios y las salidas son los mismos, nos valemos del sistema manual para ejemplificar.

Tres registros o salidas es el mínimo en cuanto a elementos necesarios para un Sistema de Planeación de Mantenimiento:

- A.- Una ficha con la historia del equipo.
- B.- Hoja de ruta y programa de mantenimiento.
- C.- Orden de tarea de mantenimiento.

#### II.4 MEDICION DEL TRABAJO DE MANTENIMIENTO

La medición del trabajo en forma científica tiene sus inicios desde la revolución industrial. Durante bastante tiempo se centró la atención sobre las normas de producción; pero en la actualidad, después de pasar por muchos refinamientos se aceptó que los datos estándar pueden medir las actividades de mantenimiento (de acuerdo a la época actual) , con un grado aceptable de exactitud. Esto surge de la necesidad de optimizar los recursos en contestación a las siguientes interrogantes:

- 1.- ¿Qué tan efectivo es la programación actual?
- 2.- ¿Qué tan eficiente es la planeación?
- 3.- ¿Se le ha dicho a los trabajadores qué se espera de ellos?
- 4.- ¿Siguen métodos planeados?
- 5.- ¿Lo que se obtiene en la realidad está de acuerdo con lo que se podría esperar si el trabajo se planeara de acuerdo con los datos estándar?

Un adecuado análisis del desempeño permite identificar las causas del rendimiento bajo o pérdidas del mismo, pudiendo definir las acciones de mejora que pueden lograrse con la medición del mantenimiento

Deben hacerse todos los esfuerzos posibles para asegurar el respaldo de la dirección, supervisión, trabajadores y sindicato. El éxito o fracaso estarán en proporción directa del apoyo recibido. Cuando la dirección no esté enteramente

convencida de la bondad del sistema, un estudio de factibilidad demostrará las ventajas que acarrea.

#### **II.4.1 BENEFICIOS OBTENIDOS AL MEDIR LA FUNCION DE MANTENIMIENTO**

Los principales beneficios que se derivan de medir el trabajo de mantenimiento son los siguientes:

- 1.- Un desempeño mejor a un costo más reducido
- 2.- Disminución de las demoras
- 3.- Reducción del tiempo de paro
- 4.- Perfeccionamiento del mantenimiento preventivo

**II.4.1.1.- El primer beneficio es un mejor desempeño, con un correspondiente ahorro en el costo de mano de obra.** Si no hay medición y control, el rendimiento de la mano de obra de mantenimiento suele ser de sólo 50 a 60 por ciento de un nivel de jornada de cien por ciento, y a veces hasta menos. Cuando se cuenta con un programa conveniente de control, la efectividad llega a aumentar al 75 por ciento, y eventualmente, de 80 a 85 por ciento. (con incentivos y contabilidad del desempeño promedia entre 115 y 125 por ciento). Esto, pues, representa la eficacia de dicho programa. En términos de recursos humanos, se suele conseguir el mismo volumen de trabajo con una tercera parte menos de trabajadores después de instituido el procedimiento, o sea, una disminución de 30 a 35 por ciento. La supervisión de las

cuadrillas de mantenimiento también mejorará, ya que la planeación anticipada de los trabajadores deja libre al sobreestante para que cumpla con sus obligaciones de supervisor.

II.4.1.2.- Disminución de las demoras. Otra ventaja, es la disminución de las demoras. La medición patrocina y estimula la identificación de retrasos y asigna números a lo que hasta ahora no era conocido. Las tardanzas debidas a un deficiente servicio de almacén, frecuentemente constituye hasta un 25 por ciento del total de las demoras encontradas por los mecánicos. Un almacén bien organizado y abastecido puede reducir mucho el número de atrasos ocasionados por falta de material. Los obstáculos o impedimentos de fajina, las Interferencias en la producción y un conocimiento incompleto del trabajo ordenado, componen otro 25 por ciento de tiempo perdido por el personal de mantenimiento.

II.4.1.3.- Reducción del tiempo de paro. Un tercer beneficio es la reducción del tiempo de paro. La medición ordinariamente se aplica a los mecánicos de área y mide su efectividad neta en equipo de producción parado. El valor de una disminución en el tiempo improductivo es proporcional al costo del equipo afectado y de la producción perdida. Más aún cuando el equipo de producción se encuentra paralizado para hacerle reparaciones, el empleo de normas estimulará un mejor desempeño de mano de obra, reduciendo así el tiempo de suspensión de la máquina o línea.

**II.4.1.4.- Perfeccionamiento del mantenimiento preventivo.** La medición del trabajo exige dar contestación específica a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué clase de lubricación existe y con qué frecuencia?
2. ¿Qué conocimientos se tienen?
3. ¿Son adecuados los conocimientos?
4. ¿Se ponen en práctica y se hallan al corriente los conocimientos del personal?
5. ¿Cómo son las inspecciones?
6. ¿Las deficiencias observadas son corregidas de acuerdo con las instrucciones?

Toda inspección del trabajo necesita de un estudio detallado de estas preguntas, a efecto de precisar los valores de tiempo apropiado, las discrepancias y omisiones se identifican con toda claridad mediante las normas y ello desencadena una acción correctiva que reducirá el costo general de mantenimiento.

## **II.4.2 TIPOS DE MEDICION**

Existen varios tipos de medición y algunos se utilizan más que otros:

- 1.- Estimación del trabajo
- 2.- Muestreo del trabajo
- 3.- Análisis estadístico del desempeño anterior

**11.4.2.1. Estimación del trabajo.** Esta comprende en un cálculo de las horas de mano de obra requeridas para una determinada ocupación de mantenimiento. Para cada labor se establece un cálculo de tiempo. Esta clase de programa se basa en un enfoque oficinesco más bien que ingenieril. Por lo común, es poco lo que el servicio de mantenimiento y el aprovechamiento de la mano de obra se benefician. Cuando las estimaciones constituyen la base de una medición del trabajo de mantenimiento, no puede apreciarse todo el potencial del programa. Esto es cierto, sobre todo, en lo que atañe a la utilización de la mano de obra, ya que las conjeturas se basan, de ordinario, en los niveles existentes de rendimiento del trabajo, más bien que en los posibles. Es probable que la estimación sea el tipo de medición menos consistente y digno de confianza, en que se busque fincar el control de mantenimiento. Sin embargo, constituye, tal vez, el procedimiento más sencillo y económico.

**11.4.2.2. Muestreo del trabajo.**- Es el método más ampliamente usado para medir la eficiencia de la mano de obra. Cuando se aplica a ocupaciones de mantenimiento, comprende numerosas observaciones ocasionales de los trabajadores. Los observadores registran el número y causa de ocios; así como, el porcentaje de rendimiento de los operarios, mientras éstos se encuentran laborando. El resultado de las observaciones del quehacer productivo y del no productivo, dará una idea del desempeño general del grupo y oficio. El muestreo del trabajo puede ser empleado para mejorar los sistemas de mantenimiento, así como reducir el tiempo de ocio.

El muestreo es relativamente económico y ofrece un medio excelente para

realizar estudios preliminares de utilización de la mano de obra. Un problema de importancia es la determinación del rendimiento real en el trabajo, aún cuando parezca que la gente está trabajando normalmente. Por ejemplo, rara vez se podrá establecer cuantos viajes que hace el operario de un lado a otro son justificados.

Habrán casos en los que un sencillo muestreo podrá mostrar a sobrestantes y superintendentes cual es el nivel de desempeño en áreas específicas.

El muestreo del trabajo no se utiliza como un instrumento de medición continua, porque los trabajadores pronto aprenden a hacer confusa y vaga esta técnica. Por tanto, convendría más bien utilizarla como un instrumento complementario, en combinación con otros procedimientos de control.

**II.4.2.3. Análisis estadístico del desempeño anterior.** Este análisis viene a ser una medición con base en la información histórica. Se acumulan las horas reales en un lapso determinado, por lo regular los últimos seis meses, de acuerdo con las siguientes clasificaciones del trabajo:

1. Ordenes permanentes y trabajos de rutina
2. Trabajos de índole repetitiva
3. Trabajos diversos no repetitivos
4. Trabajos estimados

Los métodos a emplear para cada clasificación se exponen en seguida:

II.4.2.3.1. **Órdenes permanentes y trabajos de rutina.** Se preparan normalmente promediando el tiempo real de trabajos específicos, correspondiente a un período prolongado. Esta clase de trabajos incluyen asistencias a juntas, arreglos del taller, lubricación ordinaria (de rutina), cambio de bombillas eléctricas, etc.

II.4.2.3.2. **Trabajos repetitivos.** Se trata de trabajos ordinarios que se repiten por lo menos una vez al mes, por ejemplo, la reparación de cerraduras, instalación de interruptores eléctricos y composuras mayores de bombas hidráulicas. Se elaboran normas de tiempo para estas tareas, promediando para ello los tiempos reales, del mismo modo que para las órdenes permanentes y trabajos de rutina.

II.4.2.3.3. **Trabajos diversos no repetitivos.** Los trabajos de esta clasificación se agregan por períodos (o apartados); por ejemplo:

Hasta 10 horas.

De 10 a 20 horas

De 20 a 35 horas

De 35 a 50 horas

De 50 a 70 horas

De 70 a 100 horas

Más de 100 horas

Para cada clasificación se elabora un promedio aritmético de tiempo real. Esta estimación del tiempo se emplea en trabajos futuros que corresponden a cada

apartado por el sobrestante o estimador.

**II.4.2.3.4. Trabajos estimados.** Son aquellos a los cuales se destinan estimadores para que calculen su costo, especialmente cuando hay de por medio fuertes gastos y/o cuando se necesitan autorizaciones. El estimador desmenuzará el trabajo en operaciones generales y elaborará una lista de materiales y piezas. Calculará las horas-hombre tomando como base los datos de costos anteriores.

Al resumir y evaluar el análisis estadístico de rendimientos anteriores con respecto a las cuatro clasificaciones expresadas, conviene apuntar que las normas elaboradas mediante este procedimiento son utilizadas para la planificación y programación de mantenimiento sin ajustes por concepto de variaciones debidas a los niveles de productividad de la mano de obra. Cuando se empleen para control de dicha mano de obra, las normas tendrán que modificarse a efecto de que reflejen el desempeño real medido por muestras de tiempos o de trabajo. Esta técnica es apropiada en lo general, pero nada exacta cuando se trata de tareas específicas.

**El procedimiento estadístico para la medición del trabajo, es realmente sencillo y barato; pero no es lo bastante preciso como para obtener cifras de rendimiento confiables. Sin embargo, dará mejores resultados cuando se aplica a los trabajos de rutina o de repetición.**

### II.4.3 DATOS ESTANDAR Y LA ELABORACION DE LAS NORMAS.

El enfoque de datos básicos o estándar proporciona un método más preciso y completo de medir el trabajo de mantenimiento. Aún cuando puede resultar costoso y tardar mucho tiempo en su instalación y conservación, constituye el mejor medio de tener un control eficaz.

Han sido ideados varios sistemas de datos básicos para medir el trabajo; pero en el fondo todos son iguales. A continuación se describirá un procedimiento típico.

#### II.4.3.1. ELABORACION DE LAS NORMAS.

A menudo, los trabajos de mantenimiento se consideran no repetitivos, con lo que no presentan a una medición económica empleando los datos estándar o básicos ni por supuesto, al estudio cronométrico. Sin embargo, las operaciones en detalle realizadas durante el desarrollo de los trabajos de mantenimiento se repiten continuamente, aún cuando las combinaciones (trabajos) en que tengan lugar no se repiten mas que muy de cuando en cuando. Es factible pensar que como los componentes (operaciones) ocurren erráticamente, el trabajo de mantenimiento no se repite. Sin embargo, una observación más de cerca descubrirá que aunque erráticamente, las operaciones básicas se repiten con mucha frecuencia.

El problema de medir económicamente el trabajo es, en realidad, el de hallar métodos adecuados de aplicación de datos de tiempo básicos.

2020 JUN 21 10:30 AM  
BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD  
ATZC  
SUAZ

Los datos se elaboran recurriendo a un estudio de tiempo real, anotando los elementos a medida que ocurran. Cada lectura de éstos se modifica por un factor que expresa el juicio del observador respecto a la tasa mecánica de realización tal como sea desempeñada por dicho elemento. Efectuada la modificación, la lectura se convierte en un tiempo "normal", con lo que se compensará aquellas ocasiones en que el mecánico trabaje por encima o por debajo del nivel de realización aceptado. El tiempo normal de los elementos de trabajo se ha incrementado para compensar los descansos y satisfacción de necesidades personales, siendo dicho aumento a partir de 10 por ciento, de acuerdo con los factores fatigantes que incluya el elemento de que se trate. Por tanto, puede decirse que todas las normas de tiempo son el producto de una observación inteligente y preparada, de una tasación del rendimiento y de un margen para el descanso, con el resultado expresado en minutos estándar por elemento de labor.

#### **II.4.3.2. CONCEPTOS BASICOS.**

El procedimiento para fijar las normas de tiempo se basa en el concepto fundamental de una jornada diaria de rendimiento y en los conceptos complementarios de la tasa de desempeño y margen de descanso.

La jornada diaria de producción se entiende en el sentido de que cuando se aplican valores prototipo a un grupo representativo de operarios, éstos pueden alcanzar un nivel de productividad mayor por encima del nivel de 100 por ciento, lo cual se

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

consigue cuando los trabajadores han sido debidamente entrenados, trabajan en buenas condiciones y sin limitaciones, y se les estimula en forma que ellos mismos actúen y se esfuercen lo más que puedan sin detrimento de su salud. Por consiguiente, el nivel de 100 por ciento de productividad, equivale a tres cuartas partes del promedio de un rendimiento según el mejor esfuerzo posible.

El concepto de tasa de rendimiento, o desempeño, expresa que el elemento tiempo de trabajo varía de acuerdo con dicha tasa. Por ejemplo, si la tasa de beneficio es normal, el elemento necesario será un valor determinado; si dicha tasa fuese mayor que lo normal, será más pequeño; si aquella fuese menor, el elemento tiempo sería mayor. Es, pues necesario llevar la oportunidad a un nivel uniforme que podría denominarse nivel normal de rendimiento, para el tipo de trabajo de que se trate.

En cuanto al concepto de margen para el descanso, quiere decir que las normas se expresan en valores de tiempo, pero que en virtud de las diferencias en las exigencias físicas y mentales que imponen las distintas ocupaciones, comprenden una proporción variable de tiempo de trabajo real y una de descanso necesario. Los factores de reposo para atender a la relajación y satisfacción de las necesidades personales, se determinan de acuerdo con una base elemental que automáticamente establece el margen de tolerancia necesario por tareas específicas. La figura (II.9) muestra factores típicos de tolerancia para el descanso, dentro del campo del mantenimiento.

Por tanto, cuando los tiempos estudiados hayan sido modificados a tiempo normal mediante la tasación del desempeño, y cuando haya sido modificado para incluir un

ESTADO DE GUAYAMA  
SECRETARÍA DE TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL  
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIONES Y ESTADÍSTICAS  
CALLE DE LA UNIÓN, 100, GUAYAMA, P.R.  
TELÉFONO 725-1234

margen para el descanso, el elemento tiempo habrá satisfecho las normas del concepto de jornada diaria de rendimiento.

Figura 11.9 Factores de tolerancia de descanso; valores típicos para el trabajo mecánico de mantenimiento\*

Trabajo general:	1.10	1.12	1.15	1.18	1.20	1.25	1.30	1.40	1.50
Sentarse, ponerse de pie, caminar, leer, hablar	x								
Viajar en ascensor, automóvil, camión, etcétera	x								
Inspección casual cuando una ojeada es suficiente	x								
Inspección sencilla, defectos grandes, escribir		x							
Inspección estrecha, pequeños defectos		x	x						
Cinta, regla, escuadra, nivel, plomada									
Contar, rubotar, hacer diseños sencillos		x							
Calibrar, micrómetro, indicador, calibrador al tacto		x							
Atornillador, alicates, llaves		10"	14"	18"	24"	30"	36"	48"	60"
Martillos		1 $\beta$	2 $\beta$	4 $\beta$	6 $\beta$	10 $\beta$	12 $\beta$	14 $\beta$	16 $\beta$
Capitilo de alambre, lima, tela de amarril, raspador		1 $\beta$	x	3 $\beta$	4 $\beta$				
Cautín para soldar									
Saqueo de mano o serrucho			Abejo	Hor.	x				
Taladro eléctrico portátil de 1/4"				Abejo		Arrriba			
Taladro eléctrico portátil de 1/2"						Hor.		Arrriba	

NOTA: Estos valores son relativos en lo tocante a las diversas operaciones asentadas, y se modificarán cuando haya situaciones especiales, como calor o frío extremos, posturas de trabajo forzadas, emanaciones, humos, polvo, alto voltaje, ruidos, etcétera.

\* Copyright 1951, por Albert Raymond y Am. Complementa el boletín *Rate of Accomplishment and Rest Factors for Use in Establishing Production Time Standards*.

## II.4.4 CLASIFICACION DE ACTIVIDADES.

La distribución del período real para el trabajo de mantenimiento consiste primordialmente en una división del trabajo necesario y de la duración de demoras. La tarea necesaria se compone de trabajo productivo, indirecto y traslados. Estas y otras clasificaciones que se expondrán más adelante, se ilustraran en la figura (II.10).

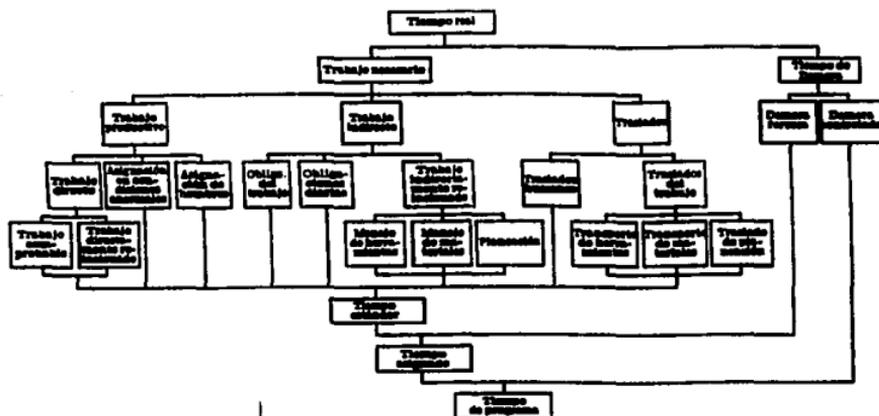


Figura II.10 Distribución del tiempo de mano de obra de mantenimiento

El trabajo productivo consiste de lo siguiente:

1. Trabajo directo que abarca todas las operaciones discernibles en los componentes físicos de la tarea, y las operaciones que son físicamente evidentes en la labor terminada o en alguna etapa del desarrollo del mismo, como por ejemplo, flexiones, soldaduras, perforaciones, etc.

2. **Margen de tolerancia para circunstancias especiales, que se expresa como porcentaje del tiempo requerido más allá de las condiciones normales. Este espacio se establece para varios tipos y grados de condiciones anormales, como lluvia, nieve, pavimento peligroso, alturas riesgosas, posición dificultosa, calor o frío extremos, polvo, humo, emanaciones, etc.**
3. **Margen de tolerancia del manejo, que cubre las demoras causadas por obstaculizaciones mutuas de los hombres que trabajan en una misma obra. Estas demoras son el resultado de cargas de labores desbalanceadas que hacen imposible o impráctico para los afectados dedicarse a otra cosa.**

**El trabajo indirecto consiste de las siguientes clasificaciones:**

1. **Contenido de la tarea abarcando elementos tales como recibir instrucciones, perforar tarjetas de labor, asear el lugar de trabajo a la terminación de éste, etc.**
2. **Obligaciones diarias que abarcan elementos tales como perforaciones de tarjetas de reloj de tiempo, preparación de informes, apertura y cierre con llave del gabinete de herramientas, etc.**

3. Trabajo indirectamente relacionado que cubre el manejo de implementos, de materiales y la planeación. Estos factores de la tarea no pueden, por regla general ser valorados por medio de evidencias físicas del trabajo terminado o en alguna etapa del desarrollo del mismo.

La traslación consiste en la variedad de actos de trabajo realizados en los cambios desde el punto de vista de trabajo al taller, almacenes, etc., y viceversa. Consta de los siguientes aspectos:

1. Traslado humano, que abarca andar o viajar en sentido horizontal o vertical entre el taller y el punto de trabajo, El tiempo permitido es en función de la ubicación y frecuencia de las mudanzas.
2. Traslado por el trabajo, que consiste en los viajes necesarios entre el punto de labor y el taller. El tiempo asignado es en función de la ubicación y frecuencia de los viajes. Se emplea un factor de viaje de traslado por el trabajo para reflejar el manejo de herramientas, de materiales y necesidades de planeación.

El período de demora se clasifica en obligado o controlado. Tardanzas obligadas son las ocasionadas por el desarrollo o naturaleza misma del trabajo. Las controladas son las que se encuentran bajo el arbitrio del operario y por tanto, se considera como costo excedente o extraordinario al medirse la tarea.

#### **II.4.5 APLICACION DE DATOS ESTANDAR.**

Procedimiento de aplicación. La aplicación de estos estándar comprenden los siguientes pasos que por lo regular se desarrollan en el orden siguiente:

1. Identificar las características generales de labor: emplazamiento, operarios que se necesitan, orden de trabajo, etc.
2. Determinar lo que se va hacer o lo que se ha hecho.
3. Desmenuzar el trabajo en operaciones básicas, enumerando los elementos del mismo.
4. Establecer las variables o determinantes necesarias para identificar el valor correspondientes del tiempo estándar.
5. Registrar las cantidades de piezas, centímetros, traslados, metros cuadrados, etc.
6. Anotar los factores especiales, como condiciones determinadas, tolerancias del manejo u oficio, altura a la que se realiza la faena, etc.
7. Buscar el informe el valor del tiempo estándar aplicable a la operación.
8. Ampliar el período de duración multiplicando las cantidades para determinar el total de minutos estándar para la operación.
9. Acumular el tiempo estándar total y las tolerancias para obtener el tiempo total asignado a la tarea.
10. Establecer la hora-hombre reales que se cargaran a la obra.
11. Calcular el rendimiento como porcentaje de estándar (tiempo estándar) dividido entre tiempo real.

#### II.4.6 SELECCION DEL METODO DE MEDICION.

Existen varios factores que afectan la selección del método para medir el trabajo de mantenimiento. La finalidad de la medición es básica: ¿Es sólo para el control o también para el pago de incentivos?

La figura (II.11) proporciona una guía para elegir el método apropiado, tomando en cuenta los alicientes y la magnitud de la fuerza de mantenimiento.

<i>Tamaño de la fuerza de mantenimiento</i>	<i>Sin incentivos</i>	<i>Con incentivos</i>
Menos de 25 trabajadores	Elaborar estándares de estudio de tiempo para las tareas repetitivas. Muestreo del trabajo uno o dos días por semana, sobre la base de intervalos de medio día, escogidos indistintamente.	Elaborar estándares de estudio de tiempo para ocupaciones repetitivas. Muestreo del trabajo de tiempo completo, o clasificación de todas las obras. Pagos básicos de incentivos a grupos. O: Introducir un sistema estándar de datos, con un implantador; clasificación de trabajos pequeños. Pagos básicos de incentivos por desempeño individual según promedio acumulativo gradando.
trabajadores 25 a 85	Elaborar estándares de estudio de tiempo para trabajos representativos escogidos, así como para labores repetitivas. Clasificación de las formas con estimados de tiempo completo. O: Establecer un sistema estándar de datos, mediante implantadores de tiempo completo; clasificación de trabajos pequeños.	Establecer un sistema estándar de datos mediante implantadores; clasificación de trabajos pequeños. Pagos básicos de incentivo por desempeño individual, según un promedio gradando y acumulativo.
Más de 85 trabajadores	Instaurar un sistema estándar de datos mediante implantadores; clasificación de trabajos pequeños.	Instaurar un sistema estándar de datos mediante implantadores; clasificación de trabajos pequeños.

Figura II.11 *Tabla guía para la selección del mejor método de medir el trabajo de mantenimiento*

Todos los sistemas requieren de una información del tiempo por tareas. La implantación de este procedimiento a menudo conduce a mejoras en el rendimiento, aún antes de que se ponga en marcha la medición del trabajo. El resultado de ésta se puede anotar diario, semanalmente o hasta terminar el trabajo, dependiendo de los procedimientos contables, recursos humanos, etc.

El empleo de estímulos y el costo de administración influyen bastante en la elección del método de medición.

Es fácil deducir la figura (II.11) que cuando se encuentra con incentivos, el sistema es más complejo y su necesidad es clara porque:

1. Se afecta el salario del trabajador
2. Existe muy probablemente, un sindicato laboral de por medio.

Un plan de alicientes basados en la medición del trabajo es factible cuando se dan las siguientes condiciones:

- Que haya una Dirección General progresista que comprenda bien la importancia de los estímulos en la paga y los problemas inherentes.
- La existencia de un departamento de Ingeniería Industrial capaz.
- Que las operaciones de Producción ya cuenten con incentivos.

Si no hay una o más de estas circunstancias en la fábrica, un programa de incentivos no resultará práctico.

#### **II.4.7 RECOMENDACIONES PARA LA IMPLANTACION DEL PROGRAMA DE MEDICION.**

Como la implantación de cualquier programa la resistencia al cambio es el factor humano más difícil de vencer por lo que a continuación se enumerará una serie de recomendaciones que fueron obtenidas de la experiencia de varias empresas en esta situación obteniéndose logros importantes enfocados a la pequeña y mediana empresa:

- A.- El programa de medición debe iniciarse como pilotaje en pequeños grupos u oficios como ejemplo a los demás empleados. Dicho grupo debe ser escogido para maximizar las posibilidades de éxito.**
- B.- Deberá planearse y concretarse por escrito claramente todos los procedimientos y pasos a seguir en dicho grupo piloto.**
- C.- Debido a un mejor desempeño frecuentemente se obtiene una mayor carga de trabajo y disminución de personal. Deberá preverse la posible reducción de personal planeando con anticipación el como manejar esta situación teniendo las siguientes alternativas:**
  - Deteniendo toda reposición de Personal**
  - Dejar que el retiro espontáneo reduzca el número de trabajadores desocupando los operarios que sobren.**
  - Transfiriendo personal de experiencia a otras áreas mientras que por separación espontánea en el área de mantenimiento pueda reinstalarse a dicho personal.**

- D.- Antes de iniciar el programa de medición es imperativo el obtener el apoyo de los diferentes grupos involucrados siendo éstos:
- La dirección de la Empresa.
  - La supervisión de Mantenimiento
  - Los trabajadores en Gral.
  - El sindicato
  - Departamentos de Apoyo
- E.- Siempre que sea factible la iniciación del programa de medición deberá coincidir con un incremento en el volumen de la producción
- F.- Deberá elaborarse un programa detallado de la implantación que considere también los siguientes factores:
- Períodos de vacaciones
  - Negociaciones del contrato de trabajo
  - Ausencia de gente clave
  - Circunstancias anómalas por proyectos de construcción o cambios radicales en producción.
  - Prever cualquier circunstancia adversa, así como aprovechar toda condición favorable .
- G.- Elaborar procedimientos para las tomas de tiempo, así como los informes y reportes necesarios con anticipación a la implantación; capacitando y adiestrando al personal involucrado.

En resumen, una buena preparación contribuirá a asegurar el éxito del programa.

Muchos beneficios se derivan de la medición del trabajo de Manto., entre otras, una disminución del costo de la mano de obra a través de su mejor aprovechamiento. Además, se reducirán las demoras en la producción y los paros de máquinas, especialmente por medio del mantenimiento preventivo.

Existen varios tipos de medición con los que pueden obtenerse buenos resultados. Entre ellos, figuran la estimación de la tarea, el muestreo del trabajo, las normas estadísticas de desempeño, la catalogación de la ocupación y los datos estándar. A menudo se recurre a una combinación de métodos.

La instauración del programa reviste suma importancia. La planeación es indispensable. El apoyo de la administración, de la supervisión, de los trabajadores y del sindicato, juega un papel destacado en el buen resultado. Escoger el momento apropiado junto con una planeación adecuada de la toma de tiempo, rendimiento de informes y procedimientos contables, contribuye a la obtención plena de todos los beneficios que se desean obtener.

## **II.5.- ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA MANO DE OBRA**

Se necesita una atención especial a los controles de procedimientos y análisis del costo en el caso de la mano de obra de mantenimiento, ya que ésta es de ordinario mucho más difícil de controlar.

Los informes de control muestran el resultado del desempeño real en un pasado inmediato (día, semana o mes) y relaciona estas condiciones reales a un desempeño tipo o esperado, midiendo las desviaciones de los objetivos. Los informes de control permiten actuar con rapidez para mejorar el desempeño de acuerdo con las normas, o remediar las circunstancias que ocasionan las desviaciones.

Debe tratarse de descubrir la razón de un desempeño deficiente, y efectuar correcciones necesarias en métodos, herramientas, procedimientos, adiestramiento, etc.

Es menester tener presente que los informes no constituyen un fin en sí mismo, sino que sólo son una herramienta que sirve para tomar alguna medida. Sin esta actuación o medida subsecuente a ellos, no tendrán valor.

Como los informes de referencia tienen por objeto mostrar de una manera periódica los resultados de situaciones reales.

### **II.5.1. CLASES DE INFORMES**

En la figura (II.12) se resume la distribución, frecuencia y finalidad de los informes de control de desempeño de la mano de obra.

## CLASES DE INFORMES

Título del reporte	Distribución	Frecuencia de emisión	Finalidad
Análisis semanal de la mano de obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingeniero de fábrica</li> <li>- Superintendente de Manto.</li> <li>- Sobrestante de oficio o area</li> </ul>	Semanal y acumulativo	Informe del tiempo perdido y del desempeño general por oficio o area, semanas enumeradas cronologicamente
Resumen semanal de desempeño	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Director de fábrica</li> <li>- Ingeniero de fábrica</li> </ul>	Semanal	Informe del desempeño general por oficio o área, omitiendo detalles
Informe individual de desempeño del trabajador	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingeniero de planta</li> <li>- Superintendente de Manto.</li> <li>- Sobrestante de oficio o area</li> </ul>	Semanal	Informe del desempeño medio de cada individuo, a fin de que pueda determinarse y corregirse la causa de un desempeño bajo.
Informe de tarea terminada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingeniero de fábrica</li> <li>- Superintendente de Manto.</li> <li>- Sobrestante de oficio o area</li> </ul>	Semanal o mensual	Desempeño por tareas terminadas en el período
Tendencia de desempeño de oficio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingeniero de fábrica</li> <li>- Superintendente de Manto.</li> <li>- Sobrestante de oficio o area</li> </ul>	Mensual	Informe del desempeño mensual de cada oficio o área, en relación a referencia y en forma gráfica.
Tendencia del desempeño de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Director de fábrica</li> <li>- Ingeniero de fábrica</li> </ul>	Mensual	Informe del desempeño mensual de la fuerza total de mantenimiento en forma gráfica.

Figura II.12

La selección y distribución de los mismos variará de empresa a empresa, dependiendo de varios factores, entre los cuales se cuenta:

- 1) Tamaño de la fuerza de mantenimiento,
- 2) si el programa tiene poco tiempo de haber sido implantado o si ya lo había sido desde hace tiempo, y
- 3) si se dispone de equipo para el procesamiento de datos. A continuación se da una especificación más en detalle de cada tipo de informe.

**II.5.1.1. INFORME SEMANAL DE ANÁLISIS DE LA MANO DE OBRA.** El análisis semanal de la mano de obra es un informe en el que se resume la medición del trabajo de mantenimiento o el plan de incentivos. En él aparece toda información de interés relacionada con el desempeño de los trabajadores asignados al departamento o centro de costos. Puede decirse que es un "barómetro" que registra el desempeño semanal en un índice o indicador de costos.

El propósito de este análisis es comparar la actuación de la mano de obra contra estándares y el grado a que el total de horas-hombre se controla mediante normas, así como identificar el tiempo empleado en trabajo no productivo.

Cuando existe un programa de incentivos, este informe muestra también el monto de los premios pagados.

En la figura (II.13) aparece un ejemplo de informe semanal de análisis de la mano de obra.

## ANALISIS SEMANAL DE MANO DE OBRA

Semana No	Final de Semana	No de Trabajadores	Total Horas - hombre Pagadas	Horas - hombre Empleados no medidos	Horas - hombre Empleados medidos	Horas - hombre Estándar Producido	% de Productividad Medida	% medido sobre Estándares	ANALISIS DE NOMINARIA DE HORAS - HOMBRE				Total	Índice de Desempeño General
									Tiempo Perdido	Por Debajo del Estándar	Pagado y no Trabajado	Trabajo Correctivo		
Primer Trimestre :														
Segundo Trimestre :														
Tercer Trimestre :														
Cuarto Trimestre :														
Total Año :														

Figura II.13

En seguida se especifican las distintas columnas de que consta un informe de esa naturaleza:

- 1 **Número de la semana** Tiene por objeto contar con una referencia inmediata a una semana determinada dentro del período de que se trate. Por lo general, el período abarcado en el informe es de un trimestre de trece semanas.
  
- 2 **Término de la semana** Es la fecha del sábado con que termina la semana, por ejemplo: 3/19.
  
- 3 **Número de trabajadores** Corresponde a los trabajadores a salario por hora, sin contar la supervisión. Esto proporciona un índice del tamaño del grupo. Las cifras en disminución denotan las economías logradas con un mejor desempeño, después de implantado un programa de medición del trabajo.
  
- 4 **Total de horas-hombre** El total de horas que se pago a los trabajadores del grupo.
  
- 5 **Horas-hombre invertidas, no medidas.** Total de horas trabajadas, no cubiertas por estándares.
  
- 6 **Horas-hombre invertidas, medidas** Horas empleadas en trabajo cubierto por estándares.

- 7. Horas-hombre estándar producidas** Horas estándar aumentadas en un trabajo medido.
- 8. Porcentaje de productividad medida** Tasa de desempeño del trabajo para el grupo de empleados en el departamento o centro de costos, expresada como porcentaje del estándar. Se obtiene dividiendo las horas-hombre estándar producidas en la semana, entre las medidas en la semana.
- 9. Porcentaje medido sobre estándares** Se calcula dividiendo las horas-hombre medidas por el total de horas-hombre del grupo. Corresponde a la amplitud de cobertura por normas de trabajo en el departamento.

**Análisis de variación horas-hombre** Horas-hombre empleadas por los operarios del grupo y por las cuales se les pagó; pero que no trabajaron realmente. El objetivo de la administración debe ser reducir al mínimo este gasto. La variación mencionada consiste en lo siguiente:

- 10. Tiempo perdido** Son las horas-hombre en las cuales el trabajador no hace nada por falta de buena planeación.
- 11. Tiempo por debajo de la norma** Horas-hombre calculadas. Son las empleadas en trabajo medido, sobrepasado las horas-hombre estándar fijadas para el mismo.

- 12 Pagadas, no trabajadas** Son las horas que se pagan a los operarios; pero durante las cuales no llevan a cabo trabajo útil. Comprenden las empleadas en asistir a juntas del sindicato, reuniones con el departamento de personal, participación en simulacros de incendio, etc.
- 13 Trabajo correctivo** Tiempo transcurrido en corregir trabajo mal hecho.
- 15 Índice de desempeño general**- Se calcula dividiendo el total de horas-hombre producidas o aumentadas (horas-hombre estándar producidas, más horas-hombre invertidas y no medidas) entre el total de horas-hombre pagadas.

Los cinco últimos renglones del análisis se emplean en un resumen de la experiencia correspondiente a trimestres anteriores y al año total, con lo que se puede apreciar el adelanto en el control del costo por el departamento o centro de costos.

Cuando un plan de incentivos se basa en el programa de medición y control, varias columnas pueden aumentarse al informe, a saber:

1. Pago extraordinario por hora, que corresponde a las ganancias medias extraordinarias, y por encima del pago horario medio, y
2. Porcentaje de pago extraordinario, que es el porcentaje de ganancia extra media, del pago por horario medio.

Las siguientes columnas adicionales son apropiadas y hasta necesarias en determinadas circunstancias:

**Porcentaje de Utilidad** Grado de mejoría, en relación a otro período, que puede ser cualquiera de los siguientes:

- Desempeño medio en la jornada de trabajo.
- Primeras semanas después de establecidas las normas.
- Promedio correspondiente al año o período anterior.

**Costo de administración** Costo de empleados de oficina, cotejadores, planificadores, etc., que se necesitan para administrar la medición (e Incentivos). Se suele expresar mediante un porcentaje de la mínima medida.

**Premio del turno** Es el costo extraordinario del premio del turno, expresado en céntimos por hora o variación de porcentaje arriba del estándar.

**Ahorro bruto** La diferencia entre el costo corriente por semana y lo que había sido ese costo a nivel de desempeño por comparación.

**Ahorro neto** Diferencia entre el ahorro bruto de la semana y el costo de administración.

**Ahorro acumulado** Total de ahorro neto desde el inicio del programa o del año en curso.

El análisis semanal de la mano de obra resume el desempeño y la información de control para el departamento de mantenimiento, grupo o centro de costo. Proporciona exposición actual de los resultados e identifica los factores especiales necesarios para controlar o mejorar el desempeño de los trabajadores.

Este informe, de ordinario, trece semanas o un trimestre. Se prepara de manera que los datos de cada nueva semana se agreguen al informe correspondiente a los anteriores. Cada semana se expiden copias para distribución con el informe correspondiente al trimestre a la fecha, con lo que el informe anterior puede ser destruido, exceptuándose el último informe del trimestre, ya que cada nuevo informe repite todos los resultados semanales anteriores emitidos en el curso del trimestre.

#### **II.5.1.2. RESUMEN SEMANAL DE DESEMPEÑO.**

Se trata de un informe para mantenimiento y producción de fábrica, que resume en una página todos los datos necesarios sobre los distintos departamentos o grupos y la actividad de mantenimiento. Ejemplo de un informe típico es el que aparece en la figura (II.14).

Los factores comprendidos en el informe, son los siguientes:

**Porcentaje de productividad:**

- Referencia. El desempeño comparado con la norma por un período base, utilizando como referencia para apreciar el mejoramiento.
- Semana anterior. Desempeño comparado con la norma de la semana anterior.
- Semana en curso. Desempeño comparado con la norma de la semana en curso.

**Porcentaje medido:**

- La mejor semana. El mejor porcentaje hasta la fecha (muestra lo que ha sido posible conseguir).
- Semana anterior. Porcentaje medido durante la semana anterior.
- Semana en curso. Porcentaje medido durante la semana en curso.
- Número equivalente de hombres. Número total de horas-hombre, dividido entre 40 para indicar los tamaños promedio de los grupos.

También pueden figurar otros factores, sobre todo si se encuentra en vigor un programa de incentivos. Incluyen lo siguiente para cada grupo, semana en

curso, anterior y período que sirve de punto de referencia:

- Salario extraordinario. Porcentaje medio pagado extra.
- Índice de costo. Indicador del desempeño general.
- Costo de variación. Total de costo excedente en todos los cargos de variación.

<b>RESUMEN SEMANAL DE DESEMPEÑO DE MANTENIMIENTO DE FABRICA</b>							
<b>Noviembre 28, 197.</b>							
<b>Final de semana</b>							
Grupo	% Productividad			% Horas			Pérdida cuadro de horarios
	Def.	Horas laboradas	Horas normales	Horas normales	Horas laboradas	Horas normales	
<b>Taller mecánico de reparaciones</b>							
Unión de horroalistas	65	79	75	90	88	86	24
Horroalistas de horroalistas	66	80	81	96	90	90	10
Mecánicos de banco	55	87	83	88	80	82	14
Mecánicos de máquinas	60	58	.59	94	90	88	12
<b>Electricistas</b>							
Electricistas en el terreno	51	82	79	87	85	84	9
Electricistas de taller	62	85	83	96	93	92	12
Taller de armadores	65	88	85	98	97	96	3
<b>Mantenimiento mecánico</b>							
Aparadores	52	78	75	85	83	80	30
Apoyadores	59	80	80	88	84	82	25
Instaladores de tuberías	47	81	80	94	90	92	15
Almoxaranes	40	75	74	98	95	94	8
Carreteros	64	88	88	94	90	92	10
Pintores	68	90	91	99	97	98	6
Tecnólogos de puentes	55	72	75	80	78	76	11
Promedio todos los grupos	57	79	78	90	87	86	189

Comentarios: Desempeño y cobertura semana de este equipo; la mayoría de los efectos laborados el Día de Acción.

FIGURA II.14 *Resumen semanal del desempeño de mantenimiento*

### II.5.1.3. INFORME INDIVIDUAL DE DESEMPEÑO.

Este informe es de un valor especial, durante los pasos iniciales de una medición o de puesta en obra de un programa de incentivos. Permite al sobrestante apreciar la forma en que se comportan todos y cada uno de los trabajadores.

Es tan importante saber quienes son los trabajadores con un desempeño superior al promedio, como los que laboran por debajo de ese promedio. Una palmada de felicitación en la espalda a menudo es tan eficaz como un mejoramiento de métodos.

Trabajo	Código	Código	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO-OPERACION PLAN DE INCENTIVOS, MANTENIMIENTO	Tiempo		Miles de dólares	
				Horas	Costo	Por hora	Total
5750	ST25	H-0010	MOER	1.5	1.5	1.5	127.0
		H-0020	QUERER DE BALAMA	1.5	1.5	1.5	122.0
		H-0030	TAMAR DE QUER	1.5	1.5	1.5	122.0
		H-0040	AFILAR SIERRAS	1.7	1.7	1.7	122.0
		H-0050	REAJUSTE DE MORNICO	2.0	2.0	2.0	122.0
		H-0060	CONJUNTO DE ALISA	2.0	2.0	2.0	120.0
		H-0070	AFILAR SIERRAS	2.0	2.0	2.0	122.0
		H-0080	REAJUSTE MORNICO	1.0	1.0	1.0	122.0
		H-0090	TAMAR	1.0	1.0	1.0	122.0
		H-0100	TAMAR	1.0	1.0	1.0	122.0
		H-0110	REPARACION DE SILLA	0.5	0.5	0.5	127.0
		H-0120	AFILAR SIERRAS	1.5	1.5	1.5	122.0
5750	ST25	H-0170	TOTAL TRHU 57/25/00	0003	40.0	40.0	126.7

Trabajo	Código	Código	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO-OPERACION MANTENIMIENTO	Tiempo		Miles de dólares	
				Horas	Costo	Por hora	Total
5750	ST25	H-0110	SA AJUSTAR	1.0	1.0	1.0	112.0
		H-0020	OFICINA CP	0.5	0.5	0.5	100.0
		H-0030	OFICINA CP	0.5	0.5	0.5	100.0
		H-0150	LAB. ELECTRICOS	0.5	0.5	0.5	111.5
		H-0000	REPARAR LINDA #1	1.0	1.0	1.0	120.0
		H-0000	LAB. ELECTRICOS	0.5	0.5	0.5	111.5
		H-0150	INSTALAR PUERTA	.2	.2	.2	110.0
		H-0000	INSTALAR PUERTA	0.5	0.5	0.5	110.0
		H-0170	MORNO DE MANTILLO	1.5	1.5	1.5	100.0
		H-0110	SA AJUSTAR	1.0	1.0	1.0	112.0
5750	ST25	H-0110	TOTAL TRHU 57/25/00	06	40.0	40.0	112.0

Figura II.15 Registro de tiempo-hombre, plan de incentivos directo; mantenimiento

Este informe es a menudo un subproducto de las operaciones de procesamiento de datos, que permite que los informes estén listos poco tiempo después de que se hayan terminado los cálculos básicos. Puede tener un carácter diario o semanal, y por lo regular comprende al personal que informa a cada sobrestante de mantenimiento. La figura (II. 15) es un ejemplo de informe semanal por dos hombres.

Cuando no se cuenta con un procesamiento de datos, los desempeños pueden informarse de un modo no automático. Con frecuencia, solo los desempeños excepcionalmente altos o bajos, son informados con regularidad, resumiendo todos una vez, por período de salario, mes o trimestre.

#### **II.5.1.4. INFORME DE TRABAJO COMPLETO.**

Se trata de un informe semanal, que tiene por objeto enumerar los trabajos terminados, junto con el desempeño correspondiente a cada uno. Otra clase de información, como es las horas-hombre en trabajos en proceso durante la semana, y las horas-hombre de trabajos enumerados pero no iniciados. Esta información es indispensable para la programación y elaboración del informe de trabajos pendientes.

### II.5.1.5. TENDENCIAS DEL DESEMPEÑO.

Este informe se emite mensualmente o cada cuatro semanas, y muestra las tendencias en el desempeño por largos períodos. Véase la figura (II.16). Tiene valor para los superintendentes de mantenimiento, ingenieros y directores de fábrica, que se interesan más en las tendencias y avances por los meses y años que por días o semanas.

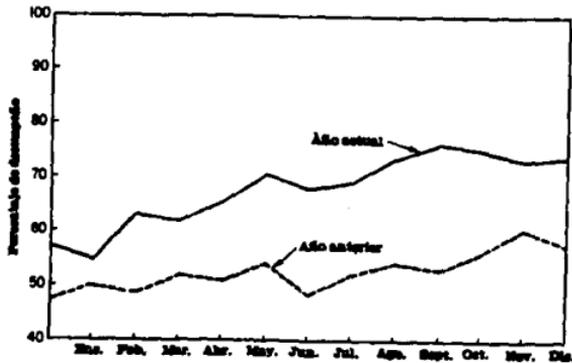


Figura II.16 Informe de tendencia de desempeño

### **II.5.1.6. TENDENCIAS DEL DESEMPEÑO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.**

Este informe muestra las tendencias en períodos prolongados, con referencia a los grupos que comprende el departamento de mantenimiento.

El grado de control de mano de obra por medio de normas de trabajo, puede también aparecer en la misma gráfica de tendencias, de manera que pueda ser vigilado por la dirección de mantenimiento. El informe de ejecución hacia la disposición de mantenimiento también se presta para una presentación del desempeño comparado con el presupuesto de mano de obra.

### **II.5.2. PERFECCIONAMIENTO DEL DESEMPEÑO**

**II.5.2.1. MEDICIÓN DEL MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO.** A efecto de que tenga éxito un programa de medición del trabajo de mantenimiento se necesita que haya un mejoramiento real y apreciable en el desempeño de la mano de obra. Aún cuando un mejoramiento en la utilización de la mano de obra acarrea varios beneficios el más notorio es el mejor desempeño.

Para medir dicho mejoramiento se necesita una base o punto de referencia, con el cual pueda hacerse un cotejo. Desde luego, en mantenimiento esa base no siempre puede determinarse con facilidad. Aún cuando se cuenta con numerosos índices para identificar los cambios en el costo de mantenimiento, los que utilizan con mayor frecuencia para medir los cambios en el desempeño de la mano de obra son: -

1. El número de hombres en la fuerza de mantenimiento,
2. La nómina de mantenimiento, y
3. El desempeño medido.

Puede decirse que el índice del número de hombres es el que se emplea con más frecuencia, ya que es fácil de establecer y comprender.

Sin embargo, hay ciertas limitaciones en cuanto al costo del número de individuos para medir mejoramientos atribuibles a un programa de control de costos. Una limitación es la que se deriva de hecho de que el monto del trabajo necesario puede aumentar o disminuir en un período dado, como resultado de:

1. La expansión o contracción del volumen de operaciones
2. El aumento o eliminación de equipo, o
3. La expansión o contracción de las instalaciones.

Una limitación que también reviste importancia, es que el número de individuos que componen la fuerza de mantenimiento puede no disminuir en proporción a un mejor desempeño, debido a:

1. La existencia de una nutrida lista de trabajos pendientes,
2. Trabajos que antes se ordenaban bajo contrato ahora se ejecutan en la fábrica,
3. La dirección decide aumentar el mantenimiento que se hace en la fábrica.

Por consiguiente, el conteo de los individuos como índice de la utilización de la mano de obra puede deformarse por intrusión de factores ajenos.

La nómina de mantenimiento sirve a veces para indicar el monto de trabajo de mantenimiento. Además de las limitaciones que quedaron enumeradas en relación al índice de número de individuos en la fuerza de mantenimiento, el empleo de la nómina se ve afectado por:

1. Los cambios en las tasas base, en virtud de aumentos generales o por mérito,
2. Cambios en la proporción de las diferentes tasas de aprendices y oficiales, y
3. El pago de tiempo extraordinario y premios a turnos. En este caso, también las limitaciones hacen que disminuya un tanto la veracidad de la nómina de pago como indicador de la utilización de la mano de obra.

El desempeño medido es el índice más fidedigno de cambios en dicho desempeño. Requiere de la fijación de un desempeño como referencia para cada grupo, contra el cual pueda cotejarse cualquier mejoramiento.

El desempeño de punto de referencia se establece aplicando las normas a trabajos hechos con anterioridad a la fecha oficial de instauración. La base más confiable es la que se obtiene cuando los grupos no saben que están siendo medidos. Esto puede

efectuarse con mayor facilidad si se planean con anticipación los trabajos, con una sinuosidad suficiente para que se puedan aplicar normas.

Un desempeño de punto de referencia basado en la medición, por lo común será conservador en la medición del desempeño, ya que los mejoramientos sobre la medida de referencia no reflejan los cambios de métodos, o la eliminación de trabajo innecesario.

El mejoramiento del desempeño se indica como un porcentaje del desempeño actual, comparado con el de referencia. Por ejemplo, un desempeño actual de 80%, comparado con un desempeño de referencia de 60%, indica un mejoramiento de 33%  $(80-60)/60$ .

#### **II.5.2.2. MEJORIA DEL DESEMPEÑO EN LA JORNADA DIARIA.**

La productividad de la mano de obra anterior a la implantación de un programa de medición del trabajo, suele hallarse en el orden de 50 a 65% de un nivel de producto diario normal del operario de 100%. Utilizando las normas de trabajo para medir la productividad, dicho nivel puede mejorarse hasta el orden de 80 a 90 por ciento. Esta mejoría representa una reducción de costo de mano de obra de 30 a 35%, sin contar el costo de administración.

Por otra parte, hay muchas formas para poder conseguir un mejoramiento en el desempeño. Los de mayor importancia serán discutidos a continuación.

Si se da publicidad a los resultados del desempeño individual o de grupo, estimulará el mejoramiento, ya que alentará:

- El orgullo de realización, pues todo individuo busca o por lo menos mejorar su desempeño cuando se está midiendo su trabajo.
- La competencia entre individuos o grupos. Puede recurrirse a estimular la competencia entre turnos, oficios o áreas, con el fin de estimular un desempeño mejor.

El reconocer lo hecho por individuos o grupos, mejorará también el desempeño. Se alentará a los trabajadores para que laboren mejor, con objeto de que sostengan ese reconocimiento. Existen varias formas para expresar ésto, a saber:

- Una sencilla palmada en la espalda, dada por el sobrestante o superintendente, hará que cierto tipo de individuos reaccionen trabajando mejor.
- Colocación en tableros públicos de los nombres de personas o grupos que se distinguen en su trabajo.

- Premios en forma de gratificaciones, placas, comidas, o hasta otorgarles asuetos, a quienes han demostrado ser eficaces para estimular un buen desempeño.

La realización de estudios especiales en las áreas que constituyen problemas, a menudo llevan mejorías en el trabajo. Estos estudios comprenden:

- Comprobaciones o cotejos para demostrar que los valores de tiempo estándar son adecuados.
- Comprobaciones para descubrir causas de tardanzas, como las que tienen lugar en las ventanillas de almacenes o en los ascensores.
- Revisión de las asignaciones de gente, para determinar si hay una deficiencia en las mismas cuando se trata de trabajos de gran magnitud.
- Ver la necesidad de adiestramiento de los individuos, para mejorar sus conocimientos.
- Revisión de herramientas y equipo para determinar la necesidad de mejorarlos o adquirir algunos especiales.

#### **II.5.2.3. MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO POR MEDIO DE INCENTIVOS.**

Aún cuando los controles medidos de la jornada cotidiana aumentarán la productividad hasta un nivel de 80 a 90 por ciento, el empleo de un plan eficaz de incentivos en el renglón de salarios puede aumentar dicha productividad hasta un nivel de 120 a 130 por ciento. Esto significa un mejoramiento adicional de 10 a 15 por

ciento en el costo, aún después de pagados los incentivos.

La técnica seguida para mejorar el desempeño cuando se recurre a las normas sin pago de incentivos, es también eficaz cuando se está llevando a cabo un programa de incentivos. La publicación de los resultados, la felicitación a los trabajadores y grupos, y la realización de estudios especiales, son importantes para mejorar la actuación dentro de esta clase de premios.

La recompensa monetaria representada por un pago extraordinario a cambio de un esfuerzo también extraordinario, es un medio eficaz para mejorar la actuación del operario. Asimismo, es factible maximizar la eficacia de los incentivos si se atiende al pago de la gratificación. Los aspectos de más importancia a este respecto, son los siguientes:

1. El pago de incentivo debe estar en relación directa al trabajo que hace el operario.
2. El trabajador debe saber como se calcula dicho pago extraordinario.
3. El anuncio de los resultados deberá hacerse tan pronto como se pueda, después de completar el período, a menor tiempo entre el intervalo en que se haga el trabajo y el conocimiento del resultado, más eficaz será el efecto del premio. Claro que ésto tiene que ajustarse al tiempo que se emplee en el cálculo respectivo.

4. El salario extraordinario ganado como resultado del programa, se hará constar en el talón del cheque de pago. Hay empresas que expiden cheques especiales para el pago de incentivos. Lo que importa es que el trabajador sepa cuanto se les paga por ese concepto.
5. Cualquier ajuste debido a error, omisión, etc., tendrá que ir acompañado de una explicación completa, tan pronto como sea posible después de detectado el fallo.
6. El trabajador debe recibir periódicamente un estado en que se resuman sus percepciones extraordinarias. Cuando se implante un programa, esos estados se harán mensual o trimestralmente. Después, será suficiente con un estado semestral o anual para que el individuo sepa el total acumulado de sus ganancias por concepto de incentivos.
7. Conviene tener un control administrativo eficaz, de los factores que obstaculizan la producción de los trabajadores (demoras en entrega de herramientas y almacenes de mantenimiento, esperas exageradas para recibir equipo especial, etc.).

El costo de la mano de obra puede controlarse bien, sin embargo, el mejoramiento no es automático. Se necesita una planeación adecuada, prever el desempeño, una programación eficaz, análisis oportunos y adecuados de los resultados, una acción pronta y vigorosa, además de ayuda ingenieril suficiente. Todo ésto, aunado a disciplina, computación constante y decisión, producirá beneficios óptimos.

El resultado del mejoramiento se medirá mediante verificaciones con puntos de referencia dignos de confianza, a efecto de que todos los niveles de participación tengan fé en el programa.

El papel de sobrestantes, superintendentes, ingeniero de fábrica y otros elementos de la administración de mantenimiento, tiene mucha importancia. Es indispensable que exista respaldo, comprensión y motivación por parte de la administración, para que el programa de medición del trabajo de mantenimiento pueda tener éxito, con o sin incentivos.

El grupo de administración tiene una participación vital en el estímulo y aliento de los trabajadores, para que laboren mejor. Aún cuando haya oposición por parte del sindicato o el trabajador, siempre se conseguirá algún adelanto.

## **II.6. TÓPICOS ESPECIALES PARA EL MANTENIMIENTO A VEHICULOS INDUSTRIALES ELECTRICOS Y CON MOTOR DE COMBUSTION INTERNA**

La planeación del mantenimiento puede cortar la inversión en equipo de manejo de materiales pues se necesitarán menos unidades de repuesto (Stand by), menos tiempo extra será requerido porque habrá menos trabajos de emergencia .Se obtendrá máxima utilización del equipo, durarán más; además se podrán lograr los objetivos de productividad y seguridad de operadores y del personal en general.

En el mantenimiento de cualquier equipo móvil, el operador es el más importante en la línea de defensa. El operador tiene ciertas obligaciones en el mantenimiento del equipo, junto con los correctos hábitos de operación y manejo de materiales el operador debería también:

1. Tener un conocimiento de las funciones y limitaciones de el equipo.
2. Saber y estar conciente de las rutinas de inspección del vehículo.
3. Reconocer características que sean signos de falla.
4. Ser conciente en reportar daños y/o signos de falla.

Algunos de los factores que contribuyen a una descompostura y son despreciados por la gerencia los cuales contribuyen al costo de mantenimiento son los siguientes:

1. Operación del vehículo por un operador inexperto o irresponsable.
2. Sobrecarga.
3. Malas condiciones del piso o del camino.
4. La pobre sustentación de la carga
5. Inspecciones despreciadas al igual que reparaciones pequeñas no realizadas.
6. Falta de lubricación.

Todos éstos pueden minimizarse o eliminarse por medio de un programa de mantenimiento preventivo y cooperación del operador.

En adición a la conducta diaria de inspección del operador, el servicio adecuado para Vehículos Industriales requieren otra cédula de inspección y servicios mensuales y semianuales. Durante estos servicios, diferencias marginales pueden ser corregidas, ajustadas o reparadas.

### **II.6.1. TRES TIPOS DE MANTENIMIENTO.**

El trabajo de mantenimiento bajo un plan puede dividirse dentro de tres categorías:

#### **1. Diaria inspección del operador.**

La inspección diaria del operador consiste en chequeos que pueden ser hechos por ellos mismos al comienzo de cada turno, tales como niveles de gasolina, aceite y agua. También chequeos de seguridad como el buen funcionamiento de los frenos, la dirección y accesorios de seguridad.

**2. Inspecciones periódicas, ajustes y reparaciones menores.**

Este tipo de inspección requiere de una planeación adecuada a las condiciones específicas de la flota y del personal de mantenimiento de la empresa.

**3. Reparaciones mayores (overhaul).**

Este tipo de reparaciones al igual que la anterior deberán planearse considerando:

- 1.- El Tamaño de la flota de vehículos.
- 2.- El Tamaño y conocimientos de la cuadrilla de mantenimiento.
- 3.- La rapidez con la cual debe ser terminado el trabajo.
- 4.- Qué tan grande es la inversión en equipo de Servicio y herramientas del taller que se necesitará.
- 5.- Dependiendo del resultado de las consideraciones anteriores Evaluar que un proveedor externo efectúe el (MP)

En síntesis, el corazón de un programa de mantenimiento consiste en dos actividades básicas 1).- Inspecciones periódicas del equipo para descubrir condiciones causantes de paros de equipo y/o rápida depreciación del mismo y 2).- Definir la frecuencia del ajuste o reparaciones menores, mientras éstas así lo sean; minimizando los paros mayores, mejorando así la productividad.

### **II.6.2. PERSONAL ADECUADO Y CAPACITACION COMO PRERREQUISITO.**

Si se encuentra que sea más factible llevar a cabo el propio mantenimiento, es imperativo seleccionar un buen supervisor de mantenimiento, delegando a él la responsabilidad y autoridad para obtener un mantenimiento apropiado, además de escoger y entrenar mecánicos calificados; así como entrenar a los operadores de los vehículos industriales.

El supervisor de mantenimiento puede normalmente aprovechar el entrenamiento y asistencia de los propios fabricantes de los vehículos. Los cursos para los mecánicos son generalmente dados en las plantas de los fabricantes mientras que el entrenamiento a los operarios se realiza en lugares específicos.

### **II.6.3. PROGRAMACION DEL TRABAJO.**

Preparando diariamente la cédula para cada clasificación del trabajo el día anterior, la gente de mantenimiento puede ir directamente a cumplir con sus obligaciones y no perder el tiempo hasta que le sea asignado el trabajo del día.

El Supervisor de Mantenimiento debe analizar cada orden de reparación y establecer prioridades. El debe determinar exactamente qué debe hacerse, qué partes son necesarias y qué herramientas y equipo debe utilizarse. El también debe decir quién hará el trabajo y estimar las horas-hombre que se tomarán.

#### **II.6.4. PLANEACION DEL TALLER**

El taller de servicio debe estar localizado en el centro de la planta; la distribución del mismo debe ser la adecuada para obtener la más alta eficiencia del tiempo de los mecánicos. Además de que elimine el estar maniobrando con los vehículos dentro del mismo.

Las figuras siguientes, pueden ayudar a planear el taller. La distribución en la figura (II.17) es un diseño en donde sólo se hacen reparaciones a vehículos industriales ligeros. La figura (II.18), muestra una distribución para largas operaciones y provista para vehículos pesados y ligeros. El tamaño del área del taller dependerá del número de unidades en la flotilla y de lo profundo que sea el programa de mantenimiento.

Es importante colocar el equipo de servicio, fuera del paso. Es más conveniente siempre que sea posible trabajar con herramientas portátiles. Es más fácil llevar la herramienta al trabajo que el trabajo a la herramienta.

Es importante instalar las líneas de aire, combustible y lubricantes por arriba de la altura de la cabeza. Mantener la superficie del piso libre para poder maniobrar. Los laboratorios científicos de prueba no son ciertamente para el promedio de los talleres de mantenimiento. Pero es conveniente proporcionar a los mecánicos de instrumentos y calibradores que se necesiten para hacer un diagnóstico completo sin perder tiempo desarmando un vehículo inútilmente.

No olvidarse de equipo como máquinas limpiadoras de vapor. Un mecánico puede reducir el tiempo a la mitad si él repara una máquina limpia que si hace el mismo trabajo en una sucia.

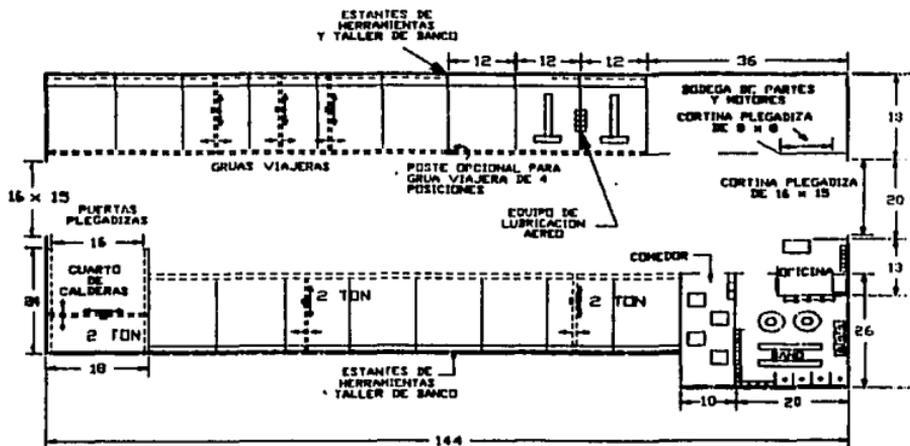


Figura II.18 Taller de Manto, para Vehículos pesados y ligeros.

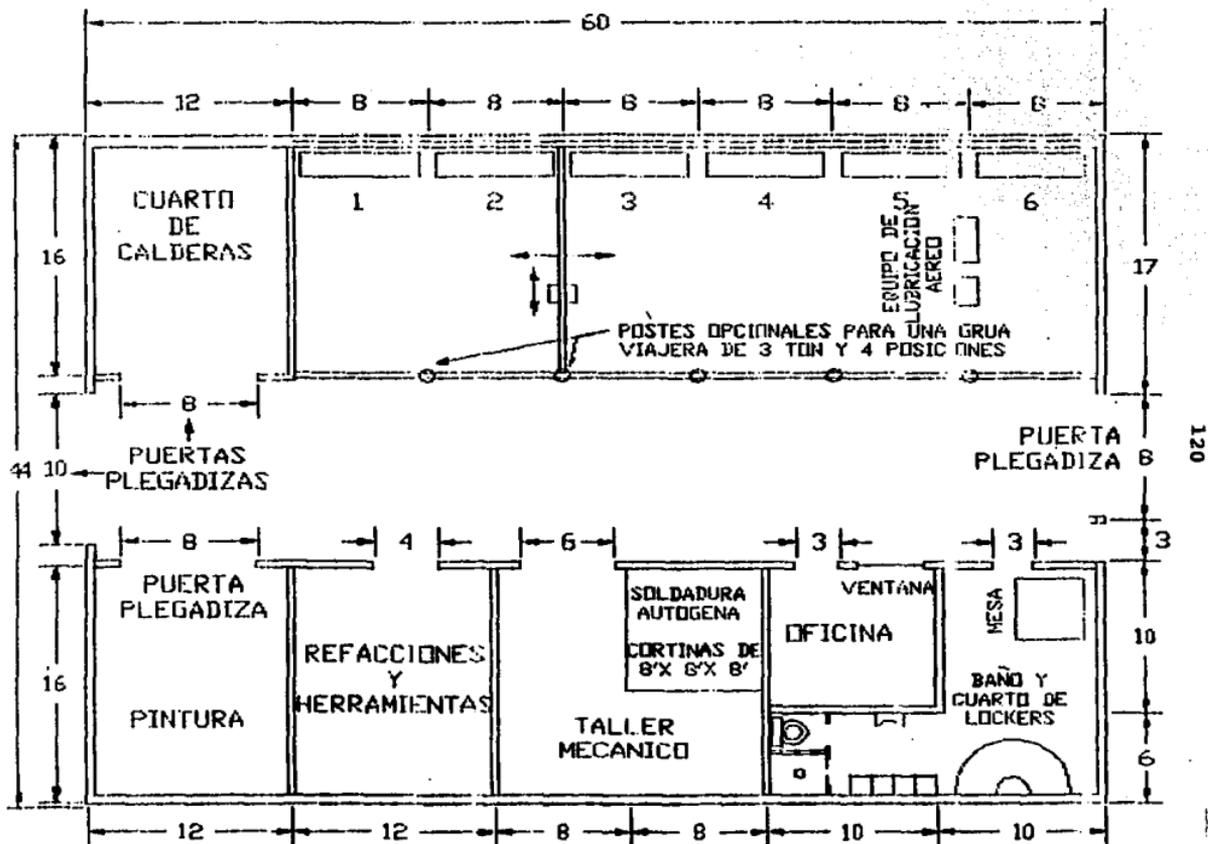


Figura II.17 Taller de Manto. para Vehiculos ligeros

### **II.6.5. INTERVALOS DE INSPECCION**

La frecuencia de inspección fijada en condiciones normales de operación y uso con un turno de trabajo serían incrementadas si las condiciones de operación o el uso del tractor es clasificado como severo. Generalmente hablando, 1 hora de operación de un Vehículo Industrial es equivalente a 46 Km (40 millas ), de un automóvil.

Usando esta comparación, no es difícil ver que 2000 horas de operación en un tractor es equivalente a 128,720 Km (80,000 millas) de un automóvil. En esos 128,720 Km (80,000 millas), muchos servicios se le han practicado para mantener el automóvil en buenas condiciones de operación. Por lo anterior darle servicio a un Vehículo Industrial cada 160 hrs es equivalente a 10,297 Km (6,400 millas) de un automóvil.

Muchos detalles de un servicio normal son a veces pasados por alto por el personal de mantenimiento. La simple inspección al caminar alrededor del vehículo para observar signos de daño pueden prevenir paros del equipo. Durante el servicio de mantenimiento preventivo las cubiertas y las tapas deben ser removidas de tal manera que todas las áreas del vehículo sean examinadas. Si todas las partes son bien atendidas el vehículo incrementará su eficiencia incluso el vehículo estará en condiciones para producir bajo cédula, todo costo por manejo de materiales será corto y la frecuencia de paros o interrupciones será menor.

¿Qué tan seguido o periódico deben hacerse las inspecciones ? La respuesta no es una de las arbitrariedades prescritas, tiempos flexibles de intervalos en los cuales ciertas inspecciones son hechas cada 200, 600 y 1200 hrs. Este concepto es subrealista porque no toma en consideración las condiciones en las cuales un vehículo trabaja el tiempo que éste opera.

Un vehículo que trabaje bajo condiciones sucias puede ser atendido en forma inconveniente bajo un programa arbitrario de intervalos de inspección. Mientras que otro en condiciones limpias puede estar sobremantenido a un nivel innecesario y con un costo excesivo. Esto viene siendo el caso en la realidad en el mantenimiento programado y se finca dentro del siguiente foco de atención:

- 1.- No hacer cualquier mantenimiento que no se necesite
- 2.- El intervalo de las inspecciones es función de las necesidades de operación del equipo.
- 3.- Considerar el punto óptimo de la Curva Costo Beneficio.

Las inspecciones de mantenimiento programado incluyen chequeos de compresión, ajustes menores, cambios de aceite, lubricación, y reemplazo de filtros de aire, aceite y gasolina. Los procedimientos de servicio para vehículos de combustión interna son detallados en el procedimiento correspondiente; sin embargo un resumen de éste se encuentra en las figuras (II.19) y (II.20).

Llevar a cabo el procedimiento completo toma aproximadamente 1 1/2 hrs y llevado correctamente el llenado de la forma y un registro , de esta forma se podrá mantener una bitácora del estado del vehículo, sabiendo su condición así como posibles necesidades de reparación.

Si la porción correspondiente del programa de mantenimiento concerniente a las inspecciones periódicas es llevado en forma consistente, las necesidades de reparaciones, ajustes mayores y reemplazo de componentes serán descubiertos antes de que ésto cause paros de los vehículos muy costosos.

#### **II.6.6. REQUERIMIENTOS ESPECIALES PARA VEHICULOS ELECTRICOS**

Este mantenimiento preventivo es aún más importante cuando se trata de vehículos con potencia eléctrica porque hay algunas partes en un tractor eléctrico que el personal de mantenimiento tiende a pasar por alto. Items normales de manto.

No hay nada realmente complicado sobre los montacargas eléctricos. Todo este mantenimiento tiene algo en común. Con controles de estado sólido usados prácticamente en todos los vehículos eléctricos, la mayoría de los mecanismos tienden a alejarse de estos elementos. Básicamente los controles de estado sólido son circuitos muy individuales que interactúan unos con otros. Entendiendo el circuito individual, se podrá reparar fácilmente, el control general.

Una área de los vehículos eléctricos sujeta a mantenimiento que es despreciada, es la batería. La batería para estos vehículos representa una considerable inversión, más del 25% del costo total. Un propio servicio y mantenimiento de la batería es de primera importancia. Se debe tener mucho cuidado en no descargar completamente o sobrecargar la misma. Esto puede disminuir la vida de la batería también puede crear problemas de operación.

Los neumáticos son otra área de problema potencial. Si los neumáticos están desgastados, maltratados o no están parejos, el daño que pueda resultar se presentará en cualquier parte del vehículo. Por ejemplo la carga excesiva es causa del desgaste de los neumáticos; así también, es la causa de que las tuercas o pernos puedan perderse y/o dañar la línea de impulso. Requiriendo más potencia de la batería para sobrellevar esta mala condición, reduciendo la vida de la misma.

No Vehiculo	Item de inspeccion	Realizo: _____	Hrs.			OBSERVACIONES
			A	B	C	
			200	1600	1200	
1	- Checar operacion del Horometro					
2	- Lavar el Vehiculo					
3	- Verificar la operacion del motor					
4	- Checar el filtro de aire					
5	- Cambiar aceite y el filtro					
6	- Verificar la presion del aceite					
7	- Checar la ventilacion del cárter					
8	- Checar el sistema de alimentacion del combustible					
9	- Checar el gobernador					
10	- Checar la bateria					
11	- Verificar la operacion del alternador					
12	- Checar la operacion del regulador					
13	- Verificar la operacion de la marcha					
14	- Verificar el estado del Sistema electrico					
15	- Checar el sistema de enfriamiento					
16	- Checar el sistema de enfriamiento de la transmision					
17	- Checar el sistema hidraulico					
18	- Checar el ensamble del sistema de carga					
19	- Lubricacion general					
20	- Checar el estado de los neumaticos					
21	- Verificar el estado de los frenos					
22	- Checar y lubricar los baleros de las ruedas					
23	- Checar el eje motriz					
24	- Checar el sistema de la direccion					
25	- Checar la alineacion de las ruedas					
26	- Checar la operacion del embrague					
27	- Checar la transmision					
28	- Checar la flecha Cardan					
29	- Checar el sistema de la suspension					
30	- Checar el estado de la carroceria y la pintura					
34	- Verificar el funcionamiento de los switches de limite					
35	- Verificar el funcionamiento del sistema de luces					
36	- Verificar la operacion del Claxon					
37	- Verificar el estado del equipo especial					
38	- Verificar el estado del equipo de seguridad					
39	- Checar si no existan fugas					
40	- Probar la operacion del vehiculo					

Figura II.19

CELSULA DE INSPECCION PARA VEHICULOS INDUSTRIALES EQUIPADOS CON MOTORES ELECTRICOS  
 TIPO DE INSPECCION No. \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ OK: Requiere Reparacion: X

FECHA: Trabajo Efectuado

No Vehiculo	Realizado	Realizo			OBSERVACIONES
		A	B	C	
Form de Inspeccion	-----	200 Nrs.	600 Nrs.	1200 Nrs.	
1	- Checar operacion del Manometro	x	x	x	
2	- Lavar el Vehiculo	x	x	x	
10	- Checar la bateria	x	x	x	
14	- Verificar el estado del Sistema electrico	x	x	x	
17	- Checar el sistema hidraulico	x	x	x	
18	- Checar el ensamble del sistema de curvas	x	x	x	
19	- Lubricacion general	x	x	x	
20	- Checar el estado de los neumaticos	x	x	x	
21	- Verificar el estado de los frenos	x	x	x	
22	- Checar y lubricar los baleros de las ruedas	x	x	x	
23	- Checar el eje motriz	x	x	x	
24	- Checar el sistema de la direccion	x	x	x	
25	- Checar la alineacion de las ruedas	x	x	x	
29	- Checar el sistema de la suspension	x	x	x	
30	- Checar el estado de la carroceria y la pintura	x	x	x	
31	- Verificar el estado de los controles electricos	x	x	x	
32	- Verificar el estado de los motores electricos	x	x	x	
33	- Verificar la operacion del generador de Voltaje	x	x	x	
34	- Verificar el funcionamiento de los switches de limite	x	x	x	
35	- verificar el funcionamiento del sistema de luces	x	x	x	
36	- Verificar la operacion del Claxon	x	x	x	
37	- Verificar el estado del equipo especial	x	x	x	
38	- Verificar el estado del equipo de seguridad	x	x	x	
39	- Checar si no existan fugas	x	x	x	
40	- Probar la operacion del vehiculo	x	x	x	

Figura II.20

## **II.7. ALMACEN DE MANTENIMIENTO Y CONTROL DE INVENTARIO**

Este capítulo describirá la forma para desarrollar un sistema de control de inventarios que ayudará a mantener el nivel del servicio de mantenimiento de una manera económica.

### **II.7.1. ALMACENAMIENTO DE COMPONENTES DE MANTENIMIENTO**

Cuatro categorías básicas de material son normalmente incluidas dentro del almacén de mantenimiento, como se enlista abajo:

1. **Piezas de repuesto Especiales.** Son partidas de seguridad que son almacenadas para un equipo específico de la planta y el propósito es evitar el prolongado paro de equipo. Las partidas en esta categoría pueden ser descritos de la siguiente manera:
  - A. Relativamente costosos comparados con el Stock normal.
  - B. Especializados para uso en uno o un limitado número de equipos.
  - C. Difíciles de obtener apropiadamente de los proveedores.
  - D. Mejor tener un promedio grande en períodos que un almacenamiento constante.
  - E. Usado en equipo para el prolongado tiempo de paro que es considerado costoso e inseguro.

Ejemplo de estas partes son: baleros especiales, motores especiales, engranes de repuesto, componentes electrónicos. Comparado con la relativa certeza de

un consumo normal, la necesidad de partes de repuesto es de alguna manera un riesgo. Estos deberían almacenarse sólo cuando el riesgo envuelto en no hacerlo sea considerado que pesa más que el costo de llevar inventario por un período predicho. Este intervalo es materia de juicio, basado en experiencias pasadas con equipo similar o mediante registros podrá mostrarse con gran certeza algunas de las fallas que prodrán ocurrir en el futuro.

- 2. Stock Normal de Mantenimiento.** Estas partidas tienen generalmente menos uso especializado, sino requerimientos más definidos y un movimiento más frecuente dentro de intervalos definidos que las piezas de repuesto especiales. Ejemplo de éstos son accesorios para tubería y válvulas estándar, baleros de uso común, cables eléctricos e interruptores, pernos, soldadura, tubo conduit, platinos, condensadores, etc.

La decisión que debe ser hecha es concerniente a que almacenar y que tanto almacenar, o cuando reordenar que puede ser manejado de una manera más rutinaria que en el inciso de arriba. Otra sección de este capítulo discutirá los procedimientos aplicables a este inciso.

- 3. Suministros de Bedel.** A esta categoría se incluyen papel de baño, artículos de limpieza, toallas, estopa, etc., que son parte del manejo del almacén de mantenimiento.
- 4. Herramientas.** En pequeños o medianos departamentos de mantenimiento es práctica común que el almacén maneje y controle herramientas de uso especial cuya necesidad tiene una base definida.

## II.7.2. CONDICIONES QUE TIENDEN A INCREMENTAR EL INVENTARIO EN EL ALMACEN

Como previamente se ha observado, al desarrollar procedimientos para el control de inventarios los cuales analizen una serie de factores que tienen un efecto sobre el total del costo de mantenimiento como en la figura (II.21) lo sugiere, el costo por llevar un inventario específico (como engranes especiales) debe balancearse contra el costo si el material no estuviera disponible.



Figura II.21 Balance de inventarios de mantenimiento.

Es importante reconocer todos los factores de costo involucrados de tal manera que el balance sea el óptimo. Esta sección discutirá aquellas condiciones que tiendan a incrementar el stock de materiales en el almacén para el área de mantenimiento.

- 1. Costo del tiempo perdido (paro de equipo).** Cuando el equipo falla y deja de trabajar por falta de partes de repuesto o materiales las pérdidas implícitas van a ser serias. Esto es particularmente cierto si la capacidad productiva es afectada o si los operarios de producción o maquinaria no son asignados a otras áreas.
- 2. Requerimientos de la cédula de mantenimiento.** Uno de los criterios para planear y dar cédula al mantenimiento es el de tener los materiales necesarios a la mano dentro de una cantidad normalizada sin tener que estar checando la disponibilidad de cualquier partida. La cédula de mantenimiento rápidamente se incrementa si más de una partida tiene que ser ordenada por separado durante el progreso de un trabajo.
- 3. Economías en grandes cantidades de compra.** El hecho de que muchas partidas cuestan menos cuando son compradas en grandes cantidades es una de las influencias hacia el incremento de el inventario. Una influencia similar viene del costo de manejar una orden de compra, checar el recibo y hacer el pago. Comprando en cantidades considerables algunas veces puede trabajar en dirección de una reducción de costos sólo si este costo es menor que el

implícito por llevar este inventario para un período de tiempo.

4. **Carencia de estandarización de partes.** Algunos ejemplos son diferentes marcas de motores o bombas que tienen aproximadamente las mismas especificaciones; diferentes controles eléctricos que hacen la misma cosa, varias válvulas selenoides o reelevadores eléctricos con esencialmente las mismas propiedades funcionales etc.
5. **Una inadecuada atención al inventario o a las cantidades de reorden.** Cuando no se tienen registros de las cantidades de inventario, se hace necesario inspecciones casuales a diferentes intervalos que permitan señalar cuando se debe reordenar. Es fácil cometer un error en estos casos lo mismo ocurre cuando se reordena sin saber las cantidades predeterminadas a ordenar. Sin embargo la simpleza puede eliminar un tiempo crítico dependiendo del número diferente de partes que se manejen sin llegar a tener un control muy exacto.
6. **Falta de proveedores importantes cercanos.** Muchas plantas están lo suficientemente cerca de las casas de los proveedores como para poder hacer compras rápidas de ciertos artículos cuando surge una emergencia, similarmente algunos proveedores de partes especiales que aún no estando cerca de la planta pueden dependerse de su almacén para obtener estas partes sin problema.

Cuando estas condiciones no existen puede haber razones válidas para considerar el incrementar el stock de algunas partes.

7. **Tamaño, naturaleza y condiciones de las facilidades de la producción.** Un justificable stock de inventario de mantenimiento es obviamente incrementado cuando existen condiciones como las que siguen:
- A. Una gran inversión en equipo o facilidades.
  - B. Equipo viejo o usado que debe mantenerse en uso para manejar las necesidades de producción.
  - C. Falta de facilidades especiales.

### II.7.3. CONDICIONES QUE TIENDEN A REDUCIR EL INVENTARIO DE MANTENIMIENTO

1. **Disponibilidad de efectivo.** Muchas plantas tienen una reserva de posibilidades para invertir dinero en nuevas herramientas, máquinas o equipo que reducirá el costo como resultante de las mejoras constantes. Si el punto de corte de dicha inversión esta un 20% de la tasa interna de retorno . El dinero invertido en llevar el costo de un inventario marginal deberá pagar la misma tasa. Después de deducir los costos esperados es difícil estimar la probable tasa interna de retorno en ciertos casos específicos en donde hay que tomar decisiones sobre los requerimientos

del inventario. Esta línea de pensamiento es adecuada para ser seguida como una guía o política que sirve para tomar decisiones.

- 2. Costos asociados con las actividades del almacén.** Algunos de los costos esperados para el almacén son listados como sigue:
- A.** Espacio de la Planta ocupado por el almacén.
  - B.** El costo de la labor requerida para atender el almacén; secretarios o gente de manejo de materiales.
  - C.** Accesorios propios del Almacén. Como estantes, grúas, malacates, motacargas, etc.
  - D.** Obsolescencia de partes almacenadas. La cuestión es la siguiente: La nueva tecnología o la moda causa el reemplazo de equipo específico de la planta, las partes de repuesto especiales utilizadas en este equipo se vuelven obsoletas.
  - E.** Depreciación y pérdida de material almacenado. El manejo de materiales dentro del almacén causa el daño de las partes frágiles. Algunos materiales tienen una vida limitada. Esto ocasiona la pérdida de partes costosas. El robo puede ser un problema particularmente donde hay un acceso libre al almacén o cuando los registros del inventario son controlados por la gente que lo atiende.
  - F.** Costo de los suministros; así como los impuestos aplicables.

3. **Buen Servicio de los Proveedores.** Este acto reduce las necesidades del stock de materiales de mantenimiento. Como se discutió anteriormente mientras ésto es normal, costos adicionales se dan por comprar y manejar cantidades pequeñas. Esto puede ser en algunos casos reducido considerablemente a través de un sistema de contracción, técnica que será discutida posteriormente.
  
4. **Paros de Equipo no frecuentes o no importantes.** Los requerimientos de capacidad para una planta o sección pueden ser tales que el tiempo de paro no sea importante. Equipo nuevo de producción puede requerir muy poco reemplazo de partes por un período grande de tiempo (varios años). Las condiciones obviamente tienden a reducir las necesidades del inventario en las partes de repuesto.

#### **II.7.4. ORGANIZACION PARA EL CONTROL DE ALMACEN DE MANTENIMIENTO.**

En el pasado han habido al menos tres diferentes conceptos de organización sobre el control de inventario de mantenimiento. Una de éstas reconoce la necesidad de colocar bajo la organización del departamento de compras los procedimientos de control del personal e inventarios del almacén. Un segundo concepto es el dejar la contabilidad y su salvaguardia de la inversión del almacén, delegando el control de la organización al departamento de contabilidad. El tercer concepto reconoce la importancia de dejar el control de materiales para un adecuado Servicio de

## Mantenimiento a Ingeniería de la Planta.

El último de estos tres conceptos de organización es un sólido acercamiento que puede ser aplicado conservando la necesidad de asistencia y control de otros departamentos.

Procedimientos típicos incluirían comprar material a través del departamento de compras y desarrollar registros de inventario a través del departamento de contabilidad. El gerente de mantenimiento normalmente retiene la autoridad para seleccionar los ítems y cantidades que serán almacenadas, dentro de ciertas pólizas limitantes y asegurar el servicio adecuado del almacén a través de la supervisión del personal en el almacén.

### **II.7.5. PRINCIPIOS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DEL ALMACEN DE MANTENIMIENTO.**

Los principios para el control sistemático del almacén de mantenimiento están enlistados abajo. Como en todos los casos de control de mantenimiento, es el costo total el que sería considerado. Controlando partes especiales de repuesto, por ejemplo se podría demostrar de la necesidad de incluir este Stock para casos específicos, con el fin de reducir los costos de paro de equipo.

1. **Requisiciones de almacén.** Esto es considerado un paso esencial al retirar material del almacén de mantenimiento porque éste provee de las siguientes

ventajas.

- a. **Autorización para que los asistentes saquen material.**
- b. **Bases para que la gente de mantenimiento obtenga la autorización para retirar material (usualmente de su supervisor).**
- c. **Bases sistemáticas para llevar la contabilidad y registro de inventarios.**
- d. **Reduce los errores o pérdidas de tiempo de los almacenistas.**

El alto costo de muchas partes de repuesto o de stock normalmente justifica un cuidadoso uso del material. En un trabajo específico puede ser práctico reparar las partes existentes, usar partes reconstruidas, usar partes menos costosas, o usar diferentes materiales que sean mejores para un trabajo; por esta razón, es una buena práctica requerir que la gente de mantenimiento obtenga de su supervisor la aprobación de retiro de un material del almacén.

2. **Registros de Inventrio.** Muchos o casi todos los procedimientos de control hechan mano de un continuo o perpetuo registro de inventario donde los recibos son sumados y las salidas son restadas. Esto puede ser hecho a través de:
  1. (Hand Posting) Una forma que tiene columnas para la fecha, número de la orden de referencia, recibos, salidas y balanceo hecho a mano. Dicho procedimiento es simple y relativamente barato, además de fácil de instalar.

2. (Machine Posting) Máquina usada para llevar los libros en donde tanto los cálculos como la impresión de los registros de inventario son hechos por la máquina. Esta ayuda reduce los errores que pudieran ocurrir con el punto anterior.
  
3. Procesador Electrónico de Datos. El manejo de la información en esta forma es más rápido además que es aplicado para poner al día los registros en cuanto a cantidad, así como otros detalles que son parte del procesador. Una ventaja de este método es que la información puede tener varias formas de salida como un listado por producto. Otros ejemplos serían: costo total del trabajo individual por cada orden, valor de las partes especiales o la cantidad normal del inventario. Así como una lista de los ítems que han alcanzado un nivel específico.

Los documentos requeridos para mantener los registros de inventario pueden venir del propio almacén, del departamento de recibo, del departamento de compras o de otras fuentes. Algunas organizaciones requieren de los asistentes de almacén para mantener los registros de inventario durante los períodos flojos pero éste tiene aspectos indeseables. Un control más real viene de que la función de registro de

inventario sea separada de las funciones del almacenista. Las razones son menos oportunidades para falsear el registro para cubrir faltantes e incrementar la crítica realidad, donde es prácticamente importante minimizar los errores de inventario. Los balances de stock pueden ser registrados en almacén y llevados a través de métodos de procesamiento electrónicos.

3. **Verificación de los registros de inventario.** Un inventario físico del material para detectar errores en los registros de inventario. Esto también sirve como un indicador de posibles agotamientos de partes, si son serios los inexplicables déficits, la necesidad de acciones correctivas son determinadas (ésto involucra un recuento cíclico de materiales).

4. **Decidir que almacenar.** Cuando el equipo es nuevo, será necesario determinar el material y partes que deberá tener en el almacén. Un camino son las recomendaciones de los fabricantes del equipo para considerar las partes especiales de repuesto pero no deben ser seguidas ciegamente. Otro camino son las experiencias pasadas las cuales deben ser sólidas bases para tomar decisiones sobre los niveles que se deben tener, pero también debe reconocerse que el uso de registros proveerá un mejor panorama en el futuro consumo de los mismos items.

Los criterios para la toma de decisión son :

- El alto costo de las partes de repuesto
- El juicio envuelto en decidir que almacenar
- El riesgo de tener paros de máquina

Esto nos indicará que tan exacto debe ser el nivel autorizado para almacenar dichas partes en forma sistemática.

5. **Puntos de reorden.** Este es un valor numérico que debería establecerse a través de un análisis de la cantidad de uso anticipada, más el tiempo requerido para obtener la entrega del material adicional. Cuando un punto de reorden es alcanzado en el registro de inventario debe iniciarse una orden de compra . Si se desea un nivel mínimo puede ser fijado como punto al cual es urgente elaborar o expedir una Notificación de Compra. El punto de reorden debería ser tomado dentro de los requerimientos pico de uso. Como se muestra en los registros pasados. Estos están sujetos a revisiones periódicas, como también las condiciones del equipo.
6. **Cantidades a ordenar.** Las cantidades que deben pedirse cuando el punto mínimo es alcanzado debe desarrollarse a través del análisis de factores tales como:
1. Cantidades promedio usadas determinadas de registros anteriores.
  2. Costo de compra, incluyendo lo relacionado con el manejo de

ordenes de compra y gastos de oficina.

3. Costos relacionados con el manejo de inventario.
4. Puntos donde la cantidad tiene descuentos.

La interrelación aproximada de los tres primeros factores es ilustrada en la figura (II.22) sujeta a las siguientes definiciones:

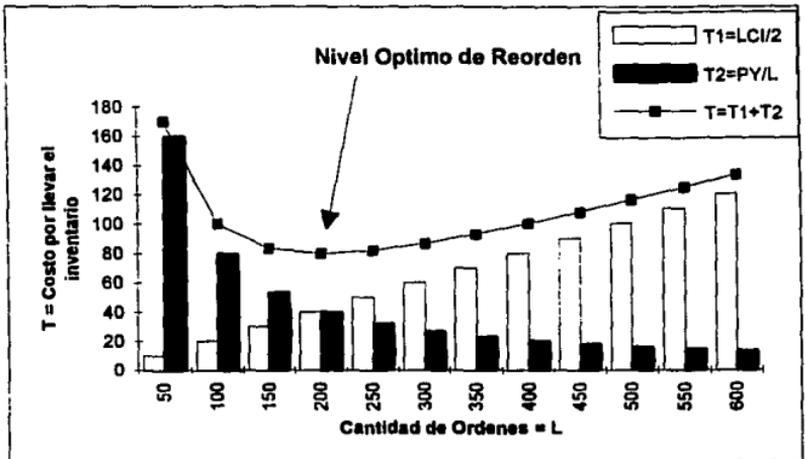
**P = Costo total de compra y recibo de una orden incluyendo:**

1. Costo de respuesta, proceso y el material a comprar.
2. Costo de recibo, identificación, inspección y manejo del material que llega.
3. Costos de contabilidad y manejo para pagar, preparar registros, y manejar las órdenes de compra, copias, etc.

**Y = Número de piezas por año.**

**I = Costo por llevar el inventario expresado en porcentaje, en fracción decimal. Esto normalmente incluye:**

## Existencias de Repuesto



C=	2	L	T1	T2	T1+T2
I=	0.2	50	10	180	170
P=	20	100	20	80	100
Y=	400	150	30	53	83
		200	40	40	80
		250	50	32	82
		300	60	27	87
		350	70	23	93
		400	80	20	100
		450	90	18	108
		500	100	16	116
		550	110	15	125
		600	120	13	133

DONDE:

C= Costo por pieza incluyendo el flete.

I= Costo por llevar el inventario expresado en porcentaje.

P= Costo total de compra y recibo de una orden.

Y= Número de piezas al año.

L= Número de partes en una sola orden. (EOQ) "Economic Order Quantity.

Figura II.22

1. Costo de la inversión de capital el cual debe ser considerado entre la tasa de interés bancaria y la tasa interna de retorno si una inversión equivalente fuera hecha en otra fase de los negocios.
2. El incremento de la depreciación y pérdida debida al llevar cantidades extra en el almacén.
3. Incremento del riesgo de obsolescencia.
4. Seguros e impuestos.
5. Costo del espacio, facilidades, calefacción, etc.
6. Costo de la labor en el manejo del inventario.

**C** = Costo por pieza incluyendo el flete.

**T** = Costo por año por llevar el inventario arriba y abajo del precio de compra. **T1** es una porción de **T** debida a los costos de inventario y almacenamiento. **T2** es la parte remanente de **T** debida a los costos de compra y recibo.

**L** = Número de partes en una sola orden. El valor de **L** es el cual minimiza **T** es llamado "Economic Order Quantity" (punto de reorden económico) o **EOQ**.

Mientras que las curvas en la figura (II.22) son típicas para varios ítems. Los valores cargados son aquellos que son aplicados a la infraestructura de \$2.00 cada uno y usados en cantidades de 400 unidades por año. La curva T1 está basada en un valor de  $l = 0.20$  y la curva está basada en un costo de \$20.00 por orden en lo que respecta a la compra y recibo. De la gráfica, es claro que el costo mínimo adicional ocurre con una cantidad de reorden de 200 unidades.

Es posible derivar una ecuación que puede ser usada para calcular el punto económico de reorden directamente por causa de esta naturaleza. El "EOQ" (Economic Order Quantity) puede ser definido como el punto más bajo de una curva o el punto en el cual la derivada de T con respecto a L es cero.

La ecuación derivada puede ser usada generalmente, sujeta a limitaciones. Para el ejemplo específico de la figura (II.22) el punto "EOQ" puede ser calculado para ser 200 o una provisión de 6 meses.

La figura (II.23) es una carta alineada la cual puede ser usada para calcular las cantidades de reorden dentro de un rango de costo y uso de material típico de mantenimiento.

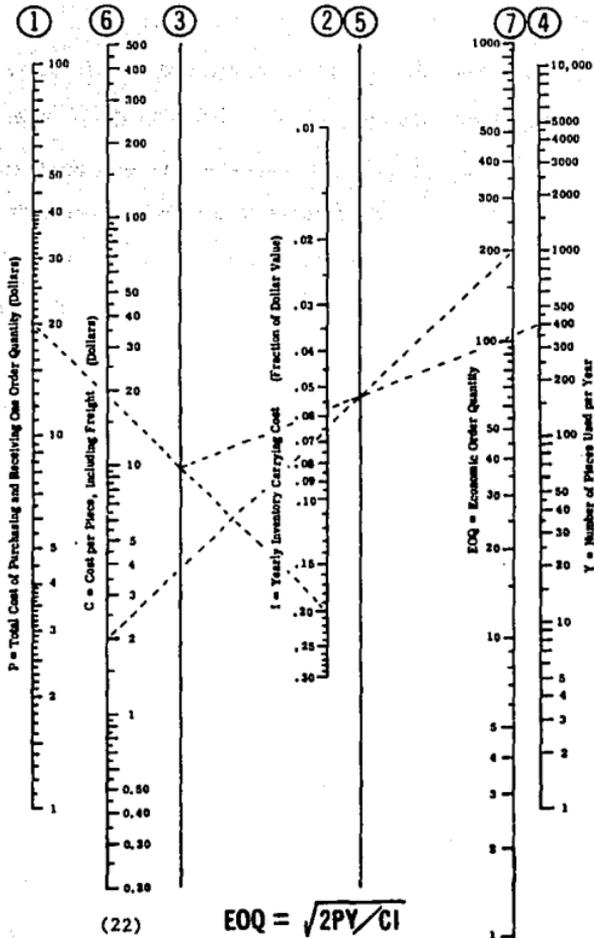


Figura II.23 Carta para el cálculo del punto de reorden óptimo.

7. **Catálogo de Partes.** Cuando las funciones de mantenimiento son demasiadas o suficientes como para justificar asistentes de almacén es deseable asignar responsabilidades definidas de la organización del almacén para llevar registros correctos de inventario, arreglo ordenado de material, pérdidas o partidas robadas, etc. Esto no es fácil de hacer de una manera definida. La compleja naturaleza de muchas partidas tienden a requerir la selección del personal que forma parte de la cuadrilla de mantenimiento. Aún si la gente de mantenimiento diera nombres genéricos a aquellos items no muy usuales en forma exacta, sólo los más experimentados asistentes de almacén serían capaces de localizar las partes requeridas con eficiencia.

Una medida que es algunas veces un esfuerzo es el preparar una lista de los nombres de las partes, descripción y localización en el almacén; entonces aquella gente de mantenimiento puede especificar números código para designar las partes deseadas. Dichos catálogos pueden ser preparados con ayuda de un procesador electrónico en cuyo caso nuevas copias pueden ser obtenidas cuando haya cambios. Este catálogo hace posible la alfabetización de todo el listado con precisión sin requerir ningún esfuerzo de un secretario para hacer éso. Los catálogos pueden ser escritos por supuesto y además ser ilustrados donde sea necesario con dibujos, fotografías de los catálogos de proveedores o mediante bosquejos. Una copia extra del catálogo puede

ser hecha para la oficina de mantenimiento, para el personal de planeación de mantenimiento o la gente de mantenimiento.

#### **II.7.6. EXCEPCIONES A LOS PROCEDIMIENTOS DE REQUISICIONES O INVENTARIO.**

El esfuerzo de oficina envuelto en el procedimiento usual no es significativo comparado con los beneficios obtenidos en más de los casos. Se verá reconocido sin embargo que algunas categorías de items dentro del almacén de mantenimiento no se justifica que sean controlados ni por requisiciones ni por un inventario continuo.

Un caso típico de éste son los items de bajo costo dentro de un relativo volumen alto. Como son los pernos, tuercas en tamaños comunes, rondanas, lijas o clavos. El almacenamiento libre puede reducir los costos en donde recibir y también sacar el material de acuerdo con la demanda o que sean localizados donde la gente de mantenimiento tenga acceso a él. De tal suerte que tan sólo através de chequeos periódicos por parte del proveedor serán suficientes para volver a ordenar.

Una versión simple de un procedimiento para el control de inventario es el llamado "Sistema de dos Cofres", un cofre sellado contiene el número de items equivalentes al punto de reorden, y el segundo cofre contiene el exceso usual de esta cantidad. El stock es sacado del segundo cofre hasta que éste se encuentra vacío, lo cual es señal de que se debe proceder a ordenar.

Con un solo cofre disponible para un ítem el punto de reorden puede ser ensacado o empacados juntos para activar la misma señal de reorden.

Como se ha visto al principio es más simple revisar en forma casual el stock de las partidas de almacén cada determinado número de intervalos para iniciar con las Notificaciones de Compra. Esto es aplicable como una medida de control sólo en limitadas aplicaciones de almacén; sin embargo, puede no depender de la mínima cantidad almacenada o de las situaciones para sacar el material.

#### **II.7.7. CONTABILIDAD DEL MATERIAL USADO.**

Es costumbre cargar el costo del material o partes colocadas en el almacén. Cuando finalmente es usado un ítem en específico es entonces cargado a la orden de mantenimiento del equipo que lo utilizó. Una manera para detallar los cargos de material es simplemente colocando la cuenta de cargo en la requisición de mantenimiento. El costeo de los ítems listados puede hacerse manualmente o a través de métodos de procesamiento de datos.

#### **II.7.8. USO DE REGISTROS DE REPARACION DE EQUIPO**

Dichos registros pueden ser tan simples como completar a las órdenes de trabajo el número de el equipo. Un paso más allá de ésto, sería involucrar equipo manual o mecanizado para llevar a efecto los registros como sumarización de las

descripciones de las órdenes de mantenimiento más la labor y costo de materiales llevando todavía más allá métodos de procesamiento de datos electrónicos pueden proveer periódicos sumarios de la labor de mantenimiento y costo de un material para cada ítem de equipo de la planta. Con el trabajo en detalle disponible de los archivos de las órdenes de mantenimiento para analizar las razones de los costos excesivos.

Un importante uso de esta información es el revisarla regularmente para determinar que pasos pueden ser tomados para reducir las necesidades de reparación. Puede encontrarse que algún tipo de trabajo correctivo es necesario en algunos equipos para prevenir los continuos paros de equipo. En otros casos inspecciones preventivas o servicios, debieran incluirse. Medidas sistemáticas de esta clase son parte integral del control de programa de mantenimiento.

### **II.7.9. COORDINACION CON EL DEPARTAMENTO DE COMPRAS**

Las requisiciones para reemplazar el stock normal o las partes de repuesto pueden apropiadamente ser manejadas a través del departamento de compras. El trabajo de papel involucrado puede ser grandemente simplificado a través del uso de una requisición viajera con formato definido. Esta es normalmente una tarjeta la cual contiene la siguiente información:

1. Descripción del material y número de referencia
2. Proveedores apropiados
3. Cantidades aprobadas para ordenar

#### 4. Fechas de referencia como se vaya necesitando

Dichas tarjetas son normalmente conservadas en el archivo de la oficina de mantenimiento. Cuando el registro de inventario (el cual debería ser manejado por el departamento de contabilidad) muestra que el punto de reorden de un ítem en específico ha sido alcanzado la requisición viajera es sacada, fechada y mandada al departamento de compras. Después de que haya sido colocado el pedido la tarjeta viajera regresa al almacén donde es llenada en forma preliminar hasta que se reciba el material. La tarjeta es entonces rellena para completar el ciclo de su uso.

Una relación de trabajo cerrada es esencial entre el supervisor de mantenimiento, el personal del departamento de mantenimiento y la gente de compras. Cada uno debería tener responsabilidades fijas incluyendo cooperación como se requiera para eliminar retrasos y ayudar al control de costos.

#### **II.7.10. ESTANDARIZACION DONDE SEA POSIBLE**

Esfuerzos continuos deberán ser hechos para obtener un grado máximo de estandarización de equipo o partes dentro de la planta. Un paso clave es el revisar los requerimientos para el equipo nuevo de la planta, cuando se tomen decisiones sobre todos los ítems comparando los más competitivos de el equipo. Partes estándar del mismo, tales como controles, motores, unidades hidráulicas y bombas pueden ser propiamente especificadas en la compra del equipo.

Otra opción es cuando se vaya presentando la necesidad hacer el reemplazo, efectuarlo con partes estándar donde se puede practicar.

#### **II.7.11. CONTROL DE INDICES**

Registros del costo total de inventario y el promedio de retorno es importante y debiera ser desarrollado regularmente. El promedio de retorno puede ser calculado dividiendo el costo de stock distribuido durante el año entre el total del costo del inventario.

Cuando determinamos estas figuras es importante que clasifiquemos las partes especiales separadamente del stock normal. El promedio de retorno para partes estándar en un intervalo debe esperarse que caiga dentro de 2 a 6 meses mientras que el promedio de retorno para partes especiales puede ser mucho más largo que esto. La necesaria separación en el reporte se facilitará si se distinguen los símbolos que son usados en el código del stock para cada uno de las dos clases.

El control del costo de inventario y el retorno puede ser de ayuda para investigar en detalle los items que más se movieron. En más de los casos un pequeño porcentaje de las categorías almacenadas (un 10%) contará por un gran porcentaje de la inversión del inventario.

Otros reportes deberían ser desarrollados para proveer información como sigue:

1. Variación entre el registro de inventario perpetuo y el recuento cíclico.
2. El número de salidas de almacén.
3. Pérdidas de inventario a través de obsolescencia o deterioro.

#### **II.7.12. SISTEMA DE CONTRACCION**

Una sección previa de este capítulo ha descrito sistemas para controlar internamente el almacén de material de mantenimiento. La aspiración es asistir en minimizar el costo total de mantenimiento. Hay costos definitivos en el procedimiento de control sin embargo los cuales pueden ser sumariados como sigue:

1. Costos de interés de la inversión del inventario.
2. Costos del sueldo de los asistentes del almacén.
3. Costo del espacio del almacén y del equipo utilizado.
4. Costos relacionados con el manejo de la compra, almacenaje y llevar los registros.
5. Depreciación, obsolescencia y hurtos del material almacenado.
6. Impuestos y Seguros donde sean aplicados.

Para evaluar estos costos en una planta específica se requerirá de un cuidadoso estudio, sin embargo de su total anual se encontrará que raramente es menos del 25% del promedio del valor del inventario. Los costos arriba citados se incrementan aún más si el uso de los mismo se posterga.

Dichos costos pueden disminuirse bajo dos condiciones:

1. Posibles economías en compras cuando se hacen más de las necesidades diarias.
2. Reducciones en el tiempo perdido (tiempo de paro) o espera del tiempo de mantenimiento porque el material que se necesita se tiene a la mano.

#### **II.7.13. RELACION CON LA PLANEACION DE MANTENIMIENTO.**

El control de los materiales es sólo uno de los caminos en los cuales el costo total de mantenimiento puede ser reducido. La diaria planeación y cédula de la mayoría del trabajo de la planta puede ser implementado como un control de la labor de mantenimiento y también los tiempos perdidos por paros de equipo. El sistema de contratación para el material puede ser más efectivo en ciertos casos o situaciones donde el departamento de mantenimiento esté simplemente respondiendo a emergencias.



- 4.- Identificar y clasificar las partidas de costo que están involucradas en este proceso, las cuales para el caso específico del mantenimiento preventivo programado para vehículos industriales son:

<b>PARTIDA DE COSTO</b>	<b>TIPO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
1.- Sueldos Supervisores	Fijo	Controlable
2.- Mano de obra directa	Variable	Controlable
3.- Mano de obra indirecta	Fijo	Controlable
4.- Materiales directos	Variable	Controlable
5.- Materiales indirectos	S/variable	Controlable
- Herramientas		
- Ropa de trabajo		
- Artículos de limpieza		
- Papelería		
6.- Energía Eléctrica	Variable	Controlable
7.- Agua	Variable	Controlable
8.- Seguros	Fijo	No controlable
9.- Depreciación	Fijo	No controlable
- Edificio		
- Instalaciones		
- Mobiliario		
- Equipo de diagnóstico		
- Compresores		
- Caseta de pintura		

### **III.1.1 ESTRUCTURA DE COSTOS**

Es importante que se defina la estructura de costos con la que se va a trabajar siendo la siguiente la más adecuada para la función de mantenimiento a vehículos industriales.

La estructura mostrada incluye tres partidas de costo básicas que son:

- A.- Costos directos**
- B.- Costos indirectos**
- C.- Costos de operación del taller**

#### **A. COSTOS DIRECTOS.**

Estos son:

- 1.- Mano de Obra directa.**
  - Sueldo mecánicos
- 2.- Materiales directos**
  - Refacciones empleadas en la reparación

**B. COSTOS INDIRECTOS.**

Estos son:

- 3.- Sueldos supervisores
- 4.- Mano de obra indirecta
  - Sueldos de:
    - Almacenistas
    - Aseador(es)
    - Secretaría
- 5.- Materiales indirectos
  - Herramientas
  - Ropa de trabajo
  - Artículos de limpieza
  - Papelería

**C. COSTOS DE OPERACION DE TALLER**

Estos son:

- 6.- Energía Eléctrica
- 7.- Agua
- 8.- Seguros
- 9.- Depreciación
  - Edificio
  - Instalaciones

- Mobiliario
- Equipo
  - Diagnóstico
  - Compresores
  - Caseta de pintura

Como se puede apreciar es necesario incluir los costos indirectos y de operación del taller ya que de lo contrario tendría siempre una ventaja contra cualquier cotización del mismo servicio hecho por proveedores; además de que la inversión inicial (edificio, equipo e instalaciones); así como, los costos de operación del taller se tienen que pagar como resultado de la misma actividad.

## III.1.2 EJEMPLO DE LA ESTRUCTURA DE COSTOS

En el siguiente ejemplo se muestra la manera de calcular el costo de mantenimiento programado incluyendo las partidas correspondientes a los Costos indirectos; así como los de operación del taller.

## EJEMPLO DE LA ESTRUCTURA DE COSTOS

**A - COSTOS INDIRECTOS**

1.- Sueldo de Supervisores:	CANT.	C. Unitario	SUBTOTAL	TOTAL
	2	2,500	5,000	5,000
2.- Mano de Oera Indirecta:				
- Almacenes	1	800	800	
- Asesor(es)	2	700	1,400	
- Secretaria	1	1,500	1,500	3,800
3.- Materiales Indirectos:				
- Ropa de trabajo			80	
- Artículos de limpieza			30	
- Papelaria			45	
- Herramientas			120	295

**TOTAL COSTOS INDIRECTOS 9,095****B - COSTOS DE OPERACION DEL TALLER**

4.- Energía Eléctrica	300
5.- Agua	90
6.- Seguros	400
7.- Depreciación	1,500

**TOTAL COSTOS DE OPERACION DEL TALLER 2,290**

11,680

Si existen 200 Ordenes de trabajo que standar durante el mes, el costo indirecto + costos de operación del taller que deben cargarse a cada Orden de trabajo sería  $\frac{11,680}{200} = 58.40$

**C - COSTOS DIRECTOS**

	Sueldo Mensual	Sueldo/Hr	Hrs. trabajadas Orden No ses	SUBTOTAL	TOTAL
8.- Mano de Oera directa					
- Sueldo mecánicos	650	4	8	32	32
9.- Materiales directos					
A.-				30	
B.-				5	
C.-				8	

**TOTAL COSTOS 71****COSTO TOTAL DE LA REPARACION 137**

NOTA:  
\* AL MOMENTO DE SER UTILIZADOS LOS MATERIALES DEBERÁ COSTEARSE LOS MISMOS, SE RECOMIENDA UTILIZAR CUALQUIERA DE LOS MÉTODOS P.P.E. A U.E.P.

FIGURA III.1

## III.1.3.- DETERMINACIÓN DEL COSTO DE UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO.

**A.- COSTOS DIRECTOS**

	Sueldo Mensual	Sueldo/Hr	Hrs. trabajadas Orden No xxx	SUBTOTAL	TOTAL
1.- Mano de Obra directa - Sueldo mecánicos	650	4	8	32	32
2.- Materiales directos					
A.-				30	
B.-				5	
C.-				8	
					43
					75

**B.- COSTOS INDIRECTOS**

3.- Parte proporcional sobre	200 Ordenes de Trabajo				45
------------------------------	------------------------	--	--	--	----

**C.- COSTOS DE OPERACIÓN DEL TALLER**

4.- Parte Proporcional sobre	200 Ordenes de Trabajo				13
------------------------------	------------------------	--	--	--	----

58

**COSTO TOTAL DE LA REPARACION: 133**

## III.1.4. CONCLUSIONES

Para cotizar cualquier trabajo del taller es necesario especificar las horas utilizadas en la tarea; además de cotizar los materiales utilizados en el momento de sacarlos del almacén para ser usados y a esto sumarle una cantidad fija para amortizar la inversión y los costos de operación del taller.

**FALTA PAGINA**

**No.      a la**

160

### III.2. EVALUACIÓN DEL NIVEL OPTIMO DE MANTENIMIENTO

A qué nivel de mantenimiento se obtiene un beneficio óptimo. Cómo puede tasarse o evaluarse a ese nivel la cantidad de mantenimiento. Estas preguntas se plantearon desde que se empezó a considerar con un criterio administrativo la función de mantenimiento.

La finalidad de la evaluación es detectar cualquier desviación entre el nivel de mantenimiento indispensable para conseguir los objetivos de la producción y el nivel real.

La tendencia hacia el empleo de equipos cada vez con mayor grado de complicación acentúa el problema del mantenimiento. Porque ¿Cuánto mantenimiento se necesita? Si hay demasiado personal empleado en esa función y trabaja eficientemente, habrá demasiado mantenimiento, y con ello un nivel de mantenimiento superfluo. Por otra parte si se destinan muy pocos trabajadores al mantenimiento o si el número adecuado de éstos no labora con eficiencia, el nivel general del mantenimiento de la planta y el equipo disminuirá.

Desde luego, hay que dejar sentado que es difícil establecer cual es el nivel apropiado de mantenimiento. Porque lo que puede ser conveniente desde el punto de vista del director o para una fábrica o industria, no tiene que serlo para otros. Las diferencias propias de cada empresa hacen que resulte imposible hacer comparaciones directas. Lo único que puede hacerse es comparar el actual nivel de mantenimiento de una fábrica con otro nivel anterior de esa misma fábrica. Y aún en este caso, el

adecuado puede cambiar, al modificarse el objetivo o finalidad de la instalación o equipo de que se trate. Del mismo modo, las presiones de una depresión económica pueden alterar sustancialmente lo que se consideraba un nivel conveniente de mantenimiento en un período de prosperidad. Por ejemplo, el propietario y presidente de una empresa, se vió obligado a reducir costos en un lapso de poco volumen de ventas. Entonces ordenó al director de fábrica que sin más procediera a reducir la fuerza de mantenimiento en un 75%. A menos de que el director tuviese un número exagerado de trabajadores de mantenimiento equivalente a 300 por ciento, lo cual no es razonable imaginar, o que pudiera conseguir una productividad cuatro veces mayor de los trabajadores que quedaran después de la reducción, no podría seguirse efectuando el trabajo de mantenimiento indispensable. Por consiguiente, tendría que esperarse una notable baja del nivel de esa función. El resultado fue que la conservación general fue precaria y tuvieron que hacerse, posteriormente, trabajos correctivos cuyo costo sobrepasó con mucho, el de haber mantenido la fábrica en una condición satisfactoria.

Pero hay otros factores que pueden modificar de una manera radical el curso de los acontecimientos. En una fábrica se hizo responsable al director de la misma, de que produjera utilidades, y se le prometió una buena participación de las mismas. Durante cinco años los beneficios fueron elevados, lo que le produjo una buena entrada monetaria. Pero dichas utilidades fue resultado de haber disminuido la fuerza de mantenimiento mas allá de un mínimo aceptable. Sólo se hicieron las reparaciones

indispensables, aplazando el verdadero mantenimiento. El resultado fue que el funcionario de referencia se jubiló llevando consigo el jugoso beneficio de un envidiable récord de utilidades; pero su sucesor en el puesto se vió enfrentado al difícil problema de hacer muy fuertes desembolsos por concepto de mantenimiento, y durante varios años, para poder rehabilitar una fábrica cuyo nivel de mantenimiento se hallaba por los suelos.

El problema radica en identificar, antes que todo, el nivel lícito y óptimo de mantenimiento y luego determinar el nivel de mantenimiento real en cualquier punto dado de tiempo. Es conveniente que la dirección cuente con un instructivo eficaz para medir dicho nivel por unidad de instalación, a efecto de aplicar correctamente el costo.

### **III.2.1 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE MANTENIMIENTO MAS ALTO POSIBLE QUE ES FACTIBLE OBTENER SIN AUMENTAR EL COSTO.**

A.- Primeramente se establece el número de horas de paro de maquinaria, debidas al mantenimiento deficiente. Esto puede hacerse analizando el informe de paros y determinando la cantidad de los mismos, imputables a un fallo del equipo, y los que son resultado de la actuación del personal o de carencia o defectos de material, y pueden imputarse a un mantenimiento. Desde luego, conviene definir lo que es un paro, a fin de que todos los datos se registren de acuerdo con una base uniforme. El fallo puede ser la consecuencia de:

- a) una deficiencia de las prácticas de mantenimiento programadas (responsabilidad de ese mismo departamento);
- b) deficiencia en el diseño mismo de la máquina o parte del equipo;
- c) descuido del trabajador, negligencia, sabotaje, etcétera, o
- d) desgaste como consecuencia del uso,
- e) sobrecarga del equipo
- f) accidente, fallo en la energía, incendio, etc.

El tiempo de paro debido a fallos en las máquinas, equipo, instalaciones automáticas, etc., también queda incluido; pero no lo está el tiempo perdido por falta de datos y herramientas. El retiro planeado de una máquina, de la línea de producción para efectuar en ella el trabajo de mantenimiento previsto, no se registra como paro por falla mecánica.

Al asignar un costo equivalente por hora de paro a cada máquina o pieza de equipo, el controlador debe incluir las operaciones que dejan de hacerse cuando se suspende el funcionamiento de un mecanismo importante. En la industria automovilística, toda operación que para una línea de montaje terminal cuesta 1,000 dólares por minuto, o 60,000 dólares por hora.

- B.-** Luego se precisará el monto de reposición de equipo o depreciación excesiva causada por un mantenimiento inadecuado. Si una fábrica pierde equipo por un absoluto deterioro del mismo, más allá de toda posible reparación económica,

como resultado de fallos en el mantenimiento, cualquier cantidad hasta equis monto de dinero por año, puede gastarse provechosamente en mantenimiento, para evitar que ocurran esas situaciones. El límite del costo de mantenimiento es, la cantidad que no exceda el costo combinado del tiempo actual de paro, deterioro excesivo y reposición prematura de equipo gastado.

### **II.2.3 DETERMINACIÓN DEL NIVEL OPTIMO PARA UN FUNCIONAMIENTO ECONÓMICO DE LA FABRICA**

Debe precisarse que cantidad de mantenimiento debe hacerse durante el tiempo de vida del equipo para prevenir un deterioro y desgaste indebido, así como el tiempo de paro incluyendo las reparaciones grandes a intervalos lógicos, mantenimiento preventivo y reparaciones, a efecto de que el resultado refleje con exactitud la depreciación normal. Esta determinación es cuestión de análisis y criterio. Otro enfoque consiste en suponer que el equipo se halla en buenas condiciones de funcionamiento, sin mantenimiento diferido y, analizar de acuerdo con ello, las necesidades de sostenimiento. La fuerza de mantenimiento deberá aumentarse, a continuación, para conseguir montos óptimos de tiempo de paro y deterioro. Aquí también el análisis es cosa de criterio acertado.

Ahora bien, el nivel óptimo de mantenimiento para un equipo determinado, es el punto en el que los costos combinados de mantenimiento, tiempo de paro y deterioro prematuro son mínimos. La forma de precisar el monto óptimo de mantenimiento se expone en la figura (III.2). Si los costos combinados se encuentran a la izquierda del

punto mínimo de la curva, quiere decir que el mantenimiento es insuficiente. Por lo contrario, si dichos costos se hallen a la derecha del punto mínimo, es porque el mantenimiento es exagerado.

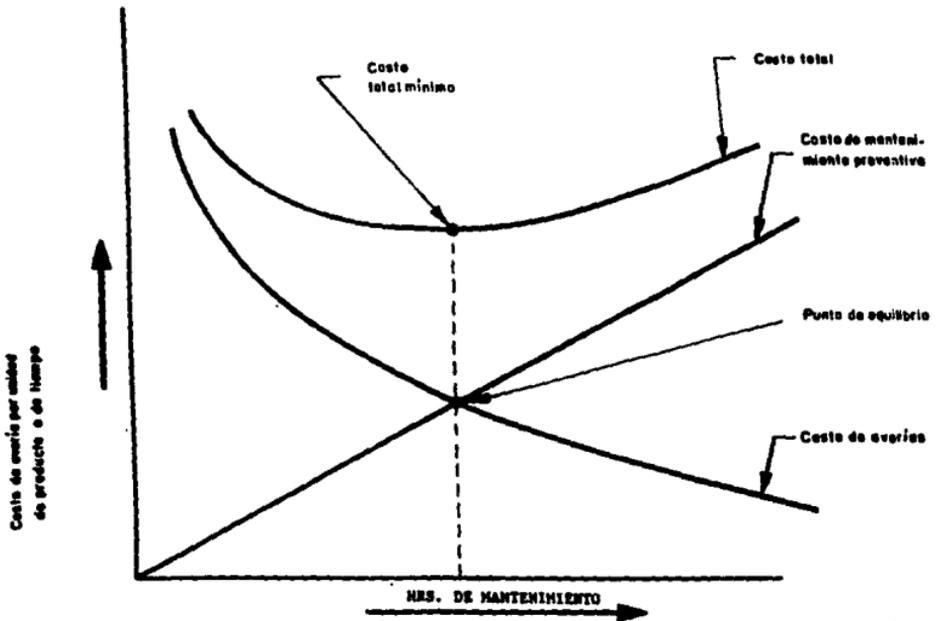


Figura III.2 Nivel óptimo de mantenimiento.

La posición del punto mínimo de la curva dependerá de la forma de las otras dos; sin embargo, para fines prácticos, se debe suponer que el punto mínimo se encuentra en el punto en el que el costo de mantenimiento es igual a los costos de paro, deterioro del equipo, etc.

### **III.2.4. USO DEL PENSAMIENTO ESTADÍSTICO PARA OPTIMIZAR LA FUNCION DE MANTENIMIENTO.**

Muchas compañías se han dado cuenta recientemente que la productividad y la calidad pueden ser mejoradas a través del uso de métodos estadísticos. Mientras que la utilidad de estos métodos en las áreas de producción han comenzado a ser apreciados, la importancia de métodos similares para las funciones de mantenimiento no se han aceptado del todo; siendo que los equipos que fallan reducen su productividad así como máquinas con partes gastadas o de fuentes inciertas resultan en incrementos de variabilidad en su función y pérdidas de calidad.

Una parte sustancial de la fuerza de trabajo de cualquier compañía manufacturera, comúnmente una carta parte de ella, es empleada en funciones de mantenimiento. Su contribución hacia la productividad y calidad no puede ser ignorada, observándose muy poco énfasis en el uso de métodos estadísticos por parte de este departamento de servicio.

Sabiendo que las herramientas estadísticas no son la única manera de mejorar la función de mantenimiento, sí pueden ayudar a contestar preguntas que son parte esencial de cualquier programa de mantenimiento preventivo.

Los métodos estadísticos pueden ser aplicados para mejorar los sistemas de mantenimiento, siendo algunos de estos muy similares a aquellos empleados por los

departamentos de producción para controlar los procesos. Otros que tienen que ver con las distribuciones de vida son únicos para la función de mantenimiento.

### **III.2.4.1 USOS TÍPICOS**

Aplicando métodos estadísticos a las funciones de mantenimiento ayudarán a contestar éstas y otras preguntas:

- Están las fallas de los equipos dentro de control estadístico, en el entendido que éstas sean aleatorias y no debidas a algún factor identificable o especial.
- Están los factores que son signo de falla tales como: Consumo y fugas de aceite, amplitud de vibración, temperatura o consumo de energía eléctrica dentro de lo normal) ( No necesariamente constante).
- Pueden las fallas ser predecidas de acuerdo al análisis de los factores mencionados en la pregunta anterior.
- Cuántos baleros, bandas, sellos y otras partes deberán mantenerse en el almacén para cubrir las demandas de mantenimiento.
- Podría estimarse la vida promedio de una parte o componente tomando como base el tiempo en servicio de las primeras que fallaron:
- Cómo debiera escogerse un programa de mantenimiento que minimizara el costo total. Esto es el costo de ambos de mantenimiento y de producción debido a problemas de mantenimiento. En particular, debiera un componente permanecer en servicio hasta que falle (Estrategia de reparación hasta que falle)

o podría ser rutinariamente reemplazado, cuál es la mejor frecuencia de reemplazo.

Entendiendo que la misión del departamento de mantenimiento es simplemente maximizar la disponibilidad de los equipos para producción controlando los costos. Para poder hacer ésto un número de tareas deben ser definidas y puestas dentro del programa de mantenimiento de tal manera que se balance en el costo de mantenimiento contra el costo de las demoras o pérdidas de calidad. Los costos de mantenimiento son obvios y cargables tanto a mantenimiento como a producción, sin embargo el costo de un mal mantenimiento es menos obvio. Este normalmente aparece después de un período de tiempo como reducción de la productividad y calidad. En la mayoría de los casos sería muy difícil, si no es que imposible asignar una cantidad exacta de costo en el largo plazo como consecuencia de una incorrecta función de mantenimiento. Esto es uno de los varios efectos de la no calidad que el Dr. W. Edwards Demming llama no medibles.

Por esta razón, la gerencia debe asegurarse que los departamentos de mantenimiento y producción trabajen juntos hacia un objetivo común. El establecimiento de un programa de mantenimiento que minimice el costo total. Desafortunadamente este espíritu de cooperación no siempre existe y casi siempre la gerencia tampoco reconoce completamente este objetivo o simplemente no sabe como lograrlo. Una de las contribuciones más importantes de la estadística, es que permite

a la gerencia enfocarse en la información acumulada como objetivo. Un enfoque científico más que enfocarse en medidas subjetivas tales como "presentimientos" de cuando el mantenimiento debe ser realizado y con la meta de minimizar los costos globales. La estadística requiere esfuerzos unidos y exhortación de un espíritu de cooperación mas que buscar culpables.

### **III.2.5. PANORAMA**

A.- Tradicionalmente la gente que es responsable de dar mantenimiento a el equipo industrial usa dos métodos para que estos sigan operando.

**PRIMERO.-** Ellos han establecido frecuencias de mantenimiento preventivo basados en tiempos de reparación. Durante estas frecuencias el equipo es examinado buscando posibles fallas potenciales. Si es encontrado algún problema, este es corregido en ese momento o tan pronto como se disponga de tiempo y personal que pueda dedicarse a resolver el mismo. Casi siempre las frecuencias de revisión están basadas en impresiones y experiencia y no sobre un objetivo resultado del análisis de la tasa de falla del equipo.

**SEGUNDO.-** Cuando el equipo falla, la gente de mantenimiento es llamada para diagnosticar la falla y reparar el equipo tan rápido como sea posible. Siempre hay presión para volver a poner el equipo en operación con un mínimo de demora descuidando el tiempo necesario para realizar una reparación perfecta.

La falla con frecuencia llega como una total sorpresa para los operadores, programadores y el personal de mantenimiento.

- B.- Hay un acuerdo general que dice que un mejor mantenimiento incrementa la disponibilidad del equipo y reduce el tiempo perdido, por lo tanto incrementa la productividad. Hay otro acuerdo general el cual se refiere a que un mejor mantenimiento puede reducir la variabilidad del producto , por lo tanto se incrementa la calidad, sin embargo un mejor mantenimiento requiere al inicio de una inversión de tiempo, energía y dinero . ¿Los incrementos resultantes en calidad y productividad pagarán los costos iniciales? Para muchas compañías, la respuesta es un rotundo sí. El impacto económico inmediato es el de reducir el tiempo perdido, ambos programado como no programado además de minimizar la variabilidad del producto. ¿Cómo pueden alcanzarse estos ahorros?
- C.- Mucha gente de mantenimiento siente que sus compañías no invierten suficiente dinero para modernizar el equipo. En otros casos la compañía espera de ellos que realice un mejor mantenimiento con menos gente .
- D.- Pensando en beneficios a corto plazo puede disuadir a la gerencia a invertir en el equipo al largo plazo para mantenerlo dentro de los estándares de diseño. Una reducción en la fuerza de mantenimiento puede proveer lo que al principio aparentaría ser una manera atractiva de reducir gastos mensuales y

trimestrales, sin embargo, esta decisión virtualmente garantiza problemas en períodos posteriores cuando los efectos del pobre mantenimiento acumulen un umbral peligroso.

- E.- La gente de mantenimiento comúnmente asegura que el equipo es sobrecargado por la gente de producción diciendo que el equipo es frecuentemente obligado a trabajar a velocidades demasiado aprisa o por mucho tiempo lo someten a cargas extraordinarias mas allá del diseño del equipo.

### **III.2.6. USANDO HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.**

¿Cómo podrían las prácticas actuales de mantenimiento ser cambiadas? Consideremos dos cambios:

#### **PRIMERO.-**

Cuando el reemplazo rutinario es apropiado, entonces es posible establecer frecuencias de reparación en una base de tiempo tomando como base la distribución del tiempo de vida de los componentes importantes del equipo. El objetivo es que dichas frecuencias tratarán de minimizar los costos. Es necesario examinar regularmente el equipo buscando minimizar el costo combinado total de mantenimiento preventivo y fallas inesperadas. De acuerdo a como las inspecciones del equipo se van incrementando, el costo del mantenimiento preventivo va para arriba y el costo por fallas va para abajo. Los

costos combinados tienen un mínimo siendo éste el punto óptimo de la frecuencia de reemplazo o inspección.

## SEGUNDO.-

No se necesita esperar hasta que ocurran las fallas para identificar fallas potenciales. Reparar algo cuando éste se descompone es muy similar al tradicional Control de Calidad, el cual identifica y selecciona 100% eliminando los productos malos después de que toneladas de éstos se han fabricado. Una alternativa es trabajar con los procesos que nos pueden mostrar la falla potencial. Por ejemplo el revisar regularmente características del equipo y dejar que esa información nos apunte cuando una situación problemática se está comenzando a desarrollar, numerosos ejemplos se pueden dar:

- La vibración es un indicador de amenaza de falla de un rodamiento.
- El consumo de aceite puede ser usado para indicar el desgaste.
- Y las pérdidas de eficiencia por calor es señal de problemas en los aislamientos.

### **III.2.7. POLÍTICAS DE REEMPLAZO**

Dos tipos de políticas de reemplazo son comúnmente conocidas:

- 1.- Reemplazo por desgaste y
- 2.- Reemplazo por bloque.

- 1.- El reemplazo por desgaste está basado en el tiempo de vida de cada componente en forma individual. Cuando un componente acumula una predeterminada cantidad de vida, éste es removido y un reemplazo es instalado.
- 2.- Con el reemplazo por bloques, todos los componentes de el mismo tipo son cambiados en forma simultánea a predeterminados intervalos no importando el tiempo en servicio acumulado por los componentes en forma individual. El reemplazo por desgaste permite a cada elemento ser usado hasta cumplir un predeterminado tiempo de vida. El reemplazo por bloques es usado cuando el llevar los registros necesarios para mantener la política de reemplazo por desgaste demanda en exceso o cuando el programa de reemplazo por envejecimiento fuera ineficiente de aplicar. (Véase apéndice E ).  
Típicamente los ítemes caros son reemplazados bajo un programa de reemplazo por desgaste. Mientras que los componentes mas pequeños y baratos son reemplazados bajo un programa de reemplazo por bloques.

Es necesario usar Herramientas estadísticas para aplicar estos métodos y como con cualquier herramienta éstas tomaran tiempo y paciencia aprenderlas . La información deberá tomarse en una forma predeterminadamente cuidadosa.

Los resultados serán predecibles conociendo al equipo lo cual ayudará a incrementar la eficiencia y productividad de la operación. El procedimiento sugerido en el diagrama de flujo de la Figura III.3 menciona:

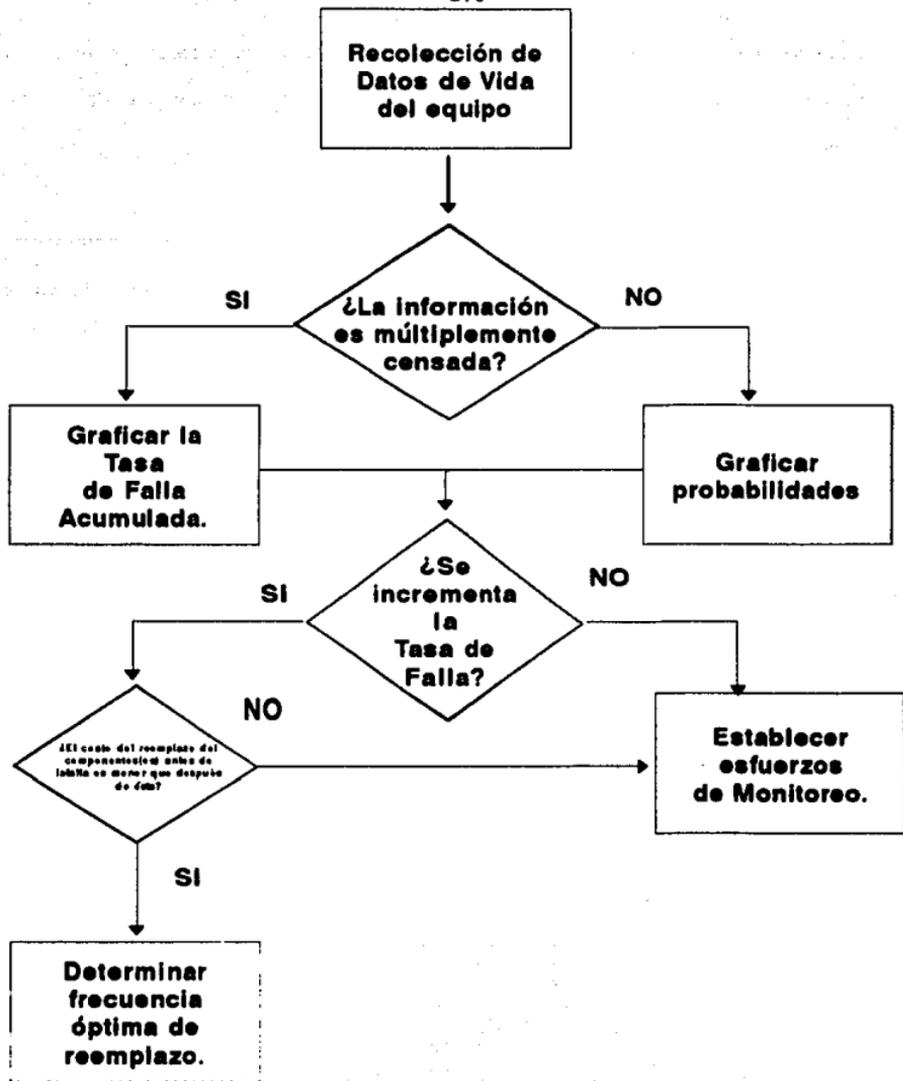


FIGURA III.3

- 1.- Diseñar un sistema de colección de datos de la vida de los componentes importantes del equipo. La información puede ser: Tiempo transcurrido, horas de uso, número o cantidad de producto producido, Etc. Cualquiera que ésta sea deberá mostrar una medida de exposición o uso. El desarrollo de este sistema puede ser difícil, además de consumir tiempo. La información necesaria para establecer frecuencias razonables de reemplazo no es típicamente recolectada por la mayoría de las compañías. Coleccionar suficiente información para su análisis (Al menos 10 ciclos de vida).
  
- 2.- Analizar la información para determinar una apropiada distribución de vida. En los casos donde la información proviene de equipo que trabaja hasta que la falla ocurre, la distribución de vida puede ser obtenida examinando la distribución acumulada de el tiempo a la falla. Usando métodos gráficos de probabilidad. Más frecuentemente, cuando la información es censada, esto es, ésta proviene de equipo que fue reemplazado por otras razones que una falla o que fue puesta en uso varias veces, deberá graficarse la razón de falla.  
  
Si la razón de falla se incrementa, no es económico reemplazar el componente bajo un programa de reparación hasta que falle (La tasa de falla será definida posteriormente). En lugar de esperar hasta que éste falle, usando un sistema de monitoreo para predecir e impedir la falla (Ver paso 3).  
  
Si la tasa de falla se incrementa, obténgase información de los costos de reemplazar las partes antes de que éstas fallen y los costos de falla cuando el

equipo está trabajando. Si como es usual los costos por reemplazar antes de la falla son menores que aquellos implicados con reparar después de la misma, entonces se puede determinar el período óptimo de reemplazo. Los cálculos para hacer ésto son muy sencillos y pueden realizarse con una calculadora de bolsillo.

- 3.- Si la tasa de falla decrece o los costos por reemplazar antes y después de la falla son los mismos, una política de reemplazar antes de la falla no es efectiva y no debiera ser usada. El componente debiera permanecer en servicio hasta que falle. Sin embargo el uso de un sistema de monitoreo puede ayudar a detectar e impedir fallas. El desarrollo de un sistema de monitoreo deberá incluir un plan de muestro (Método y frecuencia de muestreo ) tan bien como reglas de decisión basadas con semejanzas a planes de muestreo estadísticos. Una carta de control puede ser usada para analizar cantidades limitadas que son indicadores para impedir fallas.

### III.2.8. MEDICIÓN DEL TIEMPO DE VIDA Y SU DISTRIBUCIÓN

Para usar este método es necesario estimar el tiempo de vida de las partes, componentes o piezas mayores del equipo. La palabra vida tiene diferentes significados. Para un rodamiento o un circuito integrado ésta puede ser la duración de tiempo antes de que éste falle. Para un rodillo de un molino, puede ser el número de toneladas roladas antes que la superficie impartida al listo de acero frío se deteriore a un nivel insatisfactorio. Para un automóvil puede ser el número de Kms recorridos o el número de horas que el motor trabaja antes de que sea requerido un ajuste. La palabra vida pudiera no limitarse a la destrucción del componente. La vida de un componente se dice que ha terminado cuando su función se ha debilitado hasta un punto que se considere a un nivel de calidad inaceptable.

Estimar la vida de los componentes ayuda a determinar el programa de mantenimiento que reemplazará los componentes deteriorados antes de que existan pérdidas de calidad en su función. Esto también ayuda a determinar la cantidad de partes de repuesto que deberán mantenerse almacenadas para cumplir con las necesidades de reemplazo. Como con la habilidad del producto, es insuficiente estimar únicamente el promedio actual de vida, su variabilidad también deberá ser conocida, lo que es realmente necesario conocer es su distribución, que es la probabilidad de falla durante cualquier intervalo de tiempo.

Si dispone de suficiente información del tiempo de vida de algún componente

importante del equipo, uno puede simplemente crear distribuciones de frecuencia con estos datos y utilizarlos para estimar las probabilidades requeridas. En la práctica la información está mezclada. Deberá encontrarse la distribución de probabilidad que acomode con los datos de la muestra disponibles. Esa distribución deberá ser usada para suministrar las probabilidades requeridas. La mayoría de los lectores conocen como usar la distribución normal para determinar los límites superior e inferior de control. Usando una lógica similar es posible determinar la probabilidad de falla durante cualquier intervalo de vida tanto como sea conocida la forma de la distribución.

La distribución puede tomar muchas formas, la mayoría de ellas no son simétricas, entre la más común están la distribución de Weibull, la Exponencial y la Log-Normal.

La distribución de vida más común es la de Weibull. Esta distribución es definida por un parámetro de escala, ( $\alpha$ ) y otro de forma, ( $\beta$ ). Estas dos cantidades pueden ser usadas para estimar la media y la desviación estándar de cualquier distribución de Weibull. Haciendo variar ( $\alpha$ ) y ( $\beta$ ) una gran variedad de distribuciones pueden ser obtenidas. Las curvas mostradas en la figura (III.4) demuestran 4 versiones de la distribución Weibull. Mientras que cada curva está basada en diferentes valores de ( $\beta$ ) cambiando con ésto su forma. El eje horizontal es una forma estandarizada del tiempo dividida entre ( $t/\alpha$ ).

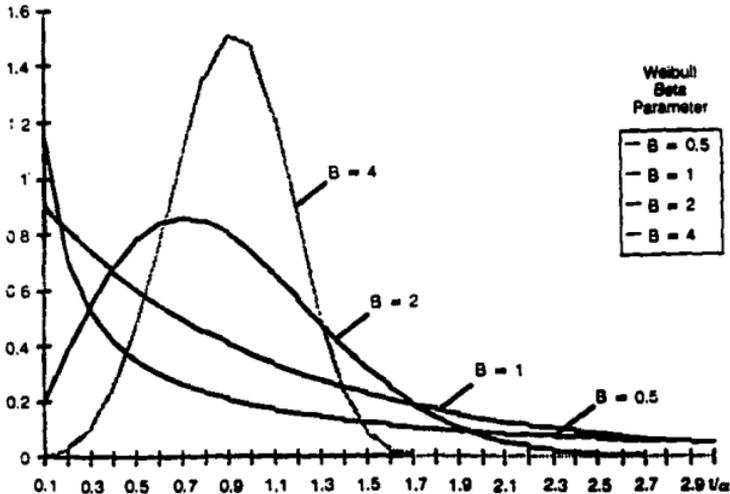


Figura III.4 Distribución de Weibull.

### III.2.9. DATOS COMPLETOS VS CENSADOS

En el caso más simple, un número de unidades son puestas en servicio al mismo tiempo y usadas hasta que deban ser reemplazadas por causa de una falla o deterioro de la calidad de su función. Esto es llamado datos completos. Cuando se cuenta con datos completos es posible usar técnicas gráficas para encontrar la distribución que más se ajuste y así poder estimar sus parámetros.

La mayoría de las veces, los componentes no son observados durante toda su vida, esto es porque simplemente éstos no han fallado todavía. La información no está disponible más allá de un cierto punto de tiempo. O tal vez porque el componente fue removido del servicio como parte de un programa de mantenimiento preventivo. En cualquiera de estos casos, se dice que la vida del componente es censado. Cuando todos los componentes son observados durante el mismo período específico de tiempo se dice que la información es individualmente censada. Una situación común es el censo múltiple. Los datos múltiplemente censados se obtienen cuando unidades de equipo son instalados a diferentes tiempos o éstos son removidos del servicio después de diferentes períodos. Por ejemplo un generador Diesel puede estar en servicio hasta que éste falle o puede ser removido para mantenimiento si otra parte de la máquina falla, aún cuando no hubiera indicación de algún problema con el generador. Desafortunadamente, los datos múltiplemente censados no pueden ser manejados apropiadamente a través de métodos gráficos como los datos completos o individualmente censados; sin embargo uno puede determinar la distribución que ajuste adecuadamente con estos datos a través del uso de una variante de los métodos gráficos llamado tasa de falla.

### **III.2.10. TASA DE FALLA**

La probabilidad de que un componente falle en la siguiente unidad de tiempo dado que ha sobrevivido hasta el presente es llamado tasa de falla.

El concepto de vida es usado aquí para señalar la siguiente unidad de tiempo.

Supóngase por ejemplo que la probabilidad de falla hasta el tiempo  $t$  es 0.75 y la probabilidad de falla en el intervalo de tiempo entre " $t$ " y " $t+1$ " es 0.02. la razón de falla al tiempo " $t$ " sería:

$$0.08 = \frac{0.02}{(1-0.75)} \quad (26)$$

En la gráfica mostrada en la figura (III.5) hay información sobre un proceso cuya distribución de vida es rotundamente una forma de campana. La razón de falla es la relación de el número de unidades que fallan en un intervalo entre el número de unidades sobrevivientes hasta ese tiempo. Nótese que la tasa de falla se incrementa continuamente del período 1 al 6.

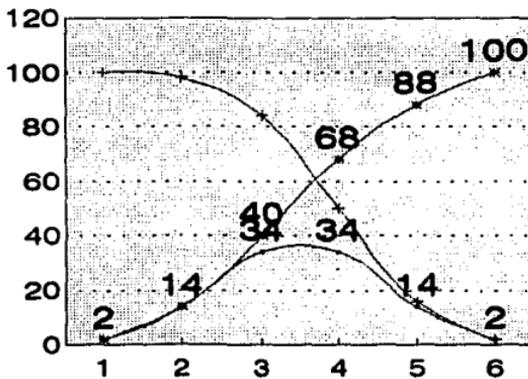
La siguiente notación puede encontrarse en libros de texto y artículos. Sea  $f(t)$  la probabilidad de falla durante un incremento de tiempo " $t$ " y  $F(t)$ , sea la probabilidad acumulada de la falla hasta el tiempo " $t$ ". Entonces la razón de falla es definida como:

$$h(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (27)$$

Dependiendo de la forma de la distribución de vida, la razón de falla puede incrementarse, permanecer constante o disminuir con el tiempo. Por ejemplo, la razón de falla de un componente con distribución Weibull es creciente, constante o

# TASA DE FALLA

## Para una distribución Normal



A	2	14	34	34	14	2
B	100	98	84	50	16	2
C	2	14	40	68	88	100

PERIODOS

**Figura III.5**

A.- FALLAS ESPERADAS (100 MAQ.)

B.- POBLACION QUE COMIENZA EL PERIODO

C.- TASA DE FALLA (HAZARD RATE).

decreciente dependiendo de que  $\beta > 1$ ,  $= 1$  ó  $< 1$ . Si la tasa de falla para un componente es decreciente o constante, su probabilidad de falla en el siguiente período de uso no crece; y no debiera reemplazarse a menos que se pudiera detectar una pérdida de calidad en su función a través de un programa de monitoreo. Si la tasa de falla permanece constante a través del tiempo, un programa de mantenimiento de reemplazo de partes antes que éstas fallen no ahorrará dinero porque la nueva parte fallaría tanto como la parte en uso. Muchos componentes electrónicos tienen esta característica. Por otro lado si la tasa se incrementa, un programa de mantenimiento preventivo en los cuales algunos componentes son reemplazados antes de que éstos fallen, será mucho más efectivo desde el punto de vista económico. Esto es, sería menos costoso que un programa de mantenimiento en el cual los componentes son reemplazados sólo después que éstos fallen. La mayoría de las partes mecánicas sujetas a desgaste o fatiga tienen tasas de falla crecientes.

### **III.2.11. CURVAS DE COSTO.**

El beneficio de una política de reemplazo puede verse al calcular el costo esperado como una función de la frecuencia de reemplazo. Cuando el costo de una falla durante el servicio es más cara que la reparación del equipo fuera de servicio y la tasa de falla se incrementa, la curva de costo tiene un mínimo único (En el intervalo óptimo de reemplazo). Si el componente es reemplazado muy seguido, se incurre en costos excesivos. Si el componente no es reemplazado lo suficientemente seguido se experimentarán fallas costosas frecuentes, paros no programados y pérdidas de

producción. La figura (III.6) ilustra una curva típica de costo. Por otro lado, si la tasa de falla permanece constante o es estrictamente decreciente, entonces una política de reemplazo cuando falle será la óptima.

El costo de una política de reemplazo por tiempo de uso como una función de la frecuencia de reemplazo al tiempo "t" esta dado por Glasser(1) como:

$$Cost(t) = \frac{CaF(t) + Cb(1-F(t))}{ESL(t)} \quad (28)$$

Donde:

- Ca:** Costo de una falla en servicio.
- Cb:** Costo de la reparación estando el equipo fuera de servicio.
- F(t):** La probabilidad de la falla hasta el tiempo "t".
- ESL(t):** La vida de servicio esperada de un componente bajo una política por medio de la cual el componente es reemplazado cuando éste alcanza el tiempo "t" en servicio.

La expresión es una relación de costo/tiempo, un costo por unidad de tiempo de la vida esperada. El Numerados es el costo esperado de un programa que reemplaza el componente al tiempo "t". F(t) de ellos habrán fallado al tiempo "t", cada uno costando Cb. El ESL (t) es un promedio de vida esperada bajo una política de reemplazo al tiempo "t".

# Curva Típica de Costo<sup>187</sup> para un dispositivo con Tasa de Falla creciente

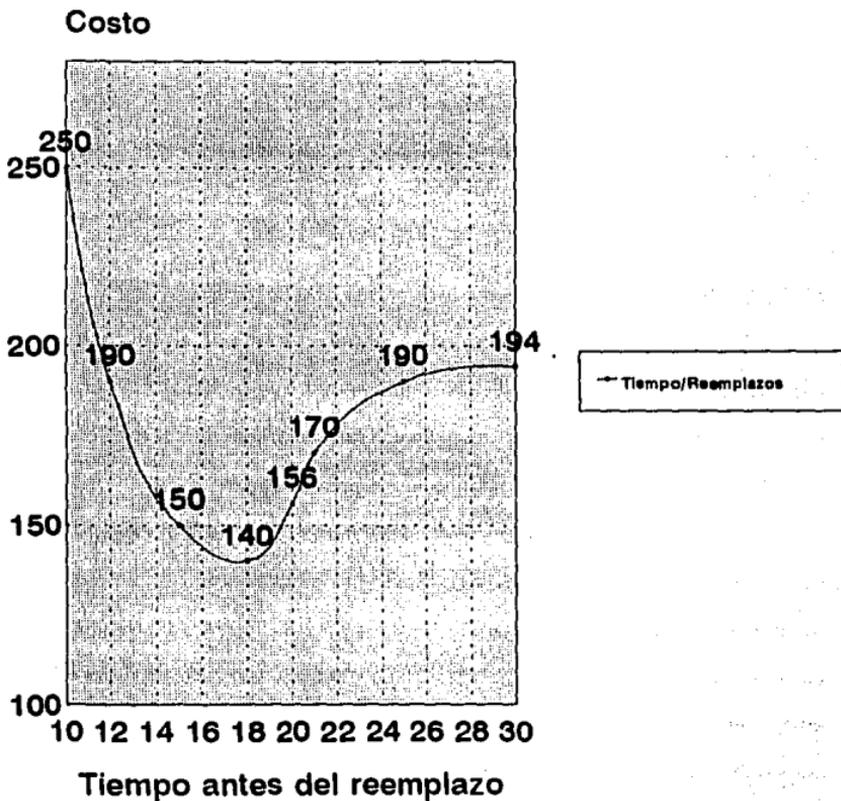


FIGURA III.6

Similarmente, el costo de una política de reemplazo por bloques dado por Glasser:

$$Cost(t) = \frac{Ca * Renewal(t) + Cb}{t} \quad (29)$$

Donde:

- Ca: Costo de una falla en servicio.  
 Cb: Costo de la reparación estando el equipo fuera de servicio.  
 Renewal(t) El número esperado de fallas al tiempo "t".

### III.2.12. UN EJEMPLO

Considérese el siguiente ejemplo de reemplazo por envejecimiento donde estamos interesados en la vida de unos rodamientos que se encuentran en el fondo de una olla de galvanizado en contacto directo con la lámina de acero. Conforme ésta pasa por la operación de revestimiento.

Como medición de la vida usaremos el número de vueltas (ocho horas/turno), antes de que el rodamiento haya fallado y deba ser reemplazado. Se ha estimado que el costo por reemplazar el rodamiento antes de que la falla ocurra y deba ser reemplazado es alrededor de \$2,000.- dls, mientras que el costo asociado con una falla con el equipo en servicio es al menos el doble de la cantidad antes mencionada. Debería como actualmente se hace, permitir que el rodamiento permanezca en operación hasta la falla, o ¿debería éste ser reemplazado en una base regular?. Si éste debiera ser reemplazado qué tan frecuente debiera hacerse.

El primer paso en el análisis es construir una gráfica de probabilidad de weibull con los datos (Ver tabla III.1) ( La graficación para otras distribuciones que no sean Weibull requerirán diferentes fórmulas).

LIFE	LOG	RANK	PLOTTING POINT	X
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
10	1.00	1	0.03	-1.53
12	1.08	2	0.09	-1.03
15	1.18	3	0.15	-0.80
17	1.23	4	0.21	-0.64
18	1.26	5	0.26	-0.51
18	1.26	6	0.32	-0.41
20	1.30	7	0.38	-0.32
20	1.30	8	0.44	-0.24
21	1.32	9	0.50	-0.16
21	1.32	10	0.56	-0.09
23	1.36	11	0.62	-0.02
25	1.40	12	0.68	0.05
27	1.43	13	0.74	0.12
29	1.46	14	0.79	0.20
29	1.46	15	0.85	0.28
30	1.48	16	0.91	0.39
35	1.54	17	0.97	0.55

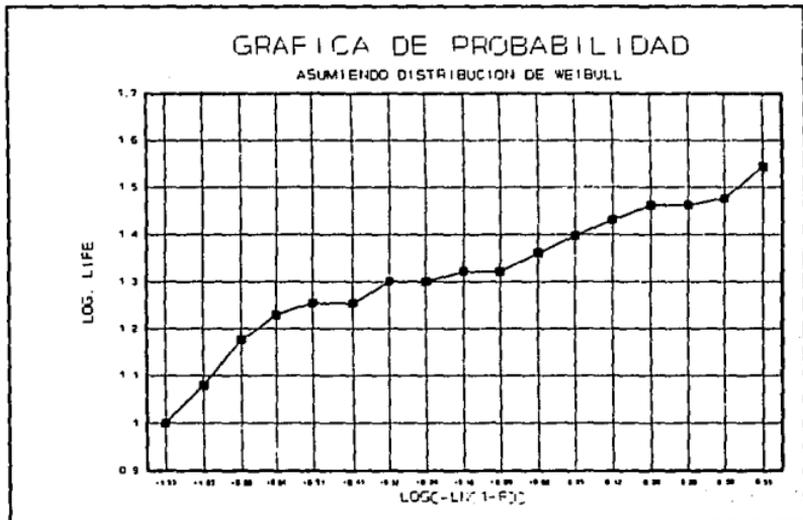
Tabla III.1 Tiempos de vida de los 17 rodamientos.

Los tiempos de vida de cada uno de los 17 rodamientos son mostrados en la primera columna. La segunda columna es el logaritmo de los tiempos de vida de la primera columna, mientras que la tercera columna contiene sus clasificaciones. La cuarta columna es usada para propósitos de graficación y es calculada como sigue:

(clasificación  $-0.5/n$ , donde  $n$  es el número de observaciones en la muestra. La última columna es calculada de la fórmula basada en la distribución de Weibull:

$$X = (\log(-\ln(1 - \text{PLOTING}_{\text{POINT}})))$$

Si los tiempos de vida siguen la distribución Weibull, entonces el gráfico de la columna 2 versus la columna 5 aparentará una línea recta.



**Figura III.7**

La gráfica lineal mostrada en la figura (III.7) sugiere que el modo de falla principal se distribuye conforme a Weibull con parámetros  $(\beta) = 3.33$  (el recíproco de la pendiente de la línea) y  $(\alpha) = 23$  (el 63 percentil). Una distribución Weibull con  $(\beta) > 1$  tiene una tasa de falla creciente, por lo tanto debiera utilizarse una política de reemplazo dado

que el costo de una falla en servicio es más alto que la reparación antes de que ésta ocurra. Como último paso se determinará el intervalo óptimo de reemplazo.

Estimaciones de el costo de diferentes alternativas de una política de reemplazo por envejecimiento están sumarizadas en la tabla 2 y en la figura 5, para la distribución Weibull con  $(\beta) = 3.33$  y  $(\alpha) = 23$ . Los puntos de la primera columna pueden ser considerados como la probabilidad de supervivencia para una super típica muestra de 20 observaciones. Cada falla representa cerca del 5% del total de la población. La segunda columna contiene los correspondientes cuantiles, los cuales pueden ser leídos directamente de la gráfica de probabilidad. Entonces una gráfica de probabilidad de Weibull con estos cuantiles tomaría una línea recta.

Para una distribución Weibull basada en los parámetros dados anteriormente, alrededor del 2.5 % de los rodamientos fallarán a las 7.63 vueltas, cerca del 7.5% a las 10.69 vueltas Etc.

PLOTING		Ca:	4,000	
POINT F(t)		Cb:	2,000	
ITEM		ESL	Cost	
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)
1	0.025	7.63	7.63	\$269
2	0.075	10.69	10.54	\$204
3	0.125	12.56	12.22	\$184
4	0.175	14.02	13.46	\$175
5	0.225	15.26	14.45	\$170
6	0.275	16.36	15.28	\$167
7	0.325	17.38	15.99	\$166
8	0.375	18.33	16.61	\$166 <--- Mínimo
9	0.425	19.26	17.17	\$166
10	0.475	20.16	17.66	\$167
11	0.525	21.05	18.11	\$168
12	0.575	21.95	18.51	\$170
13	0.625	22.87	18.88	\$172
14	0.675	23.82	19.21	\$174
15	0.725	24.83	19.52	\$177
16	0.775	25.93	19.79	\$179
17	0.825	27.18	20.04	\$182
18	0.875	28.66	20.26	\$185
19	0.925	30.61	20.46	\$188
20	0.975	34.04	20.63	\$191

TABLA III.2 Costos esperados de reemplazo

La vida esperada de servicio mostrada en la columna (3) de la tabla (III.2) es un promedio de vida que puede ser esperado si se usa una política de reemplazo basado en la vida mostrada en la segunda columna de la tabla 2. Por ejemplo, si los rodamientos que sobreviven hasta 14 vueltas son cambiados automáticamente, podrá esperarse un promedio de vida de 13.46 vueltas. Se ha aproximado la vida esperada de los datos de las dos primeras columnas de 20 rodamientos nosotros esperamos que cada uno falle a las 7.63, 10.69 y 12.56 vueltas y se espera que los 17 restantes duren al menos 14.02 vueltas.

El promedio de vida es entonces alrededor de  $(7.63+10.69+12.56+17*14.02)/20=13.46$  ; sin embargo existen un algoritmo disponible en la computadora para integrar la distribución de Weibull. Este procedimiento rudimentario de integración resulta satisfactorio.

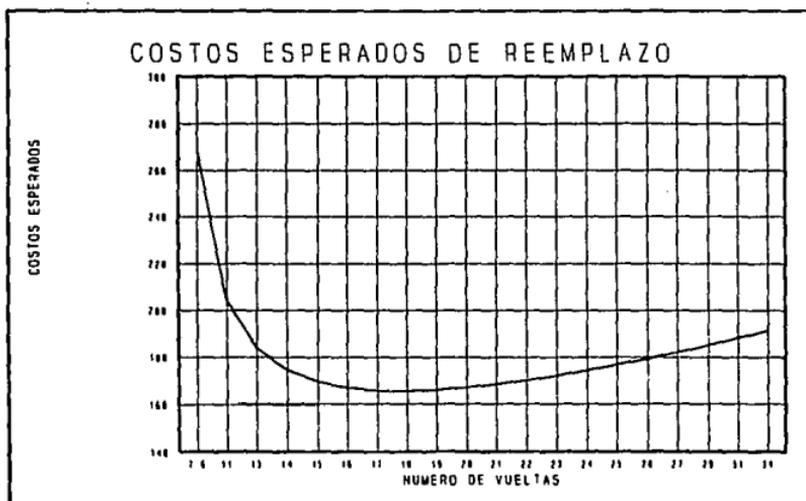


Figura III.8

La última columna de la tabla (III.2), es el costo expresado por la fórmula (25) mostrada previamente.

Graficando el costo de la columna (4) versus la estrategia de reemplazo de la columna (2) se provee una respuesta visual a las preguntas de frecuencia de reemplazo que se

ve en la figura (III.8). La estrategia de costo más efectiva es el reemplazar los rodamientos entre las 17 y 19 vueltas. El costo esperado de esta política es alrededor de \$ 166.00 dls por vuelta. El valor más alejado de la gráfica a la derecha indica el costo más alto de una política de cambiar cuando el componente falla, el cual costará alrededor de \$25.00 dls más por vuelta o alrededor de \$20,000.00 más por año.

### III.3 PRESUPUESTO

Un presupuesto es un plan económico que constituye el mejor cálculo posible, hecho por la administración, de los gastos que se harán en un lapso futuro determinado. Por tanto, puede decirse que los presupuestos son una expresión de resultados previstos. Deben reflejar planes reales y estar basados en posibilidades verdaderas, más bien que en conjeturas de lo que puede ocurrir.

Para que pueda utilizarse como un control administrativo eficaz, el presupuesto tiene que ser sensible a los acontecimientos económicos, registrando los cambios que tengan lugar al ascender o descender la producción.

**La forma más conveniente de estimar el costo de mantenimiento es empezando por determinar la amplitud de las necesidades de éste.**

El empleo de los costos del año anterior como presupuesto es una buena política porque el nuevo presupuesto debe reflejar las ideas y el mayor cuidado para que sea un instrumento funcional. Necesita también tener presentes factores de mejoramiento (Ver tabla III.3), resultantes de métodos óptimos, perfeccionamientos de maquinaria y equipo, así como ahorros en el costo, resultado de rehabilitaciones importantes y cambios de equipos hechos en el año anterior y previstas para el siguiente ejercicio presupuestario.

---

**PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO**
Costos Planeados:

- Servicios Preventivos
- Servicios Correctivos Mayores

## Donde se requiere definir:

- Las actividades por realizar
- Las partes que se van a reemplazar
- La frecuencia optima de las Inspecciones
- La cantidad del equipo involucrado

Costos no Planados:

## Donde se requiere:

- Trabajar para eliminarlos
- Investigar el por qué (conocer sus causas)

Causas Principales:

- Averías, sabotajes o mal uso del equipo
- Mala planeación del MP
  - El equipo trabaja en condiciones más severas de las consideradas.
  - El equipo trabaja más tiempo de lo planeado.
- No se lleva correctamente el Mantenimiento Preventivo.
  - La frecuencia de reemplazo de partes no es adecuada.
  - No se está revisando síglo
  - Las frecuencias de revisión y lubricación del equipo no son lo óptimo que debiera ser.
  - No se está atendiendo a lo reportado en estas revisiones.

Tabla III.3 Comparación Costos Planados Vs No Planados

---

Desde luego, hay que advertir que el presupuesto no corrige las deficiencias de un mantenimiento incorrecto; el mejoramiento de este es consecuencia de una mejor planificación y programación, acción preventiva, medición del trabajo, Etc. Ver Figura (III.8a).

## PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO

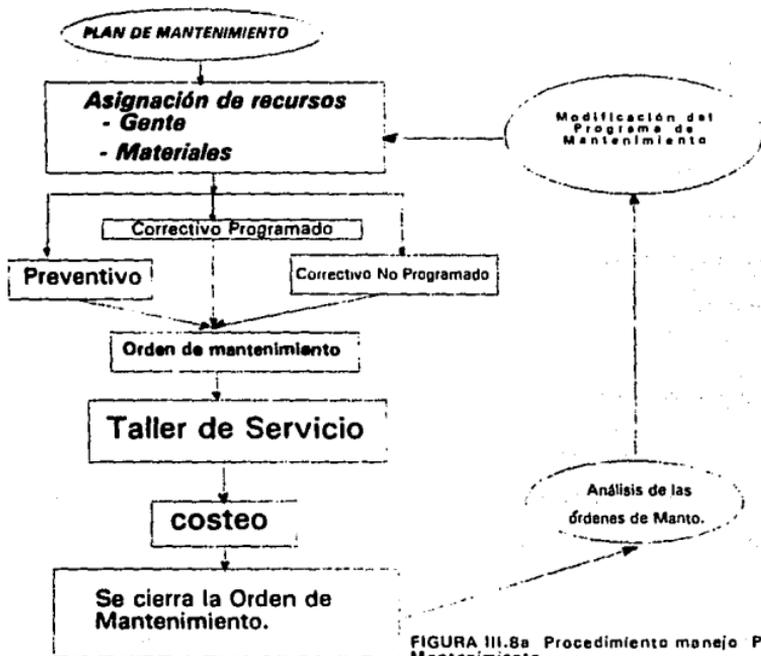


FIGURA III.8a Procedimiento manejo Presupuesto de Mantenimiento

### **III.3.1. PRESUPUESTO FIJO DE MANTENIMIENTO.**

El presupuesto fijo para un departamento puede determinarse analizando los siguientes conceptos:

- Sueldos de:
  - supervisores.
  - gente de soporte como serían: Programadores, secretaria, aseo(a), almacenistas.
- Pago energía eléctrica.
- Rentas (edificio, equipo especial de soporte).
- Amortizaciones de equipo e instalaciones
- Seguros.

### **III.3.2. PRESUPUESTO VARIABLE DE MANTENIMIENTO.**

El presupuesto variable se prepara con base en un valor constante, un monto más o menos modificable que se determina por factores tales como el número de unidades producidas, cantidad de horas-Hombre u horas-máquina requeridas, a volumen de planeación normal, por horas trabajadas, o cualquier otro determinante similar.

El procedimiento para determinar la cantidad apropiada de trabajo variable de mantenimiento que hay que cargar a cada centro de costos de producción para este tipo de equipo es como sigue:

- 1.- Determinar el volumen normal ( a veces llamado capacidad normal ) para el centro de costo.
- 2.- Establecer las horas de mantenimiento correspondientes a los distintos equipos para ese volumen normal de producción tanto preventivas como correctivas.
- 3.- Dividir las horas de mantenimiento entre el número de horas de producción a volumen normal, para establecer la tasa horas de mantenimiento por c/hora de operación del equipo a volumen normal.
- 4.- Determinar el monto de horas fijas de mantenimiento a volumen normal.
- 5.- Determinar la tasa costo/hora por equipo. dividiendo el total de gastos necesarios para cada tipo de vehículo a volumen normal entre el total de horas trabajadas a ese mismo volumen normal.
- 6.- Ajustar el presupuesto para un mes determinado.
  - 6.1.- Para determinar las horas de reparación presupuestadas se multiplica la tasa por hora de reparación por las horas reales productivas estándar, de ese mes.
  - 6.2.- Posteriormente se multiplica el total de horas de mantenimiento por cada tipo de equipo de acuerdo con el punto anterior, por el costo por hora establecido, según el punto 5, a efecto de determinar el costo total de mantenimiento estimado para el mes.

En seguida se expondrán con mayor detalles los pasos anteriores:

**1.- Determinación del volumen normal.** El volumen normal puede definirse como la cantidad de horas-hombre productivas u horas-equipos que se consideran necesarias para la producción normal de la planta en un lapso determinado. Este volumen se basará en un nivel previsto de actividad general del equipo en la planta, pero debido a las variaciones en el rendimiento normal de los distintos departamentos de producción, cada uno de éstos deberá fijar su propia razón o relación para su capacidad máxima. Siendo poco práctico tener que modificar presupuestos debido a pequeñas variaciones en la tasa de producción, conviene más preparar incrementos de producción en múltiplos de 10 por ciento por encima y por debajo del volumen normal. De aquí que el presupuesto se compute a 80, 90, 100, 110, 120 y 130 por ciento del volumen normal.

Otro procedimiento aplicable es utilizar el pronóstico de ventas para el año venidero, programando la fábrica de acuerdo con éste, a efecto de que el centro de costos atascado se halle a un nivel prestablecido, sea a 80, 90 o hasta a 100 por ciento de la capacidad. Las resultantes horas-hombre u horas-equipos serán el volumen normal.

El concepto de presupuesto que se discute aquí se basa en el análisis de registros históricos adecuadamente ajustados y ponderados para circunstancias razonables de operación.

**2.- Establecimiento de los cargos variables por tipo de vehículo.** El segundo paso para el presupuesto variable de horas de reparación consiste en determinar el número de horas por equipo necesarias para el trabajo variable de mantenimiento en el centro de costos.

Utilizando los registros históricos de las horas de mantenimiento cargadas a cada tipo de vehículo por centro de costos, mediante el análisis de los cargos históricos por reparaciones tanto planeadas como no planeadas. Habrá que separar perfectamente estos dos conceptos para proyectar estos gastos al futuro.

**3.- Determinación de la tasa variable de horas de reparación por tipo de vehículo.-** Se resumirán los cargos de reparación por cada tipo de vehículo por mes, y se cotejarán con las horas-hombre estándar o con las horas-equipos estándar correspondientes al mes.

Mediante la comparación de horas de compostura variables con las horas estándar, determinar la fórmula de la línea que expresa mejor las variaciones. Siempre que sea factible, se trazará una línea recta o dos o tres, según lo amerite la distribución de puntos.

Mediante la multiplicación de las tasas de horas-hombre de reparación (u horas-oficio por hora de volumen normal) fijadas para cada centro de costos de servicio, por las horas estándar producidas por el centro, se obtendrán las horas requeridas para un mantenimiento de composturas a nivel histórico de desempeño.

Para establecer las horas-hombre estándar de reparación por centro de costo o departamento se necesitará aplicar una tasa equivalente al nivel de desempeño de los trabajadores de mantenimiento en las tareas de reparación, comparado con uno normal de 100 por ciento. Cuando se recurra al plan de medición del trabajo, el desempeño, según norma, puede ser utilizado como elemento nivelador para el departamento de servicio de que se trate.

Un ejemplo de la determinación de la tasa por hora de reparaciones por hora-equipo estándar aparece en la figura (III.9).

## MANTENIMIENTO NO PLANEADO

No VEHICULOS	TIPO	HORAS MANTO. REALES	FACTOR REDIMIENTO MANO OBRA	HORAS MANTO. AL 100 % DE EFICIENCIA DEL PERSONAL	HRS. TRABAJADAS VEHICULOS	HRS. MANTO POR HR. DE OPERACION DEL EQUIPO
15	CARRETILLAS	250	80.00%	200	12,675	0.01578
30	MONTACARGAS	1,400	90.00%	1,260	25,350	0.04970
15	REMOLCADORES	1,600	90.00%	1,440	12,675	0.11361
8	PICKER CARS	300	60.00%	180	6,760	0.02663
<b>TOTALES</b>	68	3,550	86.76%	3,080	57,460	0.05360

203

### NOTAS:

Se consideró lo siguiente:

- Un turno de Operación de la planta.
- El período de análisis fue de 6 meses:  
26 semanas X 32.5 hrs/sem. = 845 hrs. de operación de c/equipo.

Figura III.9 Determinación de la tasa de horas de Manto. por hora de operación del equipo.

**4.- Determinación de horas fijas de reparación.** Para precisar las horas fijas de reparación lo único que se necesita es establecer el trabajo de mantenimiento que debe hacerse por el taller de servicio, sin importar su nivel de producción. En esto se incluirá los sueldos del personal de soporte (Ver tabla III.3).

Concepto	Cant.	Hrs. Día.	Días	Hrs Sem.	\$/hr.	C.Total
1 Supervisores	2	8.5	5	85.0	27.00	2295.0
2 Secretaria	1	8.5	5	42.5	15.00	637.5
3 Programadores	2	8.5	5	85.0	20.00	1700.0
4 Asesores	2	8.5	5	85.0	8.00	680.0
<b>Totales:</b>	<b>7</b>			<b>297.5</b>	<b>17.88</b>	<b>5312.5*</b>

**NOTAS:**

Esta estructura es para soportar los vehículos industriales de 5 plantas (150 Veh. Aprox.).

- \* Costo total de las horas fijas a la semana.

**TABLA III.4** Horas fijas de mantenimiento.

**5.-Determinación del costo estándar por hora de operación del equipo.-** El costo total por tipo de vehículo, dividido entre las correspondientes horas trabajadas por el mismo cargadas al centro de costo, determinará el COSTO ESTANDAR POR HORA. Una vez que se haya establecido esta tasa de costo a volumen normal, se utilizará para todo el año hasta que se fije un nuevo volumen normal, junto con las correspondientes necesidades de mantenimiento del centro de costo. Ver figura (III.10).

## DETERMINACION DEL COSTO POR HORA DE OPERACION DEL EQUIPO

Manto preventivo: Montacargas de Combustion Interna

Costo Mano obra/Hr= 18

Después analizar los registros históricos por tipo de vehículo, se determina el costo estándar por hora de operación del equipo como sigue:

TIPO SERVICIO	COSTO MATERIALES EMPLEADOS	TIEMPO ESTIMADO	COSTO TIEMPO EMPLEADO	COSTO TOTAL	FRECUENCIA DE LOS SERVICIOS
A	\$200.00	4.50	\$81.00	\$281.00	C/200 HRS.
B	\$600.00	6.00	\$108.00	\$708.00	C/600 HRS.
C	\$800.00	10.00	\$180.00	\$980.00	C/1200 HRS.

En 1200 hrs. de operación del equipo, por política se dan:

TIPO SERVICIO	No SERVICIOS	COSTO MATERIALES	COSTO MANO DE OBRA	COSTO TOTAL DE LOS SERVICIOS
A	4	\$800.00	\$324.00	\$1,124.00
B	1	\$600.00	\$108.00	\$708.00
C	1	\$800.00	\$180.00	\$980.00
<b>TOTALES</b>	<b>6</b>	<b>\$2,200.00</b>	<b>\$612.00</b>	<b>\$2,812.00</b>

El costo estándar por hora del equipo (H.O.E) sería:

$$C. \text{Materiales} / \text{H.O.E} = 2,200 / 1,200 = 1.83$$

$$C. \text{Mano de Obra} / \text{H.O.E} = 612 / 1,200 = 0.51$$

2.34
------

Figura III.10

## 6.- Ajuste del presupuesto para un cierto mes:

**6.1.- Determinación de las horas de mantenimiento por equipo y centro de costo para un cierto mes** A efecto de precisar las horas de mantenimiento necesarias para cierto mes correspondientes a cada tipo de vehículo y centro de costo aplicando la tasa de reparación variable a esas horas estándar de operación del equipo y sumando las horas fijas de reparación para el mes de que se trate, se tiene como ejemplo la figura (III.11).

## **6.2.- Determinación del Costo Estimado de Mantenimiento para un cierto mes.-**

Una vez determinada la tasa costo/ hora de operación es necesario multiplicarla por las horas de mantenimiento proyectadas por cada tipo de vehículo para el mes en cuestión (ver punto 5), de esta manera será posible estimar el costo de mantenimiento para el centro de costo para un cierto mes.

### **III.3.3. PRESUPUESTO DE MATERIALES**

#### **III.3.3.1. MATERIALES INDIRECTOS**

El costo de los materiales indirectos, o sea los consumidos sin formar parte del producto y utilizados por el personal de servicio en un departamento o centro de costos de servicio, es considerado, de ordinario, como parte del presupuesto de ese departamento o centro de costos. En esta clase de materiales figuran artículos protectores del personal, como guantes y gafas de seguridad, herramientas manuales como martillos, taladros, etc.

PRESUPUESTO DE HORAS DE MANTENIMIENTO POR TIPO DE VEHICULO.  
PLANTA: AUTOS

CONCEPTO			JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES
TURNOS TRABAJADOS			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
SEMANAS POR MES			5.00	4.00	5.00	4.00	4.00	5.00	27.00
HORAS TRABAJADAS POR VEHICULO			162.50	130.00	162.50	130.00	130.00	162.50	877.50
PELLET TRUCK	CANT. VEH.	TIPO MANTO.	K						
	2	PLANEADO	0.01577	5.13	4.10	5.13	4.10	5.13	27.68
		NO PLANEADO	0.02578	8.38	6.70	8.38	6.70	8.38	45.24
MONTACARGAS	11	PLANEADO	0.04970	88.84	71.07	88.84	71.07	88.84	479.73
		NO PLANEADO	0.01254	22.42	17.93	22.42	17.93	22.42	121.04
REMOLCADORES	6	PLANEADO	0.11361	110.77	88.62	110.77	88.62	110.77	598.15
		NO PLANEADO	0.23456	228.70	182.96	228.70	182.96	228.70	1,234.96
PICKER CARS	3	PLANEADO	0.04445	21.67	17.33	21.67	17.33	21.67	117.00
		NO PLANEADO	0.02344	11.43	9.14	11.43	9.14	11.43	61.71
CARGADORES FRONTALES	1	PLANEADO	0.03450	5.61	4.49	5.61	4.49	5.61	30.27
		NO PLANEADO	0.01456	2.37	1.89	2.37	1.89	2.37	12.78
TOTAL DE VEHICULOS			23						
SUBTOTAL HRS. PLANEADAS:				232.01	185.60	232.01	185.60	232.01	1,252.83
SUBTOTAL HRS. NO PLANEADAS:				273.28	218.63	273.28	218.63	273.28	1,475.73
TOTAL HORAS FIJAS:				297.50	238.00	297.50	238.00	297.50	1,606.50
HORAS TOTALES:				802.79	642.23	802.79	642.23	802.79	4,335.06
CABEZAS EQUIVALENTES:				5	4	5	4	4	5

NOTAS

K - HORAS DE MANTO. POR HORA DE OPERACION DEL EQUIPO.

FIGURA III 11

### **III.3.3.2. MATERIALES DIRECTOS**

Cuando los materiales pueden cargarse en forma directa a una tarea específica como, por ejemplo, las piezas esenciales para reparar un montacarga, se seguirá el procedimiento que a continuación se indica:

Las partidas para piezas de reparación se establecerán mediante una revisión histórica del consumo de las mismas, relacionándolas preferentemente con las horas-equipos estándar producidas en el período en que dichas partes o piezas se usaron y gastaron.

Para obtener su tasa de utilización por hora-equipos tendrán que hallarse el costo de piezas de reparación o repuesto a volumen normal, mediante un análisis comparativo del costo de materiales y piezas, con las horas-equipos estándar obtenidas en el centro de costos o departamento.

**Es importante excluir el costo de las piezas de reparación usadas en un trabajo de reparación mayor que ya esto va a capital. Estas piezas se incluirán en un proyecto de reparación grande.**

Ver figuras (III.12) y (III.13), en donde se proyectan los gastos de los Materiales a emplear como de la mano de obra necesaria para un período dado, tanto para el Mantenimiento Planeado (Preventivo) como para el No Planeado, de acuerdo al análisis de los registros históricos.

PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO

2do. Semestre 19XX

Planta: Autos 1

Mantenimiento Planeado

Mano de obra y materiales

HORAS DE OPERACION DEL EQUIPO				JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES
				162.5	130	162.5	130	130	162.5	877.50
No Veh.	Tipo de Vehículo	Concepto	Tasa Costo estándar							
2	PELLET TRUCKS	M.Obra	0.167	54.28	43.42	54.28	43.42	43.42	54.28	293.09
		Materiales	0.145	47.13	37.70	47.13	37.70	37.70	47.13	254.48
Subtotal				101.41	81.12	101.41	81.12	81.12	101.41	547.56
11	MONTACARGAS	M.Obra	0.234	418.28	334.62	418.28	334.62	334.62	418.28	2,258.69
		Materiales	0.345	616.69	493.35	616.69	493.35	493.35	616.69	3,330.11
Subtotal				1,034.96	827.97	1,034.96	827.97	827.97	1,034.96	5,588.80
6	REMOLCADORES	M.Obra	0.567	552.83	442.26	552.83	442.26	442.26	552.83	2,985.26
		Materiales	0.345	336.38	269.10	336.38	269.10	269.10	336.38	1,816.43
Subtotal				889.21	711.36	889.21	711.36	711.36	889.21	4,801.69
3	PICKER CARS	M.Obra	0.245	119.44	95.55	119.44	95.55	95.55	119.44	644.96
		Materiales	0.456	222.30	177.84	222.30	177.84	177.84	222.30	1,200.42
Subtotal				341.74	273.39	341.74	273.39	273.39	341.74	1,845.38
1	CARGADOR FRONTAL	M.Obra	0.345	56.06	44.85	56.06	44.85	44.85	56.06	302.74
		Materiales	0.346	56.23	44.98	56.23	44.98	44.98	56.23	303.62
Subtotal				112.29	89.83	112.29	89.83	89.83	112.29	606.35
MANO DE OBRA				1,200.88	960.70	1,200.88	960.70	960.70	1,200.88	6,484.73
MATERIALES				1,278.71	1,022.97	1,278.71	1,022.97	1,022.97	1,278.71	6,905.05
Subtotal				2,479.59	1,983.67	2,479.59	1,983.67	1,983.67	2,479.59	13,389.77
<b>TOTAL</b>				<b>2,479.59</b>	<b>1,983.67</b>	<b>2,479.59</b>	<b>1,983.67</b>	<b>1,983.67</b>	<b>2,479.59</b>	<b>13,389.77</b>

FIGURA III.12



El presupuesto ajustado para materiales directos de mantenimiento en un centro de costos consiste en la tasa de utilización directo por hora- equipo, multiplicada por las horas-equipo estándar devengadas en ese mes, más los materiales directos a ser usados, según plan, en el mantenimiento preventivo.

Como el presupuesto de materiales directos tiene una base pecuniaria, la tasa tiene que restablecerse cada año, o ser corregida por índice de precios, de acuerdo con los cambios en el costo de dichos materiales debidos a movimientos de inflación o deflación en el mercado.

### **III.3.5.- DETERMINACION DEL PRESUPUESTO AJUSTADO.**

Una vez determinados los costos tanto para el mantenimiento planeado como para el no planeado; además de haber definido la estructura de soporte, es posible establecer un presupuesto de los gastos a efectuarse en el siguiente período de tiempo tal y como se muestra en la figura (III.14).

# PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO

2DO. SEMESTRE DE 19XX

PLANTA: AUTOS

CONCEPTO	REFERENCIA	JUL.	AGS.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTALES
TURNOS		1	1	1	1	1	1	
HORAS TRABAJAS x SEMANA.		33	33	33	33	33	33	
SEMANAS AL MES		5	4	5	4	4	5	
HORAS OPERACIÓN		162.50	130.00	162.50	130.00	130.00	162.50	
<b>C MANTO. PLANEADO</b>	Figura III.12							
Mano de Obra		1,201	961	1,201	961	961	1,201	6,485
Materiales		1,279	1,023	1,279	1,023	1,023	1,279	6,905
<b>SUBTOTAL:</b>		<b>2,480</b>	<b>1,984</b>	<b>2,480</b>	<b>1,984</b>	<b>1,984</b>	<b>2,480</b>	<b>13,390</b>
<b>C MANTO. NO PLANEADO</b>	Figura III.13							
- Mano de Obra		1,235	988	1,235	988	988	1,235	6,672
- Materiales		583	466	583	466	466	583	3,148
<b>SUBTOTAL:</b>		<b>1,819</b>	<b>1,455</b>	<b>1,819</b>	<b>1,455</b>	<b>1,455</b>	<b>1,819</b>	<b>9,820</b>
<b>C FIJOS</b>	Tabla III.4							
Sueldos								
- Supervisores (2)		9,180	9,180	9,180	9,180	9,180	9,180	55,080
- Secretaria (1)		2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	13,500
- Programadores (2)		6,800	6,800	6,800	6,800	6,800	6,800	40,800
- Aseadores (2)		2,720	2,720	2,720	2,720	2,720	2,720	16,320
<b>SUBTOTAL:</b>		<b>20,950</b>	<b>20,950</b>	<b>20,950</b>	<b>20,950</b>	<b>20,950</b>	<b>20,950</b>	<b>125,700</b>
DATOS								
- Materiales Indirectos		250	250	250	250	250	250	1,500
- Energía Eléctrica		300	300	300	300	300	300	1,800
- Agua		180	180	180	180	180	180	1,080
- Seguros		400	400	400	400	400	400	2,400
- Depreciación Equipo		2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	15,000
<b>SUBTOTAL:</b>		<b>3,630</b>	<b>3,630</b>	<b>3,630</b>	<b>3,630</b>	<b>3,630</b>	<b>3,630</b>	<b>21,780</b>
<b>TOTALES:</b>		<b>28,878</b>	<b>28,019</b>	<b>28,878</b>	<b>28,019</b>	<b>28,019</b>	<b>28,878</b>	<b>170,690</b>

Figura III.14

### **III.3.6.- INFORMES DE VARIACION**

Los informes de variación, preparados tan pronto como sea posible al término del mes, son el medio por el cual se puede analizar cualquier deficiencia en el desempeño. Estos informes se fundarán en variaciones de 5 ó 10 por ciento y deberán hacerse constar en ellos tanto los sobre gastos como los gastos insuficientes. Toda variación deberá investigarse y ser explicada, trátase de un aplazamiento en el mantenimiento por soslayar gastos, o de una descompostura imprevista en cosas en que se gasta con exceso, emprendiendo de inmediato la acción necesaria para corregir la situación.

### III.4 OBJETIVOS DE COSTO Y SU ADMINISTRACION

Es factible un estrecho control del costo de la mano de obra de mantenimiento recurriendo a la aplicación de normas de trabajo para distintas operaciones de esa función. Sin embargo, un control de esa clase es relativamente costoso de instalar y sostener.

Ahora bien, el control del costo de la mano de obra de mantenimiento, al igual que el de la materia prima y accesorios, puede desarrollarse con base en el costo histórico, haciendo un desembolso mínimo de instauración y mantenimiento. Pero estos controles se fincan en una base más amplia, más general y, por ende, no pueden reflejar con exactitud las muchas variables relacionadas con la medición del mantenimiento.

La finalidad básica del programa es estimular la reducción del costo de la mano de obra de mantenimiento y materias primas, comparando el precio real con el que se sabe es posible obtener. Se puede conseguir un cierto equilibrio entre el beneficio potencial y el costo de instauración, mediante un programa de objetivos de costo.

Por consiguiente, los objetivos de costo no son normas de costo, ya que estas últimas representan un nivel esperado que puede haber sido alcanzado o no en el pasado.

Un objetivo de costo proporciona un objetivo realista a que apuntar, y el grado hasta el cual se ha visto realizado, puede medirse para mostrar los niveles de desempeño conseguidos en un lapso determinado.

La finalidad básica del programa es estimular la reducción del costo de mano de obra de mantenimiento y el costo de los materiales empleados hasta un nivel mínimo (o mantenerlo en ese nivel) compatible con buena producción, alta calidad y un buen estado de las instalaciones. Esto puede conseguirse estimulando al personal de mantenimiento y producción para que saquen el mejor partido de su tiempo, material y accesorios, y no abusen o deterioren las instalaciones o equipo.

#### **III.4.1. DEFINICION DE LOS OBJETIVOS DE COSTO**

El objetivo de costo consiste en precisar lo que cuesta la función de mantenimiento. El objetivo debe consistir un reto y habrá de ser realizable sólo por medio de un esfuerzo adicional. Por esto mismo, el objetivo tiene que ser realista, pues de otro modo será menospreciado como impracticable o imposible. Puede decirse que el objetivo de costo es algo así como la paridad (par) en el juego de golf: mide lo que puede conseguirse mediante una actuación muy buena.

##### **III.4.1.1. OBJETIVOS DE COSTO EN EL EQUIPO**

Puede elaborarse objetivos de costo para piezas específicas de maquinaria, grupos de máquinas, equipo auxiliar, funciones de aseo e higiene o instalaciones. Los objetivos mencionados son costos unitarios desarrollados a partir de registros de costo pasados unidades de operación. Ver Figura (III.15).

OBJETIVOS DE COSTO EN EQUIPO.  
PLANTA AUTOS

Semana: 30

NO VEHICULOS	TIPO DE VEHICULO	HRS TRABAJADAS EN EL PERIODO	HRS. LABOR MANTO.	COSTO HRS. LABOR MANTO.	COSTO MATERIALES	COSTO/HR MANO DE OBRA	COSTO/HR MATERIALES	COSTO/HR TOTAL
11	MONTACARGAS	10,712.00	1,148.50	1,667.07	1,875.76	0.156	0.175	0.331
6	REMOLCADORES	4,937.00	506.00	735.37	495.18	0.149	0.100	0.249
2	PELLET TRUCK	1,190.00	99.50	139.50	107.79	0.117	0.091	0.208
3	PICKER CAR	1,506.00	219.00	338.51	211.53	0.225	0.140	0.365
1	STACKER TRUCK	591.00	15.00	24.67	17.14	0.042	0.029	0.071
23	TOTALES	18,936.00	1,988.00	2,905.12	2,707.40	0.153	0.143	0.296

NOTAS:

1.- Período de Análisis: ENERO-JULIO de 19XX.

2.- Fuente: Reporte Mensual de Ingeniería de la Planta Motores de Ford Mo.Co.

Figura III.15

OBJETIVOS DE COSTO A NIVEL PLANTA  
CUAUTITLAN

Semana: 30

NO VEHICULOS	TIPO DE VEHICULO	HRS TRABAJADAS EN EL PERIODO	HRS. LABOR MANTO	COSTO HRS. LABOR MANTO.	COSTO MATERIALES	COSTO/HR MANO DE OBRA	COSTO/HR MATERIALES	COSTO/HR TOTAL
36	MOTORES	22,345.00	2,456.00	3,589.02	2,756.00	0.161	0.123	0.284
21	FUNDICION	17,546.00	1,345.00	1,965.49	2,467.00	0.112	0.141	0.253
23	AUTOS 1	21,567.00	2,100.00	3,068.79	3,476.00	0.142	0.161	0.303
23	AUTOS 2	18,936.00	1,988.00	2,905.12	2,707.40	0.153	0.143	0.296
30	CAMIONES	22,789.00	2,956.00	4,319.69	2,645.00	0.190	0.116	0.306
133	TOTALES	103,183.00	10,845.00	15,848.11	14,051.40	0.154	0.136	0.290

NOTAS:

- 1.- Período de Análisis: ENERO—JULIO de 19XX.
- 2.- Fuente: Reporte Mensual de Ingeniería de la Planta Motores de Ford Mo.Co.

Figura III.16



Los objetivos de costo para esta clase de equipo se expresan en valores monetarios de mano de obra y de materiales por hora de operación del equipo.

#### **III.4.1.2. OBJETIVOS DE COSTO PARA LA PLANTA**

También puede establecerse objetivos de costo para cada planta en específico. El objetivo de costo puede ser el más bajo por mantenimiento mensual, logrado por la planta durante cinco años, o bien el promedio del mejor costo en tres, cuatro, diez meses, etc. Ver Figura (III.16).

#### **III.4.2. ELABORACION DE LOS OBJETIVOS DE COSTO**

La elaboración de los objetivos de costo requieren del análisis de los registros de costo pasados. Estos registros tienen que ser exactos, ya que de lo contrario los objetivos se deformarán y no serán dignos de confianza. No sólo debe disponerse de cifras contables adecuadas, sino también los cargos correspondientes a la mano de obra y el material de mantenimiento tienen que ser fidedignos.

Como las unidades de costo suelen expresarse en cifras monetarias, es necesario modificar las cifras anteriores por mano de obra y material para que su nivel sea constante. Este equilibrio suele ser el año corriente, y los números se ajustan para que reflejen las diferencias en los niveles de tasa base y los cambios ocurridos durante el

el período abarcado por los registros anteriores. De modo semejante, los precios de materiales tendrán que ajustarse para considerar los cambios de precios.

### **III.4.2.2. OBJETIVOS DE COSTO EN EQUIPO**

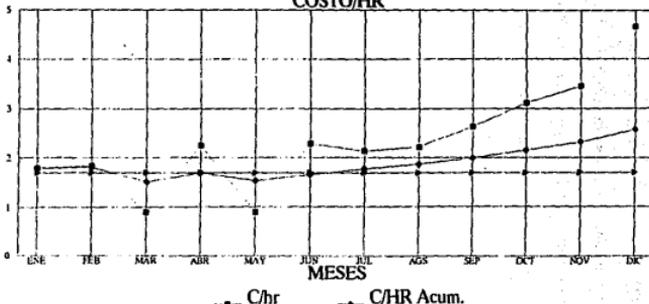
La información de costo correspondiente a cada unidad, se modifica hasta una base común para los cambios de costo de mano de obra y material, a partir del período de referencia. El costo unitario por determinar se prepara por mes o período. El mes más bajo o el promedio de los tres a seis meses más bajos, se selecciona como objetivo. Un ejemplo de intento sería 0.75 de dólar por hora de funcionamiento de maquinaria por mes.

Por lo general, los objetivos de costo unitario son función de un sólo determinante; pero sin que ello quiera decir que no se puedan combinar para unidades de instalación, si es que se considera conveniente. También en este último caso, los datos de costo se pueden trazar en comparación con los determinantes que reflejen mejor variación en actividad, de la máquina o línea de que se trate.

Es menester observar que muchas veces ocurre que haya varias unidades de máquinas o líneas iguales. Por ejemplo, el costo por hora de operación puede representar el costo total de mantenimiento por mes, en cuatro líneas de producción (Motores, Fundición, Camiones y Autos ). El objetivo de costo se expresa en dinero por hora de equipo trabajado.

En la figura (III.17), se muestra un ejemplo del análisis realizado para determinar la tasa de costo por hora de operación de un montacargas en un año de operación.

# MANTENIMIENTO COSTO/HR



VEHICULOS INDUSTRIALES

CALCULO DEL COSTO POR HORA

MES	MATE				COSTO				COSTO				OBI	
	VE#	VE#	MES TPO	LABOR	MAT	ACUM	MAT	ACUM	TOTAL	ACUM	LABOR	MAT		TOTAL ACUMULADO
ENE	162	162	16.24	162 16	175	162 16	175	259 16	259 16	0.01	0.97	1.78	1.78	1.00
FEB	162	324	16.24 A	162 16	150	319 32	275	299 16	605 32	0.06	0.95	1.83	1.81	1.00
MAR	162	486	16.24	162 16	0	466 48	275	146 16	751 64	0.04	0.97	0.96	1.51	1.00
ABR	162	648	24.24 A	216 16	145	611 64	420	263 16	1,008 64	1.04	0.65	2.24	1.69	1.00
MAY	162	810	16.24	162 16	0	620 8	420	146 16	1,248 80	1.01	0.62	0.99	1.53	1.00
JUN	162	972	24.24 B	216 16	150	1,020 24	570	266 16	1,508 80	1.07	0.59	2.27	1.66	1.00
JUL	324	1,296	32.24 A	324 16	400	1,224 32	670	309 16	2,208 112	1.23	0.79	2.12	1.77	1.00
AGO	324	1,620	24.24 C	216 16	600	1,547 20	1,070	716 16	3,017 20	0.06	0.41	2.22	1.96	1.00
SEP	324	1,944	29.24 C	254 16	600	1,681 44	2,070	854 16	3,917 44	0.32	1.06	2.64	1.99	1.00
OCT	324	2,268	34.24 A	306 16	700	2,108 8	2,770	1,006 16	4,923 60	0.33	1.22	3.11	2.76	1.00
NOV	324	2,592	34.24 B	316 16	600	2,227 76	2,670	1,113 16	6,037 76	0.30	1.42	3.46	2.74	1.00
DIC	324	2,916	34.24 B	306 16	1,200	2,623 92	4,870	1,006 16	7,043 92	0.30	1.67	4.61	3.57	1.00
TOTALES	2,916	298 06		2,916 02	4,570		7,506			0.27	0.61	2.57		

NOTA:  
\* Se consideró la carga de trabajo del mes

Figura N° 17

### **III.4.2.1. OBJETIVOS DE COSTO PARA LA PLANTA.**

Antes de todo hay que definir cuidadosamente los límites y alcance de cada planta de que se trate. Esto es particularmente importante en el caso de una sola localidad manufacturera, porque todo cambio pasado o futuro en la estructura de la planta afectará el costo del mantenimiento. Cuando se comparan plantas de varias localidades manufactureras, es todavía más importante asegurar que se mida unidades iguales. Diferencias menores, como las de distribución, superficie abarcada, edad del equipo, etc., pueden ser pasadas por alto o, si se hace necesario, anotarse para referencia. En la figura (III.18), se muestra como se elaboró el determinante de costo por hora para una planta.

### **III.4.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

Como sucede con la mayoría de los procedimientos de control, hay aspectos del plan que son favorables y otros que son desfavorables. Los aspectos con una u otra característica, son discutidos a continuación:

#### **III.4.3.1. VENTAJAS DE LOS OBJETIVOS DE COSTO:**

- Son fácilmente comprendidos porque se basan en términos familiares. Se preparan con facilidad, cuando se cuenta con información de costos históricos.
- Representan las condiciones anteriores reales, en el caso de objetivos entre plantas.
- Se utilizan fácilmente en comparaciones de desempeño de empresas que cuentan con varias plantas.

CUENTA DE RECONSTRUCCIÓN POR RUBRO DE LOS VEH. TIPO  
DE LA PLANTA DE AUTOMOVILES TOYOTA

PO MOTOR Co.  
Caja de la Planta  
Caja de Materiales

Suma: \$ 8.112.198,00  
Revis. 2001.06

BANTO SEMANA 8		30		SEMANA		GENERAL		ANUAL												
X	NUMERO	TIPO DE VEH. SISTEMA	LAMB		MONOMETRO (000's)		MPS (000's)		MPS (000's)		MPS (000's)		MPS (000's)							
			LABOR	MATERIALES	LEC. ACT.	LEC. INT.	LABOR	MATERIALES	LABOR	MATERIALES	LABOR	MATERIALES	LABOR	MATERIALES						
1	A-27-C	PONTIACABIA GAROLITA	7.30	1320.00	3987	3966	13.22	13.24	53	8.66	7.30	13.22	13.24	149	9.19	86.07	119.78	123.85	1241	0.13
2	A-24-C	PONTIACABIA GAROLITA	8.00	0.00	2777	2945	8.00	8.00	32	8.80	7.30	13.22	13.16	129	9.20	93.00	134.63	125.20	992	0.23
1	A-25-C	PONTIACABIA GAROLITA	3.00	1800.00	3132	3111	4.39	1.80	81	8.12	13.30	31.40	20.84	137	0.38	92.00	130.28	102.35	1116	0.22
1	A-24-S	PONTIACABIA GAROLITA	8.00	0.00	3985	3940	8.00	8.00	65	8.00	13.00	34.80	13.30	139	0.30	87.50	123.74	93.94	1081	0.25
1	A-27-C	PONTIACABIA GAROLITA	8.00	0.00	3975	2925	8.00	8.00	37	8.00	8.00	16.70	6.74	192	0.17	57.50	89.40	70.30	1227	0.17
1	A-28-C	PONTIACABIA GAROLITA	7.30	1320.00	2874	2813	13.22	12.12	63	8.63	11.30	23.34	15.38	225	0.17	103.50	143.56	127.18	1283	0.19
1	A-27-C	PONTIACABIA GAROLITA	1.00	280.00	1384	1388	2.02	0.28	34	8.66	66.00	136.00	238.32	89	4.02	282.50	418.23	415.85	935	1.32
1	A-24-C	PONTIACABIA GAROLITA	8.00	0.00	373	327	8.00	8.00	46	8.80	7.30	13.22	9.84	152	0.16	81.00	111.26	119.11	1108	0.19
1	A-24-C	REVOLCAMO GAROLITA	0.00	0.00	1714	1705	0.00	0.00	2	8.80	7.30	13.22	9.82	160	0.13	66.00	91.01	81.26	560	0.15
1	A-24-C	REVOLCAMO GAROLITA	0.00	0.00	2572	2525	0.00	0.00	47	8.80	15.00	30.47	9.80	152	0.26	94.50	87.21	59.49	546	0.16
1	A-24-C	REVOLCAMO GAROLITA	7.30	9360.00	2535	2515	15.22	9.34	26	1.24	12.30	25.39	11.70	211	0.19	145.50	207.20	146.18	960	0.37
2	A-24-C	REVOLCAMO GAROLITA	8.00	0.00	1111	1097	8.00	8.00	12	8.80	7.30	13.22	9.36	115	0.21	66.00	91.02	84.69	604	0.24
1	A-24-C	REVOLCAMO GAROLITA	8.00	0.00	2578	2298	0.00	0.00	20	8.80	18.00	36.54	18.80	167	0.33	90.50	120.63	94.72	722	0.28
1	A-24-C	REVOLCAMO GAROLITA	8.00	0.00	2629	2298	0.00	0.00	31	8.80	22.30	47.72	22.94	89	0.80	83.50	128.30	82.74	643	0.32
1	A-27-CR	PELLET WINKO ELASTICO	0.00	0.00	546	536	0.00	0.00	10	8.00	5.00	10.16	5.14	37	0.27	40.30	38.86	46.15	626	0.17
1	A-26-CR	PELLET WINKO ELASTICO	3.00	5280.00	3936	3925	10.16	5.24	11	1.40	3.00	10.16	9.24	88	0.32	39.50	60.71	81.48	548	0.23
1	A-26-CR	STANLEY WINKO ELASTICO	0.00	0.00	1438	1432	0.00	0.00	2	8.00	7.00	19.22	6.94	73	0.22	15.00	24.67	17.11	271	0.07
1	A-26-CR	PIEDRA CAR ELASTICO	8.00	8.00	399	384	8.00	8.00	12	8.80	8.50	16.20	7.04	80	0.31	30.00	46.26	13.20	302	0.13
1	A-21-80	PIEDRA CAR ELASTICO	3.00	1380.00	1678	1637	6.00	1.10	19	8.80	39.30	112.72	45.38	80	2.87	146.50	230.54	188.54	922	0.71
1	A-22-80	PIEDRA CAR ELASTICO	0.00	0.00	728	713	8.00	8.00	15	8.00	11.30	22.36	16.80	60	0.64	39.50	59.29	80.44	502	0.20
1	A-23-C	PONTIACABIA GAROLITA	21.50	21700.00	1240	1206	54.67	21.10	54	1.20	34.00	67.06	36.33	141	0.73	157.00	229.11	187.32	1152	0.22
1	A-44-C	PONTIACABIA GAROLITA	3.00	1800.00	500	479	6.00	1.80	21	0.38	28.00	54.57	61.29	133	0.63	94.50	147.82	163.19	360	0.81
1	A-25-C	PONTIACABIA GAROLITA	0.00	0.00	7425	7399	0.00	0.00	36	0.80	9.00	18.28	7.99	95	0.29	9.00	18.78	7.99	95	0.29
MOSTO 14 1988 ABASTE AL RATE														520.84	8619	1.15				
TOTALES			99.00	66240.00		317.83	64.74	644	6.85	383.30	778.91	390.22	2899.00	13.99	1988.00	3328.04	2707.40	18756.00	0	3.1

222

HIDIOS MAS COSTOSOS PARA RUBRO

C	NUMERO	TIPO DE VEH. SISTEMA	RUBRO	MONETARIO	LEC. ACT.	LEC. INT.	LABOR	MATERIALES	MES. TRABA. COSTOSOS	LABOR	LABOR	MATERIALES	MES. TRABA. COSTOSOS	LABOR	LABOR	MATERIALES	MES. TRABA. COSTOSOS		
A-29-C	PONTIACABIA GAROLITA	1.00	280.00	1384	1384	2.02	0.28	36	8.66	66.00	136.00	238.32	89	4.02	280.50	418.23	415.85	935	1.32
A-31-80	PIEDRA CAR ELASTICO	3.00	1188.00	1672	1637	6.00	1.10	15	8.80	39.30	112.72	45.38	80	2.87	146.50	230.54	188.54	922	0.71
A-44-C	PONTIACABIA GAROLITA	3.00	1800.00	500	479	6.00	1.80	21	0.38	28.00	54.57	61.29	130	0.63	94.50	147.82	160.43	360	0.81

Figura III.18

- Son unidades comunes que pueden emplearse en la medición de los resultados del departamento de producción, lo mismo que de mantenimiento.
- Proporcionan una base para comparar el costo de mantenimiento a equipo hecho por diferentes fabricantes.
- Se implantan y conservan con un costo relativamente bajo.

#### **III.4.3.2. DESVENTAJAS DE LOS OBJETIVOS DE COSTO:**

- Se basan en registros anteriores, que deben abarcar un período razonable.
- Se obtienen de datos históricos que pueden ser impropios o representar un desempeño muy deficiente.
- No son sensibles a diferencias en métodos, herramientas, edad del equipo, clase de productos, etc.
- Se aplican por mes o a veces por un trimestre, lo cual da por resultado un intervalo entre el momento en que tiene lugar un costo y el que se mide en el informe de control.
- La diferencia de desempeños resulta, a veces, difícil de identificar.

#### **III.4.4. APLICACION DE UN PROGRAMA DE OBJETIVOS DE COSTO**

Antes que todo, deberá prepararse un plan minucioso. En ocasiones el programa se implanta en forma gradual: una planta primero, luego otra. Esto proporciona la oportunidad de modificar los planes originales, como convenga. No obstante, la implantación suele extenderse a toda la localidad manufacturera, o a toda la empresa. De cualquier forma, siempre deberá planearse con cuidado antes de establecerlo.

Los aspectos más importantes a que hay que atender en la planeación son:

1. Clasificación de los objetivos del programa.
2. Descripción de procedimientos e instrucciones en forma de manual, para información de todos los participantes.
3. Verificación de que las formas y procedimientos están trabajando bien.
4. Obtención de informes exactos de tiempo y material, para hacer los cargos necesarios.
5. Comprensión de los valores de objetivo y de cómo se determinan.
6. Ejemplos de cálculos para objetivos de costo unitario y de departamento.
7. Discusión de como lograr mejoramientos.
8. Comprensión clara de los pasos de control por medio de informes y juntas.
9. Medidas de previsión para cambios y puesta al día.

Los diferentes grupos con responsabilidad en el programa deberán figurar en la preparación de los planes. Ellos son, con mayor o menor grado de intervención los siguientes:

- Personal de planta o corporación, responsable de la administración.
- Personal de ingeniería de la planta, que tiene la responsabilidad principal de la implantación y vigilancia del programa.
- Supervisores de producción que tienen la responsabilidad directa de reducir al mínimo los costos de mantenimiento, resultantes de problemas reportados por los operadores de las máquinas.

- Personal contable y de trabajo de oficina, responsable de tramitar los registros de tiempo y materiales, y de pasarlo posteriormente a informes periódicos.
- Funcionarios de la empresa, con cuya autorización se planeó y llevo a cabo el programa.
- Representantes del sindicato, cuando convenga (ésto puede reducirse a un simple aviso a los dirigentes del sindicato, de que se va a implantar el programa).
- Empleados de mantenimiento, que deben tener reconocimiento oportuno; éso se puede manejar a través de los sobrestantes de especialidad o área en forma rutinaria, con la menor ostentación posible.

### **III.4.5. ADMINISTRACION DE LOS OBJETIVOS DE COSTO**

#### **III.4.5.1. ORGANIZACION**

Alguien debe tener la responsabilidad de la administración del programa de objetivo de costo de mantenimiento. Desde luego, tiene que ser un ingeniero experimentado y con sentido práctico. En las empresas de una sola planta, este coordinador puede ser un alto funcionario o quizá hasta un ayudante este. En las empresas que cuentan con varias plantas, el coordinador deberá figurar en el personal de asesoría de ingeniería de planta de la corporación. Dicha tarea, de administrar y coordinar, puede ser sólo un trabajo de tiempo parcial en una planta pequeña; pero tal vez pueda requerir varios especialistas como colaboradores del encargado de la misma, cuando se trata de una organización industrial con varias plantas. Es de suma importancia que

el control del costo de mantenimiento sea un esfuerzo continuo, para que este en posibilidad de tener éxito y conseguir lo que se propone, el programa tiene que ser objeto de una atención y cuidado constantes.

El coordinador y sus colaboradores (si los tiene), serán responsables de las siguientes funciones administrativas:

1. Preparar y expedir instrucciones además de procedimientos por escrito.
2. Determinar, dar a conocer y poner al día los valores de objetivos de costo.
3. Emitir periódicamente informes de desempeño.
4. Organizar juntas para vigilar el desarrollo del programa, incluyendo por lo menos una al año en cada planta (cuando se trate de una organización con varias plantas), y reuniones semianuales o anuales, de varios representantes de planta.
5. Coordinación de proyectos de métodos, estudios de equipo, procedimientos de mantenimiento preventivo, etc., entre las diferentes plantas.
6. Informar del adelanto y resultados a la dirección general.

### III.4.5.2. INFORMES DE DESEMPEÑO

Existen tres informes de desempeño fundamentales, a saber:

- El de objetivo de costo por unidad (equipo)
- El de objetivo de costo en la planta
- El de desempeño comparativo.

Estos son complementados por gráficas que muestran las tendencias de resultados, incluyendo las de tendencias de costo general.

#### III.4.5.2.1. INFORME DE OBJETIVO DE COSTO POR UNIDAD (EQUIPO)

Este informe se prepara también, para cada planta, mensual o trimestralmente. Muestra los objetivos de costo unitario de mano de obra y material por cada unidad de equipo (por nombre), indicando la cantidad de horas trabajadas por cada equipo de que se trate. Con estas cifras se calcula el costo objetivo por mano de obra y material, comparado con el costo real de cada uno de estos renglones. El total de la planta proporciona una medida de desempeño para cotejar los objetivos de costo establecidos. Un ejemplo es el de la figura (III.19).

El cálculo por grupo de equipo corresponde a balanzas electrónicas (primer renglón):

**M a t e r i a l :**

Objetivo de costo:  $(a \times b = d)$

**M a n o d e o b r a :**

Objetivo de costo:  $(c \times a = e)$

El desempeño correspondiente a la planta se calcula dividiendo el objetivo de costo real (mano de obra y material), entre el costo real, expresando el desempeño como porcentaje. En el caso de nuestro ejemplo,  $(743.31 / 730.13) \times 100$  dólares = 101.81% de desempeño.

#### III.4.5.2.2. INFORME DE OBJETIVO DE COSTO PARA LA PLANTA

Este informe se prepara por tipo de vehículo y planta, mensual o trimestralmente. En él se muestran, a nivel planta y por cada tipo de equipo de la planta, los objetivos de costo unitario de mano de obra y material, así como las horas trabajadas por cada vehículo. Con estas cifras se calcula el valor del objetivo y se compara con el costo real de mano de obra y material correspondiente al período respectivo.

Un ejemplo de este informe es el que aparece en la figura (III.20) en él los costos objetivo se calculan como sigue:

##### OBJETIVOS DE PLANTA

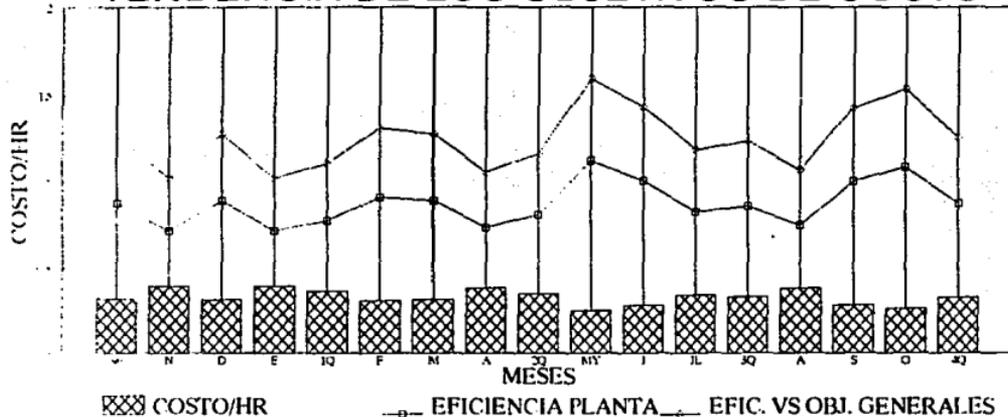
(b) X (d) (e)

Noviembre:  $1,250 \times .280 = 896$

Diciembre:  $1,100 \times .280 = 980$

Enero:  $980 \times .280 = 700$

# TENDENCIA DE LOS OBJETIVOS DE COSTO



230

MES	HORAS TRABAJADAS	COSTO REAL	COSTO/HR REAL	OBJETIVOS DE PLANTA 2				CONTRA OBJETIVOS GENERALES			
				COSTO/HR	COSTO	\$ DIF.	% EFICIENCIA	COSTO/HR	COSTO	\$ DIF.	% EFICIENCIA
ENERO	37,872	12,066	0.319	0.280	10,604	1,462	87.88%	0.400	15,149	(3,083)	125.55%
FEBRERO	3,200	1,250	0.391	0.280	896	354	71.68%	0.400	1,280	(30)	102.40%
MARZO	3,500	1,100	0.314	0.280	980	120	89.09%	0.400	1,400	(300)	127.27%
ABRIL	2,500	980	0.392	0.280	700	280	71.43%	0.400	1,000	(20)	102.04%
Total 3 meses	9,200	3,330	0.362	0.280	2,576	754	77.36%	0.400	3,680	(350)	110.51%
MAYO	3,200	980	0.306	0.280	896	84	97.43%	0.400	1,280	(300)	130.61%
JUNIO	3,500	1,100	0.314	0.280	980	120	89.09%	0.400	1,400	(300)	127.27%
JULIO	2,500	950	0.380	0.280	700	250	73.68%	0.400	1,000	(50)	105.26%
Total 6 meses	18,400	6,360	0.346	0.280	5,152	1,208	81.01%	0.400	7,360	(1,000)	115.72%
AUGUSTO	3,200	800	0.250	0.280	896	(96)	112.00%	0.400	1,280	(480)	160.00%
SEPTIEMBRE	3,500	976	0.279	0.280	980	(4)	100.41%	0.400	1,400	(424)	143.44%
OCTUBRE	2,500	850	0.340	0.280	700	150	82.35%	0.400	1,000	(150)	117.65%
Total 9 meses	27,600	8,866	0.326	0.280	7,728	1,254	88.00%	0.400	11,040	(2,054)	122.86%
NOVIEMBRE	3,200	1,200	0.375	0.280	896	304	74.87%	0.400	1,280	(80)	106.67%
DICIEMBRE	3,500	980	0.280	0.280	980	0	100.00%	0.400	1,400	(420)	142.86%
Total 12 meses	2,500	650	0.260	0.280	700	(50)	107.69%	0.400	1,000	(350)	153.85%
Total Anual	36,800	11,816	0.321	0.280	10,304	1,512	87.20%	0.400	14,720	(2,904)	124.58%

**CONTRA LOS OBJETIVOS GLOBALES**

$$(b) \times (h) \quad (i)$$

$$\text{Noviembre: } 1,250 \times .400 = 1,280$$

$$\text{Diciembre: } 1,100 \times .400 = 1,400$$

$$\text{Enero: } 980 \times .400 = 1,000$$

La variación (f) y (f) aparecen como una diferencia en dinero de más o menos. El porcentaje de desempeño (g) y (k), respectivamente, se determina dividiendo el total de dinero (objetivo) (e , i) entre los gastos reales (b). En el mes de noviembre los desempeños fueron:

$$\text{Objetivo de planta} \quad : \quad 896 / 1,250 = 71.68\% \quad (e/b = g)$$

$$\text{Contro Objetivo Global: } 1,280 / 1,250 = 102.40\% \quad (i/b = k)$$

### **III.4.5.2.3. INFORME COMPARATIVO DE DESEMPEÑO**

La determinación de los desempeños comparativos es mejor en las empresas que cuentan con varias plantas. Al final de cada período se jerarquiza a las plantas según sus porcentajes de desempeño medidos contra 1) los objetivos de costo por planta; 2) objetivos de costo para el equipo de cada planta, y 3) objetivos de costo por tipo de equipo.

Una planta puede clasificar alto o bajo en comparación con cualquiera de estas tres clases de objetivos. Una planta de alto costo puede tener un buen desempeño si se mide contra su propio desempeño anterior; pero figurar en los renglones inferiores de la lista, si se le compara con los objetivos de la empresa basados en las mejores cifras de costo de dicha localidad manufacturera.

### **III.4.5.3. TENDENCIAS DEL DESEMPEÑO**

El resultado de un programa de objetivo de costo puede no hacerse claro por varios meses. Algunos de los resultados del desempeño pueden reflejar tres meses de actividad en los departamentos grandes. Existen muchos factores de costo interrelacionados que hay que tomar en cuenta, y el desempeño del objetivo de costo puede ser errático a veces.

Lo que importa en dichos programas es la tendencia del desempeño. Deberán prepararse gráficas de control por departamento, plantas y unidades de equipo, para apreciar con mayor facilidad las tendencias. Tal vez se haga necesario trazar los desempeños promedio anuales, cambiantes, cuando el costo de mantenimiento se ve afectado por factores de temporada.

#### **III.4.6. BENEFICIOS DE UN PROGRAMA DE OBJETIVOS**

Muchos beneficios resultan de proporcionar metas de costo de mantenimiento y medir el desempeño real del costo, cotejándolo contra las siguientes metas:

1. **Desafiar a la administración y supervisión de mantenimiento a que mejoren el costo de su función.**
2. **Alentar a los directores y supervisores de la producción a que mejoren la supervisión del personal a sus órdenes y a que lleven a cabo las operaciones en forma que se logre un mínimo de deterioro del equipo y se mejore el costo de mantenimiento.**
3. **Identificar el empleo de los materiales y accesorios de mantenimiento para un mejor control.**
4. **Enfocar la atención a los departamentos y unidades de alto costo. Mediante un esfuerzo sostenido para disminuir el costo de mantenimiento en los diez equipos con costo más alto, el departamento de mantenimiento podrá tener en práctica, de una manera constante, un programa de reducción de costos.**

5. Los objetivos de costo unitario pueden ser particularmente eficaces para sacar a la luz las deficiencias mecánicas de ciertas máquinas; el resultado será efectuar cambios o modificaciones de diseño, así como mejoramientos a máquinas, equipo e instalaciones, disminuyendo así el costo del mantenimiento y el número de paros, además de mejorar la calidad. Por otra parte, podrán hacerse comparaciones del costo de mantenimiento, entre piezas de equipo semejantes, fabricado por distintos proveedores.
6. Los objetivos de costo sirven también para llamar la atención a la necesidad de hacer modificaciones al equipo de servicio (por ejemplo: agregar condensadores para aumentar el factor de energía), con el fin de reducir el costo de esa función.
7. El resultado del desempeño estimula la acción hacia:
  - a) un mejoramiento del método de mantenimiento,
  - b) un rediseño de las partes defectuosas,
  - c) un cambio de los procedimientos de mantenimiento preventivo,
  - d) readiestramientos de los operadores de maquinaria de producción,
  - e) conservar mejor los materiales y accesorios de mantenimiento, y
  - f) adquirir equipo mecanizado para operaciones de mantenimiento ó aseo.

El programa de objetivo de costo es eficaz sobre todo en el caso de empresas con varias plantas, porque constituyen metas alcanzables, que se entienden bien y se administran fácilmente. Todos los niveles de la administración deberán estar convencidos de la eficacia y conveniencia del programa, con objeto de que presenten toda su ayuda y colaboración. Aún cuando los objetivos de costo son a largo plazo y los resultados sólo se vienen a conocer transcurrido algún tiempo, constituyen de todos modos un control administrativo eficaz, sobre todo en cuanto a que contemplan otros controles del costo de mantenimiento.

**CAPITULO IV                    DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO****IV.1 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA**

Es muy importante la estructura de cualquier programa de mantenimiento preventivo (Ver Figura IV.1), ya que es la base para lograr la ejecución óptima de los siguientes aspectos:

- 1.- Distribución adecuada de la carga de trabajo para el taller
- 2.- Evitar que manejo de materiales (Producción) se quede sin unidades para trabajar
- 3.- Evitar paros de equipo dentro de horarios de trabajo no programados.
- 4.- Determinar el número de gentes que se requieren para la ejecución de los servicios.
- 5.- Reducir los costos de Operacion

Para lo cual es necesario establecer el procedimiento que debe seguir la información para una buena planeación de mantenimiento, tal y como se ve en la figura (IV.2), en donde se pueden apreciar los factores que están involucrados para poder realizar la programación de los Servicios Preventivos; así como, las líneas de información que siguen o modifican en determinado momento la programación; además de que se considera la importancia de contar con registros y controles que sirvan como retroalimentación al sistema, tanto para tomar acciones inmediatas sobre la operación del taller o mediante Clínicas de Costo en donde se establecen prioridades y las responsabilidades a todos aquellos problemas relacionados con el mantenimiento del equipo.

# Mantenimiento Preventivo

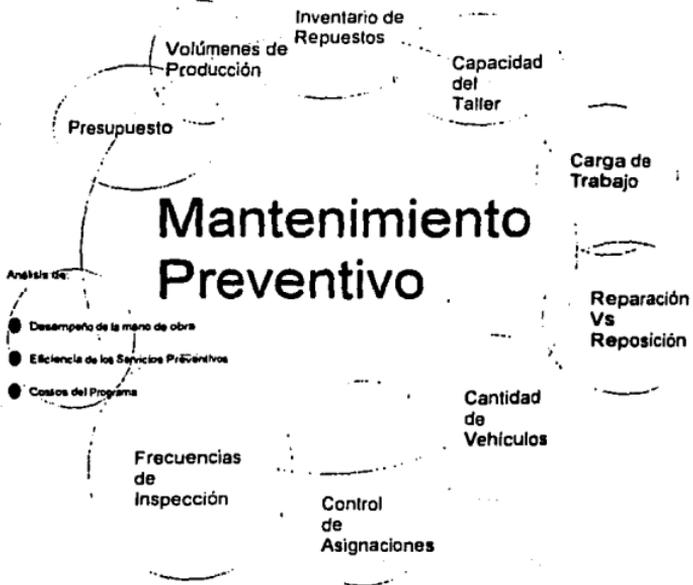


FIGURA IV.1 Mantenimiento Preventivo Como Sistema

En la figura (IV.2 ) se puede apreciar la estructura básica de este programa de mantenimiento, el cual se divide en cinco partes a saber:

#### **IV.1.1.- INFORMACION PREVIA**

Como sería, datos históricos (estadísticas) de reparaciones del equipo, manuales de servicio de los fabricantes del mismo; además de información de organizaciones tales como:

- A.- National Electric Manufacturers Association, New York.
- B.- Factory Unsurance Association, Hartford, Connecticut.
- C.- Factory Mutual Engineering Division, Norwood, Massachusetts.
- D.- National Safety Council, Inc. Chicago, Illinois.
- E.- La Empresa de seguros con que se opere.

Tomando en cuenta esta información es posible determinar un estándar de inspección.

#### **IV.1.2.- ESTANDAR DE INSPECCION**

Es aquí donde se fijarán las frecuencias y la clase de los Servicios Preventivos. Esto es, se define que es lo que se le va a inspeccionar, cambiar, limpiar, lubricar o ajustar a cada equipo, estableciendo la frecuencia con la que se necesita realizar estas tareas.

FLUJO DE INFORMACION AL PROGRAMAR Y MANTENER FUNCIONANDO UN BUEN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

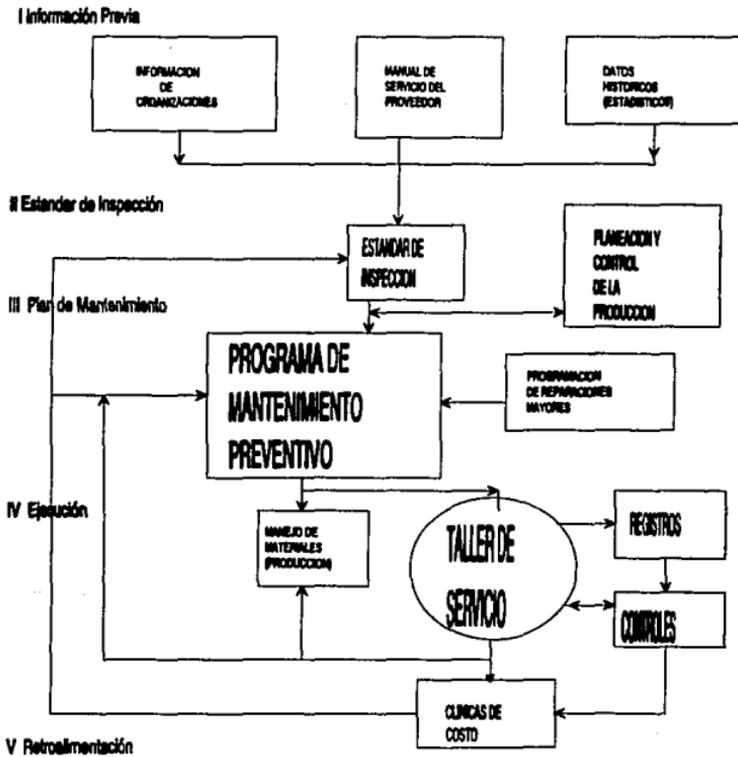


FIGURA IV.2 Estructura Programa de Mantenimiento

#### **IV.1.3.- PLAN DE MANTENIMIENTO**

Esta parte consta de la Programación en sí, de los servicios de mantenimiento a efectuarse para cada equipo, basados primordialmente en el Estándar de Inspección complementándose con información de:

- 1.- Planeación y Control de Producción, en donde se determina la carga de trabajo futuro del equipo productivo (Vehículos Industriales).
- 2.- La programación de las Reparaciones Mayores.
- 3.- Resultados que pudieran discutirse dentro de las Clínicas de Costo, requiriéndose efectuar trabajos correctivos, los cuales mejorarían el desempeño de algún equipo. Esto consecuentemente complementa la programación.

#### **IV.1.4.- EJECUCION**

Siendo ésta una labor conjunta entre producción (manejo de materiales), control de producción y el área de mantenimiento. En este punto, es cuando son llevados a cabo los servicios planeados por el taller de mantenimiento con el apoyo de manejo de materiales y control de producción. Uno llevando el equipo al taller y el otro programando adecuadamente las cargas de trabajo de dicho equipo asignando tiempo para que sea posible llevar a cabo dicho mantenimiento. El taller de servicio deberá tener disponible la gente y los materiales necesarios para llevar a cabo el servicio en un tiempo definido pactado con anticipación entregando el equipo al término de éste a producción en condiciones adecuadas de operación.

#### **IV.1.5.- RETROALIMENTACION**

Este elemento es de suma importancia para conseguir los objetivos descritos al principio de este capítulo por lo que es de suma importancia contar y manejar adecuadamente con siguientes elementos dentro del sistema:

- Registros
- Controles
- Clínicas de Costo

Los cuales son explicados con mayor detalle a continuación.

##### **IV.1.5.1.- REGISTROS DE REPARACIONES DE MAQUINARIA Y EQUIPO**

Un rasgo esencial del Mantenimiento Preventivo (MP) es la acumulación de datos históricos de reparación de maquinaria y equipo en general, la cual se efectúa en formas de solicitud de mantenimiento u Orden de Mantenimiento y Hojas de comprobación.

##### **IV.1.5.1.1.- ORDEN DE MANTENIMIENTO**

Para que un programa de (MP) pueda funcionar con eficiencia necesita prepararse una solicitud de mantenimiento o una orden de trabajo que abarque toda la tarea. Una forma típica llenada a mano es como la que aparece en la figura (IV.3). Todas las composturas se anotan en el registro ya que sin éste no habría forma de conservar un registro histórico.



Un estudio de las dificultades en el pasado dirá si es preciso o no un mantenimiento correctivo. También indicará la frecuencia con que habrá de efectuarse las inspecciones para reducir al mínimo las descomposturas.

La información obtenida se asentará en una hoja de registro, por número y marca de máquina, incluyendo fecha y tipo de la reparación así como una lista de las partes de repuesto usadas. Un examen de este registro señalará las situaciones que están exigiendo excesivas intervenciones de reparación. Por ejemplo, en el taller de Vehículos industriales esta clase de análisis podrá revelar que una máquina está requiriendo la instalación de chumaceras nuevas cada diez semanas. Una investigación al respecto demuestra que la flecha que impulsa la bomba del sistema hidráulico estaba fuera de alineación. Tan pronto como se corrige el defecto, desaparece la necesidad de la frecuente reposición de chumaceras. A esta clase de análisis y reparación se le conoce como mantenimiento correctivo como se mencionó anteriormente. Un estudio minucioso de la hoja de registro descubrirá situaciones de investigación de mantenimiento. Si por ejemplo, el motor de una máquina ha tenido que reemplazarse cada catorce meses por deficiencia del mismo, deberá establecerse cual es la causa (sobrecarga, maltrato, suciedad, etc..) y proceder a hacer inspecciones más frecuentes para asegurar que no se repita el problema. Aseo, carga, presencia de humedad, temperatura de operación, lubricación, etc. deberán ser revisadas a efecto de aplicar un remedio eficaz.

**IV.1.5.1.2.- HOJA DE COMPROBACION**

Uno de los medios principales de que se vale el (MP) es la hoja de comprobación o cotejo. Si el sistema establecido es el de inspección general, aquella contendrá todas las características de mayor importancia de la maquinaria que requieran revisión, por ejemplo, motores, controles, cajas de velocidades, bombas, impulsores, etc., especificando qué es lo que se inspeccionará y se buscará.

Si se recurre a la inspección especializada, la hoja o lista de cotejo debe ser más detalladas, haciéndose mención en ella de los elementos básicos o subgrupos eléctricos, hidráulicos, mecánicos, etc. Ejemplo de esta clase de documento es el que aparece en las figuras (II.19 y II.20), las cuales son parte del estándar de inspección, en ellas se enumeran las partes principales de cada sistema, así como los pasos a seguir de una manera general por el inspector cada vez que se lleve a cabo una revisión.

Cuando hayan quedado llenadas dichas formas, se entregarán a la supervisión del taller, donde se expedirán las órdenes de taller para que se efectúen las reparaciones recomendadas.

La inspección formal patrocinada por la lista de cotejo de (MP) tiene las siguientes ventajas sobre la simple inspección informal realizada de una manera que pudiera llamarse desordenada:

- 1.- Constituye un recordatorio para el inspector, impidiendo que se pasen por alto detalles de importancia.
- 2.- Sirve de registro para efectuar análisis periódicos. Asegura que al llevarse a cabo la inspección por distintas personas, será siempre uniforme y completa.
- 3.- En ella hay espacio suficiente para observaciones relativas a un determinado punto de inspección, para que se ponga atención a cualquier avance del deterioro.
- 4.- Es un documento que proporciona al control de mantenimiento o al sobrestante la base para hacer un análisis que determine el tipo de acción a emprender.

#### **IV.1.5.2.- CONTROLES**

Una manera muy conveniente de aprovechar la información acumulada mediante los servicios de mantenimiento es identificar las máquinas y equipos que ocasionan mayores problemas y gastos en el mes anterior. Se logran buenas economías si el mantenimiento se concentra en :

- 1.- Aquellas máquinas que hayan causado el mayor tiempo de paro.
- 2.- En las diez que originaron mayores gastos, y
- 3.- En las que estuvieron fuera de operación mayor número de veces.

El retiro de cierta máquina de la lista no reduce ésta, porque otra máquina pasará a ocupar el lugar vacante, el resultante neto es un mejoramiento constante del estado de las máquinas más costosas de sostener.

#### **IV.1.5.3.- CLINICAS DE COSTO DE MANTENIMIENTO**

Numerosas fábricas efectúan clínicas de costo de mantenimiento cada mes o con mayor frecuencia si son muchas las deficiencias de la maquinaria y equipo a corregir, para resolver problemas de mantenimiento que atañen al mejoramiento de la producción, reducción de costos, supresión de áreas con problemas constantes.

El orden del día se redacta en una forma de registro de análisis de mantenimiento. Ver figura (IV.4), destinándose una de estas formas para cada problema o máquina. Se lleva un registro de las decisiones y asignaciones de responsabilidad, hasta que el problema quede resuelto y el caso cerrado. Muchos problemas tocantes a mantenimiento correctivo y los problemas correspondientes al "Grupo de las Diez" quedarán resueltos, o por lo menos asignadas las responsabilidades para remediarlos, valiéndose de las clínicas.

A estas clínicas asisten representantes de cada uno de los departamentos implicados, producción, manejo de materiales, contraloría, compras, Etc. El analista de costos (suele actuar de secretario) y el ingeniero de mantenimiento disponen de la orden del día. El director de fábrica, o su auxiliar, funge como presidente.

## REGISTRO DE ANALISIS DE MANTENIMIENTO

Caso No. 14

Modelo	Descripción	Código S.T.	Fecha
	701	12280	8-13
Número del equipo	Clima-matic	Lugar	Fecha del informe
		D-15	Fecha del equipo
Tiempo de paro de la persona(s) (finis)			Costo
De 4-21 A 6-15			36.6
Costo de mano de obra (finis)		Costo de piezas de rep.	Costo de Materiales
De 4-15 A 6-15		1289.00	6888.00
Problema			

Control de Mantenimiento informa que esta máquina tiene un alto costo de reparación y mantenimiento.

Fecha	Descripción y/o estado servicial	Responsabilidades de	Fecha de inicio	Fecha de terminación
4-14	El Informe de Control de Mantenimiento muestra lo siguiente: 61 solicitudes de Servicio \$ 289.00 04-09-06-130 tornavillador 101 Pcs. 197.92 04-102982 taladro 18 Pcs. 201.08			
6-15	Que Investigue Ing. de Páb. y haga las recomendaciones necesarias para corregir el costo excesivo	José Oñez	6-28	
7-26	Se ha ejecutado la acción correctiva. Se revisaron los tornavilladores y taladros con mayor cuidado y no corresponden a las especificaciones. El período de 6-15 a 7-15 exigió 43 piezas a \$ 43.00. Se recomienda que esta región se retire de la agenda.			
8-10	Control de Mantenimiento dice que se usaron 166 tornavilladores en Apesta. El caso no debe satisfacerse de la agenda. Control de Mnt. debe informar del costo en tornavilladores por Septiembre.	López	9-27	
9-27	Control de Mantenimiento informa que de 8-15 a 9-15, las solicitudes de Servicio fueron 56 y costaron \$ 296. Se necesitaron las siguientes reparaciones: 96 tornavilladores a \$ 1.29 c/u. = \$ 123.84 54 taladros a \$ 1.18 c/u. = \$ 63.54 36 manuales a \$ 1.16 c/u. = \$ 41.76 La oficina del Control informa que esta máquina se ha desviado 40% del estándar. Ingeniería de Pábrica e Ing. de Manufactura, deben enviar un representante a Brooklyn para que investigue y dé los pasos conducentes.	Jorge Pérez		
10-23	El Informe de Control de Mantenimiento corresponde a 9-15 a 10-15, señala 42 solicitudes de Servicio con un costo total de \$ 199. Empleo de repuestos: 81 tornavilladores - \$ 104.49, 26 taladros - \$ 41.76, y 72 manuales - \$ 90.48, con un total de \$ 440.73			
11-10	Se reconstruyeron la mesa índice y el cabezal de corte, y están funcionando satisfactoriamente. La unidad tornavilladora quedará reconstruida en 12-9.	Pérez	1-31	

Resumen de los hallazgos:

## **IV.2 ELABORACION DEL PROGRAMA DE MANTO. PREVENTIVO**

Para programar es necesario, en primer lugar definir las tareas por efectuarse y luego disponer de un cálculo, tan exacto como sea razonable del tiempo requerido para la ejecución así como de los materiales a emplear.

Las operaciones de mantenimiento preventivo incluyendo reparaciones de rutina, detenciones o revisiones de equipos, pueden programarse eficientemente, puesto que es posible definir las actividades necesarias y establecer tiempos estándar razonables; además de definir las partes de recambio.

Para planificar y programar el mantenimiento se dispone de sistemas de procesamiento de datos, tanto manuales como electrónicos. Como los principios y las salidas son los mismos, se ejemplificará através del sistema manual.

### **IV.2.1. ELEMENTOS DEL SISTEMA**

- 1.- Ficha histórica
- 2.- Programa de mantenimiento
- 3.- Orden de mantenimiento.

#### **IV.2.1.1.- FICHA HISTORICA**

Esta contiene un registro de los trabajos efectuados al equipo durante su vida útil, la cual permite analizar la frecuencia de las fallas más importantes así como determinar el MTBF (Tiempo medio entre fallas) con la idea de prevenir las mismas a través de Servicios Preventivos de Mantenimiento.

#### **IV.2.1.2.- PROGRAMA DE MANTENIMIENTO**

Define las frecuencias de mantenimiento; así como, el tipo de servicio a efectuar. Este puede ser complementado por hojas de verificación y/o órdenes de trabajo conteniendo lo que se va a realizar/verificar en cada servicio. Es de suma importancia que el programa sea lo suficientemente flexible como para poder absorber cambios con la idea de resolver problemas crónicos del equipo.

#### **IV.2.1.3.- ORDEN DE MANTENIMIENTO**

Describe específicamente el trabajo que es necesario efectuar al equipo. La cual sirve también como medio de control ya que al terminar la labor, la orden es cerrada detallando:

- El número de gente involucrada; así como sus especialidades (mecánico, eléctrico, hidráulico o electrónico).
- Costo y cantidad de los materiales utilizados.
- Descripción del trabajo efectuado.
- El tiempo empleado.

Como parte del sistema es necesario que cada trabajo a realizar cuente con una orden de trabajo. De esta manera es posible tener un control exacto la operación del taller de mantenimiento preventivo.

## **IV.2.2. SIMULACION**

En la elaboración del programa de MP es necesaria la simulación de la operación para poder determinar los requerimientos de la mano de obra, los materiales, los costos estimados; así como, determinar la carga de trabajo del taller, logrando así dar forma a dicha programación de los servicios a través de las órdenes de mantenimiento. Para lograr lo anterior es necesario conocer información sobre la capacidad instalada del taller, el tamaño de la flota de vehículos industriales, la frecuencia óptima de dichas inspecciones, las horas que trabajan estos vehículos, así como los tiempos estándar por cada tipo de servicio. Ver fig. (IV.5).

Enseguida se describirá con más detalle el proceso de simulación de la operación del taller.

## **IV.2.3. ENTRADAS**

### **IV.2.3.1. CAPACIDAD DEL TALLER.**

Se refiere al número de vehículos que se pueden atender al mismo tiempo sin que se estorben en las maniobras uno con respecto al otro, ésto es importante ya que las instalaciones para un taller de servicio de este tipo requiere contar con facilidades especiales.

# ELABORACION DEL PROGRAMA

## ENTRADAS

- CAPACIDAD DEL TALLER
- No DE VEHICULOS
- FRECUENCIA OPTIMA DE INSPECCION
- HRS. TRABAJADAS POR VEHICULO
- TIEMPO ESTANDAR POR SERVICIO

ANALISIS DE LA OPERACION

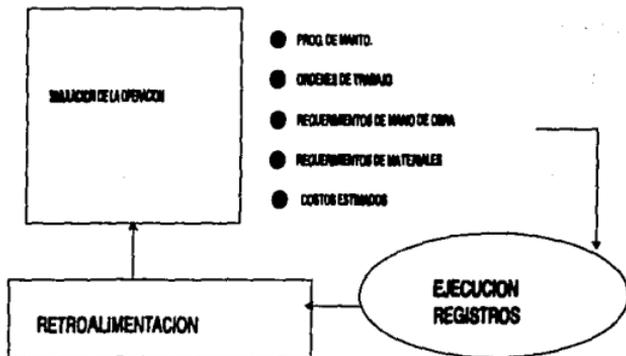
## SALIDAS

- PROC. DE MANTO.
- ORDENES DE TRABAJO
- REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA
- REQUERIMIENTOS DE MATERIALES
- COSTOS ESTIMADOS

EJECUCION  
REGISTROS

RETROALIMENTACION

FIGURA IV.5 Elaboración programa de Mantenimiento Preventivo



#### IV.2.3.2. NO. DE VEHICULOS.

Se refiere al tamaño de la flota de manejo de materiales, pudiendo estos dividirse en sus diferentes clasificaciones como sería montacargas remolcadores, carretillas, estibadores, etc.

En este caso en particular se cuentan con los siguientes vehículos:

---

PLANTA	No VEHICULOS
Motores	36
Fundición	21
Ensamble Camiones	30
Ensamble Autos	46
	---
	133 Totales

---

Figura IV.6 Cantidad de vehículos por planta.

#### IV.2.3.3. FRECUENCIA OPTIMA DE INSPECCION.

A través del análisis del comportamiento estadístico de las fallas por cada tipo de vehículo es posible definir la frecuencia óptima de inspección y/o reparación como se vio en el inciso II.3.3. y III.2 de esta tesis. Esta variable va a ser determinante en la elaboración del programa de servicios preventivos. Como punto de partida se dirá que la frecuencia óptima de servicio es cada 200 horas de operación de servicio se requiere efectuar una inspección.

#### IV.2.3.4. CARGAS DE TRABAJO DE LOS VEHICULOS.

Se refiere a las horas que trabaja un vehículo diariamente; ésto es 8.5 hrs que tiene un turno menos las concesiones del mismo, en la figura (IV.7) se ilustra dicho cálculo.

---

Horas diarias totales: 8.5	
(-) Concesiones:	
Comida	1.0
Preparación labor	0.5
Limpieza equipo	0.5
Total: (1 Turno)	6.5
(2 Turno)	13.0
(3 Turnos)	19.5

Figura IV.7 Horas efectivas trabajadas por turno.

---

#### IV.2.3.5. TIEMPO ESTANDAR POR SERVICIO

Estos tiempos se determinan mediante el analisis de actividades rutinarias con métodos preestablecidos. En este caso particular se realizan tres tipos de servicio a saber:

---

Tipo de Servicio	Frecuencia	Tiempo Estándar
A	C/200 Hrs Operación	4.5 Hrs
B	C/600 Hrs Operación	7.0 Hrs
C	C/1200 Hrs Operación	8.5 Hrs

Figura IV.8 Tiempo estándar: por tipo de Servicio.

---

Los tiempos estándar aquí enunciados fueron obtenidos del análisis de estos trabajos de acuerdo al estándar de Inspección del taller de Servicio de Vehículos Industriales de Ford Motor Company.

#### **IV.2.4. SALIDAS**

##### **IV.2.4.1. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO**

Este punto se refiere a la planeación anticipada del tipo de servicio y la fecha en la cual se deberá realizar éste. Ejemplo de este programa se encuentra en la figura (IV.9) en donde se muestran la planeación de los servicios preventivos para las unidades de manejo de materiales de la planta de camiones. El cálculo del programa se encuentra ilustrado en la misma figura (IV.9)

##### **IV.2.4.2. ORDENES DE TRABAJO (MANTENIMIENTO)**

Las órdenes de trabajo, especifican la tarea a realizar por los mecánicos

En la medida en la que se domine el objetivo de un mantenimiento preventivo, las órdenes de trabajo son más específicas, enunciando la tarea que debe desempeñar el mecánico responsable de realizar el servicio. Lo antes mencionado significa que es posible predecir la frecuencia óptima para realizar sustituciones de componentes de algún subsistema de cualquier vehículo industrial. Lo anterior es resultado del análisis de los registros históricos (estadísticos) de dichos subsistemas.

#### **IV.2.4.3. REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA Y MATERIALES**

##### **A.- Requerimientos de Mano de Obra.**

El Número de horas-hombre requeridas para el mantenimiento de los vehículos puede ser determinada por los siguientes cálculos: el número de unidades multiplicado por las horas normales de operación por semana de cada unidad y dividido entre el número de inspecciones que deben ser hechas cada semana, ésto, multiplicado por un tiempo promedio por inspección da la carga de trabajo de mantenimiento. Un porcentaje arriba debe ser considerado para manejar cualquier emergencia que pueda surgir.

Las horas-hombre requeridas para los trabajos pueden ser determinadas en primera instancia por experiencia. Las condiciones presentes de la flota de manejo de materiales tendrá gran influencia en los requerimientos de la mano de obra.

##### **B.- Requerimientos de materiales.**

Una vez definidas las actividades de mantenimiento preventivo que van a ser realizadas es posible definir los materiales que van a ser cambiados durante estos servicios como son: aceites y lubricantes, baleros, sellos, empaques, bujías, bandas, etc. Esto multiplicado por el número de vehículos del mismo tipo y por la frecuencia de dichos servicios en un cierto período de planeación nos definirá dicho requerimiento en cantidad y costo.

#### **IV.2.4.4. TIEMPOS ESTANDAR**

En las órdenes de trabajo puede ser incluido el tiempo estándar por cada actividad que vaya a realizar el mecánico encargado del servicio y una columna extra donde se indique el tiempo real. Lo anterior persigue varias finalidades como serían:

- Decirle a los mecánicos el tiempo que deben emplear en realizar determinada actividad.
- Evaluar el desempeño individual Vs estándar
- Recalcular los tiempos estándar después de cierto tiempo y sobre todo cuando hubiera mejoras en los métodos de operación por contar con más facilidades para efectuar la tarea.
- Identificar a los individuos que requieran capacitación para desempeñar su tarea.

#### **IV.2.4.5. COSTOS ESTIMADOS**

De la misma manera como se estipularon los tiempos estándar es posible obtener un costo promedio por cada tipo de servicio que se efectúa, ya que se puede saber con anticipación el tiempo que se lleva ese servicio, así como las refacciones que normalmente se utilizan, de tal manera que es posible determinar un costo estimado por cada tipo de servicio como se muestra a continuación:



---

Tipo Serv.	T.Estándar	C.Mano Obra	C.Materiales	C.Total
A	4.5 Hrs	12.20	25.00	37.20
B	7.0 Hrs	18.95	45.00	63.95
A	8.5 Hrs	23.00	60.00	83.00

El costo por Hr de mano de obra se consideró de: 2.709

**Figura IV.10 Costos de Manto Preventivo Estimados**

---

**Nota:**

A estos costos es necesario incluirles la parte proporcional para amortizar la inversión y los costos de operación del taller como se vio en el capítulo III.1.3.

**IV.2.4.6. CARGA DE TRABAJO DEL TALLER**

Este punto se refiere a la cantidad de vehículos que deberán ser atendidos en cierto lapso de tiempo ( diários, semanales, mensuales, Etc.). Es sumamente importante conocer este dato ya que de ésto depende la cantidad de mecánicos para poder cubrir el programa de trabajo. En la figura (IV.9) se ilustra lo anterior.

### **IV.3. REGISTROS Y CONTROLES**

Los costos de mantenimiento a Vehículos Industriales pueden ser reducidos así como mejorar la eficiencia en general del manteniendo y usando registros adecuados para cada pieza de equipo. Los cuales ayudarán al supervisor de mantenimiento para implementar prácticas preventivas, evitando así los paros excesivos .

Estos registros de mantenimiento, incluyendo costo/unidad/hora, así como costos de depreciación proveen también de un excelente significado en el comportamiento del programa de mantenimiento. Correctamente llevados estos registros mostrarán los tipos de reparaciones que ocurren con mayor frecuencia o generan costos excesivos.

Como resultado del análisis de esta base de datos, es posible demostrar que la demanda de la reparación del equipo se deben a cualquiera de las siguientes razones:

- 1.- Descuido del operador
- 2.- Errores propios del diseño
- 3.- Aplicación impropia del equipo.
- 4.- Malas condiciones de operación.

Todas estas situaciones son controlables de alguna manera. Una vez que la condición es conocida se pueden establecer pasos para eliminar el problema con un buen sistema de registro debidamente codificado. También indicará aquellas unidades que operan pobremente. Dicha información es de gran ayuda cuando llega el tiempo de reemplazar unidades.

#### **IV.3.1. MANTENER EL TRABAJO EN PAPEL AL MINIMO**

No se debe uno sumergirse en el trabajo del papel. Los métodos para llevar los registros deben ser tan sencillos como sea posible. El más importante requisito es completar la información de cada máquina en forma centralizada y de fácil acceso. Es también importante que los registros provean toda la información necesaria para evaluar el nivel de desempeño de la función de mantenimiento en cada centro de costo.

#### **IV.3.2 IMPRESOS, DOCUMENTOS Y CIRCUITOS**

Ahora vamos a presentar los documentos más importantes que suelen utilizarse para el buen funcionamiento del mantenimiento planificado, indicando las funciones desempeñadas por cada uno de ellos:

- 1.- Registro de equipo.
- 2.- Ficha Histórica de mantenimiento
- 3.- Orden de trabajo
- 4.- Partes de parada
- 5.- Programa de trabajo.

## IV.3.2.1 REGISTRO DE EQUIPO

Su finalidad es la de registrar todas las características técnicas de origen del equipo, así como la fecha de adquisición; además de los gastos de mantenimiento, operación y plan de depreciación por año.

En la figura (IV.13) ejemplificado uno de estos registros.

Ficha de estadísticas económicas

Sección		Máquina		Marca y tipo		Máquina n.º							
Representante				Fabricante									
Representante del equipo eléctrico				Período		Fecha de entrega		En actividad desde 19					
Precio de compra y factura n.º				DEPRECIACIÓN		COSTE DE MANTENIMIENTO							
				Años		Valor residual		Suavado		Material		Trabajo	
Impuesto Rete transporte				19									
				19									
Equipo eléctrico por separado				19									
Otros equipos aparte				19									
				19									
Cimentación				19									
Instalación				19									
				19									
Costes totales				19									
Transferidos a la sección				19									
				19									
				19									
				19									
				19									
				19									
Eliminada				19									
Desguazada vendida				19									

Figura IV.13 Hoja de Registro Estadística de equipo.



- recopilar datos técnicos, planos, etc. con el fin de facilitar la reparación:
- determinar los recambios necesarios
- calcular el costo de las reparaciones
- indicar el momento en que la reparación resulta menos costosa a la empresa.

La orden de trabajo se establece como consecuencia de:

- La solicitud expresa de producción
- como resultado de las inspecciones

Los datos que deberán figurar en la orden de trabajo son principalmente los siguientes:

- a.- datos de identificación: número de inventario, número de máquina, número del operario u operarios que intervienen, etc.
- b.- datos de tiempo: día y hora en que se solicitó el trabajo, día y hora en que se empezó y terminó, tiempo previsto, tiempo empleado, tiempo de paro y de espera.
- c.- piezas o partes de la máquina que fueron reemplazadas.
- d.- motivo de la reparación.
- e.- tipo de trabajo: de reparación o preventivo
- f.- materiales y repuestos empleados, en su caso.

La figura (IV.15) representa un modelo apropiado para ser utilizado en el mantenimiento para los vehículos industriales.



Este documento puede adoptar distintas formas según sea el caso. Como modelo operativo puede servir el indicado en la figura (IV.14), pues basta con que refleje:

- la parada
- momento en que se ha producido
- duración de la misma
- causa, órgano afectado
- medidas adoptadas

#### **IV.3.2.5 PROGRAMA DE TRABAJO**

Tiene como fin primordial plasmar el programa de trabajo del siguiente período, normalmente una semana, determinando las actividades a que se han de dedicarse cada equipo o sección del servicio o departamento de mantenimiento, actividades tanto de inspecciones o revisiones como de reparaciones.

Este documento puede servir también como ficha de carga de trabajo, siendo la carga, una vez equilibrada y establecida como definitiva el programa de trabajos a realizar.

#### **IV.3.3 INDICES DE CONTROL DE MANTENIMIENTO**

El costo creciente de dicho renglón ha hecho que se enfoque la atención a mejorarlo, medirlo y controlarlo. Para ese efecto se han elaborado índices que sirven para relacionar el costo del mantenimiento con otros factores, y ver la forma de controlar y/o reducir el mismo. Alguno de esos índices son muy amplios y sujetos a

la interacción de muchas variables no asociadas en forma directa al costo del mantenimiento. Otros, como los del valor del mantenimiento expresado como porcentaje del costo de ventas, poseen un valor limitado, ya que no reflejan de una manera apropiada cambios válidos en el costo de mantenimiento. Por el contrario, hay índices sumamente sensibles, como el del porcentaje de desempeño estándar para un mecánico. Pero sea cual fuere su propósito y uso, los índices de desempeño miden sólo una parte del costo de mantenimiento, y a veces requieren de un considerable esfuerzo administrativo.

La dirección general y la de mantenimiento, continuamente buscan indicadores eficaces que les permiten medir el costo del mantenimiento y reflejen los esfuerzos hechos para controlarlo. Ningún índice considerado aisladamente es eficaz, sino sólo en combinación con otros. Por otra parte, tienen un papel doble: indicar mejoramientos en el desempeño de mantenimiento, o sea la tendencia de las operaciones de mantenimiento, o la posición relativa con respecto a un punto de referencia. Además, conviene que muestren la posición absoluta, objetivo este más difícil de alcanzar.

Para llevar a cabo su función indicadora de tendencias, el desempeño de mantenimiento necesita basarse en factores de referencia que sean comparativamente estables.

Para que tenga valor, un indicador de la posición absoluta del mantenimiento, necesita tener una base. En algunas empresas ésto es factible en virtud de que el desempeño en empresas similares puede ser comparado con el desempeño en una

empresa base. En el ramo automovilístico, por ejemplo, un taller de montaje puede compararse con otros, siempre que la estructura de los cuerpos sea la misma y que los demás elementos relativos a la planta física sean semejantes.

Es casi imposible establecer un índice que muestre la posición absoluta de mantenimiento. Puede decirse, entonces, que la verdadera finalidad de los índices es indicar tendencias, usando el desempeño anterior como punto de referencia, y estimular a la dirección de mantenimiento a que mejore el presente.

En este inciso se estudiará varios índices típicos que han sido utilizados y se discutirán sus ventajas y limitaciones.

#### **IV.3.4 CLASES DE INDICES**

##### **IV.3.4.1 INDICADORES AMPLIOS**

###### **IV.3.4.1.1 RAZON ENTRE EL COSTO DE MANTENIMIENTO Y EL DE VENTAS. E**

gasto promedio por concepto de mantenimiento considerando al total de la industria es, como ya se indicó anteriormente, el 5 por ciento de las ventas, existiendo variaciones señaladas entre los diversos ramos y hasta dentro de éstos mismos.

Entre los ramos industriales la razón, según datos del Moody's Industrial Manual, varía notablemente, desde 12.8 por ciento de las ventas en la industria del acero, hasta el 0.9 por ciento, también de las ventas, en la industria de radio-televisión. Estas razones aparecen en la fig. (IV.16).

Industria	Número de empresas re-presentadas	Promedio de cinco años, porcentaje	Gama por fábrica y por año, porcentaje	
			Alto	Bajo
Radio-televisión	4	0.9	1.2	0.2
Zapatos	3	1.3	2.9	0.6
Empacadora de carnes	4	1.3	1.6	0.6
Aeronáutica	5	1.5	2.6	0.4
Alimenticia	5	1.8	2.9	0.8
Farmacéutica	6	1.9	3.4	0.6
Manufacturas eléctricas	5	2.2	3.0	1.5
Hulera	5	3.2	4.1	2.6
Petrolera	7	3.3	5.8	2.5
Automotriz	4	6.3	9.3	2.0
Química	6	6.8	10.5	2.4
Vidrio	5	7.3	10.6	4.5
Acero	5	12.8	16.8	8.8

FUENTE: *Moody's Industrial Manual*.

Figura IV.16

*Costo de reparación y mantenimiento como porcentaje de ventas*

Existen también considerables diferencias en el seno de cada ramo industrial; por ejemplo, en los que se consignan en la fig. (IV.16) hay una variación anual máxima de 2.6 a 0.4 por ciento en la industria aeronáutica, y una mínima de 4.1 a 2.6 por ciento, en la del hule.

#### IV.3.4.1.2 RAZON ENTRE EL COSTO DE MANTENIMIENTO Y EL VALOR DE LA INSTALACION.

El gasto medio por mantenimiento se relaciona más estrechamente con el valor de la inversión en fábrica y equipo que con el volumen de ventas.

Entre los diferentes ramos industriales la razón varía desde 12.8 por ciento de la inversión en la industria automotriz, hasta 2.6 por ciento en la industria petrolera, como se demuestra en la fig. (IV.17).

<i>Industria</i>	<sup>268</sup> <i>Número de empresas re- presentadas</i>	<i>Promedio de cinco años, porcentaje</i>	<i>Gama por fábrica y por año, porcentaje</i>	
			<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>
Petrolera	7	2.6	3.9	1.5
Radio-televisión	4	3.2	3.9	1.3
Química	6	3.8	7.9	3.1
Farmacéutica	6	3.9	4.9	2.1
Alimenticia	5	5.3	10.0	4.7
Manufacturas eléctricas	5	5.8	7.0	3.7
Zapatos	3	6.1	9.1	4.8
Hulera	5	6.2	13.4	4.2
Empacadora de carnes	4	7.5	10.9	5.8
Aeronáutica	5	7.6	13.3	2.0
Vidrio	5	7.9	20.0	4.5
Acero	5	8.6	15.1	6.3
Automotriz	4	12.8	20.0	5.3

**FUENTE:** *Moody's Industrial Manual.*

Figura IV.17 *Costo de reparación y mantenimiento, como porcentaje del valor de fábrica y equipo*

De igual modo, en el seno de los ramos industriales, la variación en los gastos de mantenimiento como porcentaje de inversión, va desde un máximo de 13.3 hasta 2.0 por ciento en la industria aeronáutica, y un mínimo de 7.0 a 3.7 por ciento en la eléctrica de manufactura.

Los ejemplos presentados hasta aquí, apuntan una falta de confiabilidad en los indicadores amplios como medidores del costo relativo de mantenimiento. Esto es cierto, sobre todo cuando las comparaciones se hacen entre ramos industriales y fábricas. Los indicadores se tornan mas dignos de confianza cuando se emplean para comparar cambios en el costo de mantenimiento dentro de una empresa determinada. En cuanto a los índices que pueden utilizarse dentro de una empresa y quizas ser comparados con plantas semejantes de la misma empresa, serán estudiados más adelante.

#### **IV.3.4.2 INDICADORES DE CARGA DE TRABAJO**

Estos índices muestran el tipo y magnitud del trabajo de mantenimiento autorizado.

Los principales de ellos son:

##### **IV.3.4.2.1 TRABAJOS PENDIENTES EN PROCESO.**

Señala la cantidad total de trabajo aprobado para hacerse. Se trata de ordenes de trabajo para las cuales se dispone de los materiales, herramientas y mano de obra necesarios para la reparación del equipo que está por parar. Tener demasiado trabajo, o muy poco, no es bueno. Un cumulo de trabajos pendientes es adecuado.

##### **IV.3.4.2.2 TOTAL DE TRABAJOS PENDIENTES.**

Este índice señala el número de trabajos pendientes, incluyendo aquellos en vía de ejecución y los que han sido autorizados, pero que no pueden llevarse a cabo por falta de materiales, herramientas o mano de obra, o porque el equipo no puede parar.

##### **IV.3.4.2.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.**

Apunta el porcentaje de horas-hombre empleadas en mantenimiento preventivo, comparado con el total de horas de mantenimiento. Casi siempre es deseable contar con un porcentaje pronunciado, de 60 a 80 por ciento, del total de horas-hombre empleadas en el mantenimiento preventivo.

#### **IV.3.4.2.4 MANTENIMIENTO DIARIO.**

Comprende el saldo de horas-hombre de reparación, distintas a las empleadas en trabajo preventivo. No debe incluir trabajos de reconstrucción. El índice se expresa en forma de porcentaje del total de horas-hombre, y el objetivo será reducir este porcentaje a límites prácticos.

#### **IV.3.4.2.5 ORDENES ABIERTAS.**

Estas también afectan la carga de trabajo y se expresan como un porcentaje de horas-hombre empleadas en órdenes abiertas, comparado con el total de horas de mantenimiento. El control suele mejorar cuando esta cifra se reduce al mínimo.

#### **IV.3.5 PLANEACION E INDICADORES**

Estos indicadores, aún cuando relacionados con factores de carga de trabajo, son los que muestran que tan bien se está haciendo la planeación, y son los siguientes:

##### **IV.3.5.1 TRABAJOS TERMINADOS SEGUN PROGRAMA.**

Se expresan como porcentaje de los trabajos programados. Este índice es importante para la programación del trabajo de la siguiente semana. A menos de que el porcentaje se mantenga alto, el trabajo pendiente se acumulará.

#### **IV.3.5.2 PRONOSTICO DE LA EFICACIA.**

Este índice expresa en que forma se comparan las horas reales con el pronóstico de horas-hombre. Las horas pronosticadas pueden ser las horas estimadas, modificadas por un desempeño corriente de mano de obra.

#### **IV.3.5.3 PLANEACION DE HORAS DE MANTENIMIENTO.**

Se expresan como un porcentaje del total de horas-hombre, y señala el grado a que se planearon los trabajos. Mientras más sean los trabajos planeados, mejor se controlará el trabajo.

#### **IV.3.5.4 TRABAJO DE URGENCIA.**

Se define como todo trabajo que irrumpa en un programa diario. Este índice se expresa como un porcentaje de horas-hombre empleadas en trabajos de urgencia, relacionado al total de horas-hombre. A menor de dicho porcentaje, mejor la planeación y las operaciones de mantenimiento preventivo.

#### **IV.3.5.5 HORAS EXTRAORDINARIAS.**

Se expresan con un porcentaje del total de horas-hombre. Este índice refleja también la capacidad de planear y programar el trabajo. Debido al costo del tiempo extraordinario, conviene mantener la cifra al mínimo que resulte práctico. Sin embargo, poco o nada de tiempo extraordinario puede ser síntoma de un exceso de

personal. Por lo común, 1 o 2 por ciento es considerado aceptable.

#### **IV.3.5.6 APLICACION DE NORMAS.**

Este índice expresa como un porcentaje del total de horas, las que han recibido la aplicación de normas o estándares. Un porcentaje elevado, es señal de buen control; una amplia cobertura con normas, ayudará a la planeación del trabajo y a estimular un buen desempeño.

#### **IV.3.5.7 TIEMPO DE PARO.**

Se expresa como porcentaje de horas-equipo perdidas en virtud del mal funcionamiento o del colapso de una máquina. Este indicador mide la calidad del trabajo de mantenimiento y la eficacia del programa de mantenimiento preventivo. Es necesario tener cuidado de excluir descuidos, negligencias, sabotajes, accidentes, etc. El tiempo de paro debido a deficiencias inherentes al diseño de la máquina, será incluido hasta que se hagan las correcciones debidas, o sea segregado.

### **IV.3.6 INDICADORES DE LA PRODUCTIVIDAD**

Las siguientes razones apuntan al aprovechamiento de la mano de obra, y son los siguientes:

#### **IV.3.6.1 PERSONAL DE MANTENIMIENTO OCUPADO EN FORMA PRODUCTIVA.**

Se expresa como porcentaje del personal de mantenimiento a salario por hora, que trabaje en un determinado punto del tiempo. Suele determinarse mediante

muestreos del trabajo, haciéndose las observaciones indistintamente, entre el personal de mantenimiento que realiza sus encomiendas de trabajo normales y cotidianas.

#### **IV.3.6.2 EFICACIA EN EL TRABAJO.**

Se expresa como un porcentaje del estándar, cuando éste es el nivel del producto diario normal del operario. Aún cuando esta razón se puede determinar con un muestreo del trabajo, es difícil identificar los métodos deficientes y el trabajo innecesario. La aplicación de normas de trabajo a la labor de mantenimiento, con preferencia antes de realizar éste, constituye una medida apropiada de la eficacia del trabajo.

#### **IV.3.6.3 COSTO DE MANTENIMIENTO POR UNIDAD DE PRODUCCION.**

Este se expresa en costo por centenar de unidades producidas. Representa el costo de mantenimiento requerido para producir una unidad de producto. Los cambios de un período básico aparecen como un aumento o disminución de este costo unitario.

#### **IV.3.6.4 NUMERO DE GENTE DE MANTENIMIENTO, COMPARADO CON EL DE OPERARIOS DE LA PLANTA.**

Esto se expresa como razón. El personal de la planta que puede ser el total, o el dedicado únicamente a producción. Este índice no es digno de confianza cuando tienen lugar cambios en el equipo, personal o métodos de producción. Los perfeccionamientos en el desempeño de la mano de obra de producción, en los

métodos, automatización o cambios tecnológicos, tienden a reducir el número del personal de la fábrica y/o aumentar el de mantenimiento, aumentando, por consiguiente, la razón de gente de mantenimiento a gente de producción.

#### **IV.3.7 INDICADORES DE COSTO.**

Además de los amplios indicadores de costo mencionados, hay otros muchos índices que dan una cierta medida de los costos de mantenimiento. Ellos son:

##### **IV.3.7.1 PORCENTAJE DE LA NOMINA DE MANTENIMIENTO.**

Es la relación con la nómina total de la planta. Es similar a la razón entre el número de personal de mantenimiento y el personal total de la planta y no es de fiar si ocurren cambios en los métodos, una mayor productividad del personal de fabricación, modificaciones tecnológicas y fluctuaciones en el volumen de producción que cambien la nómina total.

##### **IV.3.7.2 EL COSTO REAL DE MANTENIMIENTO COMPARADO CON EL PRESUPUESTADO.**

Proporciona una buena medida del desempeño presupuestario. Las variaciones grandes apuntan áreas que necesitan atención. Empero, este índice sólo es tan exacto como lo sea el presupuesto.

#### **IV.3.7.3 EL COSTO DE ADMINISTRACION DEL MANTENIMIENTO, COMO PORCENTAJE DEL COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO.**

Constituye un índice del control de los gastos generales del mantenimiento. No es digno de confianza si se lleva a cabo más planeación previa e ingeniería con el fin de mejorar la utilización del tiempo de los mecánicos de mantenimiento.

#### **IV.3.7.4 EL COSTO DE MANTENIMIENTO COMO PORCENTAJE DEL COSTO DEL TRABAJO EN PROCESO.**

Refleja los cambios en el costo del mantenimiento, mejor que si se relaciona éste al volumen de ventas, especialmente si las ventas son de temporada.

#### **IV.3.8 EMPLEO DE LOS INDICES DE CONTROL**

Al recurrir a los datos para elaborar los índices de control, es indispensable efectuar ajustes en los factores conocidos y medibles, que van a influir en el índice que se calcula.

Por ejemplo, el costo de mantenimiento se ajustará aplicando el índice de costo de la revista Factory, a un período base, para reflejar los cambios en la mano de obra de mantenimiento y los precios de material.

### IV.3.8.1 GRAFICAS CONVENCIONALES

Los índices de control suelen trazarse en forma gráfica, comparándolos con el tiempo calendárico. Esto se hace diaria, semanal, trimestral o anualmente. A menudo se recurre a promedios móviles, cuando los datos fluctúan mucho en períodos breves.

También se suelen trazar varios índices a la vez, con una misma escala de tiempo. Esto facilita comprobar con facilidad las tendencias de varios indicadores en cuanto al grado de coincidencia.

En la fig. (IV.18) se muestran las tendencias de costo por reparaciones y administración de mantenimiento, en relación al importe de la nómina sobre una base anual.

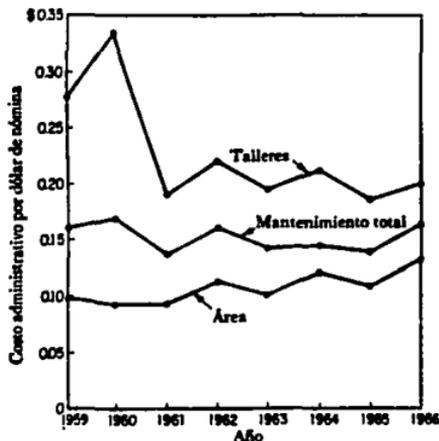


Figura IV.18  
Costo administrativo de reparaciones y mantenimiento,  
por dólares de nómina administrado

En este ejemplo, el costo administrativo de reparaciones y mantenimiento por un período de ocho años, es el de la fig.(IV.19).

<i>Año</i>	<i>Talleres</i>	<i>Área</i>	<i>Total</i>
1955	0.274	0.098	0.159
1960	0.330	0.092	0.166
1961	0.190	0.092	0.134
1962	0.220	0.112	0.158
1963	0.195	0.101	0.140
1964	0.212	0.120	0.143
1965	0.187	0.107	0.137
1966	0.200	0.130	0.159

Figura IV.19 *Costo por dólar de nómina*

Cuando el resultado anual se expresa en forma de gráfica, se tiene un resumen de la tendencia a largo plazo. En el ejemplo de referencia el costo administrativo correspondiente ha disminuido en forma marcada, mientras que el costo de área ha aumentado consistentemente. El costo administrativo total se mantuvo razonablemente constante a lo largo del lapso de ocho años.

#### IV.3.8.2 PERFIL DE VARIOS INDICES

Otra forma práctica de emplear los índices de control consiste en preparar un perfil de varios índices. Pero para ello es necesario seleccionar algunos dignos de confianza, prácticos, para cada uno de los cuales se hayan fijado puntuaciones óptimas, las cuales sirvan de metas u objetivos que se puedan cotejar periódicamente.

En una situación típica pueden servir los siguientes ocho indicadores, seleccionándose una puntuación óptima para cada uno:

**1. PRONOSTICO DE EFICACIA.** Se expresa como porcentaje de horas reales, comparado con la previsión de horas. Este factor mide la capacidad de comportarse de acuerdo con el plan previsto. Lo óptimo será cumplir al 100 por ciento de la planeación; si se queda por encima o por debajo, querrá decir que el desempeño no fue óptimo.

**2. CUMULO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO.** Se expresa con el número de semanas-cuadrilla de trabajo programado que aguarda su cumplimiento. Mucho o poco trabajo pendiente denotará planeación ineficaz, o una asignación de demasiado, o muy poco personal. Por lo común puede aceptarse un cúmulo óptimo de dos semanas-cuadrilla.

**3. TIEMPO EXTRA.** Se expresa como porcentaje del total de horas-hombre de mantenimiento. Demasiado tiempo extraordinario resulta costoso; demasiado poco puede deberse a una dotación excesiva de personal. Una cifra práctica sería 5.0 por ciento.

**4. TIEMPO DE PARO.** Se expresa como porcentaje de horas- equipo perdidas en virtud de fallas mecánicas de las cuales es responsable el departamento de mantenimiento. La importancia de este factor varía de acuerdo con la importancia de las unidades mecánicas dentro de la operación general de la planta.

**5. VARIACION DE PRESUPUESTO.** Se expresa en términos de porcentaje del costo real, por encima o por debajo del costo presupuestado. Cuando los presupuestos son realistas en verdad, lo óptimo es cero variación.

**6. DESEMPEÑO DE MANO DE OBRA.** Se expresa como porcentaje del estándar. Cuando se tienen estándares de trabajo dignos de confianza, el desempeño óptimo es el 100 por ciento del nivel del producto diario normal del operario. Un óptimo mayor de 125 o 130 por ciento del estándar, deberá ser fijado cuando se tengan establecidos incentivos de salario.

**7. COSTO DE MANTENIMIENTO.** Se expresa como el costo de unidad de producción. Por ejemplo, 8 dólares puede ser el costo óptimo de mantenimiento, por tonelada neta de lingotes de acero.

**8. COSTO ADMINISTRATIVO DEL MANTENIMIENTO.** Se expresa como porcentaje de la nómina de mantenimiento. Este índice ayuda al control del costo indirecto de mano de obra, representado por el personal de administración, supervisión, ingeniería, oficina y almacén. Un costo óptimo de administración podría ser 10 por ciento.

Escala maestra	Ponderación %	Óptimo (semanas)		Tiempo extra. %		Tiempo de paro %		Variación del presupuesto %		Desempeño de obra %	Costo por tonelada	Administración %	
		4	0	10	0	+	-						
Delicata	0	120	80	4	0	10	0	4.0	10	10	0	20	0
	1	118	82			9½	½	3.9	12	9	10	19	1
	2	116	84			9	1	3.8	14	8	20	18	2
	3	114	86	3½	½	8½	1½	3.7	16	7	30	17	3
	4	112	88			8	2	3.6	18	6	40	16	4
	5	110	90	3	1	7½	2½	3.5	20	5	50	15	5
	6	108	92			7	3	3.4	22	4	60	14	6
	7	106	94			6½	3½	3.3	24	3	70	13	7
	8	104	96	2½	1½	6	4	3.2	26	2	80	12	8
Optima	9	102	98			5½	4½	3.1	28	1	90	11	9
	10	100		2		5		3.0	0		100	10	

Figura IV.20 Perfil multifactores

Estos ocho factores aparecen en la fig. (IV.20). Las diversas escalas para cada factor están relacionadas a una escala maestra, y los puntos óptimos se hallan en el último renglón de dicha figura. En la fig. (IV.21) se pueden ver los resultados de una investigación del desempeño, en lo tocante a cada factor.

	Óptimo	Observado
Pronóstico (por ciento)	100	95
Pendientes (semanas)	2	2.7
Tiempo extraordinario (por ciento)	5	6.8
Tiempo de paro (por ciento)	3	3.33
Variación del presupuesto (por ciento)	0	+5.5
Desempeño de mano de obra (por ciento)	100	83
Costo por tonelada (dólares)	8	8.87
Administración (por ciento)	10	19.5

Figura IV.21 Datos de soporte del Perfil multifactores.

Haciendo un trazo de dichos resultados en la gráfica y conectando los puntos, el perfil de los ocho factores mostrará la desviación de la línea base u óptima.

La variación del presupuesto aparece considerablemente fuera de control en el referido ejemplo. Por tanto, la atención de la dirección de mantenimiento debe enderezarse a analizar las diferencias o desviaciones del presupuesto, y tratar de rebajar los costos que aparezcan excesivos.

De igual modo habrá que poner atención en los demás factores para conseguir resultados óptimos en cada uno de ellos. Indicio de un desempeño satisfactorio será que el perfil se incline hacia la parte inferior de la gráfica.

#### **IV.3.8.3 GRAFICAS DE FACTORES MULTIPLES**

Hace varios años, W. S. Luck, consultante de mantenimiento en el departamento de ingeniería de E. I. Du Pont de Nemours & Co., Inc., de Wilmington, Del., ideó un procedimiento gráfico muy interesante para medir el desempeño de mantenimiento. Seleccionó un total de 16 índices, cuatro para cada una de las siguientes categorías: planeación, carga de trabajo, costo y productividad.

Los indicadores reales para los 16 factores o índices se determinaron mediante un estudio. Luego se procedió a establecer los objetivos o metas correspondientes a cada factor, tal como se puede ver en la fig. (IV.22).

HOJA DE RESUMEN DE DATOS BASICOS			
	Factores	Investigación actual	Meta futura
EFICIENCIA	Efectividad de la mano de obra	85.0%	80.0%
	Porcentaje del total de horas-hombre de mantenimiento, sobre trabajo planado y producción semanal.	50.0%	55.0%
	Porcentaje del total de horas-hombre en trabajo de emergencia, por mes.	15.0%	4.0%
	Porcentaje del total de horas-hombre por tiempo extraordinario trabajado en un mes.	5.0%	2.0%
CARGA DE TRABAJO	Semanas-cuadrilla de órdenes pendientes cerradas.	3.0 sem	2.0 sem
	Semanas-cuadrilla de total pendientes. Porcentaje del total de horas-hombre por mes, de mantenimiento preventivo.	8.5%	5.0%
COSTO	Porcentaje del total de horas-hombre por mes, de trabajo diario de mantenimiento.	10.0%	25.0%
	Costo de mantenimiento como porcentaje de la inversión en fábricas.	90.0%	75.0%
	Por ciento de aumento o disminución en el costo de mantenimiento por unidad de producto elaborado en un período básico.	10.5%	5.0%
	Porcentaje del costo total en dólares de mantenimiento, por mantenimiento directo y general.	+15.0%	-15.0%
PRODUCTIVIDAD	Porcentaje del costo total de mantenimiento, por mantenimiento indirecto.	95.0%	85.0%
	Función de mantenimiento emprendida por el porcentaje de recursos humanos dedicados a actividades productivas.	35.0%	15.0%
	Porcentaje de eficiencia programadora.	45.0%	75.0%
	Porcentaje de tiempo de operación perdido en paros ocasionales por motivos de mantenimiento.	12.0%	3.0%
	Porcentaje de aumento o disminución en el número de unidades de producto elaborado por dólar de mantenimiento, en un período básico.	+17.0%	+12.0%

Figura IV.22

*Hoja de resumen de datos básicos (tomada de Factory, McGraw-Hill Publications, Nueva York)*

Se elaboraron cuatro gráficas, una para cada grupo de índices. Los índices se anotaron en la escala correspondiente, según los grupos a que correspondían, y los indicadores resultantes del estudio efectuado se asentaron en los lados de las gráficas que aparecen en la fig. (IV.23). Estos puntos se conectaron mediante líneas sólidas. También se asentaron las metas, conectando sus puntos con líneas intermitentes.

Nótese que los valores óptimos para los 16 factores aparecen a la izquierda y en la parte superior de las cuatro gráficas. Los valores superiores a lo óptimo están

dispuestos de modo que demasiado de un factor, o muy poco del mismo, son índices de un desempeño deficiente. Por ejemplo, 60 por ciento del total de horas-hombre por mes, empleadas en mantenimiento preventivo, señala el mismo grado de desempeño (o falta del mismo) en la gráfica de carga de trabajo, que el 15 por ciento del total de horas-hombre empleadas en dicho mantenimiento.

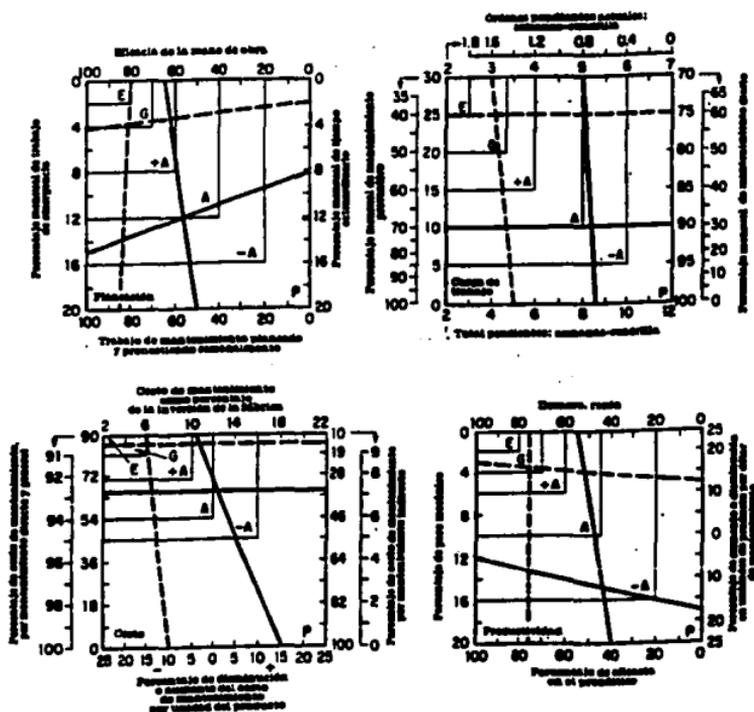


Figura IV.23 Grupos de indicadores (tomado de *Factory*, McGraw-Hill Publications, Nueva York)

Los puntos de intersección de las líneas efectivas quedan en áreas que indican si la combinación de los cuatro índices es excelente, buena, superior al promedio, se halla en el promedio, es inferior al mismo, o si es deficiente.

Los resultados de las cuatro gráficas para los grupos de índices se pasaron a una gráfica maestra (fig. (IV.24)) en la cual los cuatro índices: planeación, carga de trabajo, costo y producción, aparecen, uno en cada lado, y se procedió a unir los lados opuestos de los puntos efectivos y de los de objetivo, respectivamente. En la diagonal de la gráfica maestra se estableció una escala maestra de 0 a 100.

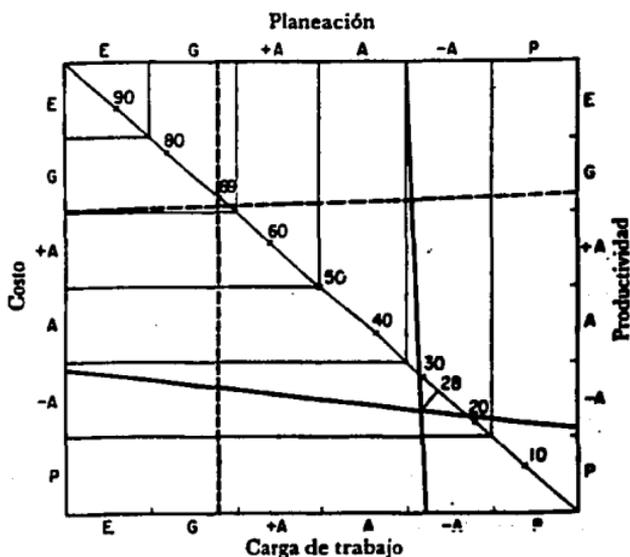


Figura IV.24

*Gráfica compuesta de indicadores (tomada de Factory, McGraw-Hill Publications, Nueva York)*

Las intersecciones de las líneas de desempeño efectivo y de las líneas de objetivo, medidas en forma perpendicular a la línea de escala maestra, dieron el desempeño efectivo general y el objetivo general para la totalidad de los 16 índices.

El índice de desempeño efectivo es de 28, y el objetivo es 69. Los factores que se apartan de la mayoría de las metas deben tener una atención preferente. Mediante un esfuerzo continuado se logrará un mejoramiento de los 16 factores, y el resultado se reflejará en las gráficas de control.

Un enfoque eficaz para estimular el esfuerzo sistemático o mejorar el desempeño real consiste en clasificar los factores principales, desde los más deficientes hasta los mejores (nótese que en el ejemplo presentado, los cuatro se hallan en el área A; mientras más cercanos a A, mejor será el desempeño).

**Productividad (el más deficiente)**

**Carga de trabajo**

**Costo**

**Planeación (el mejor)**

#### **IV.4. LA COMPUTADORA COMO APOYO AL MANEJO DEL PROGRAMA**

El procesamiento electrónico de datos, o PED, es la denominación que recibe el empleo de computadoras en el manejo de información. Es útil, en especial para el supervisor del taller, quien puede contar con una información de costos rápida, fácil y económicamente. Además, es una gran ayuda para llevar registros de costos de equipo y maquinaria, programar reparaciones e inspecciones de mantenimiento preventivo, informar de acumulaciones de órdenes, equilibrar las cargas de trabajo, expedir las órdenes de materiales y manejo de inventarios, elaborar planes de ruta crítica, apresurar los informes de paros de máquinas y otros muchos trabajos.

Una computadora se justifica por los servicios que puede prestar como son contabilidad, elaboración de órdenes de mantenimiento, control de tiempo, nóminas, registros de personal, órdenes de compra, registros de inventario, control de presupuesto, costos estándar y muchos más.

##### **IV.4.1. SISTEMAS DE PROCESAMIENTO ELECTRONICO DE DATOS**

La alimentación a un sistema PED de los datos es idéntica a la que se hace a los registros manuales. Los datos elaborados forman informes precisos y oportunos que capacitarán al supervisor para analizar sus operaciones con rapidez y facilidad, y emprender una acción oportuna.

Entre las fases de introducción y elaboración de reportes, se halla la programación de la computadora, que se lleva a cabo por un empleado especializado o por una organización de servicio de computadoras. No es necesario que todo el personal este

constituido por programadores expertos; pero si debe estar suficientemente familiarizado con el sistema PED para saber que la exactitud y utilidad del mismo dependen de la exactitud de los datos introducidos en la computadora.

A cada pieza de maquinaria o equipo se le asigna un número que la identifique, se establece claves de reparación para indicar la clase de trabajo de reparación hecho, lo mismo que claves para indicar si se trata de una reparación programada o por paro repentino (crisis). Además, se asignan claves para indicar lubricación, limpieza, tiempo extraordinario, disposiciones y mejoramientos, reparaciones mayores y otras más, todas para la alimentación de datos, a efecto de que el ingeniero de fábrica pueda contar con la elaboración de datos que desea.

#### **IV.4.2. SISTEMAS DE PROCESAMIENTO ELECTRONICO DE DATOS EN EL MANTENIMIENTO**

El sistema de procesamiento de datos entraña la programación, separación, combinación, sumarización, organización y reorganización de datos de mantenimiento, en cualquier forma que se desee.

Bajo ciertas circunstancias, algunos de los procedimientos en el renglón de mantenimiento, se pueden llevar mejor a cabo en forma manual que por procesamiento de datos, empero, la rapidez y exactitud de las computadoras hablan más bien en pro de ese sistema que del procesamiento manual. Otros factores a considerar son el tamaño de la organización, el volumen de la documentación, la oportunidad de los informes y el potencial de ahorro que radica en una mejor coordinación.

No existen prerequisites especiales para instalar un equipo, aparte de los necesarios para toda función bien organizada. Mientras mejor sea la organización, mayores serán las ventajas que el equipo presentará. Pero como quiera que sea, un sistema de información por procesamiento electrónico de datos no será mejor que los datos que se le alimenten.

#### **IV.4.3. PROGRAMACION**

##### **IV.4.3.1. DE LA MANO DE OBRA.**

La programación del mantenimiento preventivo puede elaborarse acertadamente con el empleo del procesamiento de datos.

Es necesario alimentar los datos de todas las operaciones individuales que comprenden un trabajo de mantenimiento preventivo para las cuales se tiene fijada una frecuencia determinada y una estimación o estándar de mano de obra. Esa información de entrada es una combinación de frecuencia y horas que se requieren para tal efecto. La computadora acumula la cantidad de tiempo necesaria para cada semana del año. Con base en una planeación preliminar, las sobrecargas se reducen transfiriendo trabajo a semanas menos cargadas. El equipo simula las operaciones por un período amplificado, hasta que resulte el plan más económico en términos de tiempo y costo .

#### **IV.4.3.2. PRIORIDADES.**

Si el procesamiento de datos se va a usar en la elaboración de un programa general para la tarea de mantenimiento, toda orden debe recibir su turno. Una clasificación adecuada sería:

- Paros y operaciones peligrosas
- Paros potenciales
- Mantenimiento preventivo
- Trabajo de rutina, como colocación de piezas de recambio
- Trabajos de relleno como construcciones menores

La prioridad relativa dentro de cada grupo se basará en la fecha en que se reciba la orden (lo que llega primero, sale primero)

#### **IV.4.3.3. TIEMPO REAL ACUMULADO DEL OPERARIO.**

La acumulación del tiempo real mediante el empleo del equipo de PED, se lleva a cabo mediante un cálculo que se obtiene de dos series de tarjetas, como sigue: 1) una tarjeta de trabajo se llena por el trabajador para cada signación de trabajo, y 2) una tarjeta de tiempo se preparará por el trabajador para anotar el tiempo empleado.

Estos datos de alimentación pueden ser manipulados por el equipo electrónico para saber el tiempo real acumulado por número de orden de trabajo, oficio, número de equipo, centro de costo y trabajador. De este modo, el sistema lleva a cabo la mayoría de las funciones de toma de tiempo.

#### **IV.4.3.4. CUMULO DE ORDENES PENDIENTES.**

El informe del cúmulo de órdenes pendientes elaborado por PED, ayuda a programar trabajo por adelantado y constituye un medio práctico para acumular y llevar un registro de órdenes pendientes. La estimación o norma de las horas-hombre requeridas por cada orden de trabajo, son prerequisites para esa operación, Número de orden de trabajo, número y emplazamiento del equipo, prioridad, clave de descompostura, descripción del trabajo, fecha de origen, fecha en que se espera terminar el trabajo, y las horas-hombre estándar, son datos que se pueden consignar en dicho informe.

#### **IV.4.3.5. CARGA DE TRABAJO.**

Relacionado con el informe de acumulación de órdenes, está el de la carga impuesta al equipo de mantenimiento. Se puede facilitar mucho la toma de importantes decisiones administrativas referentes a tiempo extraordinario y al aplazamiento de trabajos de mantenimiento, con el empleo del equipo de procesamiento de datos, a efecto de proporcionar una información precisa y actual respecto a la carga de trabajo que se espera para el mantenimiento crítico de maquinaria y equipo.

#### **IV.4.4. DESEMPEÑO**

##### **IV.4.4.1. EFICACIA DE LA MANO DE OBRA.**

Mediante la inclusión de las horas-hombre estándar en la tarjeta de tiempo, la eficacia de la mano de obra puede ser conocida por día, semana, mes o año, y por individuo, especialidad, departamento, etc. Se pueden hacer constar las horas empleadas en las diversas prioridades de trabajo, tiempo perdido y tiempo extraordinario laborado, además del porcentaje de eficacia (horas-hombre estándar multiplicadas por 100 y divididas entre las horas reales). También puede conocerse fácilmente el promedio continuo del porcentaje de eficacia en los pasados seis o diez meses para conocer las tendencias.

#### **IV.4.5. EQUIPO**

##### **IV.4.5.1. INFORMES DE PARO.**

En esta área, es muy útil el precesamiento de datos. Los informes resumidos donde aparecen el número y causas de paros de máquinas, indican donde debe emprenderse una acción correctiva.

Como en toda operación de procesamiento de datos, la clave para obtener resultados exactos está en suministrar datos exactos. En el caso de tiempo de paro, la información puede tomarse de los informes de producción o de los de mantenimiento, o bien de ambos. De cualquier forma, la determinación de la causa de tiempo de paro deberá ser comprobada.

Las horas de tiempo de paro se pueden convertir, mediante las operaciones de procesamiento de datos, en costo de producción perdida. Sin embargo, esta conversión tiene que ser estimada con cuidado para que incluya sólo el costo de reponer la producción perdida.

#### **IV.4.5.2. HISTORIA CLINICA DEL EQUIPO.**

En el capítulo anterior se vio que es muy importante llevar un registro permanente de cada pieza de maquinaria instalada, y un registro histórico de las reparaciones importantes efectuadas. Mucho trabajo de oficina se puede evitar utilizando el PED para esta función, en lugar de registrar datos mediante anotaciones manuales.

#### **IV.4.6. COSTOS**

##### **IV.4.6.1. CALCULOS EXCEDIDOS.**

El control del costo de mantenimiento se suele efectuar con PED, incluyendo en el programa varios factores de control. El costo real de un trabajo se totaliza acumulando las órdenes de trabajo y los informes especiales que se elaboran diaria o semanalmente, para determinar si dicho costo real es igual, menor, o más que el estimado.

#### **IV.4.6.2. CUMPLIMIENTO CON EL PRESUPUESTO.**

A través del PED es posible llevar registro y control del presupuesto obteniendo reportes detallados de gastos efectuados en el período; además de comparaciones contra lo presupuestado tal y como se explicó en el capítulos III.3 y III.4.

#### **IV.4.6.3. COSTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.**

La contribución del procesamiento de datos al programa de mantenimiento preventivo, se inicia con la acumulación de costos de mantenimiento detallados, por número de equipo, tipo de éste, clase de servicio, etc. Luego se emiten informes periódicos sobre la base de esta información. El cotejo de los informes permite hacer evaluaciones del adelanto del **programa preventivo de mantenimiento.**

Los informes de costo periódicos necesitan abarcar, además de los datos de costos, el tiempo de producción perdida de maquinaria y equipo. En la fig. (IV.25) aparece un informe mensual típico, con el costo acumulado por número de equipo. La columna de clave de reparación con el encabezado "Clave Rep.", indica el tipo de reparación efectuada, mientras que "C/T" apunta la categoría del trabajo. (El número 3 en esta columna indica descompostura total o mantenimiento crítico.) "C" y "P" a la derecha de los signos monetarios, en la cabeza de las columnas, denotan crisis y mantenimiento preventivo, respectivamente. La columna bajo "HTP" contiene las horas de paro. La columna a la derecha, con el encabezado "630-A", contiene los números de las solicitudes de mantenimiento por si se requiere contar con información más detallada.

Máquina Número Id.		CLAVE REP.	CATEGORIA DE TRABAJO		MANTENIMIENTO					HORAS DE TIEMPO DE PARO			630-A			
DEPT.	N.º =	REP. CO.	C/T	FECHA	HORAS DE TRAB.	TRAB. C. S.	OB.	SP	MAT	SC	MAY	SP		TOTAL SC	TOTAL SP	N.º T.º
750	125319	202	3	02-02	2.0								6		2.0	58395
750	125319	900	3	02-02	3.0			12								58448
750	125319	119	3	02-03	2.0		8						8	4	1.0	74000
750	125319	402	1	02-07	1.0				4							75073
750	125319	106	1	02-07	5.0				32							75077
750	125319	401	1	07-08	2.0				8							80194
750	125319	134	1	02-08	7.5				30							80409
750	125319	113	3	02-09	2.0		8									75774
750	125319	404	1	02-13	4.0				16							48370
750	125319	202	1	02-13	4.0				16							40457
					179.0		140	575				74	140	649	16.0	
750	125320	900	1	01-13	20.5			82								59735
750	125320	202	3	01-13	1.0		4						4		1.0	60401
750	125320	402	3	01-13	1.0		4						4		1.0	60404
750	125320	101	1	01-13	.5				2							60403
750	125320	202	1	01-16	3.0			12				19			2	48310
750	125320	201	1	01-16	1.0			4								60183
750	125320	900	1	01-16	2.0			8								60185
750	125320	134	1	01-17	16.0			64								60167
750	125320	303	1	01-17	18.0			60								60235
750	125320	108	1	01-17	3.0			12								60123
750	125320	204	1	01-18	3.0			12								60113
750	125320	101	1	01-18	2.0			8								60412
750	125320	108	1	01-18	6.0			24								60401
750	125320	206	1	01-19	1.5			6								60203
750	125320	203	1	01-19	3.0			12								60131
750	125320	108	1	01-19	1.0			4				79			83	60360
750	125320	203	3	01-19	2.0		8						8		1.0	60134
750	125320	900	1	01-19	1.5			6								60137
750	125320	500	1	01-23	1.0			4				11			15	60304
750	125320	101	1	01-23	7.0			28								60453
750	125320	900	3	01-24	1.0		4						4		1.0	60148
750	125320	900	1	01-25	1.5			6								60408
750	125320	106	1	01-25	3.0		12	6					12	6	3.0	67043
750	125320	134	1	01-26	6.0			24								60403
750	125320	123	3	01-27	1.0		4						4		1.0	60153
750	125320	108	1	01-30	15.0			60								60300
750	125320	900	1	01-01	4.0			16								60290
750	125320	204	3	02-02	3.0		12	15					34		3.0	60180
750	125320	134	1	02-03	2.0			8								75049
750	125320	217	3	02-03	1.0		4						4		.5	75051
750	125320	109	1	02-06	16.0			64								533.2
750	125320	121	1	02-06	6.0			24								75056
750	125320	101	1	02-06	2.0			8								75064
750	125320	124	1	02-08	36.0		144									33906
750	125320	203	1	02-08	1.0			4								75068
750	125320	110	1	02-09	1.0			4								48583
750	125320	127	3	02-09	3.0		12						12		1.0	75066
750	125320	203	1	02-10	5.0			20								51001
750	125320	403	1	02-10	4.0			16								47817
750	125320	204	1	02-13	1.0			4								48674
750	125320	204	1	02-13	1.5			6								48674
750	125320	110	1	02-13	2.0			8								48523
750	125320	900	1	02-14	3.5			14								75055
					210.5		64	777		22	109	66	606		12.5	67826
750	125321	110	1	01-13	1.0			4								60113
750	125321	13	1	01-13	1.0			4								60406
750	125321	410	1	01-16	6.5			26								33376
750	125321	108	1	01-17	12.0			48								60408
750	125321	115	1	01-18	4.0			16								48523
750	125321	310	3	01-19	1.0		4						4		1.0	60799
750	125321	106	1	01-23	12.0			48								60132
750	125321	194	1	01-24	2.0			8								60401
750	125321	306	1	01-25	3.0			12								60164
750	125321	190	1	01-25	4.5			18								60158
750	125321	310	3	01-25	4.0		16						16		2.0	60482
750	125321	191	1	01-26	2.0			8								60113
750	125321	203	3	01-26	6.0		16						16		2.0	60409
750	125321	110	1	01-27	2.5			10								40451

INFORME DE REPARACIONES MECANICAS

Figura IV.25

Informe de reparaciones mecánicas

#### **IV.4.6.4. LOS TRES DIECES PRINCIPALES.**

Con el empleo de una computadora, es cosa muy sencilla emitir informes resumidos mensuales de los tres dieces principales, que son las diez máquinas que ostentan el mayor costo mensual por concepto de reparaciones; las que tienen mayor tiempo de paro por mes, y la que paran con mayor frecuencia durante el mes. Dedicarse a corregir las deficiencias de estas maquinas mejorará de inmediato tanto la producción como las funciones de mantenimiento.

#### **IV.4.7. PROGRAMACION DE PERT Y CAMINO CRITICO.**

La computadora mejora grandemente el empleo de los diagramas de flechas PERT y MCC, como medio para conseguir una mejor planeación y control de los trabajos mayores de compostura y reconstrucción. Los trabajos de menor importancia pueden ser analizados empleando una calculadora de escritorio; empero, cuando el número de sucesos o eventos se acerca a 100, los cómputos se llevan muchísimo tiempo cuando se hacen en forma manual, pudiendo ser programados mucho mejor en una computadora.

#### **IV.4.8. INVESTIGACION DE OPERACIONES.**

La computadora ha hecho posible el empleo de la investigación de operaciones, la cual nos capacita para definir con mayor precisión los límites de incertidumbre. Mediante el uso de la programación lineal o matemática, de una simulación Montecarlo, de la teoría de fila de espera, y otras técnicas. El analista de investigación de operaciones puede elaborar un modelo para llegar a un plan óptimo de reposición de componentes. La investigación de operaciones se aplica a situaciones que van desde una sustitución de bombillas eléctricas hasta composturas mayores, y se emplea con eficacia para minimizar el tiempo en que una máquina se encuentra fuera de servicio.

#### **IV.4.9. COSTO DEL SISTEMA PED**

El costo relativo de un sistema electrónico y uno manual, se puede calcular y comparar con una precisión razonable. Lo que resulta más difícil de evaluar, es el ahorro intangible que produce éste por concepto de disponer de información más apropiada, más exacta, con mayor oportunidad. Un sistema así, produce economías importantes; aunque resulta difícil medirlas, sobre todo antes de que se haya instalado el equipo. Mientras más amplia sea la utilización de una computadora, menor será el costo unitario, porque los informes elaborados por el PED servirán al supervisor para mejorar las funciones hasta el punto de que, el adelanto y economía que éste represente, sobrepase lo que cuesten dichos informes; además, con base en los mismos, se puede justificar el reemplazo el equipo de producción viejo y deteriorado y la adquisición de otro nuevo.

## CONCLUSIONES

Al terminar el presente trabajo se obtuvieron las siguientes conclusiones sobre el

### Mantenimiento Preventivo:

- Aumenta la confiabilidad y productividad de cualquier sistema productivo.
- Reduce el tiempo de paro no programado de cualquier equipo productivo.
- Reduce los costo de operación de la maquinaria por concepto de composturas. Cuando una parte falla en servicio, suele echar a perder otras partes y con ello aumenta todavía más el costo de la reparación. Una intervención previa a que se presenten las averías reducirá los costos.
- Mejora la conservación y duración de las cosas dejándose de requerir el reponer equipo antes de tiempo.
- Reduce los costos por concepto de horas extraordinarias de trabajo y una utilización más económica de los trabajadores de mantenimiento, como resultado de laborar con un programa preestablecido, en lugar de hacerlo inopinamente para componer desarreglos.
- Reduce las reparaciones en gran escala, pues son prevenidas mediante reparaciones oportunas y de rutina.
- Identifica el equipo que origina gastos de mantenimiento exagerados, pudiéndose así señalar la necesidad de un trabajo de mantenimiento o bien, el reemplazo del equipo.
- Mejora las condiciones de seguridad.

Para lograr lo anterior es necesario

- Definir operaciones de mantenimiento preventivo a realizar por cada tipo equipo.
- Establecer programa de trabajo el cual debe estar respaldado por el correspondiente presupuestos económico autorizado por la dirección de la empresa.
- Llevar a cabo un estricto control de la mano de obra y materiales involucrados en el punto anterior y basado en el análisis de la constante retroalimentación del desempeño del sistema, identificando continuamente oportunidades de mejora.
- Implantar acciones correctivas cuando sea necesario.

Si el equipo se encuentra en malas condiciones cuando se comienza el programa de mantenimiento preventivo se necesitará gastar adicionalmente con el fin de dejar el vehículo en buenas condiciones de operación y seguridad. En este punto los costos iniciales van a ser altos comparando con el sistema anterior de paros constantes y los beneficios de este programa se van a ver después cuando éste haya tomado fuerza.

El aplicar mantenimiento preventivo a toda clase de equipo sin discriminación no es provechoso desde el punto de vista económico, porque hay equipos que no justifican el gasto, aunque cabe aclarar que el porcentaje de equipo que está en estas condiciones no es muy grande. Para determinar los bienes a los cuales conviene el mantenimiento preventivo hay que tener presente los siguientes aspectos:

- 1.- Si hay posibilidad de que una falla pueda lesionar o hacer que alguien pierda la vida.
- 2.- Si se cuenta con equipo sustituto en caso de descompostura.
- 3.- Si una descompostura perjudicaría los programas de producción.
- 4.- Si el costo de efectuar una inspección de (MP) resulta más oneroso que el de una reparación hasta que ocurra la avería.
- 5.- Si es muy improbable que ocurra una suspensión y/o grave daño con o sin control de (MP).

Es posible que un pequeño período de paro en la producción puede ser el justo nivel desde el punto de vista económico, si se compara el costo de mantenimiento con el del paro. La ausencia total de paros o una realista escasez de ellos es indicio de que hay un exceso de mantenimiento y que el precio de éste es desmesurado y antieconómico. Demasiado mantenimiento puede resultar tan costoso como poco. Cabe aclarar que los paros nunca podrán eliminarse por completo, porque si éste fuese el caso, el costo de un (MP) excesivo neutralizaría sus beneficios. (Ver figura II.3).

**VI BIBLIOGRAFIA**

- 1.- E.T. Newbrough y personal de Albert Ramond Y Asociados., Inc.  
Administración de Mantenimiento Industrial  
Editorial DIANA.
  - 2.- Wilkinson, John J.  
How to manage Maintenance  
Harvard Business Review, 1968.
  - 3.- Irwin Miller  
Probabilidad y Estadística para Ingenieros  
John E.Freund  
Prentice Hall
  - 4.- Higgins and Morrow  
Maintenance Engineering Handbook  
Third Edition  
Mc Graw Hill
- 
- 4.1.- Maintenance of Electric industrial Trucks.  
Pages:10-1 -- 10-7  
Gilbert M. Krebs  
Manager, Service Training Material Handling Division.  
Otis Elevator Company, Cleveland, Ohio.
  - 4.2.- Maintenance of Internal combustion Engine industrial Trucks.  
Pages:10-9 -- 10-17  
Robert E. DOE  
Product Evaluation Manager, Clark Equipment Company.  
Michael Fatt  
Product Merchandising Manager, Clark Equipment Company. Battle  
Creek, Mich.
  - 4.3.- Maintenance Stores and Inventory Control.  
Pages:11-1 -- 11-18  
John C. Martin  
Consultant, Headquarters Manufacturing, Wstinghouse Electric  
Corporation, Pittsburgh, Pa

- 5.- **Métodos Estadísticos para Solucionar Problemas de Mantenimiento/ Revista Quality Progress, Vol 22, Núm., 5, Mayo 1989, Páginas 55-60 por: J.Michael Brick, John R. Michael and. David Morganstein.**
- 6.- **" Planned Replacement: Some Theory and its Application," Journal of Quality Technology By G.J.Glasser, 1, 110-119, 1969.**
- 7.- **Statistical Models and Methods for Life Time Data ( New York: John Wiley & Sons 1982) By Lawless, J.F.**

## **APENDICES**

- |                   |   |
|-------------------|---|
| <b>Apéndice A</b> | <b>Método de Simulación Montecarlo</b>                      |
| <b>Apéndice B</b> | <b>Uso de equipo adicional</b>                              |
| <b>Apéndice C</b> | <b>Mantenimiento por Fallas Vs Mantenimiento Preventivo</b> |
| <b>Apéndice D</b> | <b>Mantenimiento Preventivo Vs Fallas Otro enfoque</b>      |
| <b>Apéndice E</b> | <b>Mantenimiento por Fallas Vs Reemplazo por bloques.</b>   |
| <b>Apéndice F</b> | <b>Reemplazo económico de equipo.</b>                       |

## METODO DE SIMULACION MONTECARLO

Conocido desde hace mas de 30 años es el "Método de Simulación Monte Carlo", que puede interesar cuando la frecuencia de las averías y la duración de las reparaciones no se rija por las leyes estadísticas conocidas, es decir entre las más habituales, la Ley de Poisson, la Ley Exponencial. La mejor forma de estudiar este método se articula a través de un ejemplo.

Supóngase un parque de 30 montacargas. Habrá que comenzar por analizar la distribución estadística de las averías, habiéndose registrado 73 averías, siendo el histograma de distribución de intervalos entre dos averías consecutivas el representado en la figura A.1. Del mismo modo se supone el histograma de distribución de la duración de las reparaciones en la figura A.2.

Se puede constatar mediante estos histogramas, representativos del fenómeno real que:

- Los intervalos entre dos averías, para estos equipos , oscilan entre 10 y 19 horas.
- La duración de las reparaciones varía entre 8 y 18 horas.

Se deduce de ésto, que existe la probabilidad de que las máquinas tengan que esperar hasta comenzar a ser reparadas en caso de averías y, de que en otras ocasiones, el mecánico esté desocupado.

Habrá que determinar estas probabilidades mediante la simulación, utilizando una serie de números aleatorios (obtenidos de unas tablas especiales o generados mediante una computadora).

Con objeto de tener una abscisa para cada ordenada, se obtienen las distribuciones acumuladas, en porcentaje, de los histogramas anteriores, distribuciones que vienen representadas en las figuras A.3 y A.4.

Supóngase que el primer número hallado al azar, entre 0 y 100 sea por ejemplo 30, se tendrá entonces:

- De la figura A.3, el intervalo que corresponde es de 12 hrs.
- Sobre la figura A4, el intervalo que corresponde es de 11 hrs.

Continuando con el proceso se pueden simular, por ejemplo 20 averías al azar. Los resultados se representan en la figura A.5.

Es preciso destacar que se han utilizado series diferentes de números aleatorios para operar con los intervalos y con las duraciones. Ver figura A.6.

Se supone que la primera avería surge en el tiempo 0 y que el mecánico comienza a trabajar de inmediato.. Esta avería desencadena, pues todo el proceso ( de ahí el tiempo de espera nulo para el mecánico y para la máquina) y, de acuerdo con el azar, la duración de esta reparación resulta ser de 15 horas.

La segunda avería tiene lugar a las 18 horas, pero el mecánico estaba disponible desde las 15 horas, de donde se deduce que estuvo inactivo 3 horas. El tiempo de reparación de esta segunda avería es de 9 horas, de ahí que el mecánico vuelva a quedarse libre después de  $18 + 9 = 27$  horas.

La tercera avería aparece 16 horas más tarde :  $18 + 16 =$  a la 34va hora (ver figura A.5), de tal forma que el mecánico sigue inactivo, de nuevo, durante 7 horas. Procediendo de este modo se han obtenido los siguientes resultados:

Tiempo total de espera de máquinas: 11 horas.  
o sea  $11/263 = 4.3 \%$

Tiempo total de inactividad del mecánico: 26 horas,  
o sea  $26/263 = 9.9 \%$

A partir de estos datos, se pueden efectuar ciertos cálculos:

- Número medio de máquinas en espera de reparación:

$$f = 30 * 4.3\% = 1.26 \text{ máquinas}$$

- Número medio de máquinas en reparación:

$$N_n = 1 - 0.099 = 0.901 \text{ máquinas}$$

- Número medio de máquinas paradas:

$$f + N_n = 1.26 + 0.901 = 2.16 \text{ máquinas}$$

- Número medio de máquinas en marcha:

$$N_m = 30 - 2.16 = 27.84$$

Para obtener unos resultados más seguros, convendrá simular un número de veces superior a 20. Para ello se utiliza el computador. La figura A.7 representa el diagrama de flujo para el proceso mecanizado.

DISTRIBUCION DE LOS INTERVALOS ENTRE AVERIAS

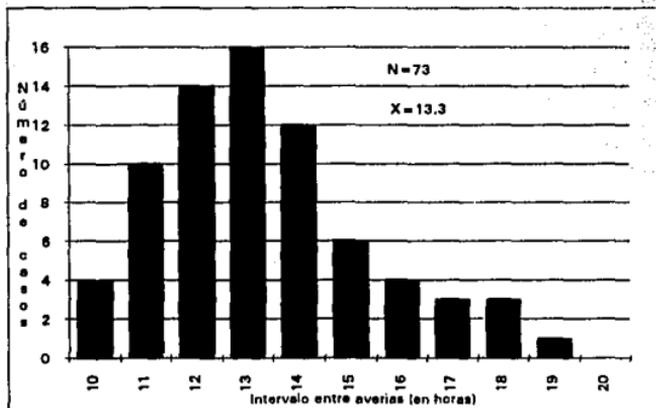


Fig. A.1

x	f	f <sub>x</sub>	SUM f	%SUM f
10	4	40	4	5.48%
11	10	110	14	19.18%
12	14	168	28	38.36%
13	16	208	44	60.27%
14	12	168	56	76.71%
15	6	90	62	84.93%
16	4	64	66	90.41%
17	3	51	69	94.52%
18	3	54	72	98.63%
19	1	19	73	100.00%
20	0	0	73	100.00%
TOTALES	73	972		

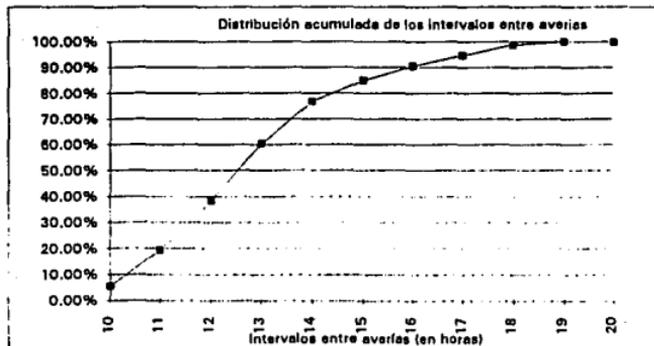


Fig. A.3

DISTRIBUCION DE LA DURACION DE LAS REPARACIONES

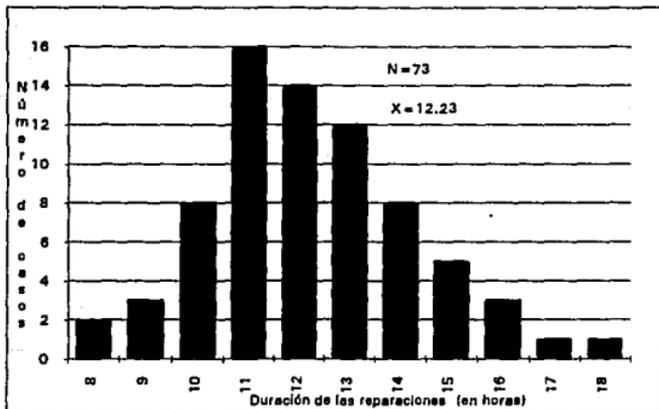


Fig. A.2

x	f	Ex	SUM f	(SUM f)
8	2	16	2	2.743
9	3	27	5	6.853
10	8	80	13	17.813
11	16	176	29	39.733
12	14	168	43	58.903
13	12	156	55	75.343
14	8	112	63	86.303
15	5	75	68	93.153
16	3	48	71	97.263
17	1	17	72	98.633
18	1	18	73	100.003
<b>TOTALES</b>	<b>73</b>	<b>893</b>		

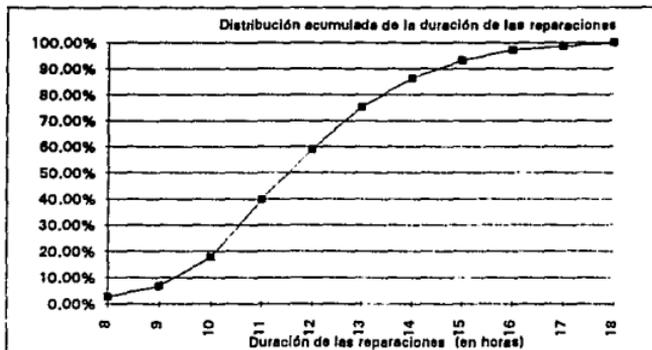


Fig. A.4

Simulación de 20 averías y reparaciones

A	B	C	D	E	F	G
Item	Intervalo entre averías	Acum. intervalo entre averías	Duración de la reparación	Acumulado duración de la reparación	Espera de máquina	Espera del mecánico
1	0	0	15	15	0	0
2	18	18	9	27	0	3
3	16	34	13	47	0	7
4	11	45	10	57	2	0
5	12	57	11	68	0	0
6	11	68	11	79	0	0
7	12	80	15	95	0	1
8	14	94	11	106	1	0
9	12	106	11	117	0	0
10	14	120	10	130	0	3
11	13	133	11	144	0	3
12	11	144	13	157	0	0
13	14	158	16	174	0	1
14	14	172	13	187	2	0
15	11	183	10	197	4	0
16	13	196	12	209	1	0
17	16	212	12	224	0	3
18	15	227	11	238	0	3
19	13	240	13	253	0	2
20	12	252	10	263	1	0
					11	26

Figura A.5

Muestra simulada de 20 intervalos de averías y duraciones de reparación				
INTERVALOS DE AVERIAS			DURACION DE LA REPARACION	
Item	Número de Azar	Intervalo de averías fig. A.3	Número de Azar	Duración de la reparación fig. A.4
1		0	91	15
2	97	18	4	9
3	88	16	72	13
4	12	11	12	10
5	22	12	30	11
6	16	11	32	11
7	24	12	91	15
8	64	14	29	11
9	37	12	33	11
10	62	14	8	10
11	52	13	25	11
12	9	11	74	13
13	64	14	97	16
14	74	14	70	13
15	15	11	15	10
16	47	13	43	12
17	86	16	42	12
18	79	15	25	11
19	43	13	71	13
20	35	12	14	10

Figura A.6

Diagrama de simulación mediante ordenador

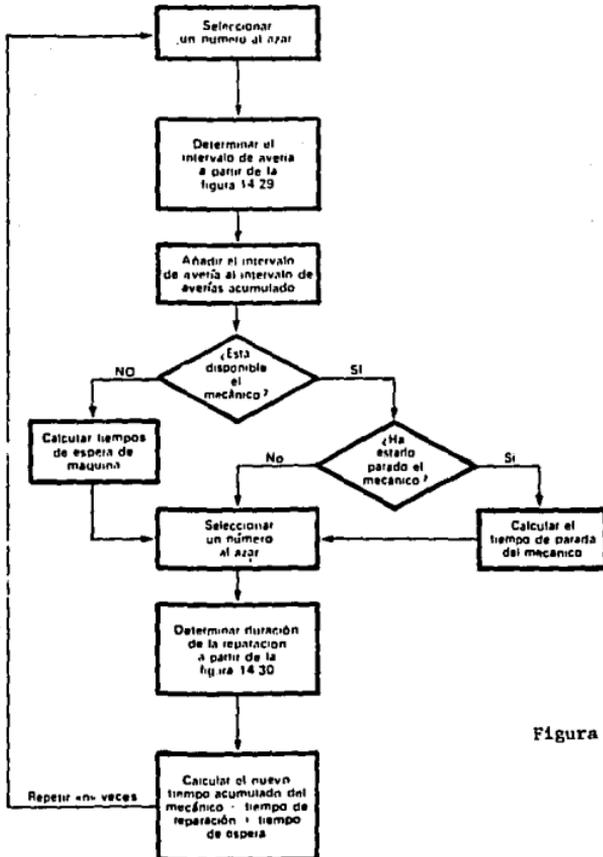


Figura A.7

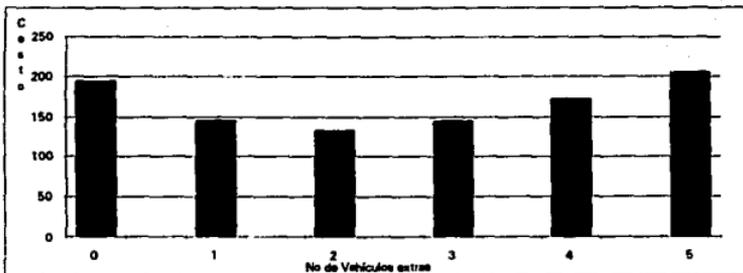
## USO DE EQUIPO ADICIONAL

El mantenimiento preventivo no tiene tanta importancia cuando la producción se halla en niveles bajos, que cuando es muy intensa. En niveles bajos hay capacidad de sobra, excepto cuando una de las máquinas es la única en su especie. Si hay varias máquinas, poco importa que una de ellas se descomponga. La producción puede transferirse a otra máquina y no se provocará un paro. La máquina que necesita servicio puede repararse cuando se pueda hacerlo, a su debido tiempo, sin que el personal de mantenimiento resienta pérdidas o costos elevados a causa de la descompostura. La capacidad excedente entra en funciones, en cierto sentido, en lugar de la conservación preventiva.

Esta misma idea se aplica al programa de mantenimiento preventivo cuando la operación se halla en un nivel alto. La capacidad de producción de reserva puede tenerse a mano para apelar a ella si surgen dificultades. Esta capacidad excedente quizá consista en máquinas completas o en las piezas principales o componenetes que por lo general tardan en conseguirse. Que esto se haga o no es cuestión de calcular los costos. Cuesta dinero tener en existencia piezas o unidades completas de reserva; pero, reduce los costos de las interrupciones causadas por descomposturas.

Supóngase que sea necesario tener trabajando una flotilla de 20 montacargas de horquilla y que cueste 40 dólares diarios poseer cada carro adicional. Si sólo 1 o 2 de los 20 carros no funcionan, el trabajo de todos modos pueden hacerlo operarios con carros de mano (carretillas), aunque con un costo extra de 50 dólares por cada montacargas descompuesto. Sin embargo, si están descompuestos 3, 4 ó 5 montacargas, esto ya es excesivo; los carretilleros no pueden darse abasto. Habrá paros en la producción durante el día y costos de tiempo extra de noche, hasta que los montacargas restantes pongan el trabajo al corriente. Así los costos son de 100 dólares al día por cada montacargas adicional descompuesto. Si se descomponen más de 5 en cualquier tiempo, se afectará gravemente el trabajo de producción y el costo será de 500 dólares por cada montacargas descompuesto después de 5.

La Figura B.1 muestra la forma en que funcionan los diversos costos. La columna de probabilidades se basa en el registro del número de veces en que se han descompuesto los montacargas en el pasado. Para hacer el cálculo se multiplican las cifras de la columna de costos, en orden, por la columna de probabilidad. La suma vertical de la columna de cada costo previsto muestra el costo promedio de los montacargas fuera de servicio en un tiempo determinado. Estos totales bajan notablemente cuando hay más y más montacargas de reserva. Pero cuando se añade el costo de los montacargas de reserva, como se indica en la figura B.1, pronto llega un momento en que este costo compensa con creces la pérdida de los montacargas ociosos. En este ejemplo, vale la pena poseer una flotilla de 22 montacargas de horquilla, en prevision de que de vez en cuando se descompongan menos de 3.



Veh. Extras		0		1		2		3		4		5	
No de Veh. descompletos	Prob. de falla	Costo (dólares)	Costos Preventivos sin Veh. extras	Costo con 1 Veh. extra	Costos Preventivos con 1 Veh. extra	Costo con 2 Veh. extra	Costos Preventivos con 2 Veh. extra	Costo con 3 Veh. extra	Costos Preventivos con 3 Veh. extra	Costo con 4 Veh. extra	Costos Preventivos con 4 Veh. extra	Costo con 5 Veh. extra	Costos Preventivos con 5 Veh. extra
0	0.09	0	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
1	0.3	50	15	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
2	0.25	100	25	50	12.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
3	0.15	200	30	100	15.0	50	7.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
4	0.1	300	30	200	20.0	100	10.0	50	5.0	0	0.0	0	0.0
5	0.05	400	20	300	15.0	200	10.0	100	5.0	50	2.5	0	0.0
6	0.03	900	27	400	12.0	300	9.0	200	6.0	100	3.0	50	1.5
7	0.02	1400	28	900	18.0	400	8.0	300	6.0	200	4.0	100	2.0
8	0.01	1900	19	1400	14.0	900	9.0	400	4.0	300	3.0	200	2.0
Subtotal:			194		106.5		53.5		26.0		12.5		5.5
Costo adicional de los extras			0		40.0		80.0		120.0		160.0		200.0
Costo Total:			194		146.5		133.5		146.0		172.5		205.5

Figura B.1

**MANTENIMIENTO POR FALLAS VS MANTENIMIENTO PREVENTIVO.**

En ocasiones, la conservación preventiva exige que se revisen a fondo grupos enteros de máquinas y no hacerlas trabajar hasta que se descompongan. En estos casos es también posible calcular que norma es más conveniente poner en práctica.

Supóngase, por ejemplo, que es necesario mantener en servicio 50 máquinas y que pueden revisarse completamente sobre bases preventivas con un costo de 200 dólares de reacondicionamiento. Una norma tal evitará la mayoría de las descomposturas, si es que casi todas. Empero, por otra parte, sería posible esperar a que las máquinas se descompusieran. Las reparaciones, sin embargo, cuestan 700 dólares. la experiencia demuestra que las descomposturas ocurrirán en la forma mostrada en la figura C.1.

Hay dos preguntas que formular y que contestar. La primera es ¿debe seguirse una norma de reacondicionamiento preventivo? La segunda es, en caso afirmativo, ¿con qué frecuencia debe hacerse la revisión completa de las máquinas?

El primer paso es hallar lo que costaría una norma de descomposturas y reparaciones. El tiempo promedio previsto entre descomposturas, "Te", puede encontrarse aplicando esta fórmula:

$$T_e = \sum_n^M (T_n \cdot P_n)$$

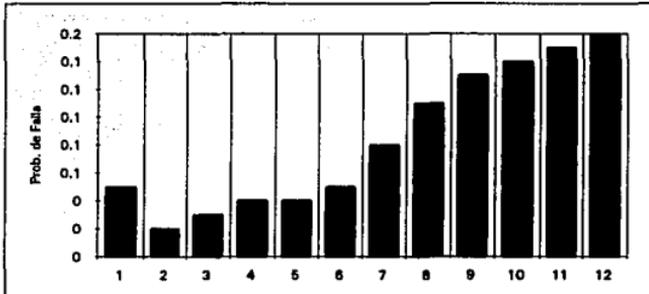
en la que "Tn" es el número de meses después de la reparación, "Pn" es la probabilidad de una descompostura, "n" es el número de meses y "M" es el total de meses ( 12 en el ejemplo).

La norma de descomposturas y reparaciones indica que se tendría que reparar las máquinas cada 8.42 meses. Esto costará 50 X 700 dólares, o sea 35,000 dólares cada 8.42 meses; que equivale a 4,157 dólares al mes.

En este ejemplo, la probabilidad de reparar no obedece a ninguna fórmula o norma matemática, de modo que la única manera de calcular el costo de una regla de reparaciones preventivas es calcular sus costos en cada norma optativa. En este ejemplo, se da por sentado que de vez en cuando el trabajo de reparación no se ejecuta bien y que es necesario volver a hacerlo casi inmediatamente. Si una máquina reparada pasa el primer mes sin necesitar más reparaciones, hay pocas probabilidades de que las necesite hasta que empiece a desgastarse más.

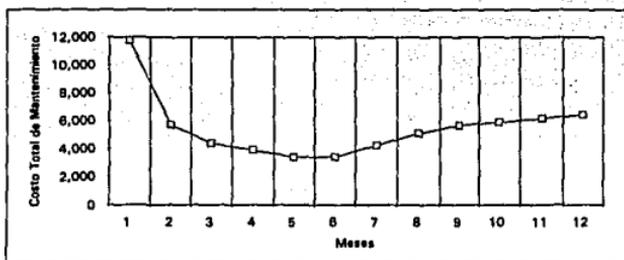
Es necesario, primeramente, calcular el número probable de descomposturas que ocurran con cada norma ( reacondicionamiento cada mes, cada dos meses, cada tres meses, etc.). Si cada máquina se revisara totalmente cada mes, las reparaciones por descompostura se limitarían a sólo las que ocurriesen dentro de un mes a partir de la reparación. En cambio, si cada máquina se revisa totalmente cada dos meses, habrá descomposturas, tanto a causa de las de que correspondan al primer mes debido a que algunas de las máquinas que se repararon en el primer mes se descompondrán nuevamente en el segundo, antes de la revisión programada.

Las cifras de costo de cada norma de mantenimiento (revisión total preventiva por máquina cada mes o cada dos meses, o cada tres, Etc) se dan en la figura C.2. Estas cifras, se ven graficadas en la misma figura C.2, donde se muestra que debe usarse el mantenimiento preventivo. Deberá hacerse la revisión general cada 5 o 6 meses. Una norma de este tipo costaría 3,130 dólares al mes, obteniéndose un ahorro de 1,207 dólares al mes, en relación con los 4,157 dólares mensuales de costo con la norma de descomposturas y reparaciones.



Meses después de la revisión completa o de reparación (Tn)	Probabilidad de descompostura grave (Pn)	Tn * Pn	Probabilidad acumulada de descompostura grave.
1	0.05	0.05	0.05
2	0.02	0.04	0.07
3	0.03	0.09	0.10
4	0.04	0.16	0.14
5	0.04	0.20	0.18
6	0.05	0.30	0.23
7	0.08	0.56	0.31
8	0.11	0.88	0.42
9	0.13	1.17	0.55
10	0.14	1.40	0.69
11	0.15	1.65	0.84
12	0.16	1.92	1.00
<b>Totales:</b>	<b>1.00</b>	<b>8.42</b>	

Figura C.1



Conservación preventiva cada M meses	Total de descomposturas previstas en M meses	Número promedio de descomposturas en M meses	Costos de descomposturas por mes (dólares)	Costo de conservación preventiva por mes (dólares)	Costos total de mantenimiento preventivo y reparaciones
1	2.50	2.50	1,750	10,000	11,750
2	2.00	1.00	700	5,000	6,700
3	4.50	1.50	1,050	3,333	4,383
4	8.00	2.00	1,400	2,500	3,900
5	10.00	2.00	1,400	2,000	3,400
6	15.00	2.50	1,750	1,667	3,417
7	28.00	4.00	2,800	1,429	4,229
8	44.00	5.50	3,850	1,250	5,100
9	58.50	8.50	4,550	1,111	5,681
10	70.00	7.00	4,900	1,000	5,900
11	82.50	7.50	5,250	909	6,159
12	96.00	8.00	5,600	833	6,433

Figura C.2

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO VS FALLAS OTRO ENFOQUE.**

El tener cero fallas de equipo no previstas por mantenimiento es señal de que se está incurriendo en gastos excesivos por este concepto. Por otro lado el tener muchas fallas es señal de un pobre mantenimiento preventivo, por tanto es siempre necesario determinar el punto óptimo que equilibre los costos.

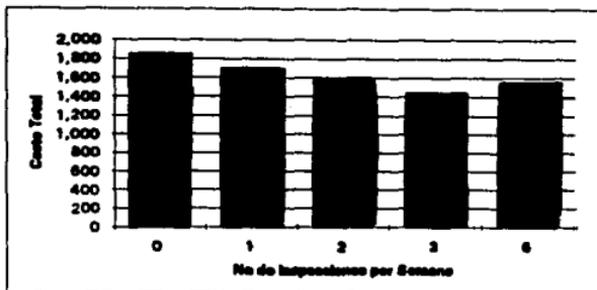
Como la mejor manera de clarificar ésto es a través de un ejemplo, éste se presenta a continuación.

Al tratar de reducir los costos de conservación, el supervisor de mantenimiento ha procurado revisar todas las máquinas frecuentemente y sin regularidad. La inspección frecuente seguida de la reparación inmediata de máquinas que la necesitan ha reducido el número de reparaciones de emergencia. Los resultados del experimento han mostrado lo siguiente:

Número de inspecciones por semana	Número de reparaciones de emergencia	Número de reparaciones preventivas
0	37	0
1	20	39
2	14	44
3	8	47
6	2	52

Las reparaciones preventivas cuestan 15 dólares cada una y las de emergencia 50 dólares. La inspección cuesta 1.5 dólares cada una para 75 máquinas en el departamento. ¿ cuántas inspecciones semanales deben programarse?

La figura D.1, dice que el costo de los servicios preventivos es para cualquier opción ( No de inspecciones por semana), la suma de las columnas "D" y "F". El costo de las Reparaciones de Emergencia es lo indicado en la columna "E". De la misma manera el Costo Total viene representado en la columna "G". Con esta columna se concluye que el costo menor se obtiene con 3 inspecciones por semana.



A	B	C	D	E	F	G
No. RISP. POR SEMANA	No. REPARACIONES DE EMERGENCIA	No. REPARACIONES PREVENTIVAS	COSTO DE C	COSTO DE B	COSTO DE A	COSTOS TOTALES POR SEMANA
0	37	0	0	1,850	0	1,850
1	20	39	585	1,000	113	1,698
2	14	44	660	700	225	1,585
3	8	47	705	400	338	1,443
6	2	52	780	100	675	1,555
<b>TOTALES</b>	<b>81</b>	<b>182</b>	<b>2,730</b>	<b>4,050</b>	<b>1,350</b>	

Figura D.1

**MANTENIMIENTO POR FALLAS VS REEMPLAZO POR BLOQUES**

En muchas ocasiones es conveniente cambiar grupos homogeneos de recursos. Por ejemplo, es más barato reemplazar grupos de focos del alumbrado público, que cambiarlos en forma individual.

Por lo general, se utilizan políticas de reemplazo de grupo cuando el costo del reemplazo individual después de una falla es alto y la probabilidad de que ocurra dicha falla se incrementa con el tiempo. Si el costo del reemplazo de todo un grupo es G y el costo de reemplazo individual cuando estos recursos fallan es I(t), donde t es el período transcurrido desde el último reemplazo, entonces el costo total por reemplazo de grupo en un ciclo completo es:

$$G+I(t) \tag{1}$$

Si T es el período de reemplazo de un grupo, el costo promedio de reemplazo del grupo es :

$$C=(G+I(t)) \cdot \frac{1}{T} \tag{2}$$

Este costo se ilustra en la figura E. 1. El problema consiste en encontrar la T que minimiza (2). Lo anterior se dificulta, no por el proceso analítico, sino por el cálculo del valor explícito de G.

Ejemplo. Supóngase que el tramo de salida de la carretera Toluca-Morelia tiene 150 lámparas de sodio, cada una con un valor de \$ 100 y se le puede reemplazar durante la noche del domingo a un costo fijo de \$ 5,000. Por lo tanto el costo de reemplazo de todo el grupo es de :

$$\$100 (150) +5,000=\$20,000 \tag{3}$$

Sin embargo, si se tiene que reemplazar una sola unidad, el costo será de \$ 300 por unidad. Se tienen registros estadísticos de las fallas ocurridas en las últimas 8 semanas.

Los cálculos resumidos en esta tabla indican que el reemplazo óptimo de grupo debe realizarse cada 5 semanas.

1	2	3	4	5	6	7
e semana T (T)	No de focos reemplazados	Costo promedio de reemplazo $G=20,000/T$	Costo de reemplazo individual $300X(2)$	Costo de reemplazo individual acumulado (I)	(5)/(1)	(3)+(6)
					I/T	(G + I)/T
1	3	20,000	900	900	900	20,900
2	4	10,000	1,200	2,100	1,050	11,050
3	7	6,667	2,100	4,200	1,400	8,067
4	12	5,000	3,600	7,800	1,950	6,950
5	18	4,000	5,400	13,200	2,640	6,640
6	28	3,333	8,400	21,600	3,600	6,933
7	40	2,857	12,000	33,600	4,800	7,657
8	55	2,500	16,500	50,100	6,263	8,763

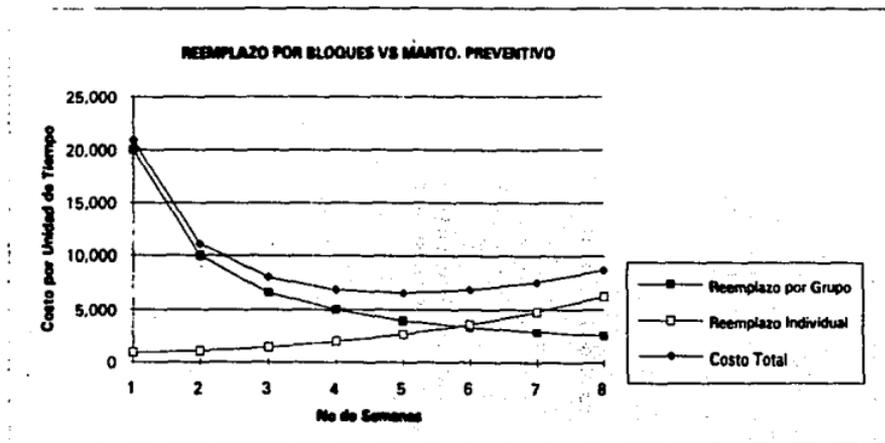


FIGURA E.1

**REEMPLAZO ECONOMICO DE EQUIPO**

Suponga que se adquiere maquinaria nueva con un valor de \$ 3000. En la tabla E.1 se presenta una estimación de lo que costaría operar anualmente esa máquina en el transcurso de 7 años, así como su valor de salvamento, ( el precio de venta de la máquina despues de n años de uso). El costo de operación de la máquina incluye el consumo de lubricantes, combustible, seguros, mantenimiento preventivo y reparaciones . Lo primero que se observa es que con el tiempo el costo de operación aumenta mientras el valor de salvamento disminuye.

Año	1	2	3	4	5	6	7
Costo de Operacion (Rn)	600	700	800	900	1,000	1,200	1,500
Valor de salvamento (Sn)	2,000	1,333	1,000	750	500	300	300

Tabla F.1

La información de la tabla F.1, más el costo de adquisición de la máquina en estado original, sugiere la elaboración de un costo por año ( ver tabla F.2), donde:

(1)

$$C_a = \frac{\sum_{n=0}^k R_n + D_p}{n}$$

Por depreciación (Dp) en el año "n " se entiende:

(2)

$$D_p = C - S_n$$

Año	1	2	3	4	5	6	7
Costo de Operacion (Rn)	600	700	800	900	1,000	1,200	1,500
Valor de salvamento (Sn)	2,000	1,333	1,000	750	500	300	300
Costo Op. Acumulado	600	1,300	2,100	3,000	4,000	5,200	6,700
Depreciación	1,000	1,667	2,000	2,250	2,500	2,700	2,700
Costo Total	1,600	2,967	4,100	5,250	6,500	7,900	9,400
Costo por año	1,600	1,484	1,367	1,313	1,300	1,317	1,343

Tabla F.2

Si el dinero tuviera el mismo valor a futuro que en el presente (obviamente éste no es el caso), la tabla F.2 sugiere que la máquina debe reemplazarse durante el quinto año de operación ; entonces el costo por año es el menor de todos los considerados en el horizonte de planeación.

La decisión anterior no sólo es sensible al factor de descuento (Valor Presente) asociado a los recursos económicos , también lo es al uso que se le ha dado al equipo, si éste, en vez de ser nuevo, tuviera un año de operación, la decisión asociada al período de reemplazo sería otra. En efecto, cambiaría el costo acumulado de operación , la depreciación en el año  $n$  ( $n > 1$ ) y el costo de adquisición de una máquina nueva. Si se reemplaza al iniciar el año 5 ( y se contempla un horizonte de planeación de 7 años), habrá que comprar una máquina nueva que dure por lo menos 3 años ( quinto, sexto y séptimo períodos) a un costo de \$ 4,100 ( ver tabla F.2). En este caso, como se muestra en la tabla F.3, el período óptimo de reemplazo sería en el año 4 .

	C	D	E	F	G	H	I	J
23								
24	Año		2	3	4	5	6	7
25	Costo de Operación (Rn)		700	800	900	1,000	1,200	1,500
26	Valor de salvamento (Sn)		1,333	1,000	750	500	300	300
27	Costo Op. Acumulado		700	1,500	2,400	3,400	4,600	6,100
28	Depreciación		667	1,000	1,250	1,500	1,700	1,700
29	Costo Total		1,367	2,500	3,650	4,900	6,300	7,800
30	@		7,900	6,500	5,250	4,100	2,967	1,800
31	Costo del reemplazo		9,267	9,000	8,900	9,000	9,267	9,400
32								
33	@ Costo para adquirir una máquina que debe durar 7-n-ñ años							
34	Costo del reemplazo =Suma de los últimos renglones							
35								
36								

Tabla F.3

A continuación se incluye el criterio de valor presente en la tarea de reemplazo. Supóngase que:

C : Costo del recurso, cuando es nuevo

S<sub>n</sub> : Valor de salvamento en el año n

R<sub>n</sub> : Costo de Operación en el año n

(3)

$$V^n = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Valor presente de un peso n años en el futuro a una tasa de interes i%.

El valor presente del costo de reemplazo al finalizar el año

(4)

$$P = C - (V^n * S_k) + \sum_{n=0}^k V^{n-1} * R_N$$

El Valor Presente de todos los pagos realizados en la vida útil de un recurso que dura K años es equivalente a pagos fijos anuales determinados por:

(5)

$$f(k) = \frac{i}{(1-V^n)} * (C - (V^n * S_k) + \sum_{n=0}^k V^{n-1} * R_N)$$

El problema de reemplazo se reduce a encontrar el valor de "k" que minimiza (5). Utilizando los datos de la tabla F.1 y un interes anual del 10 %, se quiere encontrar el período óptimo de reemplazo. Los cálculos se encuentran en la tabla F.4. El horizonte de planeación es de 6 años y C = \$ 3,000.00.

B	C	D	E	F	G	H	I	J	
42	ITEM	Año	1	2	3	4	5	6	7
43	1	Costo de Operacion (Rn)	600	700	800	800	1,000	1,200	1,500
44	2	$V^n$	0.9091	0.8264	0.7513	0.6830	0.6209	0.5646	0.5132
45	3	Valor de salvamento (Sn)	2,000	1,333	1,000	750	500	300	300
46	4	$V^n S_n$	1,818	1,102	751	512	310	169	154
47	5	$V^n(n-1) \cdot R \cdot n$	600	636	661	676	683	746	847
48	6	Costo Op. (Rn) Acumulado	600	1,236	1,898	2,574	3,257	4,002	4,849
49	7	Depreciación = 3000(4)	1,182	1,898	2,248	2,488	2,690	2,831	2,848
50	8	Costo Total	1,782	3,136	4,146	5,061	5,946	6,832	7,696
51	9	$(B) \cdot V^n / (1 - V^n)$	1,960	1,806	1,667	1,597	1,569	1,569	1,581
52	Tabla F.4								
53									

El reemplazo óptimo debe ejercerse al inicio del quinto año, resultando idéntico al caso sin criterio de calor presente. Sin embargo el costo cambia en ese año de \$1,300 ( sin criterio de valor presente) a \$1,569 con criterio de valor presente, reduciendo las ganancias . Esto indica que la máquina debe producir anualmente \$1,569 para estar en el punto de equilibrio.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
42	ITEM	Año	1	2	3	4	5	6	7
43	1	Costo de Operacion (Rn)	600	700	800	900	1,000	1,200	1,500
44	2	$V^n$	0.9091	0.8264	0.7513	0.6830	0.6209	0.5646	0.5132
45	3	Valor de salvamento (Sn)	2,000	1,333	1,000	750	500	300	300
46	4	$V^n Sn$	1,818	1,102	751	512	310	169	154
47	5	$V^n(n-1)*R^n$	800	636	661	676	683	745	847
48	6	Costo Op. (Rn <sup>n</sup> ) Acumulado	600	1,236	1,898	2,574	3,257	4,002	4,849
49	7	Depreciación=3000/(4)	1,182	1,898	2,248	2,488	2,660	2,831	2,846
50	8	Costo Total	1,782	3,136	4,146	5,061	5,946	6,832	7,696
51	9	$(8) * I / (1 - V^n)$	1,960	1,806	1,667	1,597	1,569	1,569	1,581
52									
53	Tabla F.4								

El reemplazo óptimo debe ejercerse al inicio del quinto año, resultando idéntico al caso sin criterio de valor presente. Sin embargo el costo cambia en ese año de \$1,300 ( sin criterio de valor presente) a \$1,569 con criterio de valor presente, reduciendo las ganancias . Esto indica que la máquina debe producir anualmente \$1,569 para estar en el punto de equilibrio.