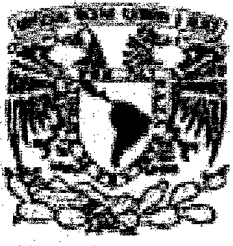


01134

2005

Sandoval Partida, Armando



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESPECIALIDAD

**SEGURIDAD EN INSTALACIONES INDUSTRIALES DE EXPLOTACIÓN
PETROLERA**

TESINA

**OBTENCIÓN DE LA FIABILIDAD EN UN SISTEMA HIDRÁULICO
UTILIZANDO LA TEORÍA: "ÁRBOL DE FALLA CINÉTICO"**

ARMANDO SANDOVAL PARTIDA

Director de tesina: M. en I. José Ángel Gómez Cabrera

México, D.F. Ciudad Universitaria. Enero 2005

m 343644



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 esta 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.

Prólogo

Una empresa es un ente capaz de generar riqueza, ya sea ofreciendo un servicio o vendiendo un producto. En las últimas cuatro décadas la lucha por permanecer en el mercado y en la mente de los consumidores ha sido fuerte y será aun mayor en los tiempos por venir.

La creación de un departamento encargado de saber cuales son las necesidades de los consumidores, nivel de satisfacción; además de una ingeniería capaz de satisfacer las necesidades estéticas y un departamento de ventas que sea capaz de introducir el bien generado: son verdaderos departamentos que han desarrollado toda una ciencia con el fin de "arrebatar" y posicionarse o acaparar todo el mercado.

La fiera competencia, ha llevado a cada empresario a la necesidad de comparar los resultados de su competidor con los propios, a nivel nacional e internacional como lo demanda la actual situación económica. Para nadie es desconocido el gran auge económico que en menos de 30 años ha sido motivo de admiración y reconocimiento de los llamados tigres asiáticos, y es de parte de estos empresarios que han surgido las principales ideas para la generación de un producto con las más altas calificaciones en calidad.

Los Estados Unidos de Norteamérica enfocaban sus planes basados en la inspección y en la generación de equipo para la misma; a lo largo de una línea de manufactura, no era raro encontrarse con muchos puntos de supervisión y por consecuencia con muchos procedimientos de corrección que elevaban el costo de producción. Esta operación es realizada por un ser humano, por lo complejo que resultaba la inspección u otros factores se generaba una serie de errores que impedían que los productos salieran al mercado a un precio accesible.

Los países asiáticos no solo lograban producir a un menor precio, también grandes cantidades y con calidades que pasaron de ser aceptables a ser reconocidas.

Ahora se sabe que la clave de estos niveles de producción se debe en gran medida a la disciplina de sus trabajadores en hacer las cosas bien y a la primera, al trato más humano que reciben en sus instalaciones, programando paros, ejercicios, convivencias, etc. Y el perfecto estado de la maquinaria así como las líneas de producción.

"Perfecto estado de las líneas de producción y la maquinaria" es; en este punto donde se genera una de las revoluciones industriales más importante de las últimas décadas. Y era obvio pensar en este hecho, pues son maquinas las que generan nuevas maquinas, si las primeras están mal sin duda el producto estará mal.

La idea de generar una línea que presente un grado de confiabilidad, disponibilidad, el menor numero de fallas y reparaciones son indicadores de la capacidad de la maquina para producir un bien a un precio u a otro.

El departamento que se encarga del "perfecto" funcionamiento de los equipos en la línea productiva es el mantenimiento; las empresas de origen nacional y trasnacionales en México no han podido crear una conciencia a sus trabajadores, para mantener un bajo nivel de fallas, que no se debe ser reactivos si no preventivos y que no se puede confiar en el personal de 15 años de antigüedad y que los ingenieros carecen de los conocimientos para hacer frente a la nueva tecnología entre otros factores que en suma provocan que este sea el departamento mas conflictivo y que mayor gasto represente sobre el producto final.

Durante el estudio de la especialidad se enseñó nuevas técnicas de análisis tanto de procesos químicos, como de estructuras funcionales, técnicas que ayudan no solo al gerente o representante en jefe del departamento a establecer los criterios para una capacitación adecuada, también a desarrollar planes eficaces para prever las fallas, puntos de inspección razonables y planes de respuesta certeros en caso de una desviación (muy distinto al termino falla).

La motivación para la realización de este trabajo: es el establecer la diferencia en reaccionar ante una falla y el preverla bajo los dos esquemas: el tradicional y la ingeniería de confiabilidad. Para ello es necesario el contar con un problema real o practico que se encuentra en un nivel tradicional y que pueda ser llevado a una ingeniería de confiabilidad.

Para tal fin se ha consultado un folleto que representa la más tradicional forma de administrar un departamento de mantenimiento y la forma en que son atacadas las fallas, lleva por titulo "Análisis lógico de problemas en sistemas hidráulicos". La publicación data del año 1984 y es editada por la firma Vickers reconocida en el mercado por la fabricación de sistemas hidráulicos, y como un servicio a sus clientes proporciona esta referencia para que sea entendida la forma en que deben ser atacadas las fallas que presenta un sistema hidráulico en general. Se anexa una copia en el apéndice A.

La técnica supone que el sistema esta funcionando correctamente en un tiempo determinado y ejecuta todas las funciones para el cual ha sido pensado. Una falla o una sintomatología de operación han sido puestas en manifiesto. Los mecánicos se disponen a investigar por medio de la prueba y el error en donde se encuentra la causa de la falla, para ello se auxilia de los algoritmos propuestos en el folleto para examinar componente por componente si fuese necesario. La experiencia y el conocimiento sobre el sistema son fundamentales y debe ser mayor a un 50 % según el folleto. Después de una exhaustiva búsqueda la cual implica entre otras cosas perdidas de tiempo para encontrar la falla y repararla (como lo ilustra el ejemplo de la página 40 del folleto).

La ingeniería de la fiabilidad cumple otro rol en este tipo de problemas, desde su forma de atacar la desviación y no la falla, pues esta ultima es prevenida desde sus orígenes. ¿Cómo se realiza y se ejecuta una ingeniería de fiabilidad? Es el objetivo del presente trabajo.

En un último sondeo (bolsa de trabajo publicada en Internet: www.occ.com), los perfiles de los aspirantes a un puesto administrativo en el área del mantenimiento, se pide que conozcan diferentes técnicas de análisis de fallas y su solución bajo un esquema más científico que empírico. Esta es una noticia atrasada en 40 años.

20 de Enero de 2005, Ciudad Universitaria, UNAM
Armando Sandoval Partida

Índice

			Pág.
Prólogo			2
Índice			4
Capítulo	1	Principios Fundamentales	6
Capítulo	2	Cuantificación de una falla	8
	2.1	Probabilidad y Confiabilidad	8
	2.2	Proceso de la operación a la falla	9
	2.3	Proceso completo: reparación-falla-reparación	16
	2.4	Relación entre los procesos de reparación a la falla	19
	2.5	Relación entre los procesos de falla a la reparación	20
Capítulo	3	Métodos analíticos para determinar la falla de un componente	23
	3.1	Árbol de falla	24
	3.1.2	Forma de construir un árbol de falla	24
	3.2	Análisis de los modos y efectos de las fallas	27
Capítulo	4	Árbol de falla cinético (KTT)	29
	4.1	Procedimiento y cálculos mediante KTT	33
	4.1.2	Cálculos para "Evento básico"	35
	4.1.3	Cálculos para "Conjunto mínimo de corte"	37
	4.1.4	Cálculos para "Evento superior"	39

Capítulo	5	Estudio de Caso	42
	5.1	Conociendo al sistema	44
	5.1.1	Subsistemas y su función	45
	5.2	Descripción de componentes	47
	5.3	Análisis preliminar de fallas	51
	5.4	Diagrama de bloques	64
	5.5	Determinación de los conjuntos mínimos de corte	64
Capítulo	6	Análisis cuantitativo	67
	6.1	Cálculo de fiabilidad en los eventos básicos	72
	6.2	Cálculo de las variables de fiabilidad para los conjuntos mínimos de corte	77
	6.3	Cálculo de las variables de fiabilidad para el evento tope	80
	6.4	Análisis de resultados sobre el sistema	81
Conclusiones			86
Bibliografía			91
Apéndice A.		“Análisis Lógico de Problemas en Sistemas Hidráulicos”	92
Apéndice B.		“Tablas de cálculos de fiabilidad”	93

Principios fundamentales

Una de las principales características que denota la ciencia de la fiabilidad es su propia definición: "Es la habilidad que presenta un elemento o componente para desempeñar su función bajo ciertas condiciones de operación en un periodo de tiempo". En otras palabras la fiabilidad se refiere a la longitud de tiempo que un elemento puede usarse antes de que se descomponga.

Evaluar el término de fiabilidad justo en el ámbito de su utilización denota diferentes tópicos por ejemplo:

___ en la etapa de diseño, realizar una planeación estratégica en base a las especificaciones que deben cumplirse para lograr el menor costo (mejorar la fiabilidad incrementa los costos de producción pero reduce los costos por operación).

___ en la etapa de fabricación, se debe tener un estricto control sobre el producto fabricado, el cual debe cumplir con las especificaciones del diseño, para este fin existen métodos de análisis y de inspección propios para asegurar la fiabilidad en la fabricación.

___ en la etapa de operación, retroalimentar las condiciones de operación de un sistema para establecer su funcionalidad normal o anormal así como localizar de forma rápida y efectiva las desviaciones de operabilidad, establece nuevos criterios sobre próximos diseños o fabricaciones, procedimientos de inspección, operación y prueba entre otras virtudes.

Al referirnos a un sistema, partimos del supuesto que esta compuesto por uno o varios componentes. Así un sistema se define como un conjunto de componentes que interactúan entre sí. Todos los componentes son capaces de fallar al no cumplir con la función o la misión para la cual fueron concebidos. La falla de un componente puede ser súbita o gradual, total o parcial, cada modalidad representa diferentes escenarios incluso si la falla es analizada al inicio de la misión, en pleno desarrollo o al final. Así mismo puede realizarse el análisis si se pretende valorar los efectos de un evento catastrófico.

Los tipos de falla son clasificados en términos del modo de falla: operando, en espera, bajo cargas, etc. Los componentes pueden ser reparables o no reparables. Un componente puede ser reparable si es restaurado a su condición original después de haber fallado sin que ello implique alguna anomalía a la capacidad de operación del sistema. El carácter de "reparable" que se da a un componente puede ser en cierta forma determinado de acuerdo a la misión o función que desempeña el componente. Un sistema puede ser concebido para que desarrolle diferentes funciones; cuando la misión del sistema es prevenir que ocurra una falla con consecuencias desastrosas la fiabilidad adquiere un carácter de seguridad.

El concepto de condición de operación no solo se refiere a las circunstancias físicas de trabajo en que se encuentra el sistema desempeñando su función (temperatura, presión, humedad, etc.)

también hace referencia a las condiciones de modos de operación y mantenimiento. Sobre una operación continua o intermitente la falla es evidente pero en un estado de mantenimiento esta ya no lo es.

La disponibilidad define la continuidad de la misión o función que desempeña un sistema. Un sistema estará disponible si se encuentra en estado operacional y no en estado de falla a causa de reparaciones o mantenimiento. La disponibilidad también puede definirse como la capacidad de entrar en operación.

La fiabilidad de un sistema también se relaciona con el tiempo medio entre fallas que es simplemente el tiempo promedio durante el cual el sistema funciona entre una descompostura y la siguiente. Entre más prologado sea el tiempo mas confiable será el sistema.

El mantenimiento se refiere a la restauración de un sistema para volver al estado de servicio, una vez que ha fallado. Un alto nivel de mantenimiento es deseable pues se considera a un sistema confiable cuando se puede reparar en un tiempo relativamente corto y tenerse disponible. El mantenimiento se puede medir en relación al tiempo promedio entre las reparaciones del sistema.

Así, un sistema se debate entre la falla y la reparación, el hecho de que nada se encuentra en estado de perfecto funcionamiento por siempre, obliga a pensar en como medir la falla, reparación, funcionalidad y obtener una idea de la fiabilidad del sistema.

Un sistema va a fallar y es necesario establecer el modo y las consecuencias, pero ¿Cuándo?, esta incertidumbre solo puede ser tratada por medio de la probabilidad o incertidumbre. Esto le da a la ingeniería de fiabilidad un carácter probabilístico y deben ser conocidos los métodos que se utilizan para determinar esta incertidumbre.

Cuantificación de una falla

2.1 Probabilidad y confiabilidad

Se cuenta con un elemento que conforma al sistema hidráulico a analizar posteriormente tomado del folleto técnico Pág.40 anexo A, el cual cumple con la función de desplazar en ambos sentidos un vástago por orden de una servo válvula el cual se representa en la Fig. 2.1

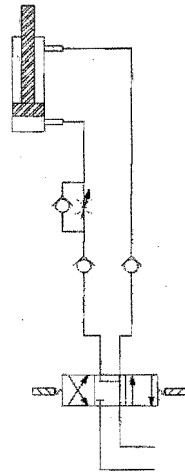


Fig.2.1.1 Pistón hidráulico y actuador

Este elemento es responsable por la fijación del lingote de acero sí, este dispositivo falla se establecerá un escenario de paro total hasta que pueda ser reparada. Cada uno de los componentes presenta dos estados; en operación o en falla para cualquier tiempo dado y estos estados se pueden presentar en un ciclo de tiempo totalmente definido. El esquema de este comportamiento se muestra en la Fig. 2.2

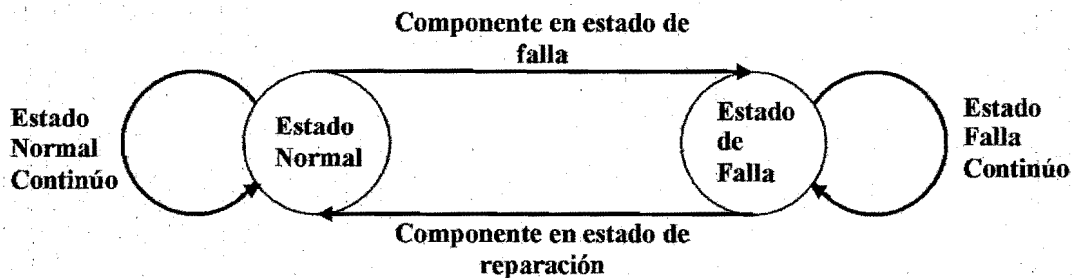


Fig. 2.1.2 Estados de transición de un componente

Analizar el diagrama presentado en la figura 2.2, establece que el componente estará en un estado de operación (N. de A. la referencia 1 de la bibliografía lo identifica como reparación y así se tomara en el presente trabajo aunque en realidad se hable de un estado de operación) o de falla en

algún tiempo dado después de su arranque y que puede cambiar de un estado a otro en la vida operativa del mismo. Así un componente nuevo entrara al estado de operación normal y la falla aparecerá como resultado de uso por diversas razones las cuales pondrán al componente en un estado de transición al estado de falla con respecto al tiempo. La falla puede permanecer por siempre en el componente si este se considera como no reparable. Un componente es reparable si después de haber fallado puede ser repuesto a su estado normal de funcionamiento.

Se identifican dos estados de transición básicos: cuando se va al estado de operación normal se conoce como un *periodo de transición en reparación*, y cuando el componente va al estado de falla el *periodo de transición en falla*. Claro esta que el componente reparado deberá ser colocado en condiciones de operación semejantes a cuando era nuevo.

Dos ciclos completos presenta un componente con estas características de operación que se repiten a lo largo de la vida útil del componente: el ciclo de la operación a la falla y el ciclo de la falla a la operación.

2.2 Proceso de la operación a la falla.

Se elige un componente que presenta un estado binario de operación, para el caso se toma el pistón-actuador de la figura 2.1. El fabricante toma una población de 100 sistemas pistón-actuador y los somete a pruebas de operación sin reparación lo cual sitúa dentro del proceso de la reparación a la falla. El tiempo de prueba es de 5 años de operación útil.

La falla del componente está representada por un proceso estocástico, es decir, la aparición de la falla corresponde a un fenómeno aleatorio. La *fiabilidad* $R(t)$, en este ejemplo, es la probabilidad de operación a un tiempo t incluido, y es el numero de componentes que trabajo adecuadamente entre el numero de la población seleccionada. Similarmente, *No-fiabilidad* $F(t)$ es la probabilidad de que el componente falle a un tiempo t , sin incluir éste, y es obtenida dividiendo el número total de componentes que fallaron antes de un tiempo t , por el número de la población seleccionada. A partir de datos de operabilidad del componente dados por el fabricante y presentados en la tabla 2.3.1 la confiabilidad y la no-confiabilidad son calculados en la tabla 2.3.2 y graficados en 2.3.1.

Tabla 2.2.1 Datos de operabilidad*

t = está en meses; $L(t)$ = es número de componentes que operaron a un tiempo t

t	$L(t)$	t	$L(t)$	t	$L(t)$
0	500	15	276	50	21
1	450	20	234	55	15
2	438	25	109	60	4
3	421	30	87		
4	398	35	54		
5	380	40	41		
10	321	45	36		

*Los datos son ficticios propuestos solo para ejemplo.

Al graficar $R(t)$ versus t , se obtendrá una distribución de elementos que operaron y la representación $F(t)$ versus t , una distribución de los componentes que fallaron. De estas representaciones se puede

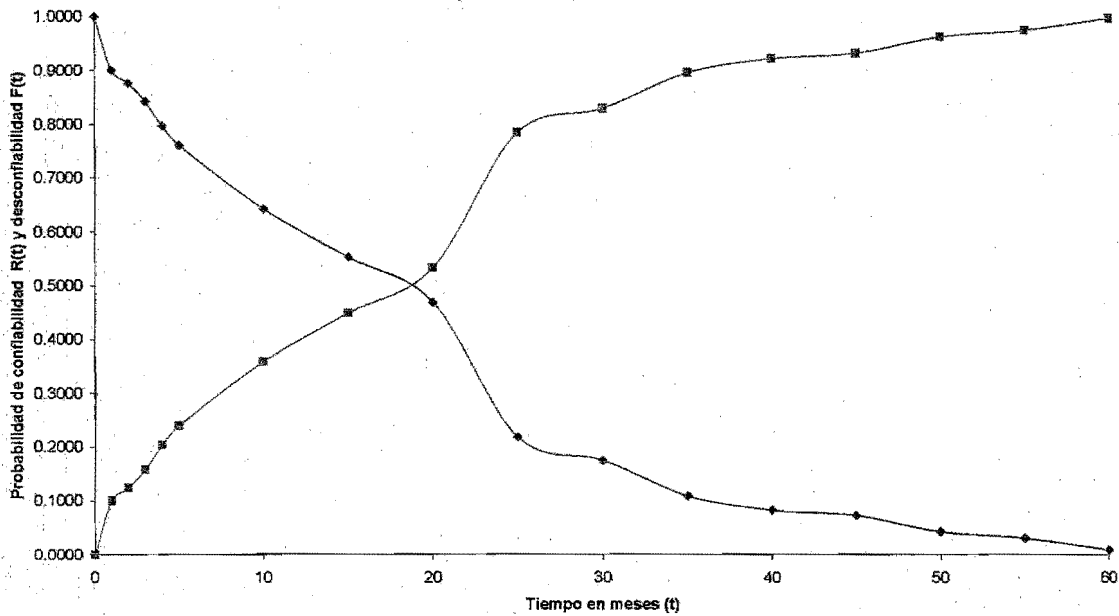
obtener la probabilidad de operación de un componente en un tiempo t y la proporción de la población que se espera que no falle en un tiempo t .

t en meses	L(t) numero de componentes que operaron	$R(t) = \frac{L(t)}{N}$	$f(t) = 1 - R(t)$
0	500	1.0000	0.0000
1	450	0.9000	0.1000
2	438	0.8760	0.1240
3	421	0.8420	0.1580
4	398	0.7960	0.2040
5	380	0.7600	0.2400
10	321	0.6420	0.3580
15	276	0.5520	0.4480
20	234	0.4680	0.5320
25	109	0.2180	0.7820
30	87	0.1740	0.8260
35	54	0.1080	0.8920
40	41	0.0820	0.9180
45	36	0.0720	0.9280
50	21	0.0420	0.9580
55	15	0.0300	0.9700
60	4	0.0080	0.9920

Tabla 2.2.2 Distribución de la confiabilidad y la No-confiabilidad

Para la introducción de herramientas matemáticas como la integral es necesario graficar el comportamiento del componente en relación a una de sus dos modalidades, la de operación o la de falla. Como el interés es encontrar un número que establezca la probabilidad de que un componente falle dado un tiempo de operación dentro de su vida útil se elige el modo de falla. Para tal fin se grafica en forma puntual y con una línea suavizada se sigue la tendencia de los componentes que fueron fallado a o largo de la vida útil. La grafica 2.2.2 muestra la línea suavizada a partir de los puntos obtenidos.

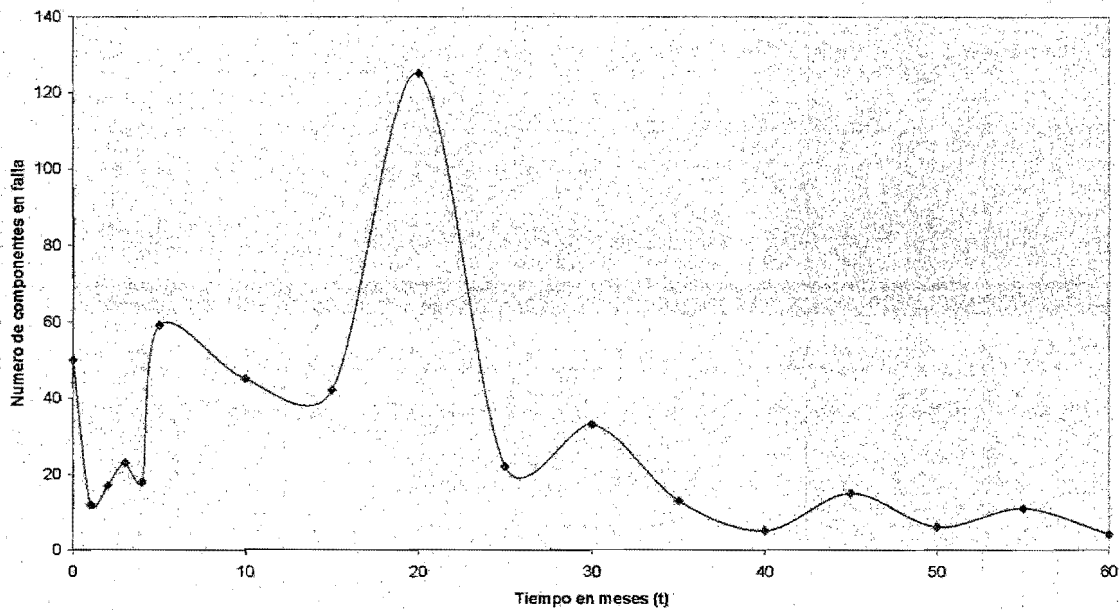
Distribución de operabilidad y falla



Grafica. 2.2.1 Distribuciones de confiabilidad y no-confiabilidad

En probabilidad se maneja un rango de valores que van desde el cero a la unidad y que en este rango se puede establecer las probabilidades de operación y de falla respectivamente representadas por dentro del modo de operación falla. Por tal motivo es necesario normalizar la grafica 2.2.2.

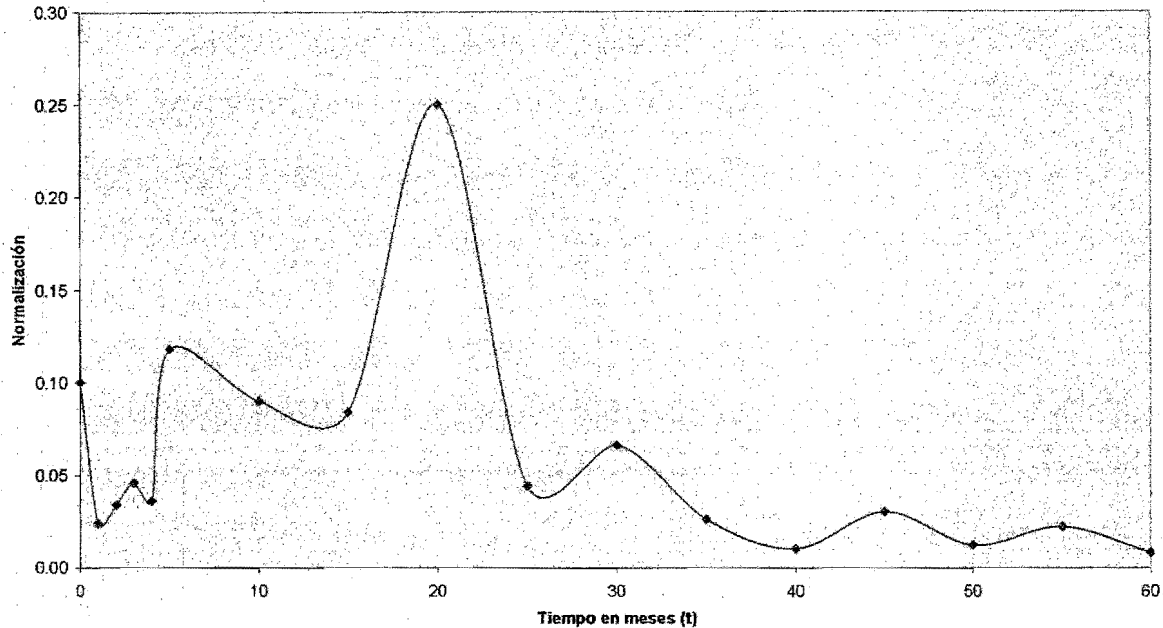
Línea suavizada



Grafica 2.2.2 Línea suavizada que marca la Tendencia de la falla del sistema pistón-actuador

Para tal fin se divide el numero de fallas presentadas en un tiempo t entre el numero total de la población. La grafica 2.2.3 representa la normalización.

Grafica normalizada



Grafica. 2.2.3 normalización de la población

Un análisis de la grafica 2.2.3 permite ver que solo el 25 % de toda la población fallo en un periodo de servicio de 20 meses. Claro esta que las condiciones bajo las que fueron operadas tienen una gran influencia en el resultado y para poder establecer que el dispositivo tendrá un comportamiento similar se deberá asegurar que funciona en condiciones muy semejantes a las de prueba.

La curva que representa el comportamiento del componente en la modalidad de falla se le conoce como la densidad de falla $f(t)$ la cual proporciona el numero de componentes que fallaron entre la población total. De la densidad de falla se puede extraer la tasa de falla $r(t)$ la cual se define como la probabilidad de que un componente falle por unidad de tiempo en un tiempo especifico dado para un solo componente dentro de la población. Así la tasa de falla indica la probabilidad que tendrá un componente de fallar por unidad de tiempo.

Como ejemplo se toma un tiempo cero donde, de los 500 componentes fallaron 50, entonces la tasa de falla esta dada por la cantidad de componentes que fallaron en el tiempo cero dividido entre los que no fallaron en este mismo tiempo. Esto es de 50 entre 500 es 0.1, 0.1 de los 500 componentes fallaran en un tiempo cero.

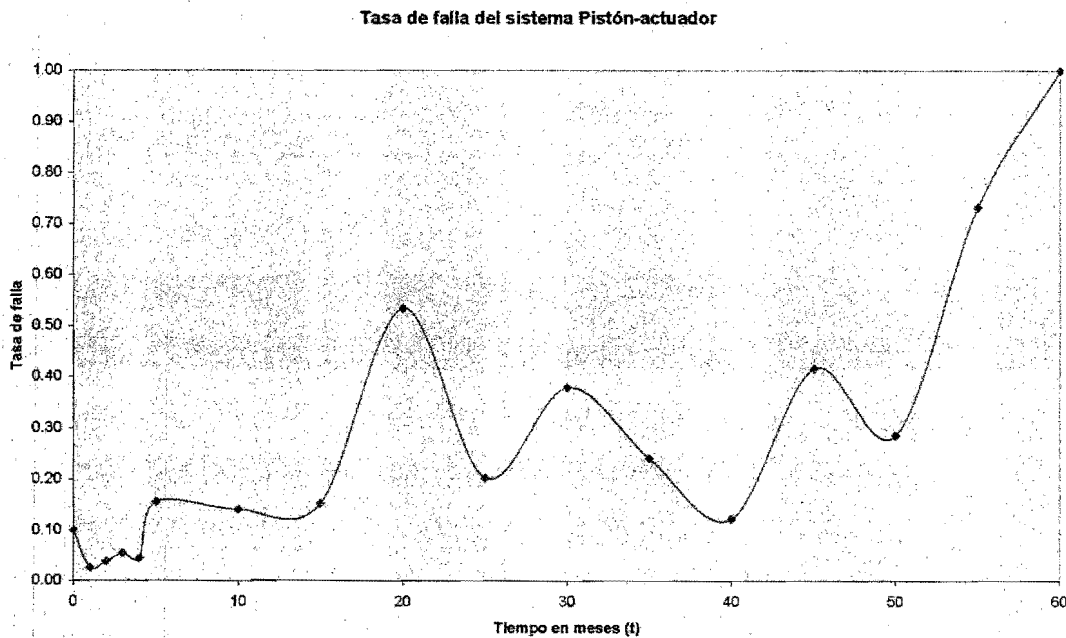
La tasa de falla esta dada por la siguiente ecuación:

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

Donde ambas funciones están representadas por alguna ecuación en función del tiempo, para el presente caso solo se toman los valores puntuales.
 En la grafica 2.2.4 se representa la tasa de falla calculada en la tabla 2.2.3 la cual representa un resumen de los principales cálculos para obtener la tasa de falla.

t en meses	L(t) número de componentes que operaron	$R(t) = \frac{L(t)}{N}$	$f(t) = 1 - R(t)$	$n(t + \Delta) - n(t)$ Número de fallas	$f_{\Delta}(t) \cong \frac{n(t + \Delta) - n(t)}{\Delta \cdot N}$	$r(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$
0	500	1.0000	0.0000	50.0000	0.1000	0.100000
1	450	0.9000	0.1000	12.0000	0.0240	0.026667
2	438	0.8760	0.1240	17.0000	0.0340	0.038813
3	421	0.8420	0.1580	23.0000	0.0460	0.054632
4	398	0.7960	0.2040	18.0000	0.0360	0.045226
5	380	0.7600	0.2400	59.0000	0.1180	0.155263
10	321	0.6420	0.3580	45.0000	0.0900	0.140187
15	276	0.5520	0.4480	42.0000	0.0840	0.152174
20	234	0.4680	0.5320	125.0000	0.2500	0.534188
25	109	0.2180	0.7820	22.0000	0.0440	0.201835
30	87	0.1740	0.8260	33.0000	0.0660	0.379310
35	54	0.1080	0.8920	13.0000	0.0260	0.240741
40	41	0.0820	0.9180	5.0000	0.0100	0.121951
45	36	0.0720	0.9280	15.0000	0.0300	0.416667
50	21	0.0420	0.9580	6.0000	0.0120	0.285714
55	15	0.0300	0.9700	11.0000	0.0220	0.733333
60	4	0.0080	0.9920	4.0000	0.0080	1.000000

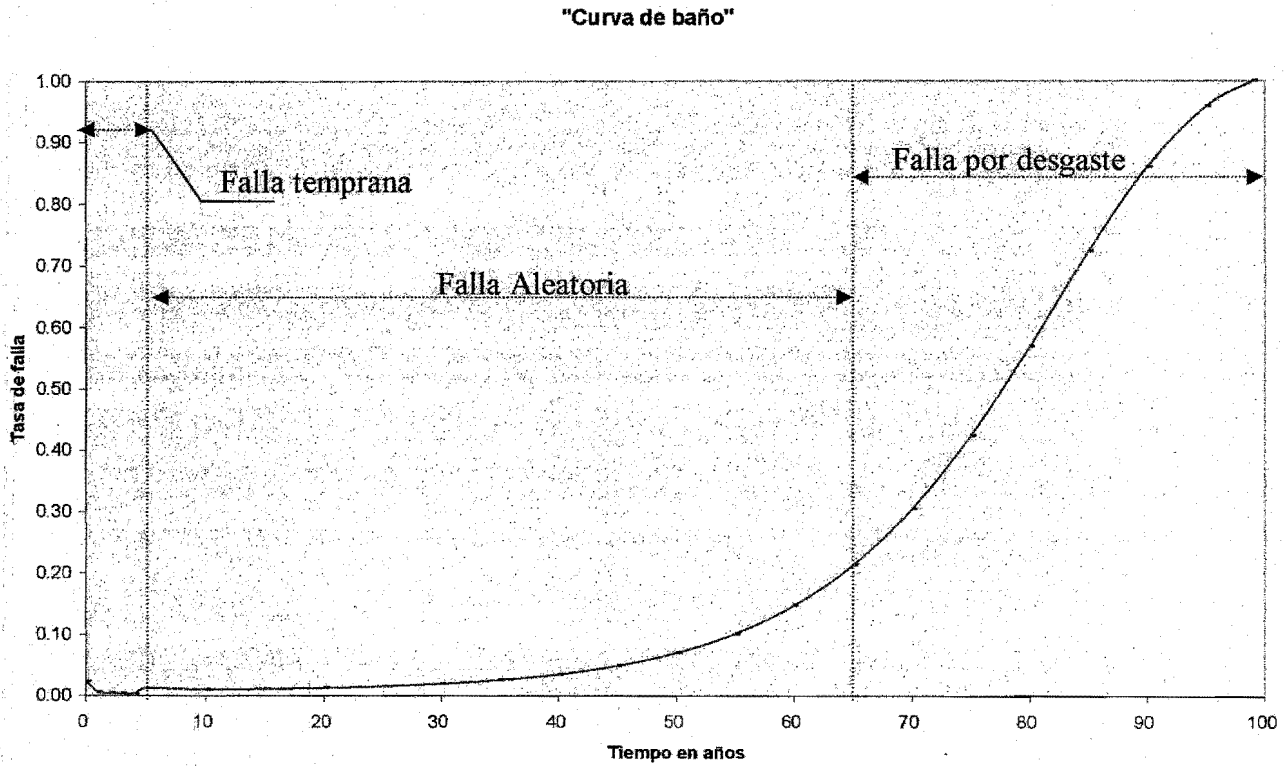
Tabla 2.2.3 Cálculos generales para la obtención de La tasa de falla del componente pistón-actuador



Grafica 2.2.4 Tasa de falla de componente pistón-actuador.

Generalmente se espera un comportamiento clásico de los componentes que presentan un estado de funcionamiento binario. Es llamada curva de baño y presenta las siguientes características:

Una tasa de falla alta al inicio de su operación, una tasa de falla no muy frecuente pero aleatoria en una fase de la vida útil intermedia y una tasa de falla frecuente en una periodo de su vida útil cercano al final. La grafica 2.3.5 representa dicho comportamiento.



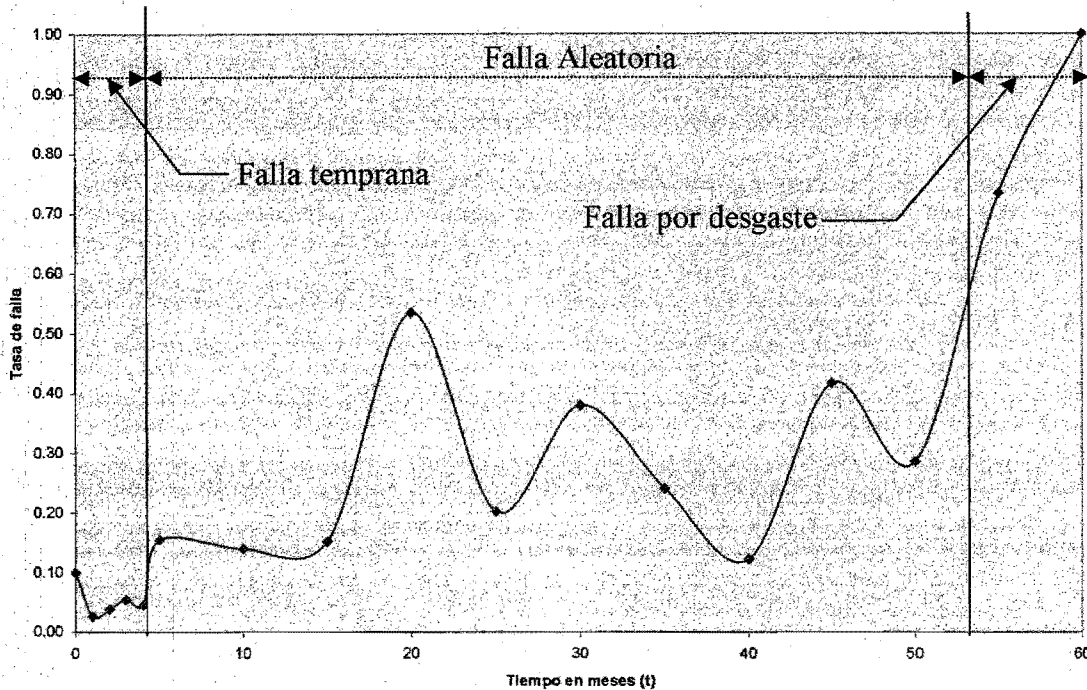
Grafica. 2.2.5 Comportamiento de la tasa de falla para un componente con estado binario de falla

Como es apreciable, a pesar de la evidente veracidad del comportamiento de la falla que sigue un componente en las condiciones mencionadas no todas son características evidentes de una falla temprana, aleatoria y por desgaste. Se sigue un comportamiento semejante pero con características de comportamiento diferente.

De aquí la importancia de realizar experimentación en cada uno de los componentes del sistema para fijar la tasa de falla que lo represente mejor. En la práctica esto se da de forma natural al registrar los modos de falla de cada componente.

En resumen se puede establecer una tasa de falla del componente pistón-actuador en el tiempo. De acuerdo con la grafica 2.3.4 se puede inferir que presenta un intervalo de tiempo bastante grande en donde la probabilidad de falla aleatoria se establece entre un 20 y un 50 por ciento. Datos reveladores de varias situaciones entre ellas:

Tasa de falla del sistema Pistón-actuador



Gráfica 2.2.6. Resumen de la tasa de falla del sistema pistón-actuador

Como el equipo se considera sin reparación, los problemas están relacionados con el diseño o con la fabricación.

- Diseño
 - Material,
 - Dimensiones
 - Periféricos Inapropiados
 - Condiciones del medio de trabajo
 - Etc.
- Fabricación
 - Falta de procedimientos estandarizados, calificados, etc.
 - Falta de supervisión en toda la línea,
 - Personal no capacitado
 - Etc.

La estructura de la grafica 2.3.5 establece un comportamiento razonable de un componente bien diseñado y fabricado con las mismas etapas pero de forma mejor distribuida.

Esta es la manera en la que se puede determinar la rapidez de falla de un solo componente con estado binario de funcionamiento pero que no es reparable, para el caso de ser reparable se debe tener nuevos parámetros de fiabilidad que puedan describir el proceso. Obviamente este proceso incluye el proceso de la reparación a la falla y de la falla a la reparación en forma completa y determinar las expresiones que lo describen.

2.3. Proceso completo; reparación-falla-reparación

Un componente que es reparable experimenta repeticiones de procesos de falla a la reparación y viceversa. La característica de cada componente puede ser obtenida de manera independiente o considerando al todo el sistema como un solo componente. Se toman 10 componentes que conforman a un sistema y en la grafica 2.4.1 se ilustra el comportamiento a lo largo de 10 horas. Todos ellos se consideran nuevo por lo tanto en tiempo cero saltan al estado de operación normal. Para una mejor descripción de la fiabilidad del sistema es necesario establecer los siguientes parámetros:

Disponibilidad $A(t)$ en un tiempo t es la probabilidad que presenta un componente al inicio de su trabajo u operación. Está es el numero de componentes que entraron en operación normal en un tiempo t dividido entre el total de ensayos realizado al mismo tiempo.

No-disponibilidad $Q(t)$ es la probabilidad de un componente esté en estado de falla en un tiempo específico t y es igual al numero de componentes que fallaron en un tiempo t específico dividido entre el total de eventos dados en este tiempo.

Intensidad de falla no condicionada $w(t)$ es la rapidez con que un componente va a fallar en un tiempo específico t . El número esperado de fallas $W(t_1, t_2)$ puede ser determinado a partir del conocimiento de la intensidad de falla de cada componente multiplicada por un intervalo de tiempo y sumando cada uno de ellos en el intervalo de interés.

Intensidad de reparación (operación) no condicionada $v(t)$ y el número esperado de componentes que operarán en un intervalo de tiempo se define de forma muy similar pero en sentido inverso a $w(t)$ y $W(t_1, t_2)$. Los costos debido a las fallas y a las operaciones pueden evaluarse en términos económicos si se conoce los costos por operación o por pérdidas de producción.

Intensidad de falla condicionada $\lambda(t)$ es la proporción de la población normal que se espera que falle por unidad de tiempo en un tiempo t .

Intensidad de reparación (operación) $\mu(t)$ es la proporción de la población que se espera que operara por unidad de tiempo en un tiempo t .

Una vez definidos los parámetros para un sistema se presenta el siguiente ejemplo para mostrar la forma de obtener los parámetros basados en la figura 2.3.1. Primero debe suponerse que se trata de componentes que forman parte de un sistema, para el caso del presente trabajo pueden tomarse los sistemas integrados del sistema hidráulico.

Para obtener los parámetros $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $r(t)$, $A(t)$, $Q(t)$, $w(t)$, $W(0, t)$ y $\lambda(t)$ para los 10 componentes. Como primer paso se debe cuantificar los tiempos en que esta en operación (reparación) y en falla y obtener un tiempo en que aparece la falla de acuerdo a la figura 2.4.1 se muestra esta información en la tabla 2.3.1

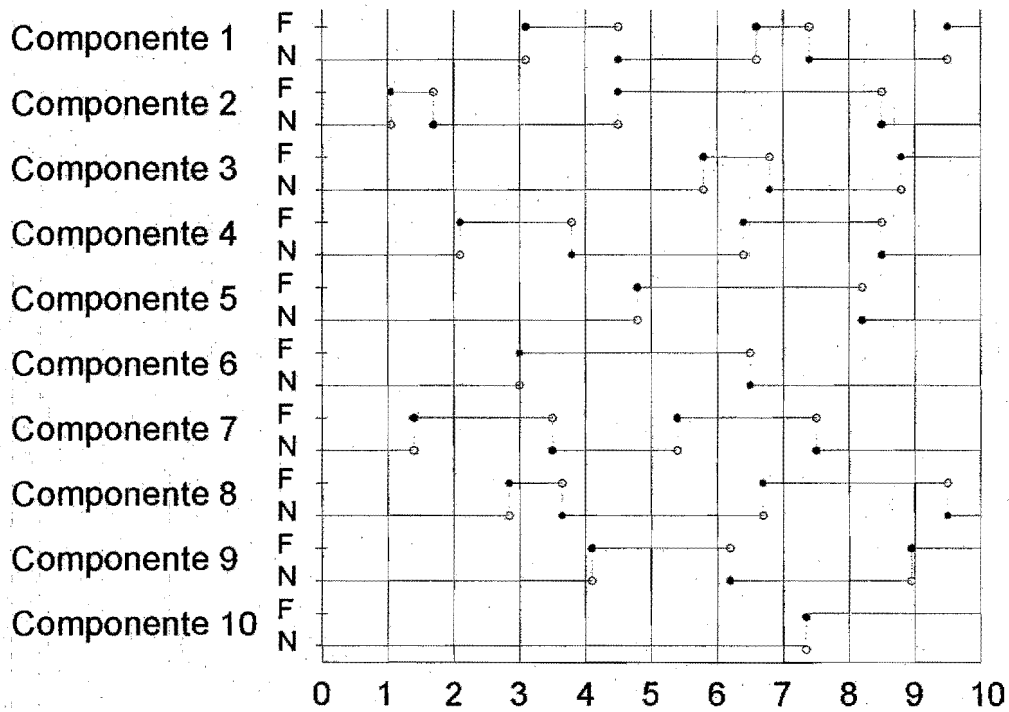


Figura 2.3.1 Comportamiento de 10 componentes en un tiempo dado en horas

Componente	Reparación t	Falla t	TTF
1	0	3.1	3.1
1	4.5	6.6	2.1
1	7.4	9.5	2.1
2	0	1.05	1.05
2	1.7	4.5	2.8
3	0	5.8	5.8
3	6.8	8.8	2.0
4	0	2.1	2.1
4	3.8	6.4	2.6
5	0	4.8	4.8
6	0	3	3
7	0	1.4	1.4
7	3.5	5.4	1.9
8	0	2.85	2.85
8	3.65	6.7	3.05
9	0	4.1	4.1
9	6.2	8.95	2.75
10	0	7.35	7.35
Eventos = 18			

Tabla 2.3.1 Comportamiento en el tiempo

De los datos anteriores se debe estar de acuerdo en los siguientes puntos: los 10 componentes forman parte de un sistema, del cual cada uno de ellos son independiente y su falla u operación no afecta el funcionamiento del sistema como se aprecia en la figura 2.3.1 Bien la preguntas que se desean contestar son las propiedades $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $r(t)$, $A(t)$, $Q(t)$, $w(t)$, $W(0,t)$ y $\lambda(t)$.

t	L(t)	R(t)	F(t)	$n(t+\Delta) - n(t)$	$f(t)$	$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$
0	18	1	0	0	0	0
1	18	1	0	3	0.1667	0.1667
2	15	0.8333	0.1667	10	0.5556	0.6667
3	5	0.2778	0.7222	1	0.0556	0.2001
4	4	0.2222	0.7778	2	0.1111	0.5000
5	2	0.1111	0.8889	1	0.0556	0.5005
6	1	0.0556	0.9444	0	0	0
7	1	0.0556	0.9444	1	0.0556	1.0000
8	0	0	1	0	0	---
9	0	0	1	0	0	---

Tabla 2.3.2 Parámetros de fiabilidad del sistema

Así, a un tiempo de 5 horas,

$$R(5) = 0.1111, \quad F(5) = 0.8889, \quad f(5) = 0.0556, \quad r(5) = 0.5005$$

Y a un tiempo de 9 horas

$$R(9) = 0, \quad F(9) = 1, \quad f(9) = 0, \quad r(9) = \text{no definido}$$

Parámetros $A(t)$, $Q(t)$, $w(t)$, $W(0,t)$, y $\lambda(t)$ son obtenidos a partir del proceso completo reparación-Falla-reparación representado en la figura 3.1, al tiempo 5.

$$A(5) = \frac{5}{10} = 0.6, \quad Q(5) = 0.4, \quad w(5) = 0.2$$

$$W(0,5) = \frac{2+2+2+3}{10} = 0.9, \quad \lambda(5) = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

Y al tiempo 9

$$A(9) = \frac{5}{10} = 0.6, \quad Q(9) = 0.4, \quad w(9) = 0.1$$

$$W(0,9) = W(0,5) + \frac{2+3+1+2}{10} = 1.7, \quad \lambda(9) = \frac{1}{6}$$

Hasta este momento solo se han establecido los parámetros de fiabilidad de un sistema en términos de una cantidad definida de componentes que han sido probados en un intervalo de tiempo y en base al número de los componentes que fallaron se infiere las probabilidades. Pero esto no es del todo apropiado, si redefinimos los conceptos para establecer el comportamiento en base a un tiempo continuo de un sistema compuesto por varios componentes y en base a esta operación poder definir los parámetros de fiabilidad.

2.4 Relación entre los procesos de reparación a la falla

Se debe derivar las siguientes expresiones en función del tiempo:

$$r(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (2)$$

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \int_0^t r(u) du \right] \quad (3)$$

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t r(u) du \right] \quad (4)$$

$$f(t) = r(t) \exp \left[- \int_0^t r(u) du \right] \quad (5)$$

La expresión (2) se utiliza para obtener la tasa de falla en un intervalo de tiempo cuando se ha encontrado la densidad de falla $f(t)$ y se obtiene la no-fiabilidad $F(t)$. Tal y como se describe en los procedimientos anteriores. Las expresiones (3), (4) y (5) son derivadas a partir de la expresión (2).

En base al cálculo de los datos de fallas obtenidos en la forma en que fueron presentados los ejemplos anteriores, graficando el histograma y en base a este se puede ajustar una distribución probabilísticas estándar como la exponencial, normal, ... etc. El diagrama de flujo 2.4.1 representa el procedimiento para tratar un sistema que se encuentra en el proceso de la reparación a la falla.

El tratamiento de la información, de acuerdo al diagrama de flujo, establece los pasos a seguir para el cálculo de la fiabilidad, de estos el paso más importante es la definición de una tendencia del comportamiento del sistema que pueda ser aproximada o ajustada por medio de una distribución normal para el tratamiento de datos. Hacerlo de esta forma podría simplificar en mucho los cálculos. Si no es posible el poder ajustar, el desarrollo de un histograma y la aproximación por medio de una ecuación polinomial que describa el comportamiento que se encuentre en función del tiempo puede en términos más generales y exactos representar el comportamiento del sistema.

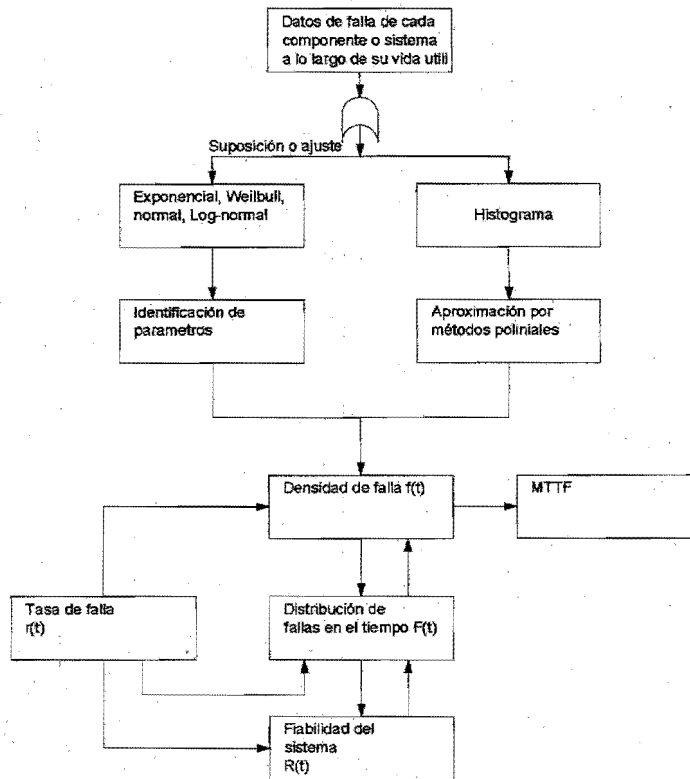


Figura 2.4.1 Diagrama de flujo para el cálculo de los parámetros Probabilísticos para un proceso reparación a la falla.

2.5 Relación entre los procesos de falla a la reparación

De forma similar al caso anterior se puede establecer un diagrama de flujo que establezca el comportamiento de un sistema en proceso de falla a la reparación. Como se muestra en la figura 2.6.1. Las ecuaciones que se derivan al presente caso son:

$$m(t) = \frac{g(t)}{1 - G(t)} \quad (6)$$

$$G(t) = 1 - \exp\left[-\int_0^t m(u) du\right] \quad (7)$$

$$g(t) = m(t) \exp\left[-\int_0^t m(u) du\right] \quad (8)$$

La expresión (6) es obtenida para encontrar la tasa en reparación $m(t)$ cuando la probabilidad de reparación en el tiempo $G(t)$ y la densidad de reparación $g(t)$ esta dada. Y las expresiones (7) y (8) se encuentran en consecuencia de (6). De la misma forma se establece un diagrama de flujo para encontrar los principales parámetros de fiabilidad se presenta en la figura 2.5.1.

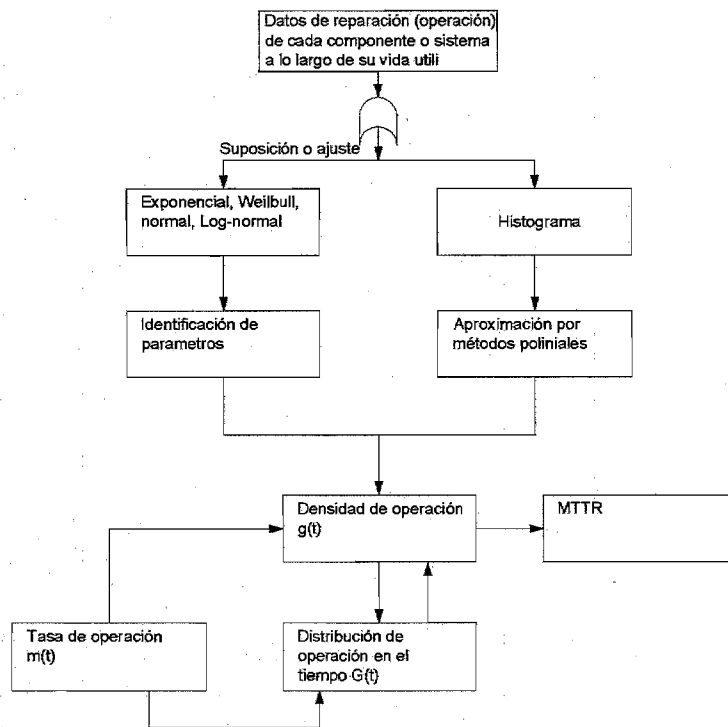


Figura 2.5.1 Diagrama de flujo para calcular los parámetros probabilísticos de un proceso de la falla a la reparación (operación)

Se puede establecer otros criterios para determinar parámetros de fiabilidad que tienen como finalidad encontrar la fiabilidad de un sistema, y así poder determinar las consecuencias de una falla en términos de su costo, si se trata de evaluar el aspecto económico, daño al medioambiente, al ser humano, etc. Entre estos criterios se encuadra el establecido por los diagramas de Markov el cual establece el siguiente criterio.

Se utiliza solo en casos donde la tasa de falla y la tasa de operación se mantienen constante durante el tiempo de vida que opera el sistema, y una vez que esta se encuentra en estado de falla pueda ser devuelto a sus estado normal de operación para después presentar lo que se entiende por una tasa de falla y de operación con las mismas características que presentaba antes de fallar. A este proceso se le conoce como sistemas con tasa de falla y de operación constante.

Para utilizar el diagrama de Markov se establece una función que describe el comportamiento del sistema y que depende del tiempo como $x(t)$ donde adquiere los siguientes valores:

$$x(t) = 1, \text{ si el componente se encuentra en estado de falla}$$

$$x(t) = 0, \text{ si el componente se encuentra en estado de operación normal}$$

La definición de la intensidad de la tasa de falla condicionada λ puede ser usada para obtener las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}
 P(1|0) &\equiv \Pr[x(t+dt) = 1 | x(t) = 0] = \lambda dt \\
 P(0|0) &\equiv \Pr[x(t+dt) = 0 | x(t) = 0] = 1 - \lambda dt \\
 P(1|1) &\equiv \Pr[x(t+dt) = 1 | x(t) = 1] = 1 - \mu dt \\
 P(0|1) &\equiv \Pr[x(t+dt) = 0 | x(t) = 1] = \mu dt
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

La expresión $\Pr[x(t+dt) = 1 | x(t) = 0]$ es la probabilidad de que falle en $t + dt$, dado que el componente esta trabajando en un tiempo t , etc. Las cantidades $P(1|0)$, $P(0|0)$, $P(1|1)$ y $P(0|1)$ son llamadas probabilidades de transición y estas son mostradas en la figura 2.6.2

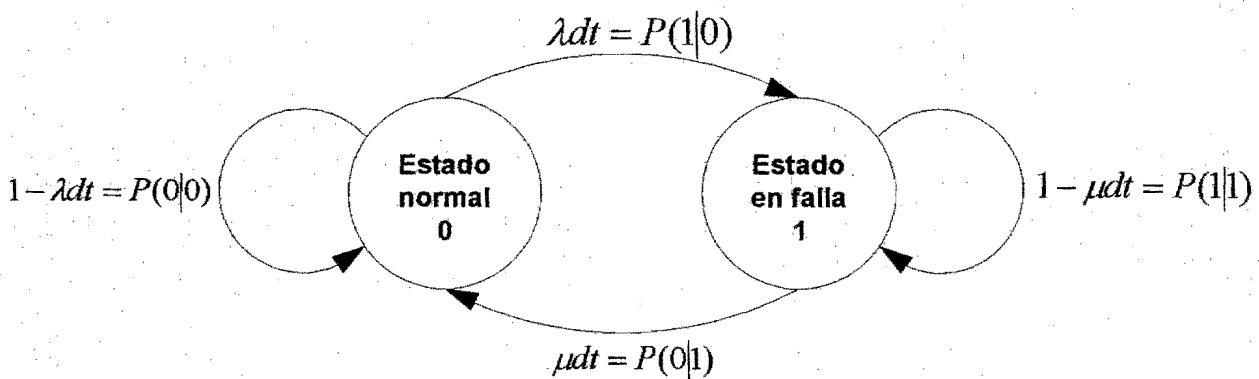


Figura 2.5.2: Diagrama de transición de Markov

Este tipo de procedimiento se complementa con una simulación de Monte Carlo para la localización de los valores probabilísticos que determinen el escenario de operación o falla. Como no es el objetivo del presente trabajo profundizar en este tipo de métodos para análisis de la confiabilidad de un sistema se deja al lector la referencia 1 de la bibliografía para el estudio más detallado.

Se han incorporado datos de la falla de un componente, el como tratarlos y representarlos para poder extraer información acerca de la fiabilidad del sistema. Pero es necesario dar un panorama general de la forma en que estos datos deben ser obtenidos pues el cuantificar una falla de un componente implica demasiados escenarios y el ingeniero de fiabilidad deberá presentar conocimiento y habilidad para poder discernir entre un tipo de falla provocado por un factor y así poder ponderar su retribución al sistema.

Las formas en que son caracterizadas las fallas y como estas deben documentarse es el objetivo del siguiente capítulo y que sirva para poder analizar un sistema cualquiera.

Métodos analíticos para determinar la falla de un componente

El objetivo principal que debe perseguir todo análisis de fiabilidad y de seguridad a un sistema formado por diversos componentes es el de reducir la probabilidad de aparición de la falla o frecuencia y atenuar las pérdidas que esta falla puede generar una vez que se presente en términos de las principales prioridades como pérdidas humanas, económicas y del medio ambiente. En términos más concretos se debe prevenir que un ser humano sea herido, se exponga a ambientes que provoquen una enfermedad crónica, sea incapacitado o en el peor de los casos se provoque su muerte. En lo económico un paro no programado de la línea productora significa un retraso en la cantidad de productos que se planea producir, tiempo en mano de obra perdida, producto mal elaborado por deficiencias de equipo al momento de su operación, pérdidas de equipo por falla. En lo ambiental, no es necesario establecer que todo aquello que se haga en contra del medio en que habitamos repercute directamente sobre la fauna y la flora y sobre el ser humano.

La falla ocurre por causas de origen, y se debe comprender que si es posible eliminar este origen o reducir la posibilidad de que aparezca se podrá establecer un escenario de mejor operación y seguridad. Entre las causas de origen (que para el presente trabajo se referirá a un evento básico) se encuentra: Los eventos iniciados por el ser humano: error en la operación, diseño y mantenimiento, en la inspección, etc. Los eventos iniciados por el equipo periférico y operador como: la fuga de un fluido por una válvula, el no lubricar un equipo mecánico dinámico, o en caso extremo un sensor mal calibrado que proporcione medidas erróneas que desvíen el comportamiento del sistema. Del medio ambiente los menos controlables pero de igual importancia por su capacidad de generar un desastre son los terremotos, tormentas, etc.

Es difícil poder prevenir en un rango de seguridad aceptable que los componentes no van a fallar, además si se tiene en cuenta que existen factores ajenos a todo control como el sabotaje, accidentes no previstos etc. Se debe contar con medidas que ayuden a mitigar la falla, desviar el impacto de la falla o en todo caso atenuar las consecuencias. Entre las medidas que comúnmente se toma se encuentra, equipo de respaldo o redundante, la inspección y el mantenimiento preventivo, sistemas de acción post-falla como: sistema contra incendio, paredes aisladoras de una explosión y fuego, en reactores químicos los enfriadores de emergencia, en equipo, uno de repuesto acoplado en línea secundaria que operara de forma inmediata en caso de aparecer la falla, entre otras medidas que se tomen como resultado de un análisis de fiabilidad.

Al realizar un estudio de fiabilidad el ingeniero deberá relacionar las causas básicas que provocan la falla del sistema, como se mencionó estas pueden ser de origen humano, periféricos o medioambiente y al relacionarlas se deberá poder tener las causas que generan el evento las maneras en que se produce este y en base a esto establecer una estrategia de minimización, desviación o prevención de los impactos.

Entre las técnicas que se estudiaron en la especialidad se trato el árbol de falla y tablas de verdad de estas dos técnicas se estudiara solo la forma en que se construye un árbol de falla y como se puede extraer información en base a este para poder realizar un estudio de fiabilidad.

3.1 Árbol de falla

La estructura del árbol de falla aparece en la figura 3.1.1. El evento no deseado o la razón del estudio aparece en la parte superior y se identifica como un *evento superior* y esté esta ligado con mas eventos de falla intermedia o causales y a su vez, estñás mismas con las causas hasta encontrar las causas de origen o básicas. La manera de relacionar el evento superior con las causas que lo provocan se realiza por medio de compuertas lógicas.

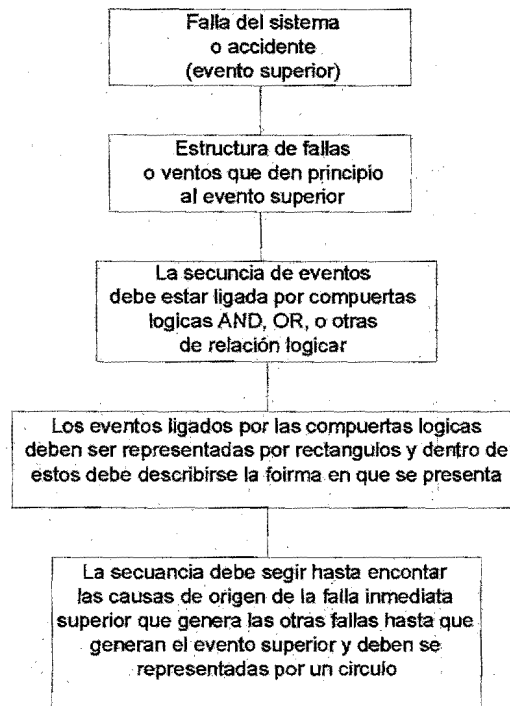


Figura 3.1.1 Estructura fundamental de un árbol de falla

Una de las principales ventajas que presenta el trabajar con un árbol de falla es que se puede relacionar la información para la detección de los eventos que generan las fallas por medio de de un análisis de los modos y efectos de la falla conocido como FMEA (Failure Mode Effect Analysis) del cual se hablara mas adelante.

3.1.2 Forma de construir un árbol de falla

Las compuertas lógicas conectan los eventos que generan la falla de acuerdo a su relación causal. Una característica de esta operación es que puede tener múltiples eventos a la entrada pero solo puede

generarse un evento de salida. Se resume la manera en que son utilizadas estas compuertas en la tabla 3.1.2.1.



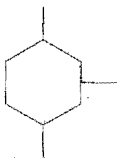


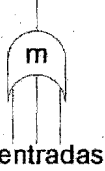
	Símbolo de la compuerta	Nombre de la compuerta	Relación de las causas y la salida
1		AND	El evento de salida ocurre si y solo si todos los eventos de entrada ocurren
2		OR	El evento de salida ocurre si y solo si se da solo una de las entradas
3		Inhibidora	La entrada producirá la salida si y solo si es afectada por una condición
4		AND Priorizada	La salida ocurre si y solo si se generan los eventos de entrada en orden de izquierda a derecha
5		OR Excluyente	La salida ocurre si y solo si se presenta una de las entradas y no un arreglo de ellas.
6		m Salidas de n Entradas	El evento de salida ocurre si y solo si se dan m entradas y n salidas

Tabla 3.1.2.1 Símbolos y representación de las compuertas

Las relaciones pueden quedar establecidas de acuerdo en la forma en que estas deben presentarse para que ocurra la salida, esta puede en casos no ser representada por los eventos de entrada por motivos de la consecuencia, del modo, etc. Los eventos de entrada o salida también son representados de acuerdo con la descripción del evento. Los símbolos más usuales se representan en la tabla 3.1.2.2.

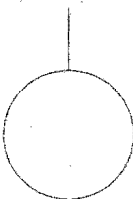
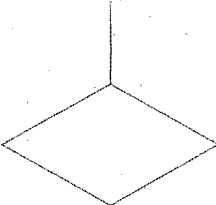
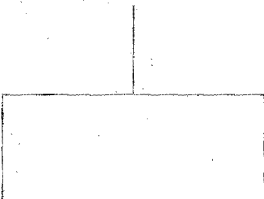
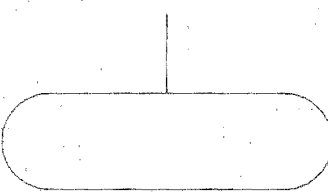
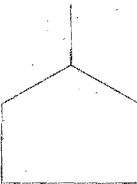
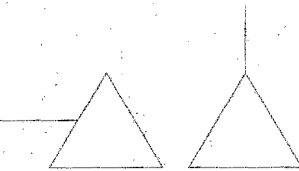
	Símbolo del Evento	Significado del símbolo
1		Evento básico con suficientes datos
2		Evento no desarrollado y que debe seguirse investigando
3		Evento representado por una compuerta en entrada o salida
4		Evento condición se utiliza con una compuerta inhibidora
5		Evento hospedado. Puede ocurrir o no puede ocurrir
6		Símbolo de transferencia

Tabla 3.1.2.2. Símbolos de los eventos dentro de un árbol de falla

Hay dos formas de rastrear los eventos que ocasionan la ocurrencia del evento superior una es de forma retrospectiva o de forma prospectiva es decir se puede comenzar con un evento no deseado e investigar que es lo que lo provoca o identificar un evento y seguir sus efectos en el sistema. Depende de la condición del evento que se quiera analizar será la forma en que será tratada. Generalmente antes de construir un árbol de falla se parte de herramientas analíticas que pueden organizar la información. Estas herramientas son: árbol de eventos (ET), Análisis del modo y el efecto de la falla (FMEA), Análisis crítico (CA), análisis preliminar de peligros (PHA) etc....

De los métodos antes mencionados se tratará el FMEA por ser el más adecuado para determinar los modos de falla de cada uno de los componentes del sistema hidráulico.

3.2 Análisis de los modos y efectos de la falla (FMEA).

El método consiste en registrar todos los modos de falla de cada uno de los componentes que conforman el sistema y examinar los posibles efectos de cada uno de esos modos que tendrían sobre el sistema. Además de registrar esta información se puede establecer otros encabezados que dan un agregado a la información y al estudio. Este aspecto se realiza con el fin de visualizar al sistema, integrar procedimientos de operación y control rápidos y eficientes para después realizar un análisis más profundo, identificar deficiencias y establecer recomendaciones e incluso asignar un número representativo para realizar una ponderación y establecer datos cuantitativos. Para el presente ejercicio el FMEA se realizará bajo los siguientes encabezados presentados en la tabla 3.2.1

1	Identificación de componente	Es un número de identificación alfanumérico que proporcione información sobre la localización, tipo y aspecto sobresaliente según la necesidad
2	La función y el estado	Se plantea bajo los siguientes cuestionamientos, ¿Cuáles son las funciones dentro del sistema? ¿Cómo opera para lograr dicha función? ¿A que componentes afecta?
3	Modos de Falla	Se refiere a las condiciones en que se presenta la falla del componente en cuestión y suelen involucrar aspectos de periféricos, ambientales, etc.
4	Posibles causas de la falla	Se establecen las causas internas como las externas. Realizando un recorrido exhaustivo hasta estar seguro que se han contemplado todas las causas de la falla.
5	Efectos sobre el sistema	Dentro del sistema se presenta algunas causas como ¿Cuáles?
6	Medios para detectar las falla	De acuerdo al efecto, es necesario establecer si se cuenta con instrumentos o inspecciones que puedan detectar la aproximación de la falla sin que esta se haya aun presentado

- | | | |
|---|--------------------------------------|---|
| 7 | Frecuencia de la inspección o prueba | Si es necesario realizar una inspección o una prueba al equipo ¿con que frecuencia se realizara? |
| 8 | Observaciones | Cualquier referencia documental, aclaración del procedimientos, advertencias, etc. que ayude a realizar la función de una manera mas efectiva |

Tabla 3.2.1 Encabezados del FMEA propuesto

Las dos herramientas presentadas en este capitulo serán las que se utilizaran para el desarrollo de la ingeniería de fiabilidad al sistema hidráulico presentado en el apéndice A empleando el método árbol de falla cinético.

Árbol de falla Cinético (KTT)

La teoría de árbol de falla cinético es un método con resultados excelentes con respecto a la cuantificación de los eventos básicos que conforman un árbol de falla y a la cuantificación del evento superior. Antes de continuar en la sección 3.1 se definió la estructura de un árbol de falla pero no se menciono lo que es un conjunto mínimo de corte. Para ello representaremos un pequeño ejemplo que ilustre la definición del mismo.

Ejemplo: Operación del sistema

El reactor químico es mantenido a cierta temperatura por debajo de la temperatura de operación la cual por efectos del proceso se eleva y es necesario reducir está, por medio de un líquido que es enfriado previamente antes de entrar al sistema de bombeo con doble redundancia. Entre las dos bombas establecen el flujo que proporciona el 100 % del enfriamiento. Si el líquido no es bombeado en el gasto adecuado se produce un sobrecalentamiento del reactor lo cual puede provocar que explote. Durante una operación normal de las bombas las cuales operan al 50 % de su capacidad.

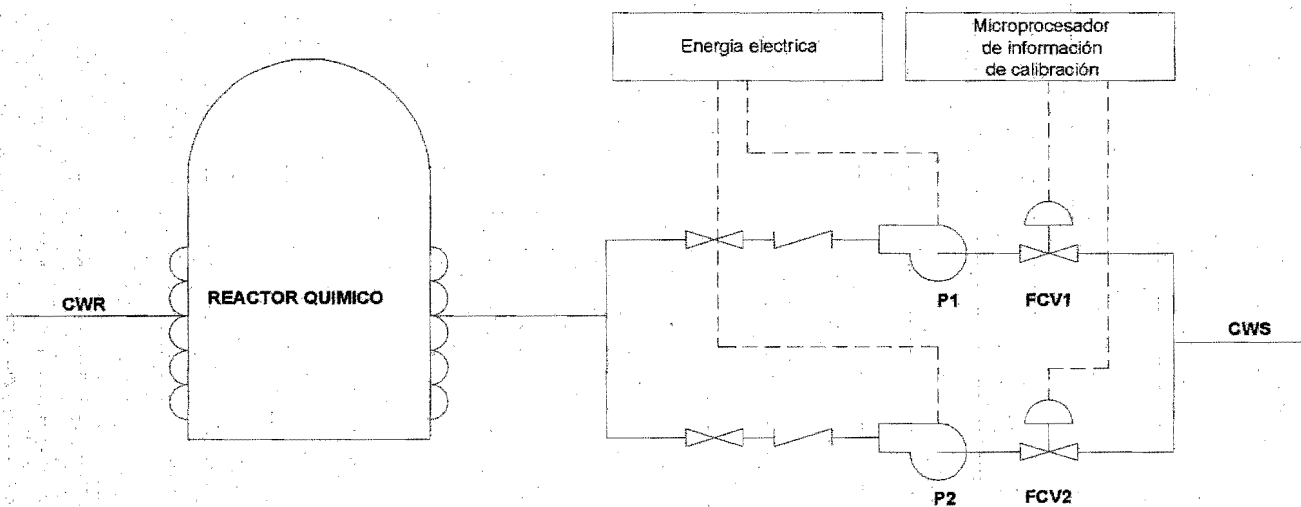


Figura 4.1 Reactor químico con sistema redundante de enfriamiento

Condiciones de interés para análisis del sistema.

Evento superior: Pérdida de refrigeración en el reactor

Parámetro de fiabilidad que se desea calcular es: La frecuencia con la que se puede perder el enfriamiento.

Eventos que no son considerados en el análisis: Rompimiento de la tubería, Descarga provocada manualmente, taponamiento de las válvulas, válvula anti-retorno de fluido no sufren taponamiento.

Se construye el siguiente árbol de falla figura 4.1 para la visualización cualitativa en la forma que interactúan los equipos.

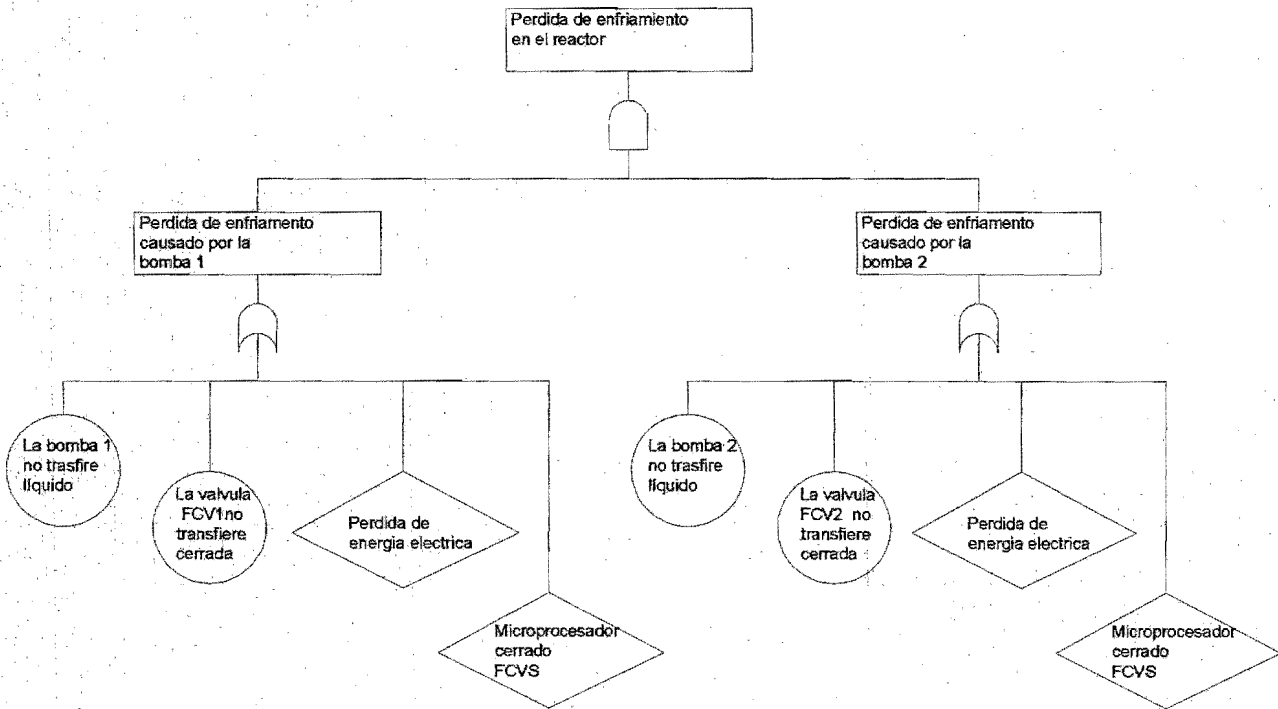


Figura 4.1 árbol de falla que representa el evento superior del problema planteado.

Una revisión del árbol de falla de la figura 4.1, se puede establecer el carácter de importancia que representa cada elemento para provocar el evento superior. Si bien este depende del funcionamiento correcto de al menos una bomba (la compuerta AND establece esta característica como se menciona en la tabla 3.1.2.1). En la parte inferior del árbol se establece los componentes que conforman al sistema de operación representado por "sistema de bomba" está conformada por un motor eléctrico, un sensor y las válvulas censadas que en conjunto establecen la operabilidad del sistema. Los elementos están conectados por una compuerta lógica OR, lo cual significa, el evento superior se hará presente con la falla de cualquiera de estos elementos, el motor, la energía eléctrica, los sensores y las válvulas. Con esta información se podría pensar en la inmediata intervención de cada uno de estos elementos de manera que se garantice la disminución de la frecuencia con la que falla y así prevenir el evento superior.

Una forma de visualizar cuales son los arreglos conformados por los elementos del árbol de falla de la figura 4.1 que deben ser mas atendidos que otros por su capacidad de daño al sistema, es utilizando los conjuntos mínimos de corte. Para encontrarlos se utiliza una técnica denominada MOCUS (H. Lambert, Reliability Theory and System Safety Analysis). Para su utilización se siguen los siguientes pasos:

1. Alfabetizar cada una de las compuertas lógicas contenidas en el árbol de falla. A,B,C,D,....
2. Numerar cada evento básico. 1,2,3,4,.....
3. Se coloca la primera compuerta lógica de arriba hacia abajo en una primera columna.
4. Se establece la iteración entre los eventos superiores y los eventos inferiores
 - a. Si se establece una compuerta OR se colocaran las próximas compuertas o eventos básicos según el caso en un arreglo horizontal.
 - b. Si se establece un arreglo AND en forma vertical.
5. Se sigue el procedimiento hasta haber cubierto todas las compuertas y los eventos básicos. Una vez terminado el procedimiento se simplifican en base a los súper conjuntos.

Para este caso el árbol queda representado de la siguiente manera figura 4.2.

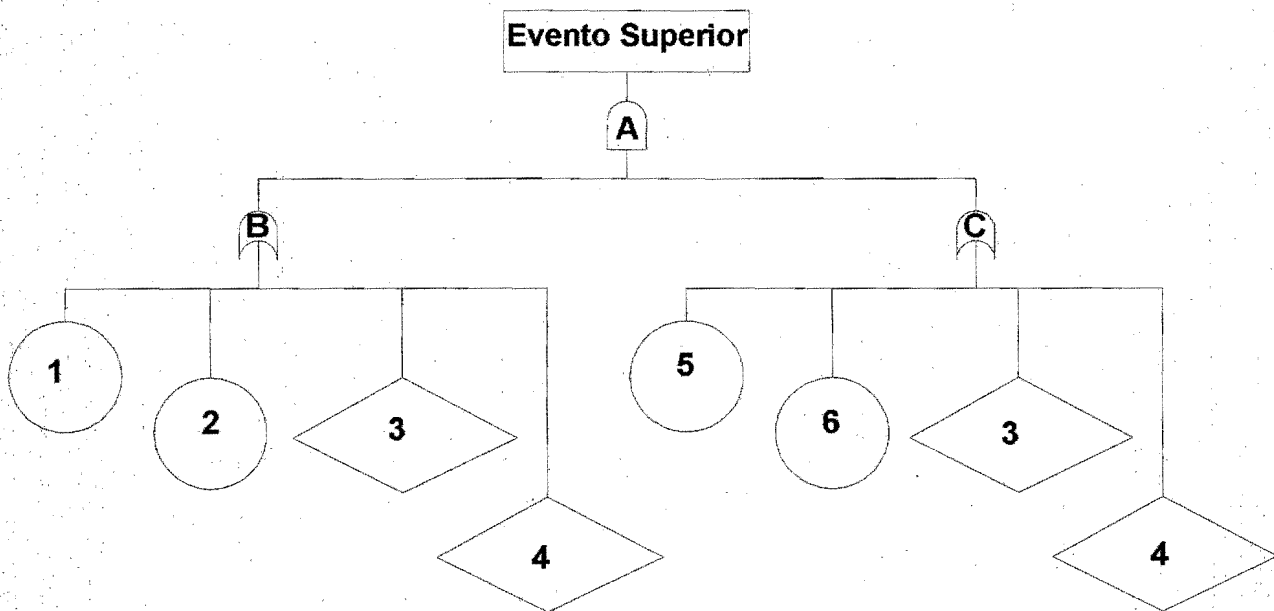


Figura 4.2 Representación de un árbol de falla para la utilización del métodos MOCUS

Como se puede apreciar los eventos básicos 3 y 4 afectan al sistema en su conjunto, tanto si falla para uno de los sistemas de la bomba como para el otro. De esta manera se pone de manifiesto que es necesario determinar a que elementos del sistema se le debe cuidar con mayor atención. Siguiendo los pasos para determinar los conjuntos mínimos de corte se tiene en la figura 4.3 el arreglo final utilizando esta técnica. Observe como las compuertas AND están en arreglo horizontal y las compuertas OR en vertical. El paso que sigue es determinar cual de todos los eventos esta

representado por un solo evento, en otras palabras existe súper conjuntos que pueden representar a otros y estos últimos ser eliminados del diagrama.

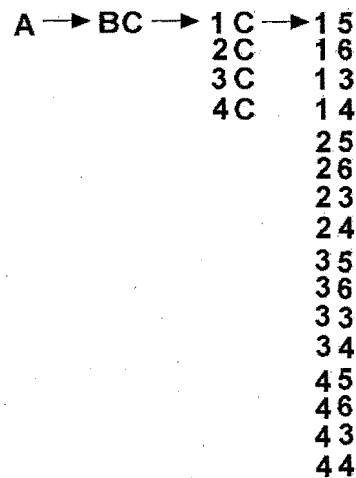


Figura 4.3 Representación grafica del método MOCUS aplicado al árbol de falla

Para determinar un súper conjunto es necesario establecer cual de los eventos esta involucrado de manera directa en los demás eventos, en este caso los eventos 3 y 4 forman por si solo un súper conjunto ya que aparecen en la mayoría de los eventos que se pueden desencadenar. Al seleccionar estos súper conjuntos se eliminan de los eventos que se muestran en la figura 4.4

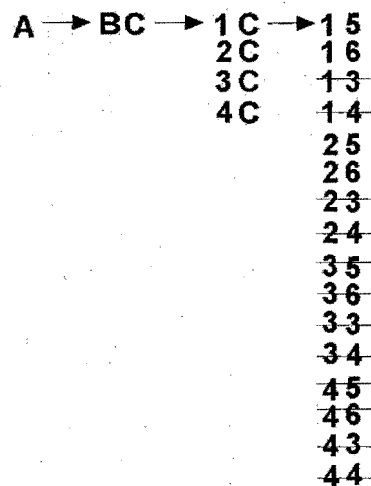


Figura 4.4 Eliminación de eventos por súper conjuntos

De esta manera queda simplificado el número de eventos. Se sigue buscando súper conjuntos de un arreglo para poder simplificar en la medida de lo posible el árbol de falla que se este estudiando. Al hacer una revisión para la localización de estos en el árbol en cuestión se puede ver que los demás eventos permanecen constantes e independientes por lo tanto los conjuntos mínimos de corte quedan representados en forma definitiva en la figura 4.5

CMC 1 – Falla del micro procesador	3
CMC 2 – Perdida de la energia electrica	4
CMC 3 – Falla bomba 1 y la bomba 2	1,5
CMC 4 – Falla Bomba 1 y valvula de control 2	1,6
CMC 5 – Falla valvula de control 1 y bomba 2	2,5
CMC 6 – Fallan las valvulas de control 1 y 2	2,6

Se entiende por un conjunto mínimo de corte como la ruta mínima necesaria para establecer la falla representada por el evento superior. Considerando que se han alcanzado tasa de falla y operación constante que representan a cada uno de los elementos y establecer de forma cuantitativa el elemento que mayormente representa la probabilidad de presentarse el evento superior.

Una vez determinados estos conjuntos mínimos de corte se puede establecer por medio de la teoría “árbol de falla cinético (Kinetic Tree Theory KTT)” y basados en el procedimiento grafico MOCUS los parámetros de interés para determinar las fiabilidad del sistema.

4.1 Procedimiento y cálculo mediante KTT.

Para la utilización de KTT es necesario contar con el desarrollo completo de un árbol de falla, esto implica la clara identificación de los eventos básicos que generan el evento superior así como los conjuntos mínimos de corte. Como se ha mencionado el objetivo central de un árbol de falla es analizar cualquier tipo de evento que pueda provocarse a causa de otros eventos claramente identificados.

Al realizar un estudio de fiabilidad interesa saber el valor probabilístico de: no-disponibilidad es la probabilidad de que aparezca la falla en un tiempo específico, no-fiabilidad es la probabilidad de que el evento falla ocurra en un intervalo de tiempo específico, no-dependencia es la probabilidad de que el evento falla exista en un tiempo específico o ocurra en un intervalo de tiempo, y el numero esperado de fallas que es el número promedio de fallas que se espera ocurra en un intervalo de tiempo específico. Otro parámetro de importancia en un estudio de fiabilidad es la importancia que representa ya sea un evento básico y un conjunto mínimo de corte con respecto al evento superior. Este parámetro representa al elemento o elementos deben ser atendidos de forma mas rigurosa que otros, precisamente por la dependencia que muestra el sistema en torno de ellos.

Los parámetros que determinan la fiabilidad de un sistema son calculados para los siguientes eventos:

- El evento superior, que es el evento principal y de interés en el sistema,

- Conjunto mínimo de corte, que es la combinación de los eventos básicos y otros eventos relacionados y juntos causan el evento superior
- Evento básico, La causa básica para la falla del evento superior

Para la cuantificación de los parámetros anteriores utilizando KTT, es necesario asumir que:

- La falla de cada uno de los eventos básicos es independiente de otra falla básica
- Ningún evento básico a fallado en un tiempo cero (se entiende a operado un tiempo t determinado)
- Los componentes solo presentan un estado binario; Falla o operando, En función o descompuesto,...
- El evento es tratado por medio de un árbol de falla del cual se han determinado los conjuntos mínimos de corte
- Al establecer que un componente es reparable significa que en caso de que este falle y se repare una vez instalado funcionara como nuevo o mejor dicho en las mismas condiciones de operación y tasa de falla que presentaba antes de haber fallado.

Estas limitaciones son de suma importancia para la aplicación de las ecuaciones que representan al KTT pues de estas se derivan las ecuaciones que se utilizaran a lo largo del desarrollo de problema.

Cantidad de interés	Evento básico	Conjunto mínimo de corte	Evento Superior
No-dependencia	\bar{d}_i	\bar{D}_k	\bar{D}_T
No-disponibilidad	\bar{a}_i	\bar{A}_k	\bar{A}_T
No-fiabilidad	\bar{r}_i	\bar{R}_k	\bar{R}_T
Numero esperado de fallas	enf_i	ENF_k	ENF_T
Velocidad de aparición de la falla	rof_i	ROF_k	ROF_T
Tasa de falla	λ_i	Λ_k	Λ_T
Tiempo promedio muerto	τ_i	τ_k	τ_T
Falla sobre la demanda	$PFOD_i$	$PFOD_k$	$PFOD_T$
Importancia	$I_i^{\bar{A}}$	$I_K^{\bar{A}}$	----

Tabla 4.1.1 Notación para el manejo de ecuaciones y cálculos en KTT

Para la realización del cálculo se deben seguir cuatro pasos, cada uno es prioridad sobre el otro:

1. Obtener los datos de fiabilidad de cada evento básico y eventos superiores, los cuales son la tasa de falla y el tiempo promedio muerto.
2. Calcular los parámetros de interés mostrados en la tabla 4.1.1 para los eventos básicos
3. Similar que 2, pero para los conjuntos mínimos de corte

4. Similar a 2 y 3 pero para el evento superior.

El primer paso es obtener los datos de fiabilidad de cada componente básico dentro de un árbol de falla. Como se menciono los datos consisten en la tasa de falla (λ) y el tiempo promedio muerto (λ).

La tasa de falla esta definida como λdt y es la probabilidad de que el evento ocurra entre el tiempo t y $t + dt$, dado que el evento no a ocurrido antes del tiempo t . Esta tasa de falla puede se obtenida de varias fuentes como los registros de falla del sistema y el componente, experiencia del operador, manuales o publicaciones en la industria en general en torno al mismo componente dado que opera o se encuentra bajo las mismas circunstancias o similares y la experiencia de un experto.

El tiempo promedio muerto, es el tiempo en descompostura de un evento básico. Este valor incluye: el tiempo promedio que se tarda en descubrir que el evento básico esta descompuesto, el tiempo promedio en repararlo y el tiempo promedio que es instalado y/o puesto en marcha. En teoría todos los componentes son reparables, y estos pueden ser tratados como no reparables. El establecer que un componente es reparable o no es importante para el manejo de las ecuaciones pues los parámetros adquieren características distintas en un modo u en el otro.

Un dato mas que debe ser agregado es el tiempo total que tarda el sistema en cumplir con la misión para el cual fue creado.

4.1.2 Cálculos para "Evento básico"

Se cuenta con los datos de fiabilidad de cada evento básico que se obtuvieron en el primer paso, como segundo se calculan los parámetros de fiabilidad y en este sentido la no-fiabilidad (\bar{r}_i) esta dada por:

$$\bar{r}_i = 1 - \exp(-\lambda_i t) \quad (10)$$

Si se cuenta con valores representados por ($\lambda_i t \leq 0.09$) la ecuación (10) puede ser aproximada por:

$$\bar{r}_i = \lambda_i t \quad (11)$$

Si los eventos básicos son tratados como no reparables entonces la no-fiabilidad del evento básico es igual a la no-disponibilidad y al número esperado de fallas esto es:

$$\bar{r}_i = \bar{a}_i = enf_i \quad (12)$$

La no-disponibilidad para componentes reparables esta dada por la siguiente expresión:

$$\bar{a}_i = \frac{\lambda_i \tau_i}{1 + \lambda_i \tau_i} \left[1 - \exp\left(-\left(\lambda_i + \frac{1}{\tau_i}\right)t\right) \right] \quad (13)$$

Y la expresión (13) puede ser aproximada si ($t \geq 2\tau_i$) por la expresión:

$$\bar{a}_i = \frac{\lambda_i \tau_i}{1 + \lambda_i \tau_i} \quad (14)$$

También si se cumple que $(\lambda_i \tau_i < 0.1 \text{ o } t \geq 2\tau_i)$ puede ser aproximada por:

$$\bar{a}_i = \lambda_i \tau_i \quad (15)$$

La probabilidad de falla que presenta el componente sobre la demanda para un evento básico es la no disponibilidad del evento básico en un tiempo cuando se está ejecutando la operación. Desafortunadamente, el tiempo que está demandado el sistema, es decir, está ejecutando la acción demandada al sistema, no siempre es conocida. Para determinar este parámetro se utiliza la no disponibilidad promedio de un evento básico sobre un intervalo de tiempo si el evento básico es no reparable o representa una asintótica a la no-disponibilidad si el evento básico es reparable. Así la probabilidad de falla sobre la demanda PFOD está dada por:

$$PFOD_i = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} \bar{a}_i(t) dt \quad (16)$$

Puede ser aproximada si se cumple $(\lambda_i t < 0.1)$ para eventos básicos no reparables está dada por:

$$PFOD_i = \frac{\lambda_i T_i}{2} \quad (17)$$

O a la aproximación si $(\lambda_i \tau_i < 0.1)$ para eventos reparables está dada por:

$$PFOD_i = \bar{a}_{i \text{ asintótica}} = \lambda_i \tau_i \quad (18)$$

Donde T_i es el intervalo de prueba en el cual es demandado un evento básico i .

La no-dependencia (\bar{d}_i) de un evento básico es la probabilidad de que este falle sobre la demanda o falle cuando se está corriendo sobre el tiempo requerido para completar el tiempo de la misión. La no-dependencia está dada por:

$$\bar{d}_i = PFOD_i = \bar{r}_i \quad (19)$$

Donde \bar{r}_i debe ser calculado tomando como tiempo base el tiempo que dura la misión.

Siguiendo el orden se busca encontrar el número esperado de fallas del evento básico el cual representa una cantidad determinada dada que ya se encontró la velocidad de aparición de la falla (rof_i) la cual se define como el número esperado de ocurrencias para un evento básico por unidad de tiempo en un tiempo t .

En este caso la velocidad con la cual aparece la falla está dada por:

$$rof_i = (1 - \bar{a}_i)\lambda_i \quad (20)$$

Por lo tanto el número esperado de fallas es la integral de esta expresión sobre el tiempo de interés y esta dado por:

$$enf_i = \int_0^t rof_i dt \quad (21)$$

Hasta aquí, se abordaron las ecuaciones que describen la confiabilidad de un evento básico i. A continuación se tratara para un conjunto mínimo de corte.

4.1.3 Cálculos para "Conjunto mínimo de corte"

Las ecuaciones que describen la fiabilidad de un conjunto mínimo de corte para la no-disponibilidad esta dada por:

$$\bar{A}_k = \prod_{i=1}^{n_k} \bar{a}_i \quad (22)$$

Donde n_k es el número de eventos básicos que encuentran dentro de un conjunto mínimo de corte k.

La ecuación (22) sirve para representar la no-disponibilidad tanto de componentes reparables como de no-reparables dentro de un conjunto mínimo de corte.

Asumiendo que el sistema esta en demanda o en espera para ser demandado en cualquier tiempo, la probabilidad de que falle sobre la demanda para un conjunto mínimo de corte esta dado por:

$$PFOD_k = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{A}_k(t) dt \quad (23)$$

Donde T es el tiempo de prueba o el tiempo demandado del conjunto mínimo de corte.

No es una práctica segura ni confiable obtener $PFOD_k$ a partir de las multiplicaciones de los $PFOD_i$ dentro de un conjunto mínimo de corte pues en la simulación de eventos, este valor es significativo para resaltar los efectos del sistema.

Si todos los eventos básicos dentro de un conjunto mínimo de corte son no-reparables, entonces la no-disponibilidad, no-fiabilidad y el número esperado de fallas de un conjunto mínimo de corte son numéricamente iguales. Esto es:

$$\bar{A}_k = \bar{R}_k = ENF_k \quad (24)$$

La ecuación (24) solo se cumple si todos los eventos básicos de un conjunto mínimo de corte son no reparables.

Si en el conjunto mínimo de corte existe algún evento básico que sea reparable es necesario calcular la velocidad con la cual aparece la falla en un conjunto mínimo de corte ROF_k . Antes de calcular la no-fiabilidad o el número esperado de fallas. La velocidad con que aparece la falla en un conjunto mínimo de corte esta dado por:

$$ROF_k = \sum_{i=1}^{n_k} \lambda_i a_i \prod_{j=1}^{n_k} \bar{a}_j \quad j \neq i \quad (25)$$

Donde a_i es la disponibilidad del evento básico i esto es $a_i = 1 - \bar{a}_i$.

Para componentes que presentan confiabilidades muy cercanas al 100 %, es decir que la probabilidad de falla en el tiempo t es caso cero, el término \bar{a}_j de la ecuación (25) puede ser despreciable. Si es el caso la velocidad con que aparece la falla en un conjunto mínimo de corte es aproximada por:

$$ROF_k \leq \bar{A}_k \sum_{i=1}^{n_k} \frac{\lambda_i}{\bar{a}_i} \quad (26)$$

El número esperado de fallas para un conjunto mínimo de corte se obtiene integrando la velocidad con que aparece la falla en un tiempo específico con respecto al intervalo de tiempo de interés eso se puede expresar mediante:

$$ENF_k = \int_0^t ROF_k dt \quad (27)$$

El número esperado de fallas es un valor que se encuentra siempre por encima de límite superior de la no-fiabilidad. Más sin embargo la no-fiabilidad adquiere un valor muy cercano al número esperado de fallas cuando su valor es menor a 0.1. Por lo tanto un valor estimado de la no-fiabilidad puede ser sugerido por la siguiente expresión:

$$\bar{R}_k < ENF_k \quad (28)$$

La no-dependencia de un conjunto minimote corte esta dado por:

$$D_k = PFOD_k + \bar{R}_k \quad (29)$$

Donde la no-fiabilidad \bar{R}_k del conjunto mínimo de corte debe ser evaluado sobre el tiempo que dura la misión del sistema.

4.1.4 Cálculos para "Evento superior"

El paso cuatro, involucra uno de los aspectos mas significativos del estudio de fiabilidad; la determinación de los parámetros del evento superior dará al investigador una visión general del problema al que se esta enfrentando una vez establecida está. Los parámetros de fiabilidad están sustentados en los valores que se obtuvieron en los conjuntos mínimos de corte. Pro lo tantotas expresiones en general para determinar la fiabilidad de un evento superior están dada por:

$$\bar{A}_T = \sum_{k=1}^N \bar{A}_k \quad (30)$$

$$\bar{R}_T = \sum_{k=1}^N \bar{R}_k \quad (31)$$

$$ENF_T \leq \sum_{k=1}^N ENF_k \quad (32)$$

$$ROF_T \leq \sum_{k=1}^N ROF_k \quad (33)$$

$$\Lambda_T = \sum_{k=1}^N \lambda_k \quad (34)$$

$$\bar{D}_T = \sum_{k=1}^N \bar{D}_k \quad (35)$$

Donde N es el número de conjuntos mínimos de corte.

Las ecuaciones de la (30) a la (35) ignoran el caso en que mas de uno conjunto mínimo de corte falle al mismo tiempo.

Si todos los eventos básicos y todos los conjuntos mínimos de corte dentro de un árbol de falla son reparable el tiempo promedio muerto para el evento superior puede se calculado a partir de la siguiente expresión:

$$\tau_T = \frac{\bar{A}_T}{\Lambda_T} \quad (36)$$

Cuando todos los eventos básicos son reparables.

Una vez realizado todos los cálculos anteriores se esta en posibilidades de determinar los parámetros "importancia" que establecen que evento básico o conjunto mínimo de corte contribuye con mayor peso a que el evento superior se presente. De los parámetros mas utilizados para determinar la importancia es el establecido por Fussell-Vasely. Esta es definida por la probabilidad que representa un evento básico para disparar el evento superior, dado que el evento de falla sobre el evento superior ya ha ocurrido. De igual manera se establece la probabilidad de un conjunto mínimo de corte. La importancia (I) esta desarrollada de manera que se involucran los parámetros no-fiabilidad, no-disponibilidad y el número esperado de fallas. Las ecuaciones para un conjunto mínimo de corte están dada por:

$$I_K^{\bar{A}} = \frac{\bar{A}_K}{\bar{A}_T} \quad (37)$$

$$I_K^{\bar{R}} = \frac{\bar{R}_K}{\bar{R}_T} \quad (38)$$

$$I_K^{ENF} = \frac{ENF_K}{ENF_T} \quad (39)$$

La importancia para los eventos básicos esta determinada por:

$$I_i^{\bar{A}} = \sum_{k=1}^M I_K^{\bar{A}} \quad (40)$$

$$I_i^{\bar{R}} = \sum_{k=1}^M I_K^{\bar{R}} \quad (41)$$

$$I_i^{ENF} = \sum_{k=1}^M I_K^{ENF} \quad (42)$$

Donde M es el número de conjuntos mínimos de corte que contiene el evento básico i

El súper índice colocado encima de I indica el parámetro de fiabilidad del cual se desea determinar su importancia.

Hasta aquí, se han definido las ecuaciones que enmarcan la teoría del árbol de falla cinético (KTT) y que su desarrollo se debe a la manera en que un componente presenta una probabilidad dentro del sistema y al mismo tiempo con otros componentes y que esta determinada por la teoría de la probabilidad de manera que el resultado son las ecuaciones anteriormente expuestas.

Se ha desarrollado de manera muy somera la teoría que aplica KTT para representar la fiabilidad de un sistema, es momento de aplicar lo antes escrito al caso práctico que nos compete para mostrar entre otras cosas que la ingeniería de fiabilidad presenta una mejor práctica para las áreas de mantenimiento y producción en torno a la operabilidad o mejor aun a la fiabilidad de sus equipos.

Estudio de Caso

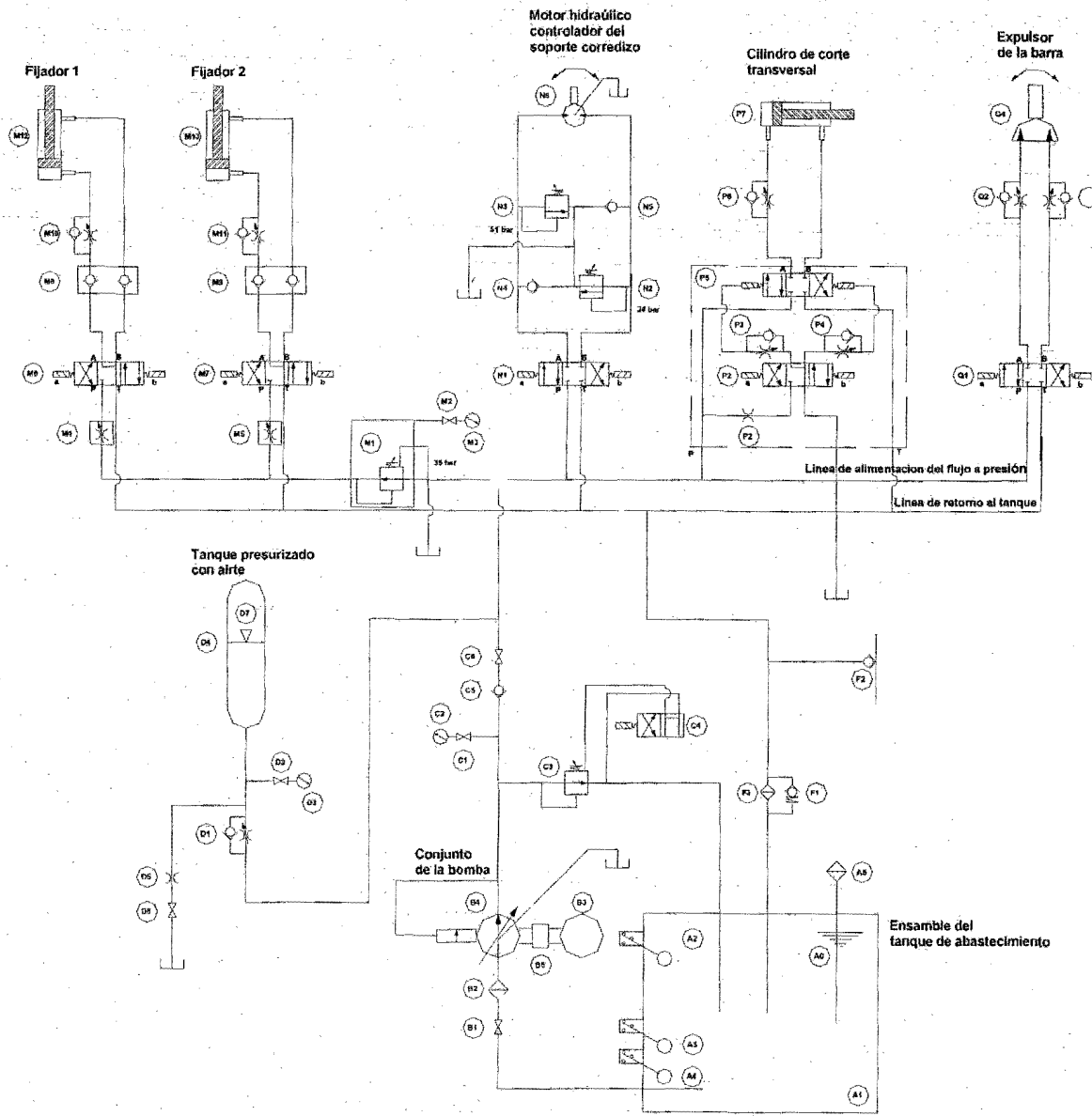
El caso esta basado sobre el sistema hidráulico planteado en el folleto técnico "Análisis lógico de problemas en sistemas hidráulicos" por las ventajas que representa para poder diferenciar entre las técnicas heurísticas presentadas por el folleto y la técnica KTT. La metodología a seguir será la siguiente:

1. Conocer el sistema, su función, los objetivos para los cuales fue diseñado, el tiempo que tarda en realizar dichas operaciones, los componentes que intervienen en una u otra función, las características propias de cada componente así como sus modos de falla, etc. En resumen el conocer a fondo el sistema es el primer paso, esta información puede ser proporcionada por el diseñador, planos de ingeniería, esquemas, manuales, etc. Que establecen la funcionalidad del sistema.
2. Fijar las tasas de falla y los tiempos promedio que se encuentra en operación para representan a cada componente que conforma el sistema, esta misma información puede ser establecida a partir del primer paso.
3. Una vez estructurado el conocimiento sobre el sistema, se debe organizar y plasmar en un análisis mas detallado de los modos en que puede fallar el sistema, priorizando estos modos y fijarlos como posibles eventos superiores a ser analizados. En este punto técnicas de análisis mas detallados como: HAZOP, FMEA, Causa y efecto, ¿Que pasa sí?, etc.... Cada uno de ellos son aplicables a circunstancias bien especificas, unos son mas rigurosos que otros y el conocerlos implica poder realizar este paso de la manera más completa.
4. Establecido los eventos superiores y los eventos básicos mediante la realización de un árbol de falla.
5. Obtenido el árbol de falla se procede a determinar los eventos básicos y conjuntos mínimos de corte y como se menciona en el capítulo cuarto se estará en posibilidades de aplicar KTT.
6. Determinar los parámetros de fiabilidad que le sean de interés al investigador.
7. Establecer recomendaciones, criterios de operatibilidad, mejorar las prácticas de mantenimiento, generar planes de emergencia al paro, a un accidente no esperado o un siniestro no controlado y generar una matriz de funcionalidad con refacciones criticas, periodos de inspección etc.

Tal vez en la descripción anterior, se haya omitido algún paso, pero se considera que son los mínimos necesarios para poder realizar un estudio de fiabilidad a un sistema en general.

Siguiendo la metodología planteada se comenzara por conocer el sistema que se presenta en la siguiente figura 5.1

Figura 5.1 Diagrama hidráulico



5.1 Conociendo al sistema

Basados en la descripción del folleto, el sistema esta diseñado para cortar barras de acero de una longitud de fabricación a otra longitud de entrega al cliente en medidas estándar, como estas son distintas el sistema trabaja de forma semiautomática, pues un controlador analógico o un operador humano es el que establecer las frecuencia y secuencia de operación de los dispositivos. Para el presente caso se supone que es controlado por un ser humano el cual establece la siguiente secuencia de operación de las válvulas de control (refiérase al diagrama presentado en la pagina 42 del folleto técnico en el anexo A).

Servo válvulas	M6		M7		N1		P1		Q1		C4
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1
	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1
	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1
	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabla 5.1.1 Secuencia de operación de las servo válvulas

En base a la secuencia presentada en la tabla 5.1.1 el primer paso para la operación del sistema es, operar al mismo tiempo la servo válvula M6 y M7 energizando el solenoide "b". En los pistones M12 y M13 el vástago se contraerá para sujetar la barra y mantenerla fija. Manteniendo energizadas los solenoides "b" de los pistones se procede a energizar el solenoide "b" de la válvula N1. Esta válvula establecer el sentido de traslación del carrito portador del equipo de corte a la posición deseada con respecto a la longitud. La siguiente secuencia corresponde al pistón que controla la flama de corte. Esta secuencia se establece en doble sentido para el vástago, primer secuencia de la parte interior a la parte exterior energizando el solenoide "a" y de regreso energizando el solenoide "b" de la servo válvula P1. La expulsión de la barra una vez cortada establece la última secuencia en la operación, se retira la energía a todos los solenoides y se energiza primero la solenoide "a" para la expulsión y después la "b" para su contracción de la servo válvula Q1.

La servo válvula C4 es un dispositivo de paro definitivo del sistema por lo que en todo momento esta energizada el solenoide "a".

Esta es la secuencia, ahora se definirá el tiempo de operación basado en la jornada de trabajo del sistema, esta se representa en la Tabla 5.1.2.

		Tiempo en horas				
		min.	hrs.	turno	día	año
1	Descanso	60.00	1.00	1.00	3.00	1095.00
2	Arranque	5.00	0.08	0.25	0.75	273.75
3	Agarre de barra	2.00	0.03	0.35	1.05	381.91
4	Posicionamiento del carro a distancia	10.00	0.17	1.74	5.23	1909.57
5	Corte de placa, Afuera hacia adentro	5.00	0.08	0.87	2.62	954.79
6	Corte de placa, adentro hacia fuera	5.00	0.08	0.87	2.62	954.79
7	Retorno de carro a origen	10.00	0.17	1.74	5.23	1909.57
8	Soltar la barra	1.00	0.02	0.17	0.52	190.96
9	Traslado de la barra a salida	2.00	0.03	0.35	1.05	381.91
10	Retorno del pistón de expulsión	1.00	0.02	0.17	0.52	190.96
Total		41.00	0.68	7.53	22.58	8243.21
Numero de ciclos por turno						10.46

Tabla 5.1.2 Duración de los subsistemas

El arranque no está incluido dentro de la sumatoria para efecto del cálculo del tiempo total que cubre el sistema para cumplir con la misión de cortar una barra, la razón, el arranque solo se efectúa una vez en el día. En caso que se quisiera realizar un análisis de fiabilidad con respecto al arranque del sistema, el tiempo base para el cálculo es el tiempo que dura el arranque y los factores que lo pueden afectar.

5.1.1 Subsistemas y su función

Al observar el plano hidráulico plasmado en la página 40 del folleto, se podrá ver que está dividido en diferentes subsistemas. Cada uno, engloba a otros componentes, que en algunos casos no están bien diferenciados en cuanto a la función que desempeñan. Por ejemplo, dentro del subsistema del tanque de almacenamiento están incluidas las válvulas de seguridad de nivel. Desde un punto de vista de Skinner el asegurar que el sistema tanque funcione engloba a los sensores y esto desde una ingeniería de fiabilidad está equivocado. Los sistemas deben ser diferenciados de acuerdo a la misión que desempeñan de manera que se oriente el análisis y no queden aspectos sin revisar.

Así los subsistemas se han dividido en la siguiente manera, haciendo referencia al plano de la figura 5.1

1. **Entrega de presión:** Lo integra el motor eléctrico tipo jaula de ardilla B3 el cual entrega un torque a ciertas revoluciones por minuto a la bomba de embolo B4. Acoplados en sus ejes por medio de un "acoplamiento homocinético flexible B5. La bomba puede ser operada de tal manera que se puede variar la presión de entrega en un rango de 0 a 500 bar. El efecto que causa la alternancia de los émbolos en la corriente del fluido hidráulico es una fluctuación que en la operación normal del sistema causaría una inestabilidad que haría inoperante al sistema, para corregir este fenómeno se utiliza la presión del tanque D4 presurizado por aire a 50 bar.

2. **Seguridad:** Los sensores de nivel en el tanque de almacenamiento A2, A3 y A4 establecen el nivel del aceite hidráulico para la óptima operación. Se vaciara y se rellena automáticamente por la señal de estos sensores. El sensor A4 es un dispositivo redundante por falla no prevista o llenado no efectuado de tal manera que el nivel descienda por debajo del considerado seguro para trabajar. Este sensor provoca un paro inmediato del conjunto de bomba. Los filtros A5, B1 y F3 encargados de separar sólidos que arrastre el aceite por efectos de desgaste, polvo, suciedad, etc. De ellos el más importante es el B1 por el tamaño de malla de 3 micras, para impedir que entren sólidos a la bomba y provoque un desgaste severo. La servo válvula C4 controlada por un servo de 2/2. Su función principal consiste en permitir la operación continua del sistema y el arranque de forma inmediata pero además esta calibrada para operarse de manera automática si se sobrepasa una presión de operación de 80 bar, desviando el fluido directamente al tanque de almacenamiento.
3. **Control del flujo y presión:** La válvula de paso B1 aísla el sistema de alimentación con el de presión. La válvula reguladora de velocidad y retención de flujo D1 regula el flujo y presión de amortiguamiento al sistema. La válvula C6 aísla los sistemas de abastecimiento, amortiguamiento y entrega de presión del sistema de servo válvulas controladoras del flujo. La válvula anti retorno C5 impide que se presente un fluido en retroceso del sistema de servo válvulas controladoras del flujo a los sistemas de abastecimiento, amortiguamiento y entrega de presión.
4. **Medición:** La presiones a medir son tres: la presión entregada por la bomba debe estar entre 75 y 79 bar medida por C2, la presión de amortiguamiento a 50 bar y la presión diferenciada en el sistema de sujeción medida por M3 y que debe medir 35 bar.

Operación: Para una mejor descripción se subdivide en cuatro partes principales fijación de la barra, traslación del carro de corte, corte de la barra, expulsión de la barra.

5. **Fijación de la barra:** Las servo válvulas 4/3, M6 y M7 accionadas por bobinas eléctricas, a la cual se le hace pasar una corriente eléctrica generando un campo magnético que acciona un mecanismo de retracción y expulsión para el intercambio del flujo. Estas válvulas tienen efecto sobre los pistones de doble efecto M12 y M13. La presión de trabajo para este sistema no debe exceder los 35 bar. El sistema de "entrega de presión" proporciona 75 a 79 bar, para su regulación hasta los 35 bar se utiliza la válvula reguladora de presión M1. En la línea de presión del fluido correspondiente al paso de fijación en los pistones M12 y M13 se encuentran dispositivos que regulan tanto la presión de cierre como la velocidad. Estos son, M4, M5, M10 y M11.
6. **Traslación del carro:** Un motor neumático N6, accionado por un rotor con cavidades progresivas en las cuales el fluido entra a presión de 51 bar, convirtiendo la energía hidráulica de presión en energía mecánica. Cambiando la entrada del fluido al motor se logra cambiar el sentido del giro. Estrangulando el flujo disminuyendo la presión se logra disminuir las revoluciones por minuto por los reguladores N2 y N3. El carro avanza de la posición de reposo a la posición de corte cuando el fluido entra por el lado izquierdo del motor. Para impedir que flujos se desvíen se colocan válvulas anti retorno N4 y N5. El sentido de giro es controlado por la servo válvula N1.

7. **Corte de la barra:** El servo mecanismo P1 contiene dos válvulas interconectadas "P2" y "P5". La servo válvula "P2" es responsable por la dirección del flujo este debe llegar de forma constante sin fluctuaciones en la presión y velocidad constante lograda por "P3" y "P4" que es un conjunto de estranguladores y válvulas anti retorno. La válvula "P5" es un sistema que no esta accionada por una energía eléctrica como las otras válvulas, su operación se establece por un mecanismo de amortiguamiento del fluido por resorte, así una vez colocado el mecanismo que establece el sentido de flujo el gasto y presión se conservan.
8. **Expulsión de la barra:** El principio de funcionamiento es el mismo al de un pistón de doble efecto que para un pistón de medio giro Q4, la diferencia radica en su geometría semicircular. El sentido de flujo es controlado por la servo válvula Q1 y regulada su velocidad por estranguladores y válvulas anti retorno Q2 Y Q3 que impiden el vaciamiento de la línea cuando se encuentra en espera.

5.2 Descripción de componentes.

Es necesario hacer una descripción de cada uno de los componentes que intervienen en el sistema, a fin de tener una visión general del comportamiento de cada uno de los elementos, para después realizar su estudio y el compromiso que tiene cada uno de estos en el sistema en cuestión.

A. Deposito de Aceite

- | | | |
|------------------|--|--|
| A0 | Aceite Hidráulico
viscosidad ISO 26 | Es el componente que se encargará de lubricar los componentes en especial a la bomba de embolo previniendo su desgaste. Este elemento es de vital importancia en la fiabilidad del sistema, pues al acarrear partículas, puede provocar desgastes severos a los componentes. |
| A1 | Deposito del fluido
hidráulico | El propósito de este deposito será ayudar a la separación de aire y agentes extraños del fluido y también para disipar el calor generado dentro del sistema. En su diseño se contempla el retiro de dos placas posteriores para la limpieza interna del tanque además de tener una mirilla como dispositivo alternativo para verificar el nivel. |
| A2,
A3,
A4 | Sensores de nivel. | Debido a las fugas continuas que se tienen en el sistema por pérdidas en la lubricación y en la operación y son consideradas inevitables es necesario mantener un control automático del llenado del deposito. Los sensores A2 y A3 son de control, y el sensor A4 acciona un sistema de alarma que hace parar a todo el sistema (paro de emergencia). |
| A5 | Respiradero | Este respiradero tiene dos funciones primordiales, (1) es el evitar la entrada de partículas extrañas al tanque provenientes del ambiente (2) Mantener un equilibrio en la presión interna liberando los gases que se puedan producir. |

B**Conjunto de Bomba**

- B1** Válvula de paso tipo de bola
Aísla el depósito del conjunto de bombas para dar mantenimiento y evitar escurrimiento. Esta válvula nunca podrá ser cerrada cuando la bomba está en operación pues puede dañarse de manera irreparablemente.
- B2** Filtro de aceite.
Mantener limpio el fluido hidráulico, ya que las partículas causan excesivo desgaste y pérdida de potencia. Separar partículas mayores a 5 y 10 micras
- B3** Motor Eléctrico.
Motor trifásico jaula de ardilla totalmente cerrados; 220/440 V 60 hz. de 5 CV, 6 Polos a 1160 rpm, conexión YY/Y. Corriente nominal a 220 V 15.2 A y 440 V 7.6 A corriente de arranque 610 A. Proporciona la potencia necesaria y las rpm a la bomba de embolo.
- B4** Bomba de embolo.
Vickers, de 500 bar. de operación a 1160 rpm tipo radial, excentricidad para la variación de la presión.
- B5** Acople Homocinético.
Elimina las cargas inerciales al momento de transferir la potencia del motor eléctrico a la bomba de embolo. Se compone de una cruceta de caucho de nombre quijada cuadrada.

C**Sistema de protección contra una sobrepresión**

- C1** Válvula de paso tipo de bola
Protege al manómetro de variaciones de presión fuertes y de golpes de ariete. Para tomar una medición se necesita abrir lentamente para no provocar el golpe de ariete.
- C2** Manómetro tipo Bourdon
Medir las presiones entre un rango de 1 a 100 bar. Así mide la presión que entrega la bomba de embolo.
- C3** Regulador de presión
El rango de operación del sistema está entre 70 y 79 bar al llegar a una presión de 80 bar. Esta válvula es abierta mandando el exceso al tanque de almacenamiento, regresando a su nivel de presión normal en estado de operación.
- C4** Válvula de ajuste automático de presión
Con el fin de tener al sistema listo para operar, cuando se ha dejado en espera. Como la bomba (B4) no deja de trabajar y al mismo tiempo incrementa la presión dentro del sistema. Esta presión es liberada y mantenida en 80 bar. Dejando listo al sistema para su arranque.
- C5** Válvula anti-retorno
Controla la dirección del fluido hidráulico. Es vital su buen funcionamiento, pues un flujo inverso puede resultar peligroso para la bomba y el motor eléctrico al generar mayor potencia para vencer este flujo inverso.
- C6** Válvula de paso tipo de bola
La principal función de esta válvula es el utilizarla cuando se requieran hacer pruebas de funcionamiento a la bomba y al motor. Y al mismo tiempo calibrar el sistema de alivio de presión. El mantener cerrada esta válvula no afecta a sistema alguno, solo implica el paro de la operación de corte.

D

Sostenimiento de la presión

- D1** Válvula reguladora de velocidad o regulador unidireccional
Estrangula el caudal del fluido en un solo sentido . La sección anti-retorno cierra el paso del fluido en un solo sentido y obliga a pasar por la sección ajustada. En sentido contrario el fluido circula libremente por la válvula anti-retorno.
- D2,** Igual que C2 y C1
D3
D4 Deposito presurizado.
La función principal es medir la presión de sostenimiento del tanque presurizado.
Se aplica aire previamente a una presión de 50 bar lo cual hace que el fluido compensando al sistema. Hay que recordar que las bombas de embolo proporcionan un flujo y una presión tipo senoidal, y a manera de hacer este pulso constante se utiliza este tanque presurizado.
- D5** Estrangulador
La función principal de esta válvula es regular la presión de salida al sistema de drenado, pues hay que considerar que es muy elevada la presión.
- D6** Similar a B1
Esta válvula debe estar en posición cerrada cuando el sistema esta en operación y solo abrirla cuando se quiera drenar el deposito.
- D7** Alimentación de aire a presión
El aire es proporcionado por compresor en la fase inicial de operación a una presión de 50 bar posteriormente este queda confinado al inyectarse el fluido hidráulico, permitiendo una presión constante en el fluido de 50 bar variables de acuerdo al comportamiento de la presión proporcionada por la bomba B4.

M

Sistema de sujeción

- M1** Válvula reductora de presión
Tiene por objeto limitar la presión en el ramal de sujeción a un valor de 35 bar. Por debajo del ramal principal que se encuentra a 70 bar.
- M2** Similar a C1 y C2
M3
M4 Similar a D5
M5
M6 Válvula de 4 vías 3
M7 posiciones
Mide la presión de trabajo del ramal de sujeción.
Regula la presión de cada uno de los ramales de acuerdo a las necesidades propias del operador.
- M8** Válvulas anti-retorno
M9
M10 Similar a D1
M11
M12 Pistones doble efecto
M13
Cada una controla de manera independiente el movimiento de los pistones M12 y M13. En posición de reposo se encuentre drenando el excedente en el ramal de soltar.
Se colocan en cada uno de los ramales para tener presencia de fluido en el ramal y pistones. De esta manera se obtienen respuesta inmediata al aplicar cualquier presión sobre el sistema.
En la dirección de sujeción, se presenta una velocidad regulada lo que no sucede en la dirección de soltar.
Ejecutan el movimiento alternativo lineal, para la sujeción de la placa por medio de dos mordazas colocadas en su extremo.

N		Sistema de traslado del equipo de corte.
N1	Válvula de 4 vías 3 posiciones	Cerrada en posición de reposo. Proporciona un cambio de flujo al motor hidráulico para su giro a la derecha o ala izquierda según la necesidad del operador pera el movimiento del carro de corte.
N2	Similar a C3	Regulan la presión de entrada y salida al motor hidráulico.
N3		
N4	Similar a C5	Su función es impedir que un fluido afecte la dirección del otro.
N5		
N6	Motor Hidráulico.	Proporciona el par al eje, proporcionando movimiento al piñón acoplado a un riel dentado. Motor hidráulico (pistones radiales) tipo MKM 11 A 1X/M2A0.

P		Sistema de corte
P1	Sistema diferencial para la entrega de una presión y velocidad graduada a un flujo constante.	La válvula P2, recibe una presión reducida por el estrangulador P1 a 20 bar. Se coloca en cada vía de salida de la válvula P2 un regulador de velocidad. A modo de entregar a la válvula P5 un flujo, presión y velocidad constante. La válvula P5 utilizara esta característica del fluido para ir graduando su movimiento de manera muy lenta y constante.
P2		
P3		
P4		
P5		
P6	Similar a D1	El corte es efectuado de izquierda derecha, por lo que este movimiento, es regulada su velocidad. Por el criterio del operador. Este régimen se mantiene constante por la válvula diferencial.
P7	Similar a M12 y 13	En la punta del pistón sostiene un equipo de corte de oxiacetileno, graduado por el operador.

Q		Sistema de traslado de viga a trasportador de salida.
Q1	Similar a N1	Controla la dirección de giro del motor Q4.
Q2	Similar a M10 y M11	Controla la velocidad de giro con la que debe ser trasladada una viga al trasportador.
Q3		
Q4	Cilindro giratorio	Cilindro de 180° de giro. El principio de funcionamiento es el mismo que el de un pistón solo que su configuración es semicircular.

F		Sistema de llenado y retorno del sistema.
F1	Válvula anti- retorno calibrada	Esta válvula funciona como un dispositivo de redundancia para evitar la obstrucción del paso del fluido hidráulico proveniente del sistema y ocasione daños al sistema por sobre presión.

F2 Válvula anti-retorno

Esta válvula esta conectada al sistema de retorno de sistema y al mismo tiempo es por donde es abastecido el fluido hidráulico al deposito A1.

F3 Filtro De aceite

Este filtro tiene por función obstruir el paso a partículas provenientes del sistema como partículas de hierro, aluminio etc, provenientes del desgaste natural, también las partículas que provengan del sistema de llenado del deposito. En caso de taponamiento se acciona la válvula check calibrada a una presión definida y dejara pasar el flujo directo al tanque A1.

5.3 Análisis preliminar de fallas.

Un análisis del sistema para detectar los subsistemas o componentes que presentan altas probabilidades de falla es el objetivo en este paso. En el apartado 5.1 solo se realizó una descripción preliminar en este sentido, se tomaron como referencia el diagrama expuesto por el folleto y el diagrama modificado de la figura 5.1 donde se han renombrado los componentes con el propósito de cubrir todos y cada uno de los que actúan dentro del sistema. Esta es otra de las necesidades al realizar un estudio de fiabilidad, se debe tener información completa del sistema para poder detectar cualquier tipo de falla en el sistema y así poder proponer recomendaciones. Cada componente tiene una función que cumplir, el conocerla implica tener un mejor estudio de lo que puede ocurrir en el sistema.

ANALISIS DE LAS FALLAS DE CADA COMPONENTE Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA (FMEA)

Proyecto

Documentación de referencia

Sistema

Identificación del componente (referencia, designación, Tipo, Localización)	Funciones y estado de operación	Modo de falla del componente	Posible causa de falla del componente (Causas internas y externas)	Efectos sobre el sistema por la falla del componente	Medios de detección de la falla del componente (dentro o fuera del sistema)	Frecuencia de inspección y Prueba hacia el componente	Observaciones sobre le componente
A0. Fluido hidráulico viscosidad ISO 26	1 Medio de propagación de energía hidráulica.	1 Pérdida de las propiedades físico químicas, como viscosidad, densidad...etc.	1 Tiempos prolongados expuesto al oxígeno y calor. 2 Mezclados con aire y agua	1 Baja la eficiencia de la bomba. 2 Pistones y motor hidráulico, en baja eficiencia.	1 Análisis físico químico al aceite 2 Baja eficiencia en la bomba hidráulica	1 Cada 3 meses 2 Cada 2 días	Informe: Densidad, Contenido de partículas sólidas, viscosidad Operación normal de la bomba a 1160 rpm presión a 75 bar.
A1 Deposito de aceite hidráulico	1 Separación del aire y agentes extraños 2 Disipación de calor 3 Evita el flujo turbulento del fluido por medio de placas deflectoras	1 Tanque abierto por ruptura o fuga de sus ensambles 2 Permanencia dentro del tanque insuficiente 3 Deflectores no alineados o ausencia.	1 Pérdida del fluido e ingreso de cuerpos extraños 2 Sistema trabajando a temperatura anormal alta afectando la viscosidad 3 Aeración del fluido por turbulencia	1 Desgaste de bomba, taponamiento de filtros, calentamiento, operación anormal del sistema	1 Extraer muestra del fondo del tanque y otra muestra depuse del primer filtro para establecer la contaminación por partículas, temperatura, viscosidad, densidad etc.	1 Cada 3 meses	El muestreo se realiza en condiciones de paro total.
A2 Indicadores de nivel A3 nivel A4	1 Indicadores del nivel del aceite hidráulico: lleno, relleno y paro por bajo-bajo nivel	1 Pérdida de energía eléctrica en la alimentación o en el origen 2 Pérdida de calibración en el rango de abrir cerrar. 3 Error humano 4 Falla del mecanismo de flotación	1 Externa: corte eléctrico de origen de alimentación por sobrecarga, corto y cables dañados 2 Desajuste por uso o por naturaleza del equipo. 3 Mal ajuste 4 Deterioro de los componentes como el resorte, Flip-flop circuito, etc.	1 Si, es de alimentación puede quedarse vacío el tanque sin que se opere el mecanismo de emergencia o derramarse. 2 Pérdida de control adecuado de los tiempo de llenado, rellenado y paro.	1 Señales luminosas de operación correcta de los sensores 2 Nivel del fluido visible por mirilla	1 Una vez por turno.	Colocar alarmas sonora para detectar cualquier pérdida de energía eléctrica en el sistema

ANALISIS DE LAS FALLAS DE CADA COMPONENTE Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA (FMEA)

Proyecto

Documentación de referencia

Sistema

Identificación del componente (referencia, designación, Tipo, Localización)	Funciones y estado de operación	Modo de falla del componente	Posible causa de falla del componente (Causas internas y externas)	Efectos sobre el sistema por la falla del componente	Medios de detección de la falla del componente (dentro del sistema)	Frecuencia de inspección y Prueba hacia el componente	Observaciones sobre el componente
B1 Válvula de paso (tipo bola)	<ol style="list-style-type: none"> Aísla el sistema de abastecimiento con el sistema. Regula el gasto que le llega a la bomba 	<ol style="list-style-type: none"> Obstrucción del diámetro de paso Cierre no adecuado, apertura no adecuada. Por control o operador humano Fugas en las juntas 	<ol style="list-style-type: none"> Impide llegada del gasto adecuado a la bomba. Penetración de aire que puede provocar aireación en la bomba 	<ol style="list-style-type: none"> Principalmente afecta el desempeño de la bomba y en consecuencia una operación anormal del sistema 	<ol style="list-style-type: none"> Baja eficiencia en la bomba hidráulica 	<ol style="list-style-type: none"> 3 veces por semana 	El modo correcto de operación de la válvula en apertura completa, no debe abrirse parcialmente.
B2 Filtro	<ol style="list-style-type: none"> Separa partículas mayores a 5 y 10 micras 	<ol style="list-style-type: none"> Taponamiento de poros o deterioro de la malla 	<ol style="list-style-type: none"> Medio ambiente con exceso de polvo. Exceder su tiempo óptimo de operación 	<ol style="list-style-type: none"> Baja la eficiencia de la bomba Desgaste de internos de la bomba. Efecto sobre todo el sistema. 	<ol style="list-style-type: none"> La diferencia de presiones antes y depuse del filtro con valores altos 	<ol style="list-style-type: none"> Cambio 1 vez cada mes 	El gasto o esfuerzo para medir presiones es en algunas ocasiones inusual, se acostumbra mejor cambiar el filtro
B3 Motor Eléctrico	<ol style="list-style-type: none"> Proporciona la potencia necesaria para impulsar la bomba hidráulica 	<ol style="list-style-type: none"> Falla eléctrica de origen o de alimentación. Aislamiento del rotos en corto Rodamientos dañados 	<ol style="list-style-type: none"> No determinadas Daño severo al motor Falta de lubricación, penetración de agua, desgaste por uso. 	<ol style="list-style-type: none"> Paro total del sistema 	<ol style="list-style-type: none"> Medición de voltaje y corriente en el motor. 	<ol style="list-style-type: none"> Una vez por día 	En el comportamiento de la corriente y voltaje se pueden detectar operación anormal en el motor.
B4 Bomba de embolo	<ol style="list-style-type: none"> Proporciona energía al fluido en forma de presión. 	<ol style="list-style-type: none"> Fuga interna en la bomba. Desgaste en cámara de compresión 	<ol style="list-style-type: none"> Por uso Por sólidos 	<ol style="list-style-type: none"> Caída en la presión del sistema 	<ol style="list-style-type: none"> Manómetro situado a la salida de la bomba Cantidad de partículas en una muestra de aceite 	<ol style="list-style-type: none"> 1 vez cada semana 	Se debe diseñar un mantenimiento preventivo de acuerdo al uso.

ANALISIS DE LAS FALLAS DE CADA COMPONENTE Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA (FMEA)

Proyecto

Documentación de referencia

Sistema

Identificación del componente (referencia, designación, Tipo, Localización)	Funciones y estado de operación	Modo de falla del componente	Possible causa de falla del componente (Causas internas y externas)	Efectos sobre el sistema por la falla del componente	Medios de detección de la falla del componente (dentro del sistema)	Frecuencia de inspección y Prueba hacia el componente	Observaciones sobre le componente
B5 Acoplamiento flexible homocinético	1 Transmite la energía mecánica del motor a la bomba por medio de sus flechas	1 Desgaste de empaque 2 Error humano al ensamble	1 Por uso 2 Mala alineación entre las flechas	1 Paro del sistema	1 Normal operación	1 Un vez por cada 15 días	Son de uso limitado, con cambios a un cierto periodo de trabajo
C1 Manómetro tipo Bourdon para medir presiones entre 1 a 100 bar.	1 Mide la presión proporcionada por el motor y la bomba de embolo al sistema	1 Rompimiento del sistema mecánico por una sobrepresión 2 Impacto exterior	1 Taponamiento que aumente la presión y quitarlo de golpe. 2 Choque con un objeto externo	1 Falta de datos para saber si se esta en una operación normal o anormal	1 Presión establecida como un patrón	1 Una vez cada mes.	Un manómetro debe ser probado en una línea con presión conocida.
C2 Con válvula protectora.							
C3 Válvula de seguridad con control piloto	1 Limita la presión del circuito, para protegerlo de una sobre presión	1 Deformación del asiento 2 Vencimiento del resorte 3 Fuga interna por juntas 4 Obstrucción al cierre por particulas	1 Por desgaste natural 2 Por desgaste natural 3 Por desgaste natural 4 Fluido con partículas sólidas	1 No se tiene la capacidad para mantener la presión de trabajo 2 Una sobrepresión al sistema.	1 Rango de operación normal a observarse durante la misión del componente	1 Una vez por turno	Las condiciones de operación son: 80 bar abre 79 bar cierra.
C4 Servo válvula de 4/2	1 Paro de emergencia 2 Pone al sistema en espera.	1 Por fugas internas 2 Obstrucción de los internos de la válvula.	1 Por uso. 2 Partículas sólidas	1 Sistema sin paro de emergencia o receso	1 Energizar la válvula	1 Por cada receso	Energizar la válvula en tiempo de receso y verificar su adecuado funcionamiento
C5 Válvula anti retorno	1 Impedir el contra flujo del subsistema de controles a los demás subsistemas.	1 Deformación del asiento 2 Vencimiento del resorte 3 Obstrucción al cierre por particulas	1 Por desgaste natural 2 Fluido con partículas sólidas	1 Caída de presión o obturación por el contrario flujo.	1 Presión en el manómetro D3 fluctuante en rangos mas/menos 10 bar	1 Una vez por día	Verificar la operación del manómetro D3

ANALISIS DE LAS FALLAS DE CADA COMPONENTE Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA (FMEA)

Proyecto

Documentación de referencia

Sistema

Identificación del componente (referencia, designación, Tipo, Localización)	Funciones y estado de operación	Modo de falla del componente	Posible causa de falla del componente (Causas internas y externas)	Efectos sobre el sistema por la falla del componente	Medios de detección de la falla del componente (dentro del sistema)	Frecuencia de inspección y Prueba hacia el componente	Observaciones sobre el componente
C6 Válvula de paso (tipo bola)	1 Aísla el subsistema de presión con el de amortiguamiento y el de dispositivos.	1 Fugas en juntas 2 No abrió correctamente	1 Disminución del gasto y caída de presión al sistema de ejecución	1 Operación anormal	1 Indicador de apertura total de la válvula	1 1 vez por día	Condición normal de operación es totalmente abierta.
D1 Válvula de retención con restricción de presión	1 Fijar la presión óptima de amortiguamiento por ensaye y error	1 Falla de internos 2 Error humano	1 Por desgaste 2 Mal ajustada	1 Fluctuaciones de la presión en el sistema. 2 Sistema en estado anormal	1 Fluctuaciones en los manómetros D3 y C2	1 Verificar cada hora durante la operación los manómetros	Las condiciones de inestabilidad se deben a condiciones ambientales como temperatura por lo que se espera que este dispositivo sea controlado durante la operación
D2 Manómetro tipo Bourdon para medir presiones entre 1 a 100 bar.	1 Mide la presión proporcionada por el motor y la bomba de embolo al sistema	1 Rompimiento del sistema mecánico por una sobrepresión 2 Impacto exterior	1 Taponamiento que aumente la presión y quitarlo de golpe. 2 Choque con un objeto externo	1 Falta de datos para saber si se esta en una operación normal o anormal	1 Presión establecida como un patrón	1 Una vez cada mes.	Un manómetro debe ser probado en una línea con presión conocida.
D3 Con válvula protectora.							
D4 Tanque presurizado por aire.	1 Se fija una presión de 50 bar por aire y se ingresa aceite hidráulico para una alimentación rectificadora de presión	1 Fuga de fluido por juntas. 2 Nivel del fluido hidráulico desciende de tal forma que la presión del tanque se reduce de 50 a 20 bar.	1 Desgaste por uso	1 Inestabilidad del sistema en general	1 Manómetro D3 por debajo del rango de operación normal	1 Verificar cada hora durante la operación los manómetros	Los manómetros son sensores que determinan la mejor forma de operar el sistema

ANALISIS DE LAS FALLAS DE CADA COMPONENTE Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA (FMEA)

Proyecto

Documentación de referencia

Sistema

Identificación del componente (referencia, designación, Tipo, Localización)	Funciones y estado de operación	Modo de falla del componente	Posible causa de falla del componente (Causas internas y externas)	Efectos sobre el sistema por la falla del componente	Medios de detección de la falla del componente (dentro del sistema)	Frecuencia de inspección y Prueba hacia el componente	Observaciones sobre el componente
D5 Estrangulador de flujo	1 Estrangular la cantidad de fluido a drenar del tanque de almacenamiento	1 Desgaste por uso.	1 Medio ambiente	1 Pérdida del fluido en el tanque.	1 Manómetro D3 por debajo del rango de operación normal	1 Verificar cada hora durante la operación los manómetros	
D6 Válvula de paso (tipo bola)	1 Aísla el subsistema de presión con el de amortiguamiento y el de dispositivos.	1 Fugas en juntas 2 No abrió correctamente	1 Disminución del gasto y caída de presión al sistema de ejecución	1 Operación anormal	1 Indicador de apertura total de la válvula	1 1 vez por día	Condición normal de operación es totalmente abierta.
D7 Aire a presión proporcionada por un compresor	1 Se inyecta a una presión de 49 bar y al inyectar el fluido se comprime hasta 50 bar	1 Compresor al arranque del sistema no funciona.	1 No definidas para el presente estudio	1 Operación anormal	1 Manómetro D3 por debajo del rango de operación normal	1 Verificar cada hora durante la operación los manómetros	
M1 Válvula reductora de presión	1 Regula la presión a 35 bar en el subsistema de sujeción de barra	1 Deformación del asiento. 2 Vencimiento del resorte 3 Fuga interna por juntas 4 Obstrucción al cierre por partícula.	1 Por desgaste natural 2 3 4 Ingreso de partículas sólidas al sistema	1 No hay efectos al sistema solo al subsistema de fijación daño a pistones.	1 Presión en el manómetro M3	1 Verificar cada hora durante la operación los manómetros	
M2 Manómetro tipo Bourdon para medir presiones entre 1 a 100 bar.	1 Mide la presión proporcionada por el motor y la bomba de embolo al sistema	1 Rompimiento del sistema mecánico por una sobrepresión 2 Impacto exterior	1 Taponamiento que aumente la presión y quitarlo de golpe. 2 Choque con un objeto externo	1 Falta de datos para saber si se esta en una operación normal o anormal	1 Presión establecida como un patrón	1 Una vez cada mes.	Un manómetro debe ser probado en una línea con presión conocida.
M3 Con válvula protectora.							

ANALISIS DE LAS FALLAS DE CADA COMPONENTE Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA (FMEA)

Proyecto

Documentación de referencia

Sistema

Identificación del componente (referencia, designación, Tipo, Localización)	Funciones y estado de operación	Modo de falla del componente	Posible causa de falla del componente (Causas internas y externas)	Efectos sobre el sistema por la falla del componente	Medios de detección de la falla del componente (dentro del sistema)	Frecuencia de inspección y Prueba hacia el componente	Observaciones sobre el componente
M4 M5	Estrangulador de flujo	1 Regula la velocidad de apertura o cierre de los pistones M12 y M13	1 Desgaste por uso.	1 Medio ambiente	1 Velocidad de cierre y apertura no controlada	1 Operación de pistones	1 En operación
M6 M7	Válvulas distribuidoras 4/3 con posición central en flotación	1 Controlar la operación de apertura y cierre de los pistones M12 y M13	1 Falla eléctrica de origen o de alimentación. 2 Falla en bobinas por corto 3 Canales obstruidos 4 Atascamiento en los cambios de posición por falla de internos.	1 No determinada, por cables, o conexiones. Humedad, alto amperaje. Por partículas sólidas Oxido por presencia de agua	1 Operación anormal del sistema de sujeción	1 Velocidad de cierre y apertura, agarre en barra.	1 En condiciones de operación
M8 M9	Válvulas antiretorno	1 Mantiene la presión dentro de los pistones de manera sostenida y solo puede ser afectada aplicando una presión diferencial a alguna de las líneas	1 Fuga	1 Desgaste natural	1 Vaciamiento de líneas alimentación y Operación anormal de pistones M12 y M113	1 Velocidad de cierre y apertura, agarre en barra.	1 En condiciones de operación
M10 M11	Válvula de retención con restricción de presión	1 Fijar la presión optima de cierre	1 Falla de internos 2 Error humano	1 Por desgaste 2 Mal ajustada	1 Fluctuaciones de la presión en el sistema. 2 Sistema en estado anormal	1 Velocidad de cierre anormal	1 Verificar cada hora durante la operación

ANALISIS DE LAS FALLAS DE CADA COMPONENTE Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA (FMEA)

Proyecto

Documentación de referencia

Sistema

Identificación del componente (referencia, designación, Tipo, Localización)		Funciones y estado de operación	Modo de falla del componente	Posible causa de falla del componente (Causas internas y externas)	Efectos sobre el sistema por la falla del componente	Medios de detección de la falla del componente (dentro del sistema)	Frecuencia de inspección y Prueba hacia el componente	Observaciones sobre el componente
M12	Pistones de	1 Acoplados con mordaza sujetan la barra	1 Fuga interna por desgaste de empaques.	1 Oxidación de empaques por un fluido hidráulico contaminado o inadecuado.	1 Presión de cierre disminuida.	1 Velocidad de cierre anormal	1 Verificar cada hora durante la operación	
M13	doble efecto		2 Doblar el vástago.	2 A presiones de cierre o apertura altas.	2 Funcionalidad del pistón afectada.			
N1	Válvula distribuidora 4/3 con posición central en flotación	1 Controlar la operación de traslación de carro.	1 Falla eléctrica de origen o de alimentación. 2 Falla en bobinas por corto 3 Canales obstruidos 4 Atascamiento en los cambios de posición por falla de internos.	1 No determinada, por cables, o conexiones. Humedad, alto amperaje. Por partículas sólidas Oxido por presencia de agua	1 Operación anormal del subsistema de traslación del carro.	1 Velocidad de traslado afectada o pausada.	1 En condiciones de operación	
N2	Válvula reductora de presión	1 Regula la presión a 51 bar en la ida del carro y 24 bar en el retorno.	1 Deformación del asiento.	1 Por desgaste natural	1 No hay efectos al sistema solo al subsistema de traslación del carro.	1 No existe.	1 Verificar cada hora durante la operación	Es necesario establecer en líneas medidores de presión para detectar el adecuado funcionamiento del subsistema
N3			2 Vencimiento del resorte 3 Fuga interna por juntas 4 Obstrucción al cierre por partícula.	2 3 4 Ingreso de partículas sólidas al sistema				
N4	Válvula anti retorno	1 Impedir la interferencia de flujo en la ida y el retorno la traslación del carro.	1 Deformación del asiento	1 Por desgaste natural	1 Interferencia en la traslación del carro	1 No existe	1 Por operación	
N5			2 Vencimiento del resorte 3 Obstrucción al cierre por partículas	2 Fluido con partículas sólidas				

ANALISIS DE LAS FALLAS DE CADA COMPONENTE Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA (FMEA)

Proyecto

Documentación de referencia

Sistema

Identificación del componente (referencia, designación, Tipo, Localización)		Funciones y estado de operación	Modo de falla del componente	Posible causa de falla del componente (Causas internas y externas)	Efectos sobre el sistema por la falla del componente	Medios de detección de la falla del componente (dentro del sistema)	Frecuencia de inspección y Prueba hacia el componente	Observaciones sobre el componente
N6	Motor hidráulico	1 Transforma la energía de presión del fluido en energía mecánica al torque en flecha.	1 Internos 2 Obstrucción al cierre por partículas	1 Por desgaste natural 2 Fluido con partículas sólidas	1 Traslación del carro	1 Operación		Se requiere establecer un mecanismo para en caso de falla se traslade en forma manual. Por la doble redundancia se espera no presentarse el da
P1	Reguladora de presión	1 Regula la presión de entrada a la servo válvula P5	1 Presión no regulada.	1 La velocidad de cierre en la válvula P5 será anormal	1 Existe redundancia por equipo P4	1 Velocidad de cierre de válvula P5 anormal	1 En operación	
P2	Servo válvula 3/4	1 Establece la dirección del flujo que entrara a la válvula P5	1 Falla eléctrica de origen o de alimentación. 2 Falla en bobinas por corto 3 Canales obstruidos 4 Atascamiento en los cambios de posición por falla de internos.	1 No determinada, por cables, o conexiones. Humedad, alto amperaje. Por partículas sólidas Oxido por presencia de agua	1 Operación anormal del subsistema de traslado del carro.	1 Velocidad de traslado afectada o pausada.	1 En condiciones de operación	
P3 P4	Válvula de retención con restricción de presión	1 Regula la presión de entrada a la válvula P5	1 Falla de internos 2 Error humano	1 Por desgaste 2 Mal ajustada	1 Fluctuaciones de la presión en el subsistema de corte 2 Subsistema en estado anormal	1 Velocidad de corte no estable.	1 Verificar cada hora durante la operación	
P6	Válvula de retención con restricción de presión	1 Regula la presión de entrada al pistón P7	1 Falla de internos 2 Error humano	1 Por desgaste 2 Mal ajustada	1 Fluctuaciones de la presión en el subsistema de corte 2 Subsistema en estado anormal	1 Velocidad de corte no estable.	1 Verificar cada hora durante la operación	

ANALISIS DE LAS FALLAS DE CADA COMPONENTE Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA (FMEA)

Proyecto

Documentación de referencia

Sistema

Identificación del componente (referencia, designación, Tipo, Localización)	Funciones y estado de operación	Modo de falla del componente	Posible causa de falla del componente (Causas internas y externas)	Efectos sobre el sistema por la falla del componente	Medios de detección de la falla del componente (dentro del sistema)	Frecuencia de inspección y Prueba hacia el componente	Observaciones sobre el componente
P5 Válvula 3/4	1 No es operada por un servo mecanismo funciona con un diferencial de presión calibrado por medio de un resorte que regula de forma constante la velocidad del flujo al pistón P7	1 Resorte mal calibrado 2 Internos desgastados 3 Obstrucción de canales por partículas sólidas	1 Por desgaste natural Por ingreso de partículas sólidas al fluido	1 Desplazamiento del pistón P7 anormal en alguno de los sentidos	1 Por inspección en el desplazamiento del pistón	1 Verificar cada hora durante la operación	
P7 Pistón doble efecto	1 Sostiene una mordaza donde esta colocado el equipo de corte. Corta en dos sentidos la excederse y al contraerse	1 Fuga interna por desgaste de empaques. 2 Doblar el vástago.	1 Oxidación de empaques por un fluido hidráulico contaminado o inadecuado. 2 A presiones de cierre o apertura altas.	1 Presión de cierre disminuida. 2 Funcionalidad del pistón afectada.	1 Velocidad de excedencia y contracción anormal	1 Verificar cada hora durante la operación	
Q1 Válvulas distribuidoras 4/3 con posición central en flotación	1 Controlar la operación de medio giro del pistón Q4.	1 Falla eléctrica de origen o de alimentación. 2 Falla en bobinas por corto 3 Canales obstruidos 4 Atascamiento en los cambios de posición por falla de internos.	1 No determinada, por cables, o conexiones. Humedad, alto amperaje. Por partículas sólidas Oxido por presencia de agua	1 Operación anormal del subsistema de expulsión	1 Velocidad de giro y fuerza del mismo afectada	1 En condiciones de operación	
Q2 Válvula de retención con restricción de presión	1 Fijar la presión optima de operación	1 Falla de internos 2 Error humano	1 Por desgaste 2 Mal ajustada	1 Fluctuaciones de la presión en el subsistema. 2 Subsistema en estado anormal	1 Velocidad de expulsión anormal	1 Verificar cada hora durante la operación	

ANALISIS DE LAS FALLAS DE CADA COMPONENTE Y SU EFECTO SOBRE EL SISTEMA (FMEA)

Proyecto

Documentación de referencia

Sistema

Identificación del componente (referencia, designación, Tipo, Localización)	Funciones y estado de operación	Modo de falla del componente	Posible causa de falla del componente (Causas internas y externas)	Efectos sobre el sistema por la falla del componente	Medios de detección de la falla del componente (dentro del sistema)	Frecuencia de inspección y Prueba hacia el componente	Observaciones sobre el componente
Q4 Pistón doble efecto con geometría semicircular	1 Expulsar la barra del transportador de corte al transportador de salida	1 Fuga interna por desgaste de empaques. 2 Doblar el vástago.	1 Oxidación de empaques por un fluido hidráulico contaminado o inadecuado. 2 A presiones de cierre o apertura altas.	1 Presión de medio giro disminuida. 2 Funcionalidad del pistón afectada.	1 Velocidad de medio giro anormal	1 Verificar cada hora durante la operación	
F1 Válvula anti-retorno calibrada por resorte	1 En caso de taponamiento del filtro aumenta la presión de paso desviándose por F1	1 Resorte mal calibrado 2 Desgaste natural	1 Error humano 2 Partículas en el fluido aumentan el desgaste.	1 Operación del sistema de seguridad C3 por sobrepresión de línea.	1 NO existen	1 1 vez por semana	
F2 Válvula anti-retorno	1 Entrada de alimentación del fluido hidráulico en un sentido evitando el contra flujo.	1 Desgaste natural	1 Partículas en el fluido aumentan el desgaste.	1 Derrames no controlados del fluido	1 NO existen	1 1 vez por mes	
F3 Filtro de aceite	1 Separa partículas mayores a 5 y 10 micras	1 Taponamiento de poros o deterioro de la malla	1 Medio ambiente con exceso de polvo. 2 Exceder su tiempo optimo de operación	1 Baja la eficiencia de la bomba 2 Desgaste de internos de la bomba. 3 Efecto sobre todo el sistema.	1 La diferencia de presiones antes y depuse del filtro con valores altos	1 Cambio 1 vez cada mes	El gasto o esfuerzo para medir presiones es en algunas ocasiones inusual, se acostumbra mejor cambiar el filtro

5.3.1 Tabla registro de los modos de falla y los efectos sobre el sistema de cada componente (FMEA)

El evento superior que será analizado es: *la caída de presión por causa del sistema en el motor hidráulico*, sin tomar en cuenta las fallas que puedan ser ocasionadas por el mismo. Se desarrollara el árbol de falla que presenta a los distintos sistemas que tienen una influencia directa con la caída de presión.

A continuación se presenta una breve descripción de los sistemas que influyen en el evento superior, según como se muestra en el árbol de falla presentado en la figura 5.3.1

- El sistema de amortiguación de la presión, es vital para mantener una presión constante y no alternativa. De esta manera, en el nivel del tanque es en donde se manifiesta esta alternancia al subir y bajar la presión en la línea de nivel y no en el sistema. Se excluye del sistema el compresor que proporciona la presión inicial de aire, por la razón, que es necesario preparar otro estudio de fiabilidad en torno a este sistema y además su participación en la falla superior puede despreciarse. Posteriormente es inyectado al tanque el fluido hidráulico a una presión de 70 bar. En consecuencia se tiene a la presión de aire como un amortiguador de la presión del fluido.
- El sistema de alivio de presión, solo se ve afectada por la válvula reguladora, ya que la servo válvula sirve para mantener una presión constante de 80 bar cuando el sistema entra en espera.
- Es sistema de entrega de presión lo compone el motor eléctrico que entrega potencia mecánica a través del acople homocinético a la bomba de embolo, la cual se ve afectada por el filtro, al dejar pasar partículas provocando un desgaste o un bloqueo. En este caso solo consideramos el filtro tapado.
- El sistema de control, el cual esta compuesto por reguladoras de presión en el ramal izquierdo a 51 bar y en el derecho a 24 bar, considerando su falla como una desca-libración, y las válvulas anti-retorno que impiden el cruzamiento de flujos entre los ramales, las cuales se considera su falla como de paso.

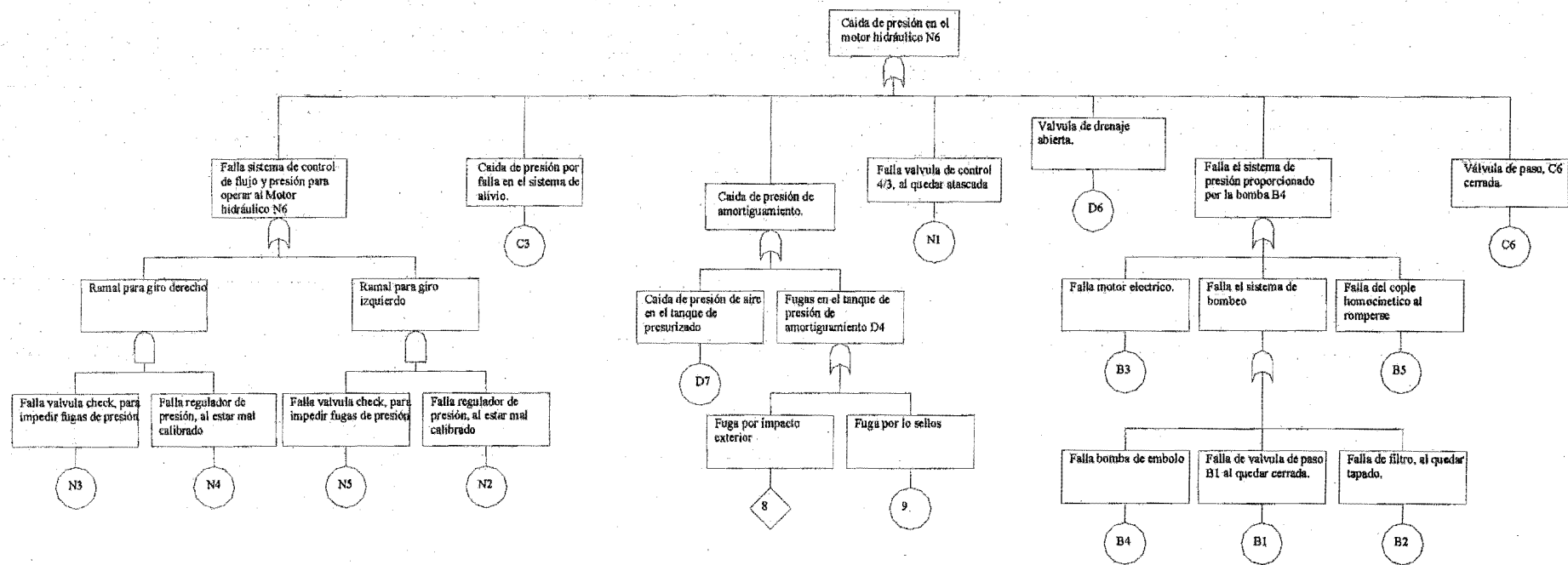


Figura 5.3.1. Árbol de falla presentado para el evento superior “Caída de presión en el motor hidráulico”

5.4 Diagrama de bloques.

Esta herramienta, es útil para encontrar los conjuntos de corte. La representación de los componentes en un arreglo en serie, nos determina que: al fallar cualquiera de ellos, basta para que se presente el evento superior, y la combinación de ambos componentes en paralelo tiene el mismo efecto.

En este caso ya sea por la utilización del método MOCUS o por el diagrama de bloques, es como se puede determinar los conjuntos mínimos de corte. El diagrama de bloques correspondiente al árbol de falla de la figura 5.3.1 es presentado en la figura 5.4.1

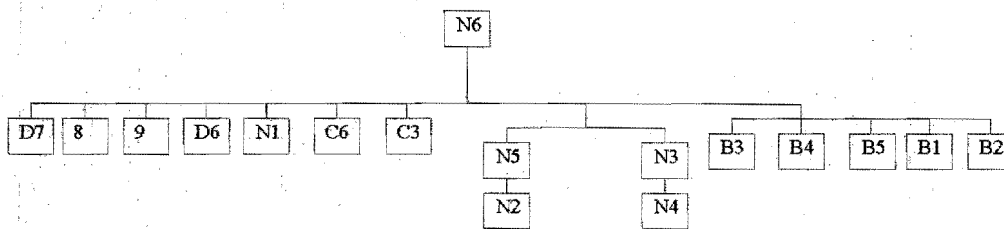


Figura 5.4.1 Diagrama de bloques

5.5 Determinación de los conjuntos mínimos de corte.

Existen dos métodos para determinar los conjuntos mínimos de corte, uno de ellos es el mostrado en el ejercicio del capítulo cuarto, y otro es por medio de álgebra booleana. La cual establece que un sistema en serie será sumado y un sistema encontrado en paralelo será multiplicado. Las ecuaciones derivadas para el desarrollo del álgebra booleana están dadas por:

$$A = B + C3 + E + N1 + G + C6 + D6$$

$$A = (C + D) + C3 + (D7 + F) + N1 + D6 + (B3 + (B1 + B4 + B2) + B5) + C6$$

$$A = (N3 * N4) + (N5 * N2) + C3 + (D7 + (8 + 9) + N1 + D6 + (B3 + (B1 + B4 + B2) + B5) + C6$$

$$A = N3 * N4 + N5 * N2 + C3 + D7 + 8 + 9 + N1 + D6 + B3 + B1 + B4 + B2 + B5 + C6.$$

Para comprobar el resultado se utiliza en método grafico el cual esta representado en la figura 5.5.2

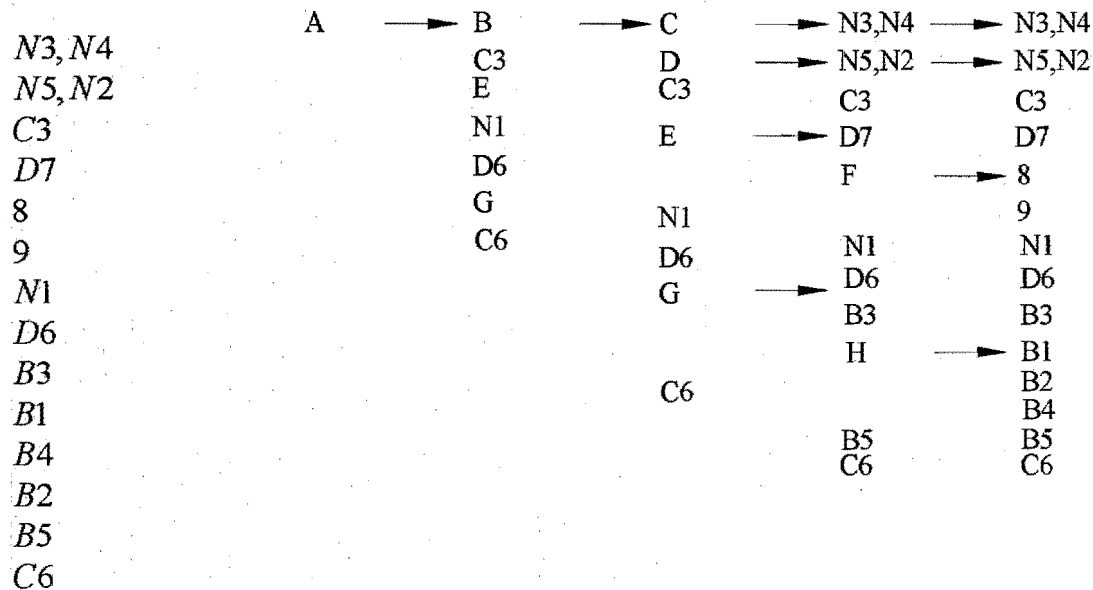


Figura 5.5.2 Método grafico para determinar los conjuntos mínimos de corte

Para encontrar los conjuntos mínimos de corte, se sigue una lógica de conjuntos, en donde existe un conjunto principal o un súper conjunto. Se les conoce con este nombre porque contienen a otros eventos que son subconjuntos, estos tendrán una influencia sobre la falla del evento superior mínima si sucede el evento principal o súper conjunto.

Siguiendo esta regla tenemos como ejemplo que el súper conjunto D7 (la pérdida de presión de aire), engloba a los subconjuntos, (caída de presión en el tanque) D4, y a su vez este súper conjunto engloba a (por impacto externo), 8 y (por fuga en sellos), 9. Si se considera solo al súper conjunto D7, los subconjuntos 8 y 9 podrán ser despreciados. Lo mismo sucede con el súper conjunto, (fallo de la bomba de embolo), B4. Los subconjuntos B1 (válvula cerrada) y B2, (taponamiento del filtro) su influencia es mínima al darse el evento B4.

Se observa en el presente caso, que los eventos básicos por si solos pueden ocasionar directamente la falla del evento superior, afectando un elemento que es de vital importancia para el mantenimiento de la presión, por lo tanto no hay conjuntos mínimos de corte. Quedando tal como se obtuvieron.

A partir de este conjunto mínimo de corte, se calculan las siguientes variables de fiabilidad resumidas en la tabla 5.5.1

Nombre	Descripción	Símbolos
No Disponibilidad	Es la probabilidad de que exista la falla en un tiempo establecido, t.	\bar{a}_i \bar{A}_k \bar{A}_T
No Fiabilidad	Es la probabilidad de que exista el evento falla en un intervalo de tiempo establecido, usualmente de 0 a t.	\bar{r}_i \bar{R}_k \bar{R}_T
Número de fallas esperadas	Es el numero promedio de ocurrencias de presentare el evento falla durante un intervalo de tiempo establecido.	enf_i ENF_k ENF_T
No Dependencia.	Es la probabilidad de que se presente el evento falla en algún tiempo inicial t, o ocurra entre un tiempo t, o al final de la misión.	\bar{d}_i \bar{D}_k \bar{D}_T
Probabilidad de fallar cuando es requerido (demandado).	Probabilidad de fallar en el intervalo de tiempo en el cual es requerido o demandado.	$pfod_i$ $PFOD_k$ $PFOD_T$
Tasa de falla	Se define como λdt . que es la probabilidad de que ocurra el evento falla entre un tiempo t y un tiempo $t + dt$. teniendo en cuenta que la falla no a ocurrido antes que el tiempo inicial t.	$\bar{\lambda}_i$ $\bar{\Lambda}_k$ $\bar{\Lambda}_T$
Tiempo promedio muerto	Es el tiempo que transcurre desde la falla del componente hasta su puesta en operación, este tiempo incluye aspectos como tiempo de detección de la falla, tiempo de reparación, etc.	τ_i τ_T
Probabilidad de falla en frecuencia de tiempo.	Es el número esperado de ocurrencia del evento falla por unidad de tiempo en un tiempo t.	rof_i ROF_k ROF_T
Tiempo promedio entre falla.	Tiempo promedio donde el evento falla no existe.	$mttf_i$ $MTTF_T$
Importancia	Es la influencia en términos de importancia de un conjunto mínimo de corte	I_k
Importancia	Es la influencia en términos de importancia de un evento básico	I_i

Tabla 5.5.1 Parámetros de fiabilidad

Análisis Cuantitativo.

El primer paso es determinar los datos de fiabilidad de cada componente, estos consisten en la tasa de falla y el tiempo promedio muerto. La tasa de falla, se puede obtener de históricos de la planta, experiencia del operador, manuales de falla en la industria y de opiniones de expertos.

El tiempo promedio muerto es el tiempo promedio desde que falla, hasta que es puesto en marcha, este incluye tiempo promedio del descubrimiento de la falla, tiempo promedio de reparación, entre otros factores que afecten el tiempo muerto del sistema.

Aunque en teoría todos los componentes son reparables, alguno de ellos puede ser tratado como no reparable. El razonamiento para determinar si un evento básico es reparable o no reparable está en relación con el tiempo de misión, si este es mayor al tiempo promedio muerto entonces el evento básico se considera como reparable, pero si el tiempo promedio muerto es mayor al de la misión entonces es no reparable. Determinar el como tratar a un evento básico en términos de ser reparable o no reparable es importante para escoger entre las ecuaciones proporcionadas por este método (KTT).

Un dato mas que debe ser adicionado en el análisis del problema es el tiempo de misión y el demandado.

Al observar los datos proyectados para un componente, es de primordial importancia considerar los que son aceptables y los que no lo son. Si la falla se presenta de manera que no cumple con la condición de falla por motivos de funcionamiento y desempeño entonces este dato no será representativo del componente, es decir, se necesita que el equipo trabaje en condiciones normales de inspección y mantenimiento para poder obtener una tasa de falla constante. Si no es así, entonces los datos cuantitativos serán alterados ya que la tasa de falla no es constante y fue afectada por factores externos o internos.

Si se cumple con estas características se podrán obtener los datos de fiabilidad como tiempo promedio muerto entre fallas, tiempo promedio muerto entre reparaciones, tiempo de restauración y pre-arranque.

Los datos que se consideran constantes bajo condición de mantenimiento e inspección son, tasa de falla y el tiempo promedio muerto. Con estos datos, podemos manejar ecuaciones diferenciales en el tiempo para la determinación de su fiabilidad.

Las ecuaciones para la determinación de la fiabilidad utilizando el método árbol de falla cinético son resumidas a continuación

Ecuaciones para el cálculo de la fiabilidad en un sistema

EVENTOS BASICOS

Variable	Formula	Aproximación	Condición	Estado del componente
No Fiabilidad	$\bar{r}_i = 1 - e^{-\lambda_i t}$	$\bar{r}_i = \lambda_i t$	$\lambda_i t < 0.1$	R NR
No Fiabilidad	$\bar{r}_i = \bar{a}_i = enf_i$			NR
No Disponibilidad	$\bar{a}_i = \frac{\lambda_i \tau_i}{1 + \lambda_i \tau_i} \left[1 - e^{-\left(\lambda_i + \frac{1}{\tau_i}\right)t} \right]$	$\bar{a}_i = \frac{\lambda_i \tau_i}{1 + \lambda_i \tau_i}$ $\bar{a}_i = \lambda_i \tau_i$	$(t \geq 2\tau_i)$ si $(\lambda_i \tau_i < 0.1, t \geq 2\tau_i)$	R NR
Falla en la demanda	$PFOD_i = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} \bar{a}_i(t) dt$ $PFOD_i = \bar{a}_i \text{ sup osición} = \lambda_i \tau_i$	$PFOD_i = \frac{\lambda_i T_i}{2}$ Ti = intervalo de prueba de evento básico i	$(\lambda_i t < 0.1)$ $(\lambda_i \tau_i < 0.1)$	NR R
NO Dependencia	$\bar{d}_i = PFOD_i + \bar{r}_i$			R NR
Proporción de la falla	$rof_i = (1 - \bar{a}_i) \lambda_i$			R NR
Numero esperado de fallas	$enf_i = \int_0^t rof_i dt$	T = Intervalo de tiempo de interes.		R NR

CONJUNTO MINIMO DE CORTE

Variable	Formula	Aproximación	Condición	Estado del componente
Disponibilidad	$\bar{A}_k = \prod_{i=1}^{n_k} a_i$	n_k = Numero de eventos básicos dentro de un conjunto de corte k.		R NR
Falla a la demanda de un CMC	$PFOD_k = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{A}_k(t) dt$	T = es un intervalo de tiempo en el que se demanda el conjunto de corte.		R NR
	$\bar{A}_k = \bar{R}_k = ENF_k$		Si todos los eventos básicos son no reparables en un CMC.	
Proporción de la falla	$ROF_k = \sum_{i=1}^{n_k} \lambda_i a_i \prod_{j=1, j \neq i}^{n_k} a_j$ $ROF_k = \bar{A}_k \sum_{i=1}^{n_k} \frac{\lambda_i}{a_i}$		a_i = disponibilidad del evento básico $(1 - a_i)$ Siempre que los eventos básicos tengan una fiabilidad muy alta casi 1	
Numero esperado de fallas	$ENF_k = \int_0^t ROF_k dt$	t = a un periodo de tiempo de interés.		
Fiabilidad	$\bar{R}_k \leq \int_0^T \Lambda_k dt$ $\bar{R}_k < ENF_k$		R_k es aproximadamente igual a ENF_k si ENF_k es casi igual a 0.1	
Dependencia	$\bar{D}_k = PFOD_k + \bar{R}_k$			
Tasa de falla	$\Lambda_k = \frac{ROF_k}{1 - \bar{A}_k}$			

EVENTO SUPERIOR

Variable	Formula	Aproximación	Condición	Estado del componente
Disponibilidad	$\overline{A}_T \leq \sum_{k=1}^N \overline{A}_k$			
Fiabilidad	$\overline{R}_T \leq \int_0^T \Lambda_T dt$	$\overline{R}_T \leq \sum_{k=1}^N \overline{R}_k$		
Numero esperado de fallas	$ENF_T \leq \sum_{k=1}^N ENF_k$			
Proporción de la falla	$ROF_T \leq \sum_{k=1}^N ROF_k$			
Tasa de falla	$\Lambda_T = \sum_{k=1}^N \Lambda_k$			
Dependencia	$\overline{D}_T \leq PFOD_T + \overline{R}_T$	$\overline{D}_T \leq \sum_{k=1}^N \overline{D}_k$		
Probabilidad de que falle cuando se demande	$PFOD_T \leq \int_0^T ROF_T dt$			
Tasa de falla Tope	$\Lambda_T = \sum \Lambda_k$			

GENERALES

Variable	Formula	Aproximación	Condición	Estado del componente
Tiempo muerto medio del evento tope	$\tau_T = \frac{\overline{A_T}}{\lambda_T}$		Si todos los eventos básicos dentro de todos los conjuntos mínimos de corte son reparables	

Importancia

$$I_k^{\bar{A}} = \frac{\overline{A_k}}{\overline{A_T}}$$

$$I_k^{\bar{R}} = \frac{\overline{R_k}}{\overline{R_T}}$$

$$I_k^{ENF} = \frac{ENF_K}{ENF_T}$$

$$I_i^{\bar{A}} = \sum_{k=1}^M I_k^{\bar{A}_k}$$

$$I_i^{\bar{R}} = \sum_{k=1}^M I_k^{\bar{R}_k}$$

$$I_i^{ENF} = \sum_{k=1}^M I_k^{ENF}$$

M = Número de conjuntos mínimos que contienen a los eventos básicos i.

6.1 Calculo de fiabilidad en los eventos básicos.

Para el calculo de la tasa de falla, se toma en cuenta los registros de la planta en cuestión, que serán simulados de acuerdo con una frecuencia de falla establecida por la experiencia; este calculo es presentado en la tabla 6.1 y 6.2.

Evento Básico	Evento/ tipo de operación.	Fallas por año	Hrs./año	Tasa de falla l, 1/año.
B5	Falla parcial al vibrar en operación	300	8760.00	3.4246575E-02
B2	Obstrucción	204	8760.00	2.3287671E-02
C3	No opera	200	5748.75	3.4790172E-02
N2	Desca libración	167	1825.00	2.7452055E-01
N3	Desca libración	150	1825.00	8.2191781E-02
D7	No hay presión de aire	134	8760.00	1.5296804E-02
B4	No opera la bomba	130	8760.00	1.4840183E-02
9	Fuga de sellos	93	8760.00	1.0616438E-02
N5	No retiene el flujo	87	1825.00	1.4301370E-01
N1	Atascamiento	84	1304.88	6.4373982E-02
B3	No opera el motor	72	8760.00	8.2191781E-03
D6	Abierta	62	8395.00	7.0776256E-03
N4	No retiene el flujo	60	1825.00	3.2876712E-02
C6	Falla al quedar cerrada en operación	54	8760.00	6.1643836E-03
B1	Cerrada en operación	49	8760.00	5.5936073E-03
8	Impacto exterior	1	8760.00	1.1415525E-04

Tabla 6.1. Datos de fiabilidad tasa de falla

El número de fallas que se han presentado no obedecen estrictamente a la forma en la que se debe calcular la tasa de falla, requiere de estrategia matemática mas compleja para involucrar su valor probabilístico que se apegue a su realidad, pero para fines del presente trabajo no se cuenta con la información, para determinar esta variable, por lo tanto se presenta una guía.

Nombre	Identificación del componente por nombre o clave
Descripción	Identificación de la función del componte
Tipo	Tipo de error que se esta calculando su probabilidad, entre ellos puede estar, de tipo probabilístico, humano, evento natural, etc. que describa la característica del valor
Explicación	En esta parte se presenta la forma en la que se da el evento.
Probabilidad	Valor aproximado
Bases para asignación De probabilidad	Se utilizan la suma o multiplicación de los errores que involucran al error principal.

Evento Básico	Tipo de operación	Tiempo medio muerto hrs.	Tiempo hrs./año	Tiempo hrs./día
N3	Demanda	1	1825.00	5.00
N4	Demanda	2	1825.00	5.00
N5	Demanda	2	1825.00	5.00
N2	Demanda	1	1825.00	5.00
C3	Demanda	1	5748.75	15.75
D7	Misión	3	8760.00	24.00
8	Misión	24	8760.00	24.00
9	Misión	4	8760.00	24.00
N1	Demanda	3	1304.88	3.58
D6	Misión	0.5	8395.00	23.00
B3	Misión	3	8760.00	24.00
B1	Misión	0.5	8760.00	24.00
B4	Misión	4	8760.00	24.00
B2	Misión	2	8760.00	24.00
B5	Misión	1	8760.00	24.00
C6	Misión	0.5	8760.00	24.00

Tabla 6.2. Datos de fiabilidad tiempo promedio muerto.

Para el cálculo de la disponibilidad se deben comprobar dos condiciones que se dan en la teoría KTT, para la aplicación de ecuaciones. Cabe señalar que basta con que se aplique la ecuación general para determinar la disponibilidad del evento básico.

Calculo de la disponibilidad y no disponibilidad del evento básico.

Evento Básico	Disponibilidad $1 - \bar{a}_i$	NO disponibilidad \bar{a}_i
N1	0.877191276	1.2280872E-01
N2	0.916522137	8.3477863E-02
N5	0.918586155	8.1413845E-02
N3	0.924389926	7.5610074E-02
N4	0.942600037	5.7399963E-02
B4	0.944062794	5.5937206E-02
B2	0.955497539	4.4502461E-02
D7	0.956133313	4.3866687E-02
9	0.959342389	4.0657611E-02
C3	0.966379494	3.3620506E-02
B5	0.966887417	3.3112583E-02
B3	0.975942456	2.4057544E-02
D6	0.996320911	3.6790885E-03
C6	0.996927279	3.0727211E-03
B1	0.997210997	2.7890034E-03
8	0.998270145	1.7298554E-03

Tabla 6.3. Disponibilidad de los componentes

En la tabla 6.3 se enlistan los eventos básicos que provocarían el evento tope en el sistema, cada uno de ellos es parte de un conjunto mínimo de corte. Hay que recordar que la no-disponibilidad es la probabilidad de presencia de falla en un tiempo establecido, y por consecuencia la disponibilidad es lo inverso.

Ahora bien, el tiempo que se vaya a establecer, es importante para determinar la disponibilidad. Si se calcula la disponibilidad para 8760 hrs. se advierte un resultado similar al realizar la operación tomando como referencia las horas de trabajo en un día: La probabilidad es la misma, es decir, la probabilidad de estar disponible el componente B4 en un día de trabajo es 94.4062 % y en un año de servicio es 94.3965 %. La disponibilidad depende de la tasa de falla y del tiempo medio muerto.

Los valores que se presentan en la tabla 6.3, ayudan a determinar cual de los eventos básicos es el que fallará en un tiempo establecido. El componente menos disponible es: N1, la válvula que controla el flujo del motor hidráulico. En un periodo de 24 horas se tiene una probabilidad de éxito del 87.7191 %, por lo tanto, se puede considerar como un valor no recomendable, pues de 100, solo 80 funcionara.

Probablemente es necesario establecer condiciones más eficientes de mantenimiento para aumentar su disponibilidad.

Los criterios para aumentar la disponibilidad de la servo válvula N1, son muy amplios y dependen de un estudio de costo-beneficio, con el fin de perseguir aumentar la disponibilidad de acuerdo a una meta establecida por la empresa, esta podría ser del 99.9999.

La probabilidad de que falle el evento básico al ser demandado en un día de trabajo. Es un dato que proporcionará una idea del evento que deberá ser atendido con mucho cuidado para que no provoque el fallo del sistema. Véase la siguiente tabla 6.4 para analizar los datos:

Tipo de operación	Evento Básico	Probabilidad de fallar en la demanda <i>pfod_i</i>	Hrs./día
Misión	B4	0.6712465	24.00
Misión	B2	0.5340295	24.00
Misión	D7	0.5264002	24.00
Misión	9	0.4878913	24.00
Misión	B5	0.3973510	24.00
Misión	B3	0.2886905	24.00
Demanda	C3	0.2647615	15.75
Demanda	N1	0.2195206	3.58
Demanda	N2	0.2086947	5.00
Demanda	N5	0.2035346	5.00
Demanda	N3	0.1890252	5.00
Demanda	N4	0.1434999	5.00
Misión	D6	0.0423095	23.00
Misión	C6	0.0368727	24.00
Misión	B1	0.0334680	24.00
Misión	8	0.0207583	24.00

Tabla 6.4. Probabilidad de fallar en la demanda.

Observar la tabla 6.4, la válvula N1, es el componente menos disponible a la hora de trabajar, pero el componente con mayor posibilidad de falla cuando se le demande es la bomba hidráulica. Por supuesto, la probabilidad de falla esta relacionada directamente con el tiempo de trabajo, el equipo que trabaje un tiempo mas prolongado será el que tenga una probabilidad de falla más alta.

Tomar decisiones, con respecto a la bomba B4, es de primordial importancia pues la probabilidad de falla es del 67.1246 % en un tiempo de 24 horas, es decir, que en el transcurso del día o puede estar trabajando o en reparación. Se puede aplicar una de las siguientes recomendaciones:

1. Conectar una bomba en paralelo que se encuentre en espera.
2. Realizar más paros semanales para inspección y pruebas.

3. Comparar fabricantes y elegir una de mayor disponibilidad.

Le sigue el filtro de aceite que separa las partículas antes de la bomba, posteriormente la presión de aire de sostenimiento y así sucesivamente. ¿Qué se puede hacer para disminuir esta probabilidad de falla en demanda a un objetivo de 0.00009? Como esta variable depende de la tasa de falla y del tiempo promedio muerto, entonces por conclusión se debe disminuir estos tiempos a valores establecidos como objetivos.

Por supuesto el disminuir la tasa de falla y el tiempo promedio muerto, son dos aspectos que involucran sin duda, alguna reingeniería o mejoramiento de los procedimientos administrativos.

¿Cuál de los componentes presentan un mayor número de fallas? En la tabla 6.5, se presenta el número de falla por cada componente en el periodo de un año.

Evento Básico	Evento/ tipo de operación.	Numero esperado de fallas. <i>enf_i</i>
B5	Falla parcial al vibrar en operación	290.07
B2	Obstrucción	194.92
C3	No opera	193.28
N2	Desca libración	153.06
N3	Desca libración	138.66
D7	No hay presión de aire	128.12
B4	No opera la bomba	122.73
9	Fuga de sellos	89.22
N5	No retiene el flujo	79.92
N1	Atascamiento	73.68
B3	No opera el motor	70.27
D6	Abierta	61.77
N4	No retiene el flujo	56.56
C6	Falla al quedar cerrada en operación	53.83
B1	Cerrada en operación	48.86
8	Impacto exterior	1.00

Tabla 6.5 Numero esperado de fallas

El acople homocinético falla con mayor frecuencia, seguido del filtro de aceite, la válvula de alivio y así sucesivamente.

Para la empresa es necesario tomar medidas para rediseñar la forma en la que es acoplada la bomba y el motor, o consultar a proveedores de diferentes marcas para tratar de encontrar un sistema mas confiable con respecto al acople homocinético. Si no es factible cambiarlo, entonces que se consulte los inventarios del almacén en cuanto a existencia de refacciones.

La fiabilidad, es sinónimo de falla, es decir un componente que no presente falla en un periodo de tiempo establecido es un componente confiable, este dato recuerda al número de falla en un componente. Los resultados que se obtengan en el cálculo de fiabilidad deben ser similares al del número esperado de fallas como se muestra en la tabla 6.6

Evento Básico	Evento/ tipo de operación.	Probabilidad de que falle durante el día Fiabilidad. \bar{r}_i
B5	Falla parcial al vibrar en operación	0.5604122
B2	Obstrucción	0.4281646
C3	No opera	0.4218635
N2	Desca libración	0.3671578
N3	Desca libración	0.3369858
D7	No hay presión de aire	0.3072758
B4	No opera la bomba	0.2996425
9	Fuga de sellos	0.2249243
N5	No retiene el flujo	0.2120780
N1	Atascamiento	0.2055752
B3	No opera el motor	0.1790231
D6	Abierta	0.1562196
N4	No retiene el flujo	0.1515835
C6	Falla al quedar cerrada en operación	0.1375216
B1	Cerrada en operación	0.1256256
8	Impacto exterior	0.0027360

Tabla 6.6 Fiabilidad de los componentes

Bien, podría pensarse, que los datos obtenidos, hasta este momento se conseguirían por deducción lógica al observar las fallas que se presentan en un año, es decir por medio de la experiencia.

El objetivo fundamental de este trabajo consiste en comparar que tan real resulta la aplicación de un estudio de fiabilidad, con la idea que se percibe al trabajar en estos sistemas pues bien, hasta este momento resulta muy congruente, el resultado obtenido, es aproximado. La divergencia radica principalmente en conocer de forma cuantitativa lo que esta sucediendo en el sistema. Es necesario imaginar un sistema que contenga un numero grande de componentes interactuando en un ente complejo, ¿cómo describir la fiabilidad del sistema? Sí, se realiza la predicción en base a la experiencia, se lograría establecer un método de evaluación cualitativo, valioso, pero se perdería la oportunidad de establecer una reingeniería para la mejora del sistema.

6.2 Cálculo de las variables de fiabilidad para los conjuntos mínimos de corte.

Se le conoce como un conjunto de corte a una ruta establecida por los componentes que causan el fracaso u el éxito de un evento tope. En el presente caso, no hubo conjuntos mínimos de corte, en realidad se establecieron rutas de corte, pues para obtener un conjunto mínimo de corte es necesario simplificar utilizando el criterio de los súper conjuntos. La tabla 6.2.1 presenta la disponibilidad de los conjuntos de corte.

K	CMC.	No disponibilidad \overline{A}_k	Disponibilidad $1 - \overline{A}_k$
7	N1	0.1228087	0.8771913
11	B4	0.0559372	0.9440628
12	B2	0.0445025	0.9554975
4	D7	0.0438667	0.9561333
6	9	0.0406576	0.9593424
3	C3	0.0336205	0.9663795
13	B5	0.0331126	0.9668874
9	B3	0.0240575	0.9759425
2	N5,N2	0.0067963	0.9932037
1	N3,N4	0.0043400	0.9956600
8	D6	0.0036791	0.9963209
14	C6	0.0030727	0.9969273
10	B1	0.0027890	0.9972110
5	8	0.0017299	0.9982701

Tabla 6.2.1, Disponibilidad de los Conjuntos de corte

Lo relevante de la tabla 6.2.1 es que los elementos N2, N5, N3, y N4 trabajan en conjunto para garantizar el buen funcionamiento del sistema, es necesario que los dos componentes muestre un mantenimiento efectivo para poder reducir el impacto de los mismo. Aunque su importancia en el sistema con respecto a la disponibilidad no se considere importante.

En donde no hay variabilidad, es en los demás elementos, pues siguen la misma secuencia de importancia con respecto a la disponibilidad de los eventos básicos.

Establecer cual es la ruta puede provocar el mayor numero de fallas para posteriormente implementar una ruta alternativa. Para este fin, se realiza el cálculo del número de falla esperado en la Tabla 6.2.2.

K	CMC.	Numero esperado de fallas ENF_k
7	N1	10.3159328
13	B5	9.9337748
12	B2	9.0785021
11	B4	7.2718368
3	C3	6.7241011
4	D7	5.8781360
6	9	3.7811578
9	B3	1.7321431
2	N5,N2	1.5941999
1	N3,N4	0.8509269
8	D6	0.2281035
14	C6	0.1659269
10	B1	0.1366612
5	8	0.0017299

Tabla 6.2.1 Número esperado de fallas den CMC

A cambiado el criterio con respecto al evento básico, ahora tenemos que la servo válvula N1 será la que mas fallará en el transcurso del año y provocara el evento superior. En seguida el acople homocinético, seguido del filtro y después la bomba hidráulica. Estas rutas son las mas delicadas del sistema pueden provocar las falla del motor hidráulico por caída de presión.

¿Porque existe diferencia, de percepción con respecto a los eventos básicos y a las rutas mínimas de corte?, hay que recordar que para el cálculo de las variables de fiabilidad en un evento básico se toma como referencia el tiempo de demanda en un año, por componente, al manejar las ecuaciones para encontrar las variables en un CMC, estamos ya manejando la combinación de las disponibilidades individuales para encontrar su efecto en la fiabilidad de la ruta, es decir A_k y una tasa de falla por ruta.

Es de percepción tomar como dato representativo los obtenidos en los eventos básicos y no en la ruta cuando se trate de CMC como los obtenidos en este caso.

Otro aspecto de interés dentro de la ruta es la probabilidad de falla a lo largo del tiempo en que es requerido, para ello mostremos la dependencia de los CMC.

K	CMC.	No dependencia \overline{D}_k	Dependencia $1 - \overline{D}_k$
11	B4	0.6911693	0.3088306852
12	B2	0.5589021	0.4410978541
4	D7	0.5425047	0.4574952794
6	9	0.4982507	0.5017493285
13	B5	0.4245668	0.5754331852
9	B3	0.2934361	0.7065638782
3	C3	0.2831837	0.7168163227
7	N1	0.2477834	0.7522165755
8	D6	0.0429345	0.9570655408
14	C6	0.0373272	0.9626727529
10	B1	0.0338425	0.9661575456
2	N5,N2	0.0213583	0.9786416946
5	8	0.0207630	0.9792369961
1	N3,N4	0.0131813	0.9868186547

Tabla 6.2.3 Dependencia de los CMC

De los dato, el componente que tiene mayor probabilidad de fallar durante el tiempo en que es requerido es la bamba hidráulica B4, seguida por el filtro de aceite B2 y en tercer lugar D7 la presión de aire en el tanque de amortiguamiento, etc. Se tomo como referencia el tiempo de trabajo realizado en un día. Estos son lo equipo en donde se deberán realizar procedimientos de trabajo de tal manera que garanticen su misión durante el día.

La falla en la demanda es distinta a la falla en el tiempo de trabajo (dependencia). Los datos son mostrados en la Tabla 6.2.4.

K	CMC.	Probabilidad de fallar en la demanda.	Probabilidad de éxito en la demanda.
		PFOD _K	1 - PFOD _K
11	B4	0.6712465	0.3287535
12	B2	0.5340295	0.4659705
4	D7	0.5264002	0.4735998
6	9	0.4878913	0.5121087
13	B5	0.3973510	0.6026490
9	B3	0.2886905	0.7113095
3	C3	0.2647615	0.7352385
7	N1	0.2195206	0.7804794
8	D6	0.0423095	0.9576905
14	C6	0.0368727	0.9631273
10	B1	0.0334680	0.9665320
5	8	0.0207583	0.9792417
2	N5,N2	0.0169906	0.9830094
1	N3,N4	0.0108500	0.9891500

Tabla 6.2.4 Probabilidad de fallar en la demanda

Se presenta la misma probabilidad de fallar cuando se le demande, en un CMC, a la del evento básico, por razones de que las rutas están compuestas por el propio evento básico.

Los resultados obtenidos en los eventos básicos y en los conjuntos mínimos de corte son muy similares, debido a la forma que fueron obtenidos y a que el sistema en si esta en serie, aun así lo mas importante es el resultado que se obtiene al considerar al sistema como un todo y ver como se comporta, este es tal vez el parámetro mas importante pues establece a fiabilidad del sistema en general.

6.3 Calculo de las variables de fiabilidad para el Evento Tope

En términos generales, ¿cuáles son los parámetros de fiabilidad del sistema, esta información se presenta a continuación.

No Disponibilidad \bar{A}_T	Probabilidad de fallar en la demanda PFOD _T	No fiabilidad \bar{R}_T	No dependencia \bar{D}_T	Numero esperado de falla ENF _T
0.4209703	0.3258647	0.3546700	0.6805348	57.69

Tabla 6.3.1, Estudio de fiabilidad del evento tope

En primer lugar el numero de fallas que se espera aparezcan en un año de trabajo es de 57.69 fallas, ¿esto es bueno o malo?, pues solo hay que hacer la cuenta indispensable para destacar la cantidad de dinero que se pierde por cada paro.

En segundo lugar, la probabilidad de falla dentro de un año de trabajo es, 42.09 %, es decir, que en el transcurso de este tiempo se puede trabajar o descansar, y el personal de mantenimiento sería en realidad el único ocupado.

Ahora bien, la probabilidad de falla en el sistema en un día de trabajo es del 35.4670 % y la probabilidad se realice en el intervalo de este lapso, ya sea al arranque, trabajando o al final de la misión es del 68.053 % en un día, es decir, el sistema en general no es confiable pues en cualquier momento puede fallar.

6.4 Análisis de resultados sobre el sistema

Los datos fueron redondeados a 7 cifras significativas, para poder tener una visión mas clara del comportamiento del sistema, si se quiere hacer el intento con dos cifras encontrará que los datos darán una impresión muy diferente.

Nombre	Descripción	Símbolos	Valor
No Disponibilidad	Es la probabilidad de que exista la falla en un día de trabajo.	\bar{A}_T	0.4209703
No Fiabilidad	Es la probabilidad de que exista el evento falla en un intervalo de tiempo establecido, en un día de trabajo.	\bar{R}_T	0.3546700
Número de fallas esperadas	Es el numero promedio de ocurrencias de presentare el evento falla durante un intervalo de tiempo establecido. En un año de trabajo.	ENF _T	57.69
No Dependencia.	Es la probabilidad de que se presente el evento falla en algún tiempo inicial t, o ocurra entre un tiempo t, o al final de la misión. Durante un día de trabajo.	\bar{D}_T	0.6805348
Probabilidad de fallar cuando es requerido (demandado).	Probabilidad de fallar en el intervalo de tiempo en el cual es requerido o demandado. Durante un día de trabajo.	PFOD _T	0.3258647
Probabilidad de la falla en una frecuencia de tiempo.	Es el número esperado de ocurrencia del evento- falla-por-unidad de tiempo en un tiempo t. En un día de trabajo.	ROF _T	0.0135777

Tabla 6.4.1, Resumen

Si el responsable de mantener el sistema se propone tenerlo dispuesto de 100 veces que sea requerido, las 100 veces, encontrara que solo 57.90 % de las veces funcionará, el 42.09 % de las veces fallará.

Al mismo tiempo este responsable se preguntara extrañado “__mi sistema no es confiable ¿por qué?__” tengo una fiabilidad del 35.46 % de falla. Es necesario establecer estrategias que nos permita mejorar.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las páginas anteriores se puede establecer toda una gama de estrategias dirigidas a aumentar la fiabilidad, es decir, es probable que se encuentre la posibilidad de tener a disposición mayor número de refacciones, mejorar los tiempos muertos, y por supuesto reducir la tasa de falla que se tiene por componente, pues en suma estas variables son las responsables del efecto sobre el sistema.

Regresando al sistema, se puede considerar que el equipo más importante es la bomba que nos proporciona la presión, en segundo lugar el motor eléctrico y así sucesivamente. Se listarían los equipos críticos de acuerdo a la experiencia lo cual sería una suposición.

Este estudio demuestra incluso, cual de los conjuntos mínimos de corte que involucra a los eventos básicos es el que tiene mayor participación en la falla, en base a su disponibilidad, es decir, ¿Cuál de todos los conjuntos mínimos de corte es el que está menos disponible?:

Pero la pregunta es ¿cual de los componentes es el que debe atender con mayor prontitud, puesto que en los análisis los eventos básicos se observo que los componentes con mayor aportación al fracaso del sistema son unos y en el CMC, son otros.

Es aquí donde destaca una herramienta más, la cual tiene por nombre: importancia, que tiene los conjuntos mínimos de corte y los eventos básicos para provocar el evento tope.

La importancia es la ponderación en torno al evento tope y el valor obtenido en cada CMC y después en cada evento básico. A continuación ilustra esta importancia relativa a cada situación que es tomada como base para ponderar.

CMC	
N1	0.5957662341
B4	0.8158786549
B2	0.8535169413
D7	0.8556096402
9	0.8661725427
C3	0.8893356827
B5	0.8910075476
B3	0.9208128614
N5,N2	0.9776296410
N3,N4	0.9857145264
D6	0.9878900150
C6	0.9898859172
B1	0.9908197945
8	0.9943060564

Tabla 6.4.2 Importancia disponibilidad vs. Tope

Esta es la importancia que tiene cada conjunto mínimo de corte dentro del sistema, como se puede observar, se tiene que el conjunto puede ocasionar la falla con mayor frecuencia es la servo válvula N1, seguido por la bomba hidráulica B4 como se había supuesto anteriormente. Le sigue en importancia, el filtro de aceite y no el motor eléctrico B5, pues aun mas relevante de tratar es el acople homocinético B5, la presión de aire D7, fuga de sellos en el tanque D4.

De acuerdo a estos datos, se pueden establecer las siguientes estrategias; un arreglo en paralelo, para tener un equipo en espera en caso de falla en la bomba hidráulica, por ejemplo, o haciendo un estudio de costo-beneficio, si este estudio determina que será mejor atender otros aspectos de menos costo e igual de eficientes para aumentar la disponibilidad del sistema.

Bien pero tal vez no es satisfactorio el saber que conjunto mínimo de corte es el que provee una probabilidad mayor de que el sistema falle. Se debe considerar cual de los componentes es el que tiene mas probabilidad de fallar en un tiempo determinado, esto se logra encontrando su importancia dentro de la fiabilidad total teniendo en cuenta la siguiente tabla.

Evento Básico	
N1	0.5957662341
B4	0.8158786549
B2	0.8535169413
D7	0.8556096402
9	0.8661725427
N5	0.8893356827
C3	0.8893356827
B5	0.8910075476
B3	0.9208128614
N2	0.9776296410
N3	0.9857145264
N4	0.9857145264
D6	0.9878900150
C6	0.9898859172
B1	0.9908197945
8	0.9943060564

Tabla 6.4.3, Importancia, fiabilidad vs. Tope

Pues bien, se confirma que la servo válvula N1 es el componente más delicado del sistema seguido por la bomba y por el filtro de aceite, la presión de aire y así sucesivamente.

Por el criterio del responsable del mantenimiento, podrá mejorar el sistema atendiendo a cada uno de los componentes que le sea mas accesibles, posteriormente si los datos al ser modificados establecen

un parámetro de operación acorde con los recursos económicos que se tiene o con la demanda de producción entonces se mantendrá bajo esas circunstancias, si no ¿en que punto atacar para poder mejorar el sistema?. Es necesario realizar los estudios pertinentes a fin de mejorar el sistema

Por su puesto lo que interesa es tener el equipo disponible cuando se le requiere aunque su fiabilidad disminuya en su valor. Para la industria en general contar con el sistema cuando es demandado es de vital importancia, y una pregunta ¿cual de los componentes se debe atender? de tal manera que aunque el sistema falle se pueda restablecer de forma casi inmediata y así lograr su disponibilidad. Pues bien calculemos la disponibilidad de estos componentes.

Evento Básico	
N1	0.5957662341
B4	0.8158786549
B2	0.8535169413
D7	0.8556096402
9	0.8661725427
N5	0.8893356827
C3	0.8893356827
B5	0.8910075476
B3	0.9208128614
N2	0.9776296410
N3	0.9857145264
N4	0.9857145264
D6	0.9878900150
C6	0.9898859172
B1	0.9908197945
8	0.9943060564

Tabla 6.4.4 disponibilidad básico vs. Tope

El hecho de que los datos sean congruentes con lo expuesto en los anteriores casos quiere decir que se tiene una congruencia en el modelo empleado para calcular las variables de fiabilidad.

Se observa nuevamente con la menor disponibilidad a la válvula N1 posteriormente a la bomba hidráulica B4, al filtro de aceite, etc. El cambiar de filtro con mayor frecuencia que la normal, posteriormente evitar drenar el tanque de amortiguamiento, para conservar mas tiempo la presión de aire y utilizar el compresor solo para recarga, la válvula N1, podemos tener un stock de modo que se pueda reducir el tiempo promedio muerto o disponer de una en paralelo.

Todo es cuestión de analizar las posibilidades y tomar una decisión.

Así, como se menciona en la introducción cabe decir que cualquier pregunta que se formulara con respecto a la eficiencia del sistema estaría contestada en forma casi total, pues en la probabilidad como puede suceder o no suceder, todo depende de la proporción del riesgo.

La utilidad que tiene este tipo de estudio, es sin duda muy amplia, aquí solo podríamos enumerar algunas:

- En el inventario de refacciones
- En la elaboración de planes de mantenimiento
- En la relación de costos en la modificación de instalaciones
- En la capacidad para producir un servicio o un bien
- Entre otros.

Se ha desarrollado sistemas de administración en donde se utilizan estas técnicas conocidas con el nombre de six sigma, que no es otra cosa que lograr un número de 0.99999, para todas las áreas en donde se requiera aumentar su eficacia. ¿Qué métodos utilizara esta técnica para determinar este número?, con seguridad que tiene que ver con estos estudios de fiabilidad.

Conclusiones

Es necesario mencionar, la trayectoria que ha tenido la ingeniería de fiabilidad pues tiene un efecto cognoscitivo muy importante en los esfuerzos que ha llevado a cabo el hombre para garantizar la fiabilidad en los procesos productivos y en la creación de tecnología de muy alta calidad.

Si bien la fiabilidad surgió en la década de los 40's no fue hasta la década de los 80's que tuvo un auge de grandes magnitudes y efectos a nivel mundial. La fiabilidad tuvo su nacimiento en la industria aérea espacial y en la industria armamentística y no es una casualidad que empresas con un alto nivel de perfeccionamiento para el cumplimiento de la misión para la cual fue creado el sistema ingenieril haya desarrollado los primeros métodos para garantizar que se cumpla con las expectativas planeadas.

Si bien en los Estados Unidos estableció un modelo de fabricación que tenía como principal fin lograr la fiabilidad requerida de los productos y era orientado hacia el logro de la calidad, estos modelos exhibían las siguientes características: un mejor diseño, mejores características de materiales, mejorar la maleabilidad de los mismos, aumentar el diseño de aparatos de inspección, etc. todo era con el fin de lograr una vida útil mayor en los componentes que constituyen el ensamble.

Como ejemplo se puede citar al motor de tracción de las locomotoras diseñadas por la división de General Motor. Se aumentó la vida útil de 250 000 millas a 1 000 000 de millas y esto fue logrado gracias a la aislamiento de la alta temperatura y al rediseño del rodamiento de bola esféricas.

Otro avance de importancia en el área de fiabilidad se dio al crear métodos de inspección, hojas de control de procesos, niveles de evaluación y la creación de incentivos para productos de calidad. Esto marca el primer avance en la fiabilidad al contar con técnicas de evaluación del control de la calidad y la inspección asociada a las técnicas estadísticas.

En la posterior década el departamento de mantenimiento en general era consumidor y precursor de muchas de las pérdidas económicas que enfrenta una empresa. Los gastos podrían enumerarse tomando como principal eje el equipo en torno a sus gastos de operación, mantenimiento, periféricos de inspección, entre otros. Otro aspecto tenía que ver con el diseño del equipo, pues en términos de mantenimiento era mejor esperar a que fallará y después repararlo pues el mantenimiento preventivo y de inspección se disparaba por encima del mantenimiento de falla.

Por consecuencia se integra la etapa de diseño para garantizar una fiabilidad que sea flexible entre el costo de mantenimiento y la productividad.

Al mismo tiempo se dio a conocer en la década de los 50's el efecto que tenía sobre la fiabilidad de un equipo el error humano, el cual quedó establecido en la famosa proporción de fallas entre el hombre y la máquina, el hombre falla un 80 % mientras que la máquina falla un 20 %. Así que nos hace pensar que el hombre causa el 80 % de las pérdidas por concepto de fiabilidad.

Bien en la época de los 60's y 70's el departamento de defensa de los US estableció normas en las cuales se requiere estudios de fiabilidad en todas las fases de un proyecto donde se utilizan las herramientas árbol de falla y los diagramas de bloques los cuales eran establecidos a partir de una

herramienta que muestra los modos de falla y las consecuencia que puede tener dentro del contexto del proyecto y por supuesto las bases estadísticas obtenidas en los controles de calidad.

Bien como puede observarse es en torno a los equipos en donde se ha desarrollado la ciencia de la fiabilidad.

El árbol de falla cinético es un método de aproximación que establece una serie de condiciones para su utilización y manejo de variables como se menciona en el apéndice A. Afortunadamente las condiciones son aplicables a casi todos los sistemas y mecanismos que se encuentran en la ingeniería. Solo en algunos casos donde son requeridos temporizadores y actuadores por medio de un respuesta lógica booleana es el lugar en donde se encuentra la mayor dificultad.

Aun así, es posible establecer las tasas de fallas como una aproximación y contar con los cálculos que nos permita establecer la fiabilidad del sistema. Pues como puede comprobarse, en el estudio aplicado al sistema hidráulico arroja resultados que bien se asemejan a las condiciones reales de mantenimiento con respecto a nuestro criterio de equipo crítico.

Es obvio resaltar las grandes ventajas que implica utilizar esta herramienta para el diseño de la administración del mantenimiento, afectando a todos los departamentos involucrados, que en esencia serian: almacén de refacciones, eficiencia del departamento de compras, finanzas etc.

La capacitación estará orientada de una mejor manera pues si los equipos no son rotados con mucha frecuencia se podría realizar cursos de funcionamiento de los sistemas y así proporcionar una visión mas general a los encargados del mantenimiento y no crear los famosos cursos donde se abarca mucho y no se tocan los aspectos mas relevantes. Se podrá rediseñar un sistema de administración realmente preventivo, mostrando la potencial herramienta que tiene el sistema de fiabilidad al dar a conocer los sistemas mas fiables, mas disponibles y su respectiva tasa de falla.

La integración de un equipo multidisciplinario podrá dar un sustento en la mejora de la fiabilidad en los sistemas, pues existen otras áreas inmersas en las industrias que son afectadas directa o indirectamente: la prevención de accidentes, el cuidado al entorno ambiental, la seguridad, la higiene, etc.

Darle un sentido al evento tope que se requiera investigar es la forma como se obtendrá la información necesaria que proporcione los datos de fiabilidad para proveer a nuestro medio de una herramienta administrativa capaz de configurar nuestro entorno productivo.

El conocido desacuerdo con el que generalmente trabajan los departamentos de mantenimiento y de producción quedaría prácticamente eliminada por un consenso para integrar la información.

La ingeniería de fiabilidad da la impresión de necesitar muchos años para la conformación de la información a nivel cualitativos para después obtener los datos cuantitativos, esta sería la desventaja.

Pero las ventajas:

- Capacitación: para la captura de datos de fiabilidad a todo el personal de mantenimiento para cubrir las distintas áreas de la ingeniería enfocando a los equipos en áreas y componentes con mayor participación en la falla.
- Elaboración de procedimientos mas certeros para realizar mantenimientos preventivos, inspecciones y pruebas.
- La posibilidad real de eliminar al operador de producción para sustituirlo por uno que opere mantenga, capture y maneje los datos.
- Información de importancia para establecer parámetros de control en el proceso
- Desarrollo de estrategias y planes con el fin de aumentar la productividad y disminuir la incidencia de errores no previstos en el sistema.

El inventario de refacciones es un gasto pasivo de capital que afecta directamente a la utilidad de la empresa, no hacerlo eficiente puede ocasionar perdidas de utilidad por encima del 50 %. La ingeniería de fiabilidad, permite establecer cual de los equipos estará propenso a fallar durante un periodo establecido, y así delimitar la compra. Se incluyen otras ventajas:

- El equilibrio entre la entrada y la salida de una refacción, pues un almacén eficiente es aquel en donde el periodo de estancia debe ser acortado a su mínima expresión.
- Se podrán establecer programas de compra mejor planeados .
- Se podrán hacer evaluaciones de eficiencia mas certeras y sin perjuicio a las diferentes marcas de refacciones.

El tener personal especializado en un área, limita a la empresa; en la reparación eficiente del equipo, pues hoy en día la maquinaria, involucra todas las ingenierías, con tal efecto que sean necesarios los servicios de los técnicos entrenados en la empresa dueña de la marca para resolver problemas que el especialista, (ya sea por ausencia o por falta de entrenamiento) no pueda resolver, creando una dependencia tal, que es posible la creación de un departamento exclusivo externo a la empresa, o establecer planes de servicio por el dueño de la marca. Esto por supuesto se ve reflejado en la reducción de la utilidad.

El costo inicial al realizar el estudio de fiabilidad puede ser muy elevado en principio, pues se necesita personal con alta capacidad de análisis y conocedor de las principales áreas de la ingeniería. Pero una vez elaborado el estudio:

- Se contará con la información suficiente para determinar las áreas de riesgo.
- Información para la creación de procedimientos certeros en mantenimiento preventivo, inspección y prueba.
- Planes de capacitación dirigidos a las áreas que afectan en mayor grado al proceso en general.
- Reforzamiento de conocimientos en el personal que demuestre una caída de sus habilidades en el análisis y elaboración de sus obligaciones en forma eficiente.
- Todo esto dirigido a la necesidad de prescindir de los servicios técnicos de la marca.

La información capturada por el personal de operación y mantenimiento son datos relacionados. Esta no tiene una relación útil para la elaboración del estudio de fiabilidad además no se les informa de la importancia. Como consecuencia se pierde el interés o en el peor de los casos se miente.

El no tomar datos de manera ordenada y con la utilidad que se requiere se obtienen registros de difícil manipulación. No tienen coherencia directa con la eficiencia de la empresa pues al final de un periodo de evaluación solo podrán establecer que se cumplió con la meta de producción aunque su gastos de operación directa e indirecta aparezcan simulados.

Es posible entrenar al personal de operación y mantenimiento para llevar a cabo el registro con respecto a un equipo, desmenuzar la información y concentrar los datos de forma relevante y manejable. De esta manera se hace participe la eficiencia del equipo y de su productividad.

EL 80 % de las fallas provienen de un sistema de administración y el 20 % del capital productivo, es decir que en el 80 % están en manos del personal y el 20 % en los sistemas. No es necesario buscar a genios en el mundo, es necesario hacerlos, pero he aquí la divergencia. El transformar a un genio requiere de entrenamiento dirigido, que cumpla con las expectativas de la empresa.

Un estudio completo de fiabilidad, provee como principal herramienta la información necesaria para detectar las áreas en las cuales debe ser entrenado el personal para cubrir su perfil humano exigido.

El estudio de fiabilidad, es una herramienta poderosa que engloba los aspectos de calidad mas relevantes en la época actual, los equipos son más complejos y se requiere de un gasto de producción muy por debajo de la competencia.

En principio, generar este estudio puede llevar años, pero sin duda es una inversión necesaria para cualquier complejo, pues la mayor parte del tiempo es utilizado en la captura de datos reales que sean apropiados para la elaboración del mismo.

Las técnicas matemáticas, estadísticas etc. utilizadas para la elaboración de este estudio son de un manejo muy especial, pues no todos los componentes tienen comportamientos como el presentado en la grafica "tina de baño", algunos tendrán comportamientos aleatorios, y otros un comportamiento errático. Aun con esta limitaciones es posible generar modelos que se aproximen a al comportamiento real y generar los datos necesarios para su tratamiento.

El estudio elaborado al sistema hidráulico demuestra con gran certeza que existen componentes que tienen influencia directa e indirecta sobre el sistema en general, por mencionar un ejemplo, observe la válvula de drenado del sistema de amortiguamiento D6, es el componente que puede ocasionar que el sistema falle en cualquier momento de acuerdo a lo establecido en la probabilidad de falla cuando se opere en cualquier instante del proceso de producción (dependencia). El resultado de este dato por si solo puede dar una idea clara de las acciones que son necesarias tomar, y evitar al 100 % la posibilidad de ocurrencia.

Se puede concluir, que el estudio cumple con las expectativas de ser una herramienta poderosa para el tratamiento de datos y para apoyo del sistema de administración, pues no solo presenta una información que esta basada en un ejercicio que asemeja a un hecho real, y que ayuda a visualizar los factores mas relevantes que pueden afectar el sistema y a diferencia de un estudio intuitivo o un estudio desorganizado dificilmente lo puede lograr.

Bibliografía.

E. J. Henley and H. Kumamoto, Reliability Engineering and Risk Assessment, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs 1981.

Alain Pages, Michel Gondran, System Reliability. Evaluation and Prediction in Engineering Editorial. Sprinco-Verlag 1983

Henney, K et al.: Reliability Factor for Ground Electronic Equipment, McGraw-Hill Book Company, New York, 1956

Chorofas, Dimitri N., Statistical Processes and Reliability Engineering, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1960.

Gryna F. M., N. J. Ryerson And S. Swerling (eds,) Reliability Training Text, 2nd ed., East 79th Street, Institute of Radio Engineers, New York, 1960.

S. C. Skinner Análisis Lógicos de problemas en sistemas Hidráulicos Recopilado por. Sistema Vickers.

ABS Group Services of Mexico Evaluation: Quantitative Frequency Análisis Methods.

Calabro, S. R., Reliability Principles and Practice, McGraw-Hill Book Company New York, 1962

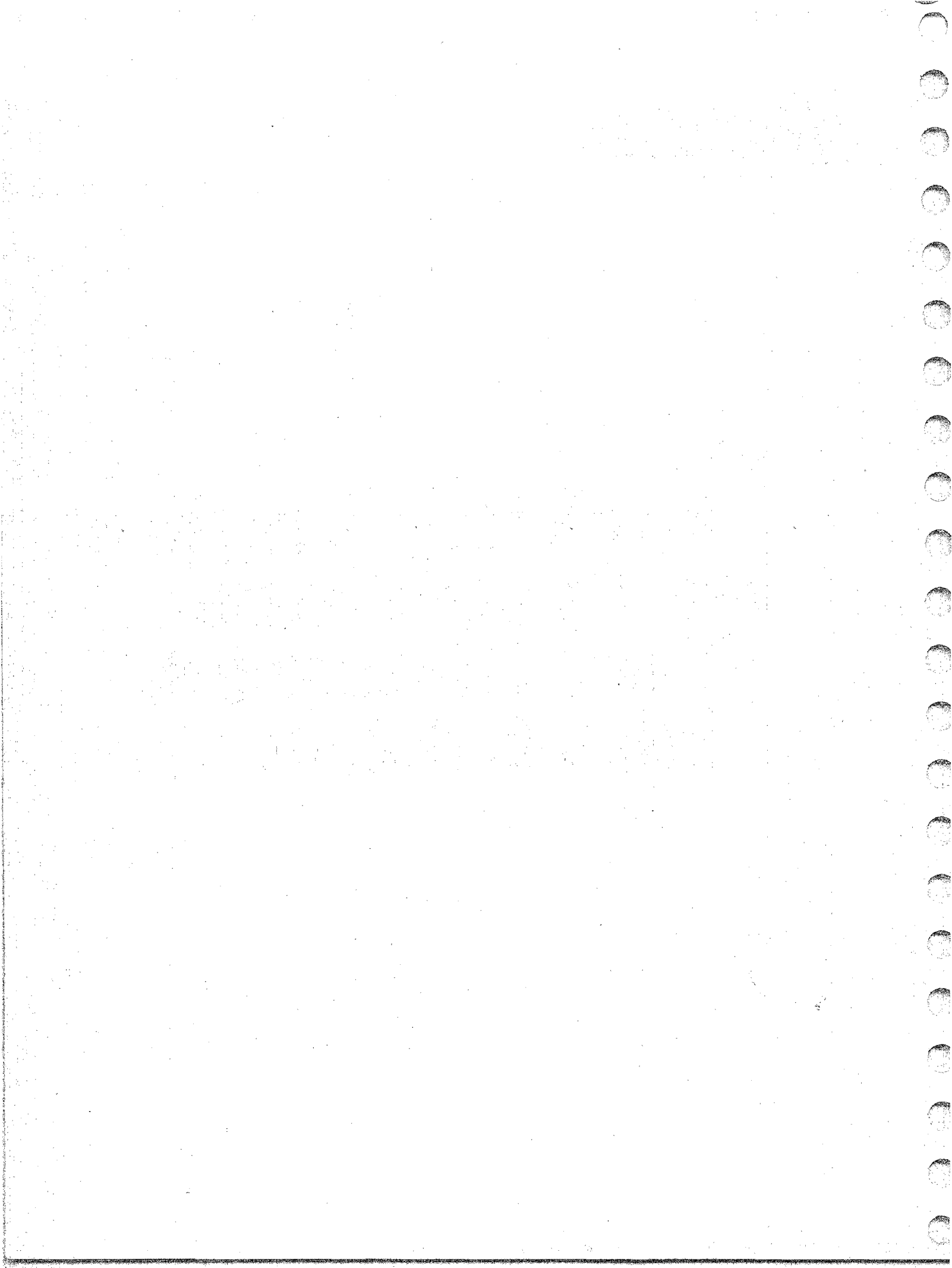
Barlow, W.R., L. Hunter and F. Proschan, Probabilistic Models in Reliability Theory, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962.

APENDICE A

VICKERS

**Análisis Lógico
de Problemas
en Sistemas
Hidráulicos**

118



Análisis lógico de problemas en sistemas hidráulicos

Recopilado por S. C. Skinner,

SISTEMAS VICKERS,
REEDITADO EN 1984,

Contenido

	No. Fig.	Pag.		No. Fig.	Pag.
Abordando el problema al «tant	1		Pruebas del sistema para válvula de control de flujo	Algo C.1	
Procedimiento seguro para el paro de máquina	2		Prueba del sistema para válvula de control direccional	Algo D.1	
Tipos de servicio	3		Prueba del sistema para válvulas check operadas por presión piloto	Algo E.1	
Revisando falla	4		Prueba del sistema para cilindros	Algo G.1	
Principios de instrumentación	5		Prueba del sistema para motores hidráulicos	Algo G.2	
Instrumentos de medición	6		Prueba del sistema para acumuladores	Algo J.1	
Medidores de presión	7		Prueba del sistema para enfriadores	Algo J.2	
Instalación de medidores de presión	8		Prueba del sistema para fugas de aire	Algo L.1	
Medidores de flujo	9		Prueba del sistema para contaminación de fluido	Algo L.2	
Unidad de pruebas hidráulicas	10		Cavitación de bomba	FCR 1	
Instalación del medidor de flujo (en línea)	11		Aereación de fluido	FCR 2	
Instalación del medidor de flujo (en apagado)	12		Procedimiento para poner en funcionamiento nuevamente	Algo 0.6	
Fallas de la máquina	13		Máquina de ajuste de barra		
Procedimiento del mal funcionamiento de la máquina	14		Disposición de la máquina de barra de ajuste	19	
Diagrama de fallas de la máquina	15		Diagrama de circuito para máquina de Barra de ajuste		
Fallas del sistema	16				
Mal funcionamiento del sistema	17				
Fallas del sistema	18				
Revisión preliminar de la falla de la unidad	Algo 0.1				
Temperatura excesiva	Algo 0.2				
Ruido excesivo	Algo 0.3				
Vibración excesiva	Algo 0.4				
Fugas excesivas	Algo 0.5				
Prueba del sistema para bombas de paleta y engranes	Algo A.1				
Prueba del sistema para bomba de pistón	Algo A.2				
Prueba del sistema para válvulas de alivio de presión	Algo B.1				
Revisión del sistema para válvulas de secuencia	Algo B.2				
Prueba del sistema para válvulas de reducción de presión	Algo B.3				

Advertencia

"Análisis lógico de problemas en sistemas hidráulicos" tienen por objetivo ser una guía para encontrar fallas sistemáticas en un sistema hidráulico. Sistemas Vickers (hasta donde la ley lo permite) no acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños sufridos como resultado del empleo de esta guía.

Si tiene dudas refiérase al fabricante del equipo. Refiérase siempre al «procedimiento de seguridad» de las páginas 7 a la 72

INTRODUCCION

Sería una tarea prácticamente imposible tratar de documentar la causa y la solución de cada posible falla que pueda ocurrir incluso en el sistema hidráulico más sencillo. Por esta razón es necesario adoptar un método lógico para abordar los problemas con el fin de localizar la falla lo más pronto posible y con la mayor exactitud. En la moderna producción de maquinaria, la pérdida de tiempo es muy costosa y por lo tanto el ahorro de una hora al localizar un problema puede presentar cientos o a veces miles de pesos de costo de ahorro en la producción perdida.

Así como los sistemas hidráulicos se vuelven cada día más complejos, los métodos de control de máquinas se vuelven

inevitablemente más sofisticados. En los últimos 10 años, se han visto rápidos avances tecnológicos de los componentes empleados en muchos sistemas hidráulicos y es vital que la información o los "datos" del fabricante del equipo o la máquina concuerde con los equipos empleados

Probablemente sea acertado decir que aún existe una carencia general de comprensión de la hidráulica en algunas áreas de la industria, así como también en la realidad del trabajo del ingeniero de mantenimiento hidráulico ya que es ahora una ocupación especializada con muchas similitudes a la del ingeniero instrumentista o eléctrico.

El objeto de este libro es proporcionar el procedimiento de un método lógico para

abordar el problema, mismo que de ser necesario puede extenderse para cubrir máquinas específicas en todas las áreas de la industria. La esencia alrededor de la cual se desarrolla dicho procedimiento es por ejemplo, el control de flujo, la presión y la dirección del flujo son aplicables a sí mismos, a un tren de laminación en una siderúrgica o al motor del malacate de un barco pesquero.

ABORDANDO EL PROBLEMA "AL TANTEO"

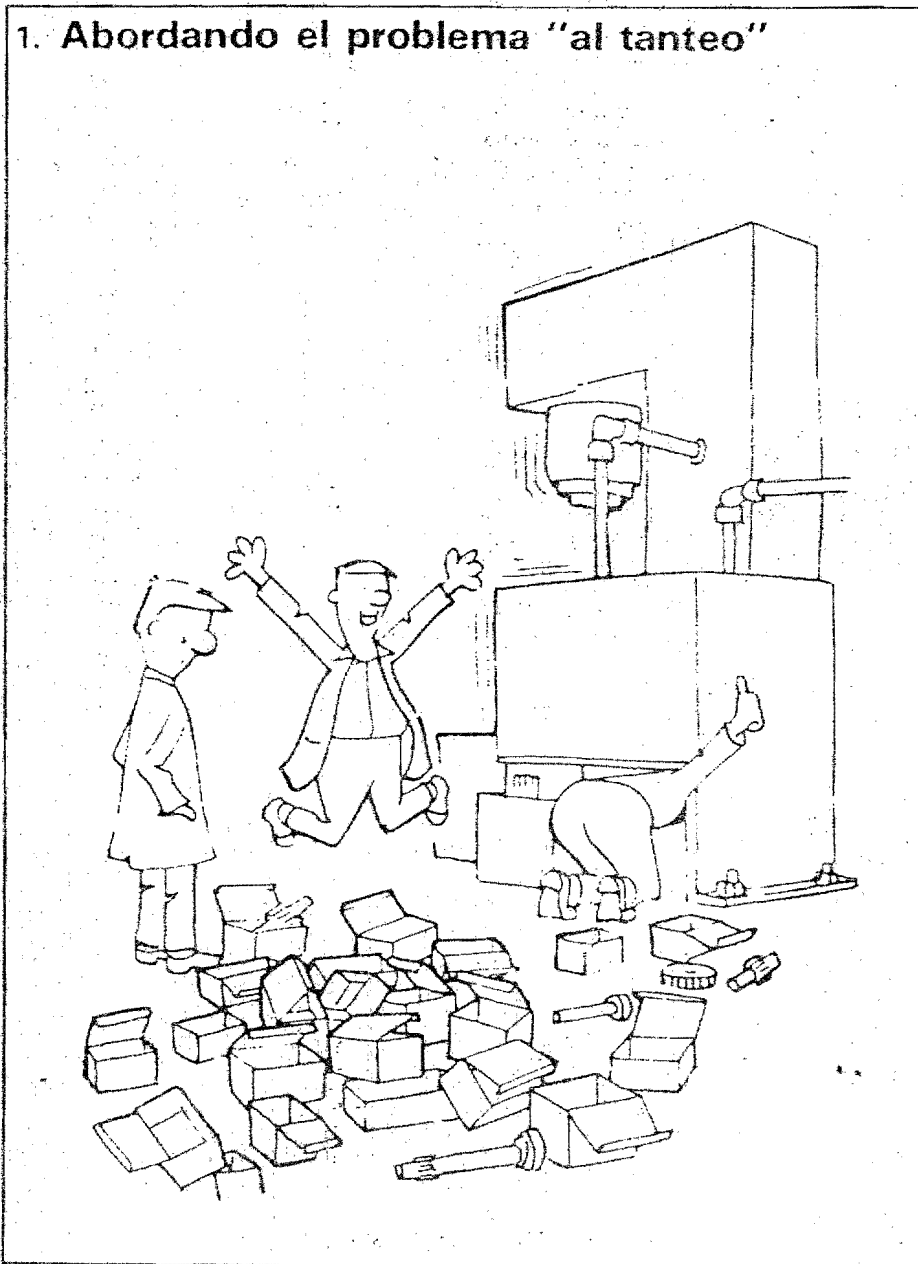
La única alternativa de un método lógico para abordar el problema es hacerlo "al tanteo", cambiando unidades al azar hasta que se localiza el componente averiado. Eventualmente se encontrará el problema, pero aún en el más sencillo de los sistemas este método ha demostrado ser costoso en términos de tiempo y de dinero. Es usual que se cambien gran cantidad de unidades perfectamente útiles antes de encontrar la averiada.

Al igual que con todas las técnicas para abordar un problema, en un sistema es de vital importancia conocer sus componentes y funciones. Probablemente es justo decir que cuando en un sistema hidráulico se han identificado todos los componentes, así como sus funciones y la operación del sistema se ha entendido completamente, el técnico ha recorrido el 50% del camino hacia la solución del problema. Por lo tanto, para darle a este libro un empleo eficiente, es necesario que se tenga primero una buena comprensión de principios básicos de la hidráulica con conocimientos de la operación y aplicación de los componentes hidráulicos.

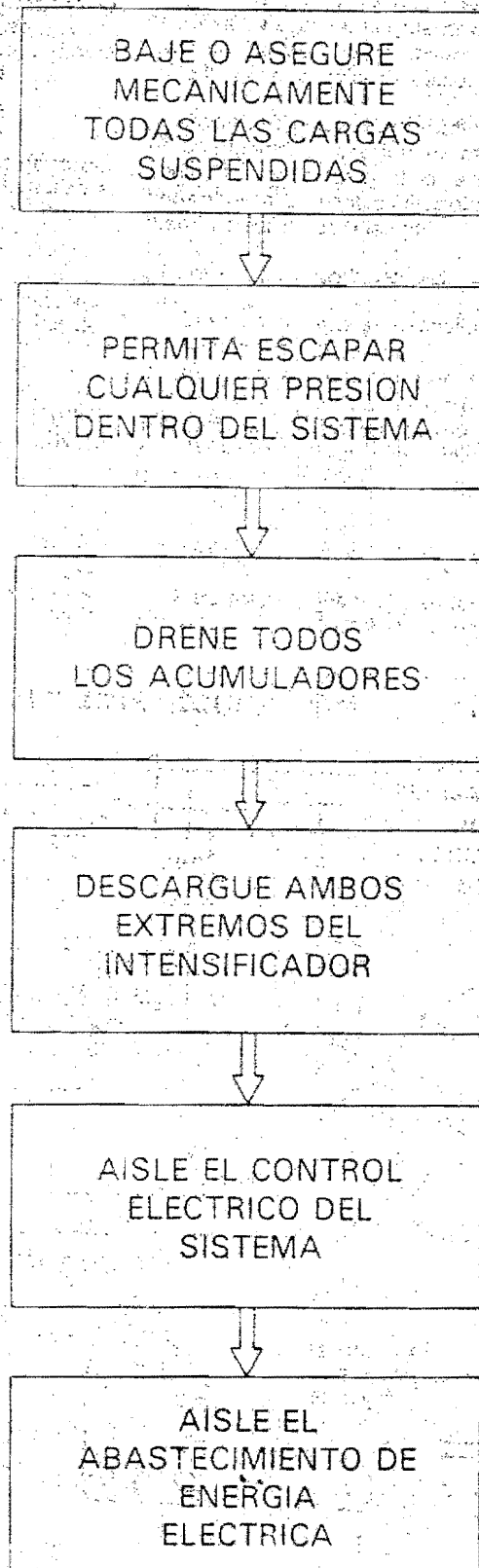
PARO DE MAQUINAS

A pesar de que se realice el servicio de mantenimiento en un sistema hidráulico para el ingeniero de mantenimiento, sus colegas y para los operadores de máquina, la seguridad debe ser considerada un aspecto primordial. Si bien la práctica de un trabajo seguro recae principalmente en el sentido común, ante la presión de una situación de emergencia es fácil pasar por alto un peligro potencial. El personal de mantenimiento debe disciplinarse para fijar un procedimiento antes de iniciar cualquier trabajo en un sistema hidráulico sólo es ligeramente comprensible cuando se le compara con gas, sólo tiene que tener lugar una cantidad relativamente pequeña de fuga para liberar la presión estática; sin embargo, debe tenerse especial cuidado en liberar la presión gradualmente donde pueda encontrarse gas comprimido en un sistema hidráulico, incluso a través de la ineficiente fuga o donde se instala un acumulador.

1. Abordando el problema "al tanteo"



2. Procedimiento seguro para apagado de máquinas.



TIPOS DE SERVICIOS

Cuando se adoptan procedimientos de servicios o de investigación de problemas, es útil definir áreas distintas similares a las empleadas en las fuerzas armadas, por ejemplo, primera, segunda y tercera línea de servicio.

primera línea

Cuando se realiza un servicio o análisis de un problema en la máquina, se identifica el componente averiado y es reparado en su lugar o es remplazado.

segunda línea

El análisis, o reparación de un componente averiado o que se cree averiado se realiza fuera de la máquina, probablemente en el taller del propietario.

tercera línea

Cuando el análisis, revisión y prueba de un componente se realiza en la planta del fabricante o en el taller de servicio.

Es responsabilidad del gerente de mantenimiento decidir dónde se traza la

línea divisoria entre cada área para un equipo en particular. Por ejemplo, si en un sistema hidráulico se encuentra una bomba averiada puede ser posible reparar la unidad sin sacar la máquina, se trata de servicio de primera línea. En otro caso puede ser necesario remplazar la unidad por una nueva, enviando la bomba averiada al taller o al área de segunda línea donde se puede decidir repararla, devolverla al fabricante (tercera línea); o si la unidad agotado su vida útil, deshecharla. Obviamente, muchos factores afectarán la decisión tales como disponibilidad de refacciones, factores de tiempo, etc. pero donde esta línea se trace el procedimiento debe ser claramente definido para el beneficio del personal de mantenimiento.

Este libro está destinado, al área de la primera línea trabajando, por ejemplo, de una falla a la avería del componente. La información de servicio de la segunda línea puede encontrarse en otra publicación de Vickers junto con datalles de equipo de prueba especializado.

REVISANDO FALLAS

El procedimiento de investigación de problemas de este libro se esforzará por responder a las siguientes preguntas:

¿Qué revisar?

¿Qué cosas pueden medirse en un sistema hidráulico que indiquen dónde reside el problema? Un médico muy probablemente revisará los latidos del corazón del paciente y la temperatura cuando haga un diagnóstico. ¿A qué corresponde esto en un sistema hidráulico?

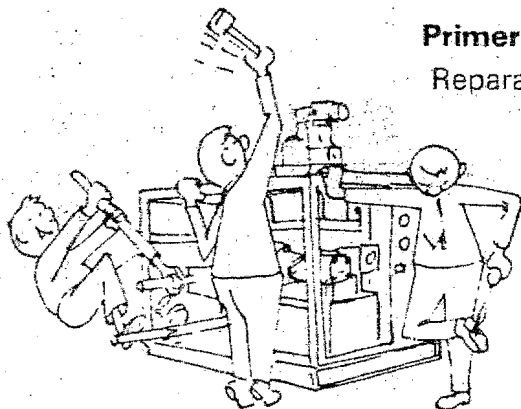
¿Con qué revisar qué?

Sabiendo que se va a revisar, es necesario determinar cualquier instrumento o equipo especial que se requiera (correspondiente al estetoscopio o al termómetro del médico).

¿Dónde revisar?

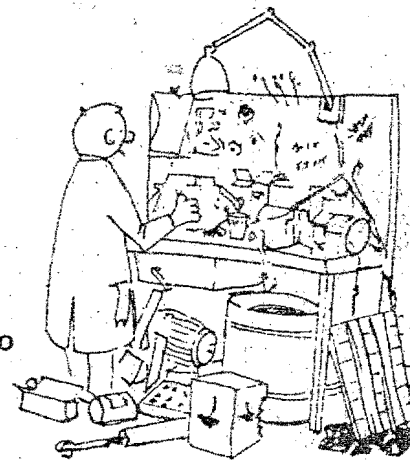
En un sistema hidráulico dónde es necesario hacer la revisión y cuál debe hacerse primero. Como se dijo anteriormente, un médico revisará primero los

3. Tipos de servicio.

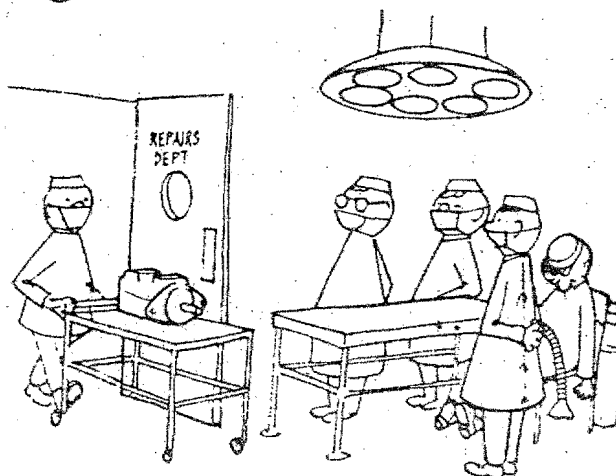


Primer tipo de servicio
Reparación en su lugar

Segundo tipo de servicio
Servicio Reparación
en taller.



Tercer tipo de servicio
Servicio de reparación
del fabricante



latidos del corazón de un paciente, es decir la bomba humana.

¿Debe revisarse primero la bomba hidráulica?

¿Que se espera leer?

Habiendo efectuado mediciones en cierto punto del sistema, es obviamente necesario saber cuál es la lectura correcta con el fin de sacar conclusiones si la lectura es diferente de lo normal. Otra vez un médico sabe que la temperatura del cuerpo debe ser de 37° C y si hay alguna variación puede hacer un diagnóstico.

¿Que revisar?

Un sistema hidráulico es un medio de transmisión y control de energía. La energía mecánica es una función de fuerza multiplicada por la distancia movida por segundos o la fuerza por la velocidad. Si un impulsor hidráulico se considera como un motor para convertir energía hidráulica en energía mecánica, entonces la fuerza (o torsión) ejercida por el impulsor, está gobernada por la Presión aplicada y la velocidad (o velocidad angular) está gobernada por la velocidad del Flujo. Así,

se desprende que el Flujo y la Presión son dos elementos básicos en un sistema hidráulico que controla la producción de energía. En términos de ingeniería, la velocidad implica casi siempre tanto rapidez como dirección; la rapidez, como se dijo es controlada por la velocidad del flujo y la dirección del impulsor de movimiento es controlada por la Dirección del flujo.

Así pues, los tres factores que transmiten y controlan la energía de un sistema hidráulico son:

- Flujo
- Presión
- y Dirección del flujo

de aquí que con el fin de valorar el funcionamiento de un sistema hidráulico debe revisarse uno o más de estos factores. Para decir qué factor debe revisarse, es necesario obtener hechos completos del problema.

Muchas veces cuando se reporta un problema en una máquina, éste se describe en términos vagos tales como «falta de potencia». Como se dijo anteriormente la potencia es una función tanto de la fuerza

como de la velocidad y es necesario definir el problema en términos de uno u otro. En la práctica, deben hacerse preguntas relevantes para determinar exactamente cuál es el problema, por ejemplo, cuando la falta de energía se reporta, significa que el impulsor se mueve demasiado despacio o que no está dando la fuerza o torsión necesarias.

Una vez definido el problema como Rapidez, Fuerza (Torsión) o Dirección es posible definir el problema hidráulico como Flujo, Presión o Dirección.

A pesar de que el procedimiento de análisis de problemas está basado en la revisión del flujo, la presión y la dirección, existen otros aspectos del sistema que pueden medirse tanto para ayudar a localizar el componente averiado como para determinar también las razones de avería de un componente.

Dichas propiedades son:

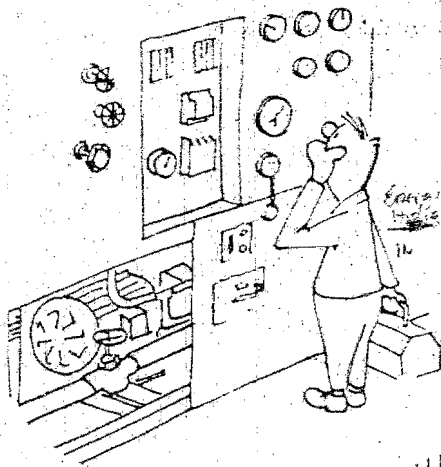
- presión negativa (vacío),
- especialmente en el área de entrada de la

4. Revisando fallas.

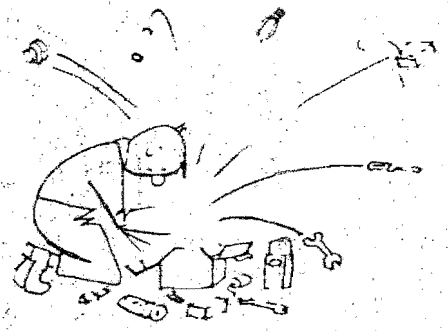
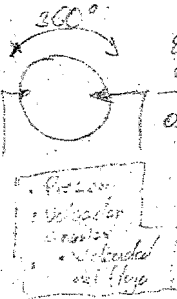
Energía Mecánica = Fuerza x Velocidad

$$E = F \times \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}$$

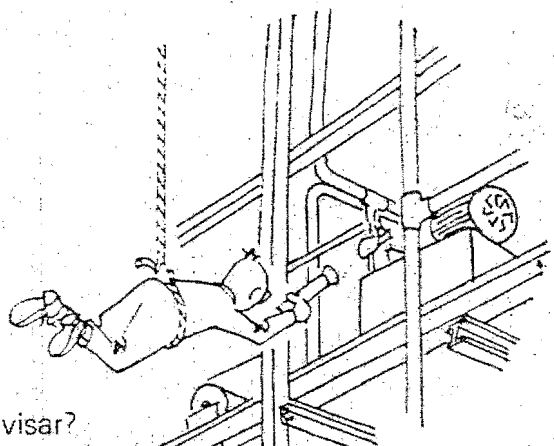
¿Que revisar con que?



¿Que revisar?



- Tres Factores
- Flujo (m³/s)
 - Presión (N/m²)
 - Dirección del Flujo (→)



¿Dónde revisar?

¿Que se espera leer?

- Propiedades
- Presión Negativa
 - Temperatura
 - Ruido
 - Vuelto
 - Contaminación



bomba para revisar problemas en línea de succión.

- Temperatura,

generalmente cuando un componente o parte del sistema está más caliente que el resto, es una buena señal de que el flujo tiene lugar.

- Ruido,

cuando la revisión se efectúa de forma regular o rutinaria es una buena señal de la condición de la bomba.

- Nivel de contaminación,

cuando tienen lugar problemas continuamente, las condiciones del fluido deben revisarse para determinar la causa de la avería.

PRINCIPIOS DE INSTRUMENTACION E INSTRUMENTOS DE MEDICION

¿Con qué revisar qué?

Cuando un electricista revisa un circuito eléctrico, normalmente emplea un medidor para la corriente eléctrica y el voltaje. En un sistema hidráulico el voltaje corresponde a la presión y normalmente se mide

con un medidor de presión, la corriente corresponde al flujo y se mide con un medidor de flujo. No obstante, el medidor de los electricistas mide el voltaje positivo y negativo, si el ingeniero hidráulico desea medir la presión negativa, por ejemplo el vacío, entonces se requiere un instrumento separado llamado medidor de vacío.

Además de los requerimientos básicos de un medidor de presión, un medidor de vacío y un medidor de flujo, existen muchos otros instrumentos útiles para el ingeniero hidráulico, por ejemplo:

- Convertidor y grabadora de presión.

Si en un sistema se necesita medir la presión con mayor exactitud de la que se puede obtener con un medidor de presión, o si se necesitan medir la disminución o las descargas momentáneas de presión, puede emplearse un convertidor de presión mismo que produce un voltaje variable según la presión aplicada.

- Recipiente y reloj de medición.

Para medir flujos muy pequeños tales como derramamiento puede usarse un

recipiente graduado y un reloj. Esto proporciona muchas veces una lectura más exacta que un medidor de flujo trabajando en lo más bajo de su rango.

- Medidor de temperatura o termómetro

Para medir la temperatura general del sistema un medidor de temperatura puede sumergirse en el depósito de fluido (algunas veces incorporado con el medidor de nivel). Muchas veces el medidor de temperatura contiene un switch para llamar la atención si la temperatura del fluido es demasiado elevada o demasiado baja.

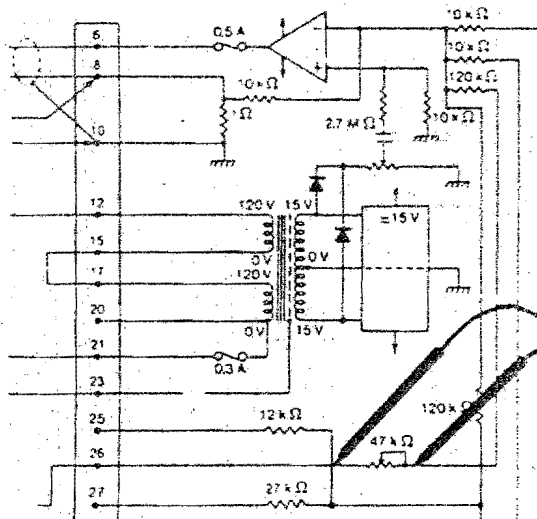
- Par térmico.

En un sistema puede medirse la temperatura local por medio de un par térmico. Si una parte del sistema está mucho más caliente que el resto, es una buena señal de que la energía se está desperdiciando (tal como un punto de derrame).

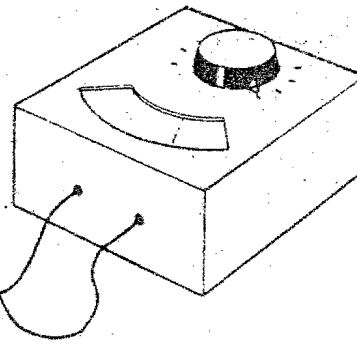
- Medidor de ruido.

El ruido excesivo es también una buena señal de falla en un sistema especialmente

5. Principios de instrumentación.

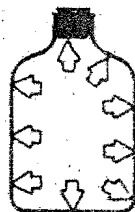


EN UN CIRCUITO ELECTRICO PUEDEN REVISARSE FACILMENTE LA CORRIENTE Y EL VOLTAJE QUE PASAN A TRAVES DE UN COMPONENTE CUANDO SE HA ENCONTRADO LA FALLA.

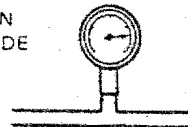


EN UN SISTEMA HIDRAULICO:

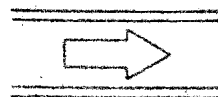
EL "VOLTAJE" CORRESPONDE A LA PRESION



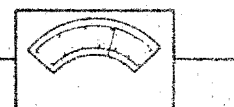
Y SE MIDE CON UN MEDIDOR DE PRESION



LA "CORRIENTE" CORRESPONDE AL FLUJO



Y SE MIDE CON UN MEDIDOR DE FLUJO



en la bomba. En una fábrica ruidosa sería difícil juzgar si una bomba hace más ruido que de costumbre por lo que un medidor de ruido permite establecer una comparación entre una bomba que se sospeche fallando y una bomba nueva.

Contador de partículas.

La condición del fluido del sistema desde

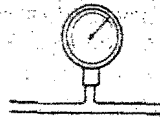
un punto de vista de contaminación es obviamente un factor importante en la vida y funcionamiento del sistema. Al tratar de determinar las razones de una avería será pues necesario medir la claridad del fluido. A pesar de que no se tenga en el lugar un equipo para revisar el fluido, la mayoría de los proveedores de fluido y los fabricantes

de filtros ofrecen dicho servicio.

Considerando los dos requisitos básicos de medidores de presión/vacío y flujo, ahora se muestra como deben conectarse al sistema teniendo en mente el tipo de instrumento requerido.

6. Instrumentos de medición.

LA PRESIÓN DE UN SISTEMA SE MIDE NORMALMENTE CON UN MEDIDOR DE PRESIÓN



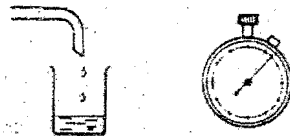
PARA MEDICIONES MUY EXACTAS DE PRESIÓN O PARA MEDIR DESCARGAS MOMENTANEAS DE PRESIÓN, DEBE USARSE UN CONVERTIDOR Y GRABADORA DE PRESIÓN



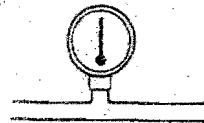
EL FLUJO SE MIDE NORMALMENTE CON UN MEDIDOR DE FLUJO QUE PUEDE SER DE MUCHOS TIPOS DIFERENTES



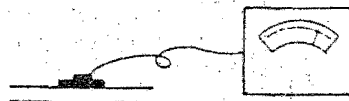
PARA FLUJOS MUY PEQUEÑOS (POR EJEMPLO DERRAMES), DEBE USARSE UNA JARRA DE MEDICIÓN Y UN RELOJ



LA TEMPERATURA SE MIDE NORMALMENTE CON UN TERMOMETRO O MEDIDOR DE TEMPERATURA



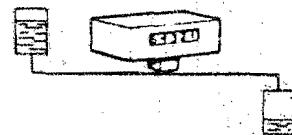
PARA ALGUNAS APLICACIONES SE USA UN PAR TERMICO Y UN MEDIDOR ELECTRICO PARA MEDIR LA TEMPERATURA



EL RUIDO PUEDE MEDIRSE CON UN MEDIDOR DE RUIDO



LA CONTAMINACION DEL FLUIDO PUEDE MEDIRSE CON UN CONTADOR DE PARTICULAS



Medidores de presión.

Los medidores de presión son normalmente del tipo de Tubo de Bourdon consistente en un tubo curvo unido a una aguja. Cuando se aplica presión al tubo curvo, éste tiende a enderezarse exactamente como una manguera de jardinería cuando se abre el agua. Mientras el tubo se endereza la aguja se mueve alrededor del disco indicando la presión aplicada. Por tratarse de un instrumento delicado, es necesario proteger el medidor lo mejor posible de descargas de presión del sistema.

Normalmente se instala un aditamento para detener la presión en el soporte y se llena completamente con glicerina para disminuir la vibración.

Existen medidores de presión de diferentes rangos y obviamente debe seleccionarse un medidor que proporcione la lectura de presión deseada (si tiene duda de cual será la presión, inicie con uno de presión alta). Sin embargo la mayoría de los medidores de presión tienden a ser más exactos alrededor de media escala de deflacción, por ejemplo un medidor con barra de 0 - 100 será más exacto alrededor de presiones de 50 bar.

Instalación de los medidores de presión.

Existen diversas formas de conectar un medidor de presión en un sistema como sigue:

1.- El medidor puede conectarse directamente en el conducto por medio de una «T». Es evidente que el medidor deberá someterse a todas las descargas de presión dentro del sistema por lo que durante un tiempo la exactitud descenderá.

2.- El medidor puede instalarse con una válvula aisladora y así la válvula estará abierta cuando se necesite tomar una lectura de presión y el manómetro estará aislado de las descargas en el sistema.

3.- Normalmente puede usarse también una válvula aisladora del tipo llamado «presionar para leer» o «girar para leer». Ambas aislan al medidor del sistema y le dan salida al tanque cuando se suelta el botón.

4.- Una válvula aisladora múltiple permite leer la presión en seis diferentes puntos del sistema usando solo un medidor de presión. La válvula es normalmente del tipo de las llamadas «presionar para leer» dando salida al medidor cuando el botón se suelta.

5.- Muchas unidades hidráulicas tienen puntos de medición en la entrada y salida con una clavija de rosca. Si el diseño del sistema no permite que un medidor esté instalado permanentemente en una parte del sistema es posible conectar uno sin tener que estropear el conducto, etc., si existen los puntos de medición es fácil identificarlos.

6.- Lecturas rápidas con autosellado pueden proporcionarse en puntos de prueba alrededor del sistema (incluso conectados a los puntos del medidor de la unidad) permitiendo al ingeniero de mantenimiento revisar la presión en el sistema con un medidor portátil instalado con la sonda macho apropiada. (Conectando la sonda macho al punto de prueba sin medidor puede también extraerse el aire del sistema).

Medidor de flujo.

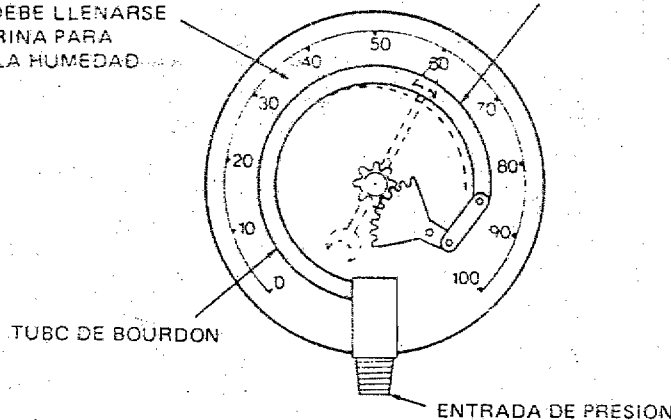
Existen diversos tipos de medidores de flujo tales como el de tipo flotador o de turbina como se ilustra en la fig. 9.

Además, existen unidades de prueba que combinan en una sola unidad portátil del medidor un flujo, un medidor de presión y

7. Medidores de presión.

LA CAJA DEBE LLENARSE DE GLICERINA PARA AYUDAR LA HUMEDAD

EL TUBO TIENDE A ENDEREZARSE CON LA PRESION CAUSANDO LA ROTACION DE LA AGUJA

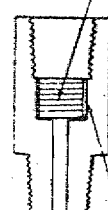
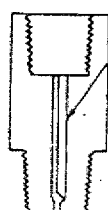
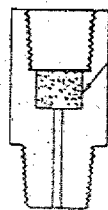


ARREGLOS

ELEMENTO POROSO RESTRINGE EL FLUJO

PERNO DE MEDICION

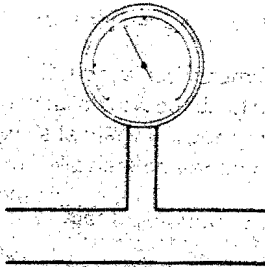
CLAVIJA CON ROSCA



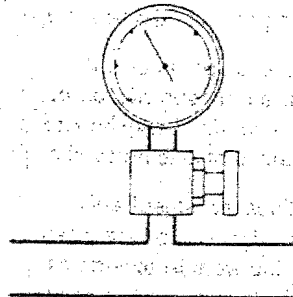
ABERTURA RESTRINGIDA

ESPIRAL LARGO Y ANGOSTO PARA EL PASO DE LA PRESION

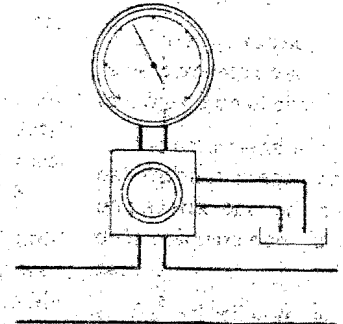
8. Instalación del medidor de presión.



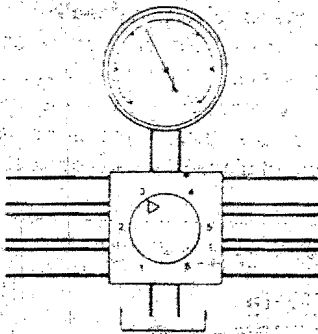
1. MEDIDOR DE PRESIÓN
INSTALADO PERMANENTEMENTE
EN EL CONDUCTO.



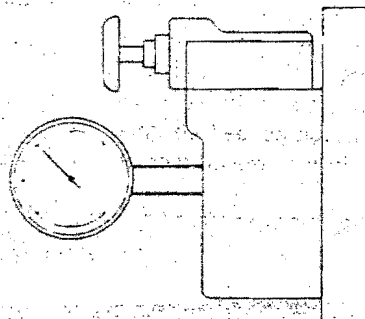
2. MEDIDOR DE PRESIÓN
INSTALADO CON VALVULA DE
AGUJA.



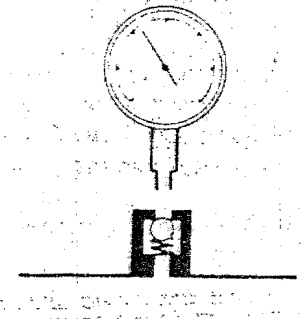
3. MEDIDOR DE PRESIÓN
INSTALADO CON VALVULA
AISLADORA.



4. MEDIDOR DE PRESIÓN
INSTALADO CON VALVULA DE
SELECTOR DE PUNTO MULTIPLE



5. MEDIDOR DE PRESIÓN
CONECTADO AL PUNTO DEL
MEDIDOR DE LA UNIDAD



6. MEDIDOR DE PRESIÓN
CONECTADO AL PUNTO DE PRUEBA
DEL SISTEMA

un medidor de temperatura. En la práctica pocas veces se conecta permanentemente un medidor de flujo al sistema ya que el flujo aportado a un sistema es casi siempre consumido al medir la rapidez de un impulsor. Cuando se necesita revisar el flujo en un sistema debe tenerse especial cuidado al colocar el medidor de flujo en el sistema.

Instalación del medidor de flujo.

Los medidores de flujo se instalan en un sistema hidráulico para efectuar mediciones mientras la máquina está operando normalmente (en servicio) o mientras la máquina está parada con fines de mantenimiento (fuera de servicio).

La fig. 11a ilustra el medidor de flujo instalado en la línea principal de flujo proveniente de la bomba. Incorporando dos válvulas de 3 salidas en la línea, puede conectarse un medidor de flujo en un sistema y las válvulas de 3 salidas pueden seleccionarse para desviar el flujo a través del medidor. Es evidente que el medidor empleado debe ser capaz de soportar toda la presión y flujo del sistema. La lectura del medidor debe indicar el flujo disponible para el sistema, pero si la lectura es menor

que la especificación no es inmediatamente aparente si la bomba está dando menos flujo del requerido o si la válvula de alivio está descargando en el tanque una parte del flujo de la bomba.

Sin embargo, si se encuentra un problema, la lista de posibles causas ha sido restringida a dos unidades y una revisión en la línea de retorno a tanque proveniente de la válvula confirmará cuál de las dos unidades está fallando.

En caso de una bomba variable, la salida del flujo de la bomba será únicamente la requerida por el sistema en cualquier momento. Sin embargo, puede obtenerse una buena indicación del funcionamiento de la bomba si se mide el derrame interno de la bomba, por ejemplo, midiendo la caja de drenaje del flujo como se indica en la fig. 11b.

Cierta cantidad de derrame en la caja es inherente en bombas de marca nueva (causados por espacios en el diseño, perforaciones de lubricación, etc.) por lo que será necesario comparar el derrame ya medido con el de una bomba en cuanto a su especificación. Cuando se mide el derrame de la caja es importante que se haga bajo

condiciones uniformes, por ejemplo, con la bomba surtiendo un volumen constante. El medidor de flujo requerido sólo deberá soportar la presión de la caja de la bomba (normalmente alrededor de 0.3 Bars) y flujos muy bajos, así que de hecho deben emplearse una jarra de medición y un reloj. Sin embargo, es importante que nunca se permita que la línea de drenaje se bloquee.

La figura 12a ilustra un típico arreglo en servicio. El complemento de dos válvulas de cerrado en el sistema permite al sistema mismo que se aisle y que el flujo de la bomba se desvíe a través del medidor de flujo. Nuevamente puede emplearse un medidor de presión ya que el flujo de la bomba se mide a baja presión, no obstante, esto no dará una verdadera indicación de que la bomba está funcionando a presión normal. Como se mencionó anteriormente, la deficiencia de flujo puede ser causada por un bajo funcionamiento de la bomba o por la válvula de escape de derrame así que se requerirá una revisión futura si este es el caso. Es posible incorporar un aditamento que restrinja en la línea del medidor de flujo con el fin de desarrollar la presión en cuyo caso evidentemente, se requerirá un medidor de alta presión.

9. Medidores de flujo.

EL FLUJO A TRAVÉS DEL TUBO PROVOCA QUE EL INDICADOR SE ELEVE

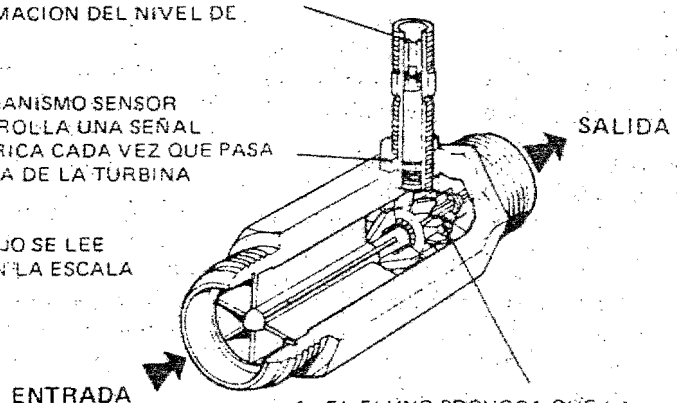


TIPO FLOTADOR

EL NIVEL DEL FLUJO SE LEE DIRECTAMENTE EN LA ESCALA DEL INDICADOR.

3. UN MECANISMO ELECTRONICO SE CONECTARA AL SENSOR PARA CONVERTIR LOS PULSOS EN INFORMACION DEL NIVEL DE FLUJO

2. EL MECANISMO SENSOR DESARROLLA UNA SEÑAL ELECTRICA CADA VEZ QUE PASA LA HOJA DE LA TURBINA

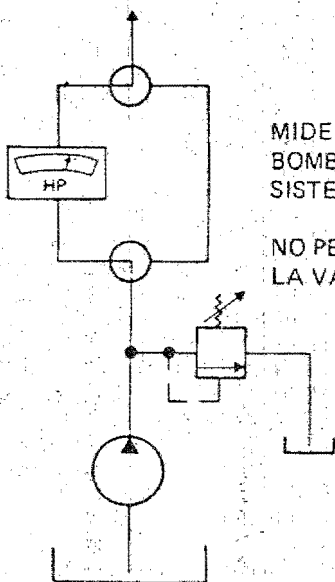


1. EL FLUJO PROVOCA QUE LA TURBINA GIRE AL RITMO DETERMINADO POR EL NIVEL DEL FLUJO.

TIPO TURBINA

11. Instalación del medidor de flujo (en servicio).

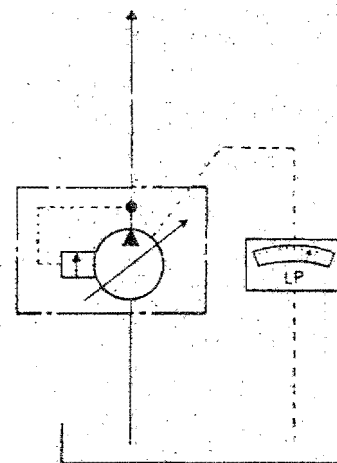
(a)



MIDE EL FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA A PRESION NORMAL EN EL SISTEMA

NO PERMITE EL ESCAPE EN LA VALVULA DE ALIVIO

(b)

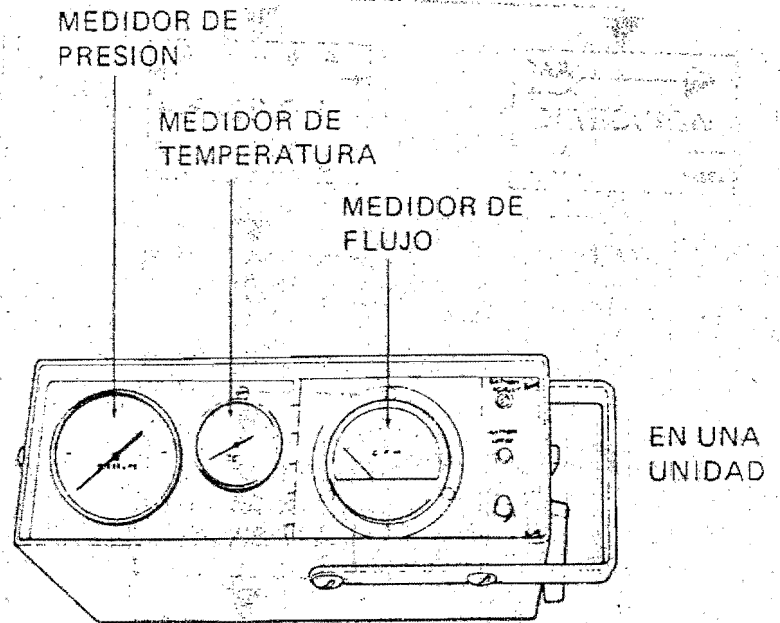


EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE LA BOMBA MIDIENDO EL DRENAJE DE LA CAJA

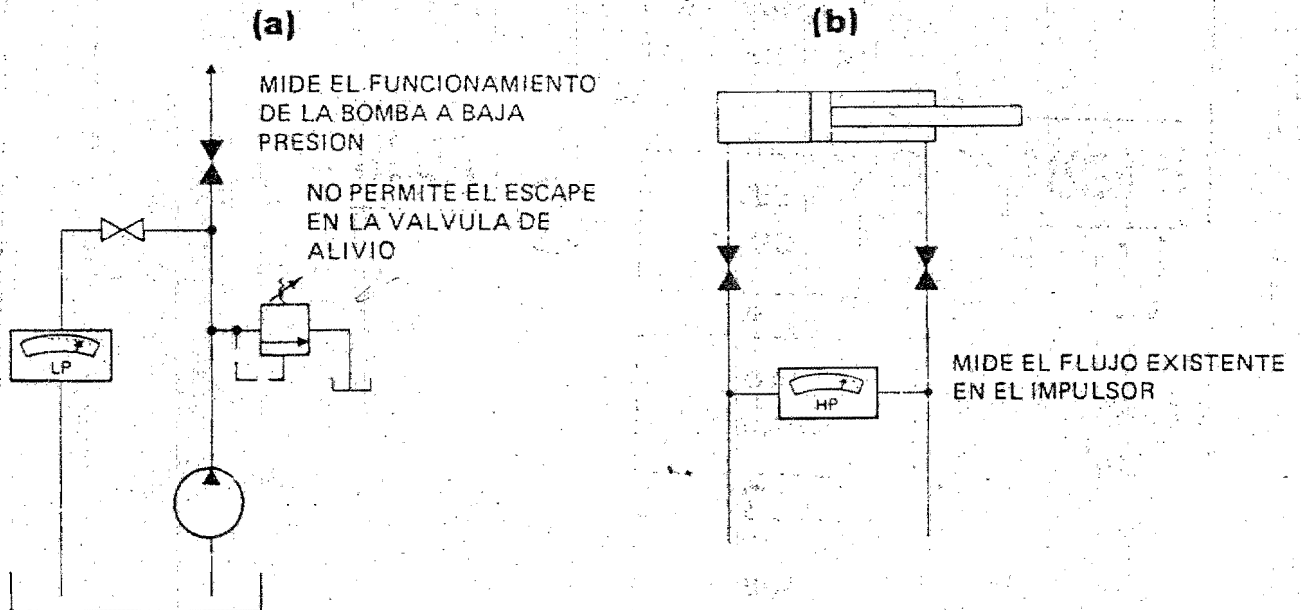
Si el funcionamiento de la unidad de la bomba se muestra satisfactorio, podrá ser necesario conectar medidores de flujo en otra áreas del sistema. Aquí también el complemento de válvulas aisladoras como lo muestra la fig. 12b simplifica considerablemente la operación.

Cuando está conectado un medidor de flujo a un sistema, es necesario asegurarse de que la bomba tiene siempre acceso directo a la válvula de escape y de que dicha válvula de la línea del tanque no estará nunca bloqueada o indebidamente obstruida.

10. Unidad de prueba hidráulica.



12. Instalación del medidor de flujo (fuera de servicio).



¿ Qué revisar y qué se espera leer ?

Cuando se consideran las fallas en un sistema hidráulico puede haber dos puntos de inicio alternativos llamados:

a. Mal funcionamiento de la máquina-

Donde en un sistema hidráulico ocurre una falla provocando el mal funcionamiento de la máquina, por ejemplo, si un impulsor falla para operar correctamente.

b. Mal funcionamiento del sistema-

Donde en un sistema hidráulico ocurre una falla sin afectar necesariamente el funcionamiento de la máquina a corto plazo, por ejemplo, fugas o temperatura excesiva, etc.

Evidentemente, los dos pueden ocurrir, por ejemplo, la falla de una bomba puede ser resultado que por una falla la máquina no opere correctamente y casi siempre estará acompañada de un excesivo nivel de ruido. La experiencia ha mostrado que

normalmente es mejor empezar por el problema fundamental y trabajar según el procedimiento de revisión empleando los síntomas tales como, calor, ruido, derrame, etc. como puntos de partida.

Nuevamente debe prevalecer el sentido común cuando se trabaja según este procedimiento ya que algunos síntomas lo llevarán directo al área del problema.

Una fuente de aceite en exceso proveniente de la válvula, indica inmediatamente el área del problema pero algunos síntomas no serán tan obvios.

Cuando una unidad derrama flujo de calor de presión alto o bajo generalmente se genera localmente en la parte del sistema que no será inmediatamente obvia.

Cualquiera que sea el punto de partida, deben responderse ciertas preguntas antes de proceder. Cuando se reporta un problema es importante reunir la mayor cantidad de hechos posibles. Puede ser el mismo problema ocurrido seis meses

antes y que esté registrado en alguna hoja de records o tarjeta en cuyo caso se ahorrará una buena cantidad de tiempo.

Debe estarse seguro de que se efectuó recientemente un servicio de mantenimiento o ajuste en el sistema.

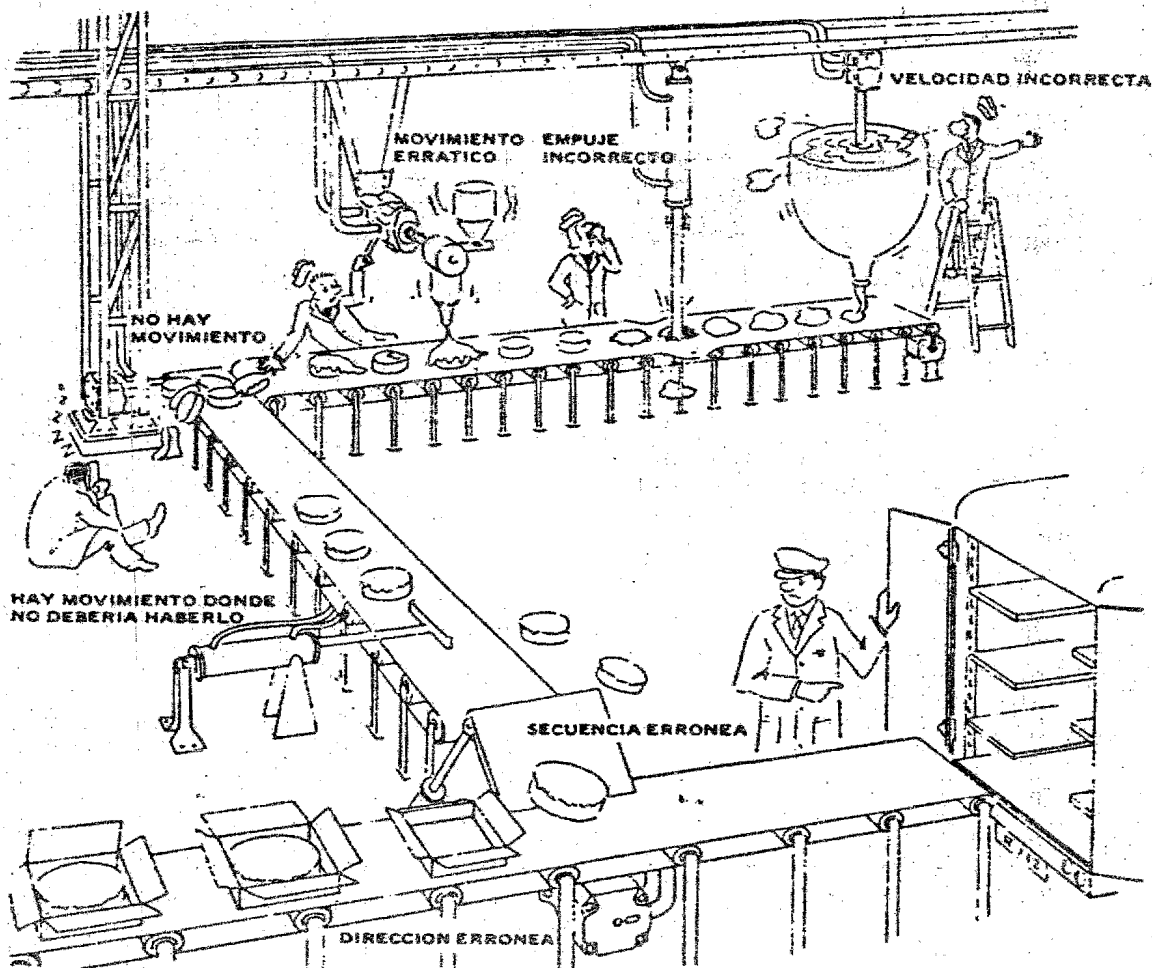
La naturaleza exacta de la falla será determinada preguntandose si se trata de una avería repentina o gradual, qué partes de la máquina han sido afectadas y cuales no.

Será difícil obtener siempre la historia completa, pero debe hacerse un esfuerzo para reunir la mayor información posible.

La filosofía del procedimiento de análisis de problema es empezar por el problema fundamental y determinar que aspecto del sistema hidráulico está fallando, es decir, flujo, presión o dirección.

Consultando el diagrama del circuito, puede trazarse una lista de posibles causas. El siguiente paso es mirar lo obvio. Quizás es propio de la naturaleza humana que

13. Fallas de máquina.



cuando nos enfrentamos a un problema como a un reto buscar demasiado profundo y demasiado rápidamente pasando por alto lo que con facultades para juzgarlo aparece como una solución muy obvia.

Existen algunos tipos de revisión que pueden efectuarse en un sistema hidráulico

empleando los sentidos humanos, de la vista, el tacto y el oído y mismos que pueden hacerse rápidamente. Si adopta siempre un procedimiento rígido éste asegurará que ningún problema obvio o aparentemente trivial pasará inadvertido. En la práctica, muchos problemas se resolverán a este nivel sin tener que recurrir a una instru-

mentación adicional.

Sólo si este nivel falla al revelar el problema será necesario recurrir a medidores de presión, flujo, etc. extras y deberá adoptarse el método lógico usando las tarjetas de antiflogarismos que aparecen en este libro.

14. Procedimiento de mal funcionamiento de la máquina.

MAL FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA

Paso 1

Un impulsor puede operar incorrectamente operando las siguientes fallas:

VELOCIDAD INCORRECTA
EMPUJE INCORRECTO
FALTA DE MOVIMIENTO
EL MOVIMIENTO SE REALIZA EN DIRECCION INCORRECTA
MOVIMIENTO ERRATICO
SECUENCIA INCORRECTA
LENTITUD

Cualquiera que sea la falla o fallas que han ocurrido, debe definirse el área fundamental del problema como FLUJO, PRESION O DIRECCION.

Paso 2

Cada componente en el sistema puede identificarse en el diagrama del circuito y pueden también determinarse sus funciones en el sistema.

Paso 3

Ahora puede realizarse una lista de las unidades que posiblemente afectan el área del problema, por ejemplo, la velocidad lenta de un impulsor puede definirse como un problema de FLUJO (a pesar de que esto a su vez se debe a la caída de PRESION, el área fundamental del problema es el FLUJO). Se realiza una lista de las unidades que posiblemente pueden afectar el flujo al impulsor (incluyendo el impulsor) pero debe recordarse que por ejemplo, que una válvula que gotea o una válvula de escape mal ajustada, (por ejemplo, la válvula de control de la PRESION) pueden afectar el flujo al impulsor.

Paso 4

Esta lista de unidades puede organizarse en orden provisional de prioridades basándose en experiencias pasadas y también fácil de revisar.

Paso 5

Ahora puede efectuarse una revisión preliminar en cada unidad de la lista para revisar aspectos como instalación, ajuste, señales, etc. y también para determinar si ninguna unidad muestra síntomas anormales tales como temperatura, ruido o vibración excesivas.

Paso 6

Si la revisión preliminar no revela unidad que falla puede efectuarse una prueba más exhaustiva en cada unidad usando instrumentos adicionales pero sin quitar ninguna unidad del sistema.

Paso 7

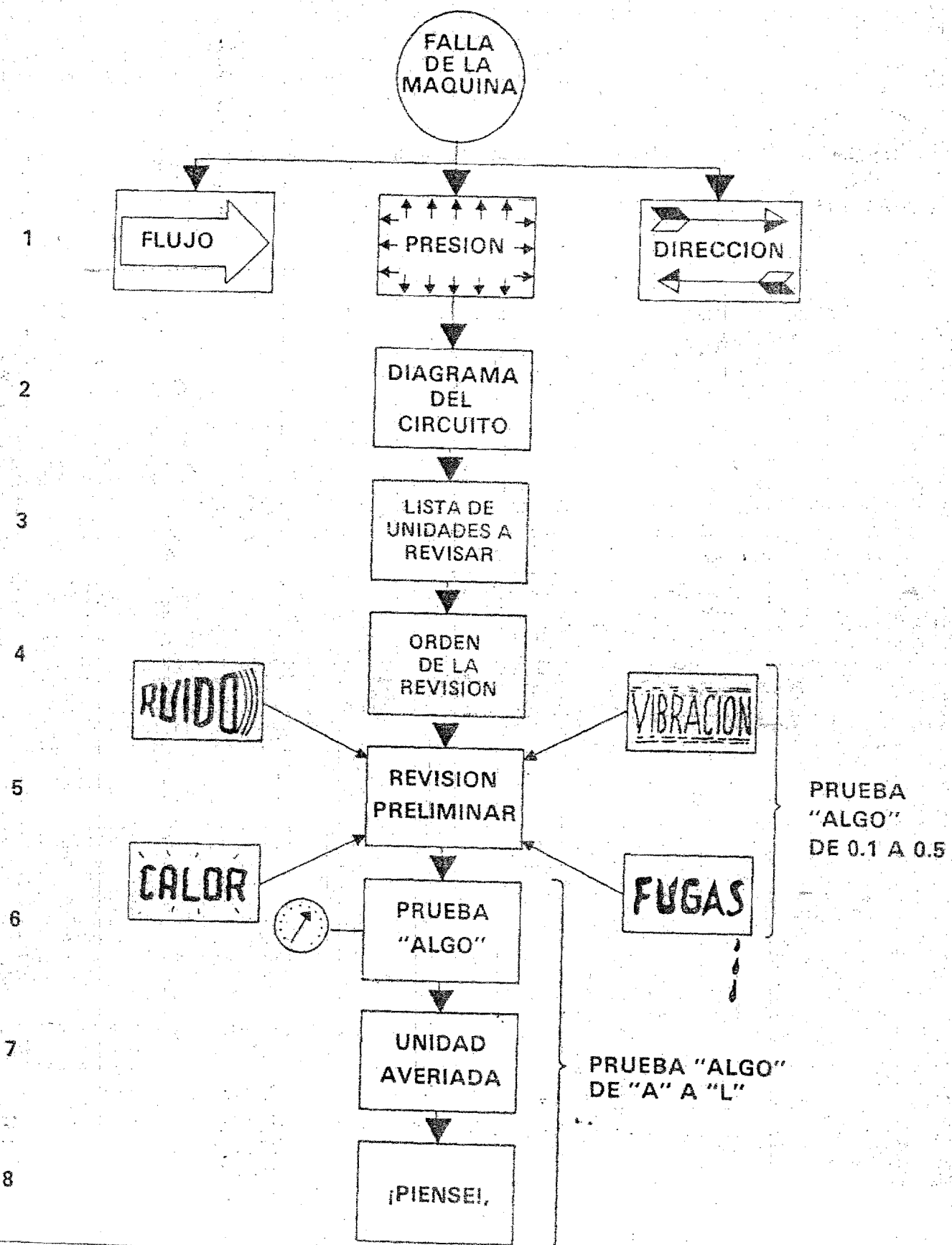
Los instrumentos de revisión revelarán ahora la avería de la unidad y podrá tomarse la decisión de reparar la unidad o reemplazarla.

Paso 8

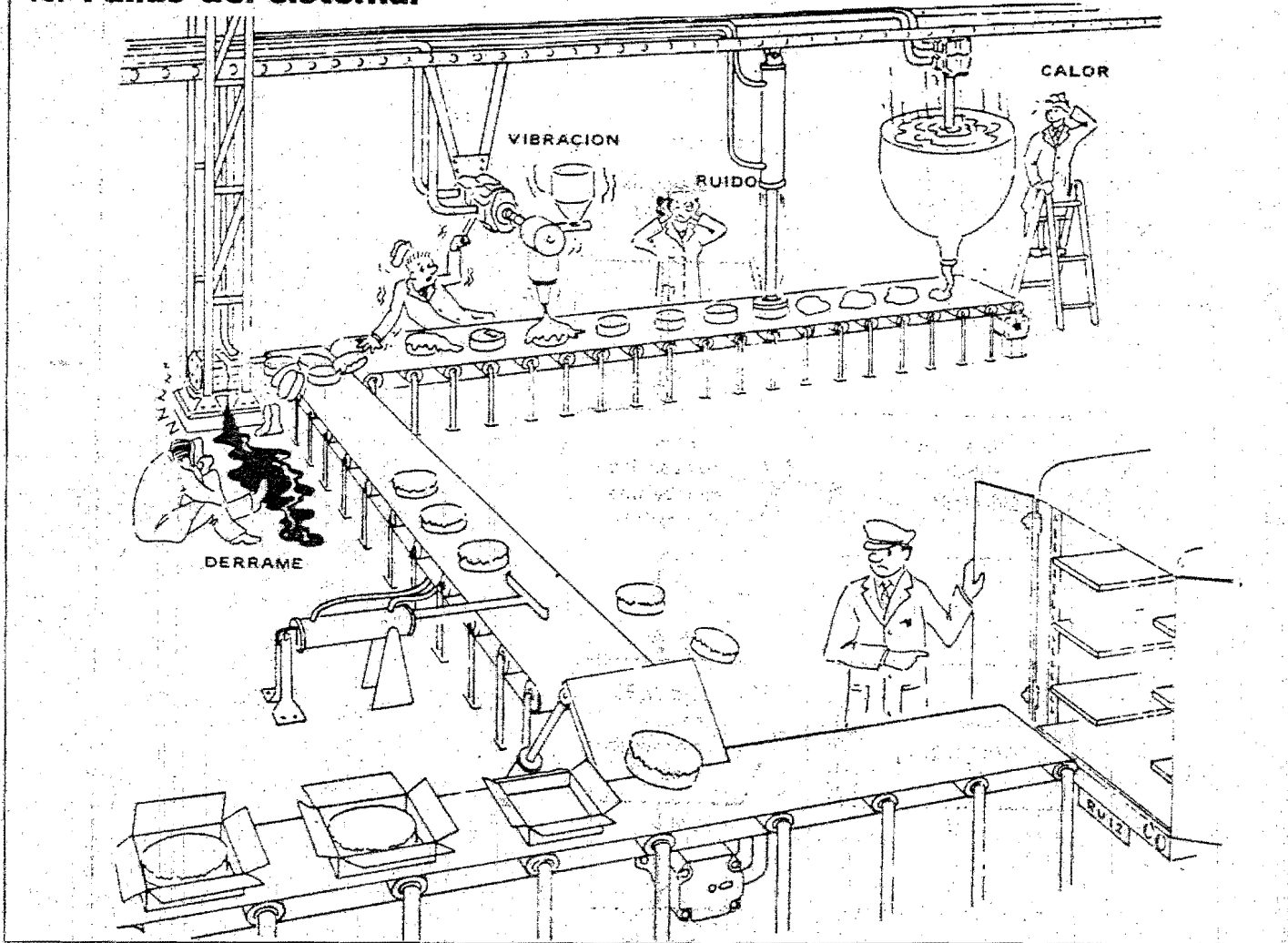
Antes de poner la máquina en funcionamiento nuevamente, debe tenerse en mente tanto la causa como la consecuencia de la avería. Si la avería fue provocada por la contaminación o por fluido sobre calentado pueden ocurrir nuevas averías y deben emprenderse acciones para solucionarlas. Si una bomba se ha roto en un sistema existe la posibilidad de que haya restos de la bomba en el sistema por lo que debe ser perfectamente limpiada antes de instalar una nueva bomba.

PIENSE EN LO QUE PROVOCA LA AVERIA Y EN TODAS LAS CONSECUENCIAS DE LA MISMA.

15. Fallas de la máquina.



16. Fallas del sistema.



17. Mal funcionamiento del sistema.

MAL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

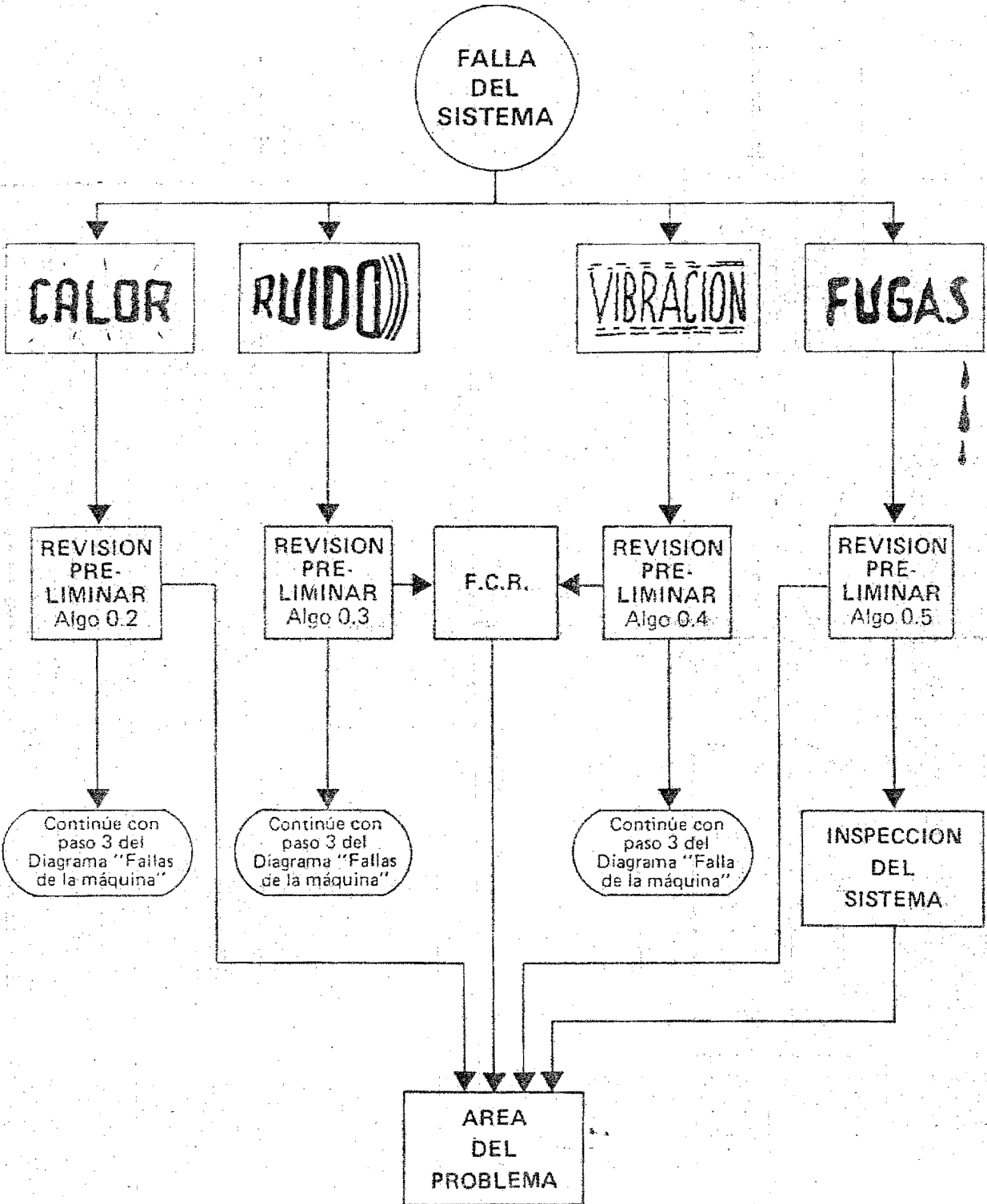
Un sistema hidráulico puede presentar síntomas o calentamiento, ruido, vibración o derrame excesivos sin que afecten necesariamente el funcionamiento de la máquina a corto plazo.

Cualquiera que sea el problema, puede efectuarse una revisión preliminar para tratar de identificar el área del problema usando los sentidos de la vista, el tacto o el oído.

Una unidad presentará síntomas anormales debido a un problema en algún lugar del sistema, por ejemplo, cavitación o aireación en una línea de entrada de la bomba. En este caso pueden usarse las tarjetas de FALLA, CAUSA Y SOLUCION (F.C.R.) para localizar el área del problema.

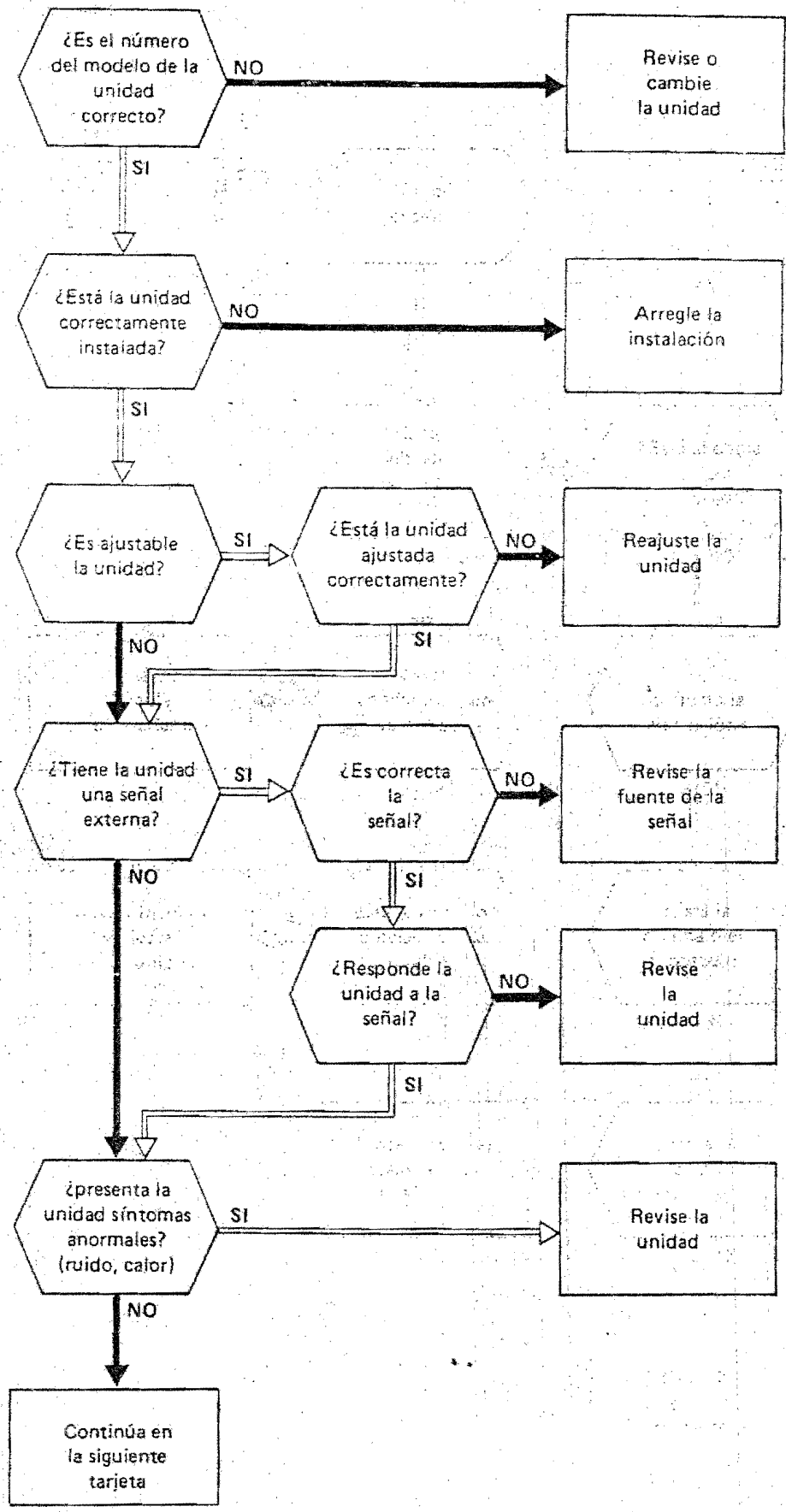
Si no se identifica el problema con la revisión preliminar, debe realizarse una más exhaustiva en las unidades sospechosas y un procedimiento similar al de "Fallas de la máquina".

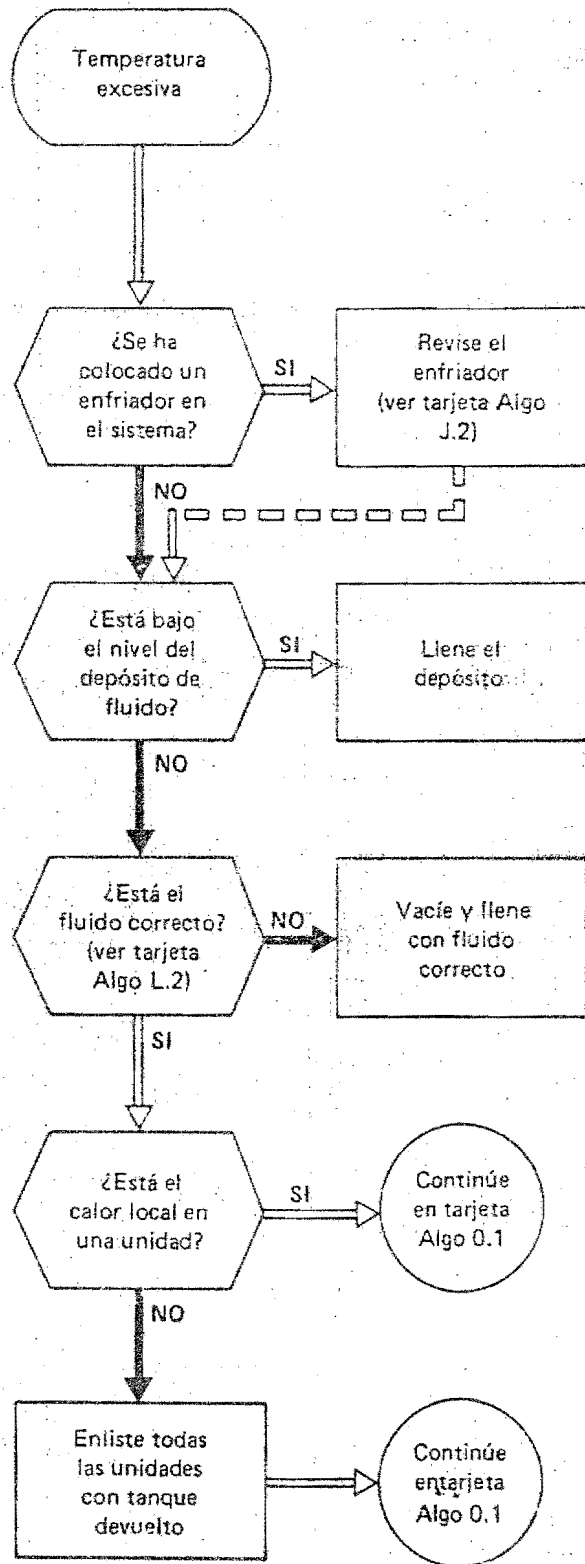
18. Fallas del sistema.



Revisión preliminar de la falla de la unidad.

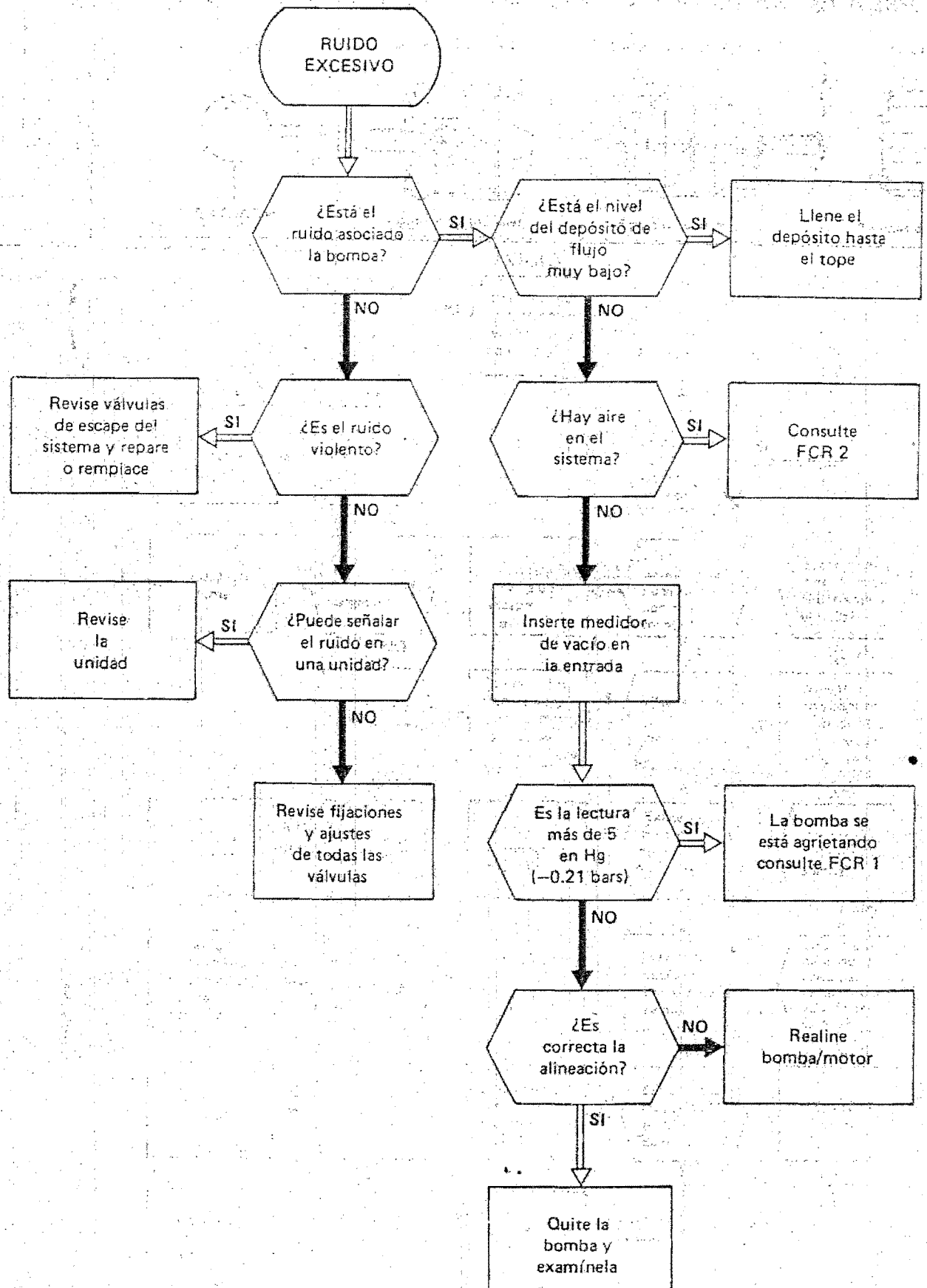
Algo 0.1





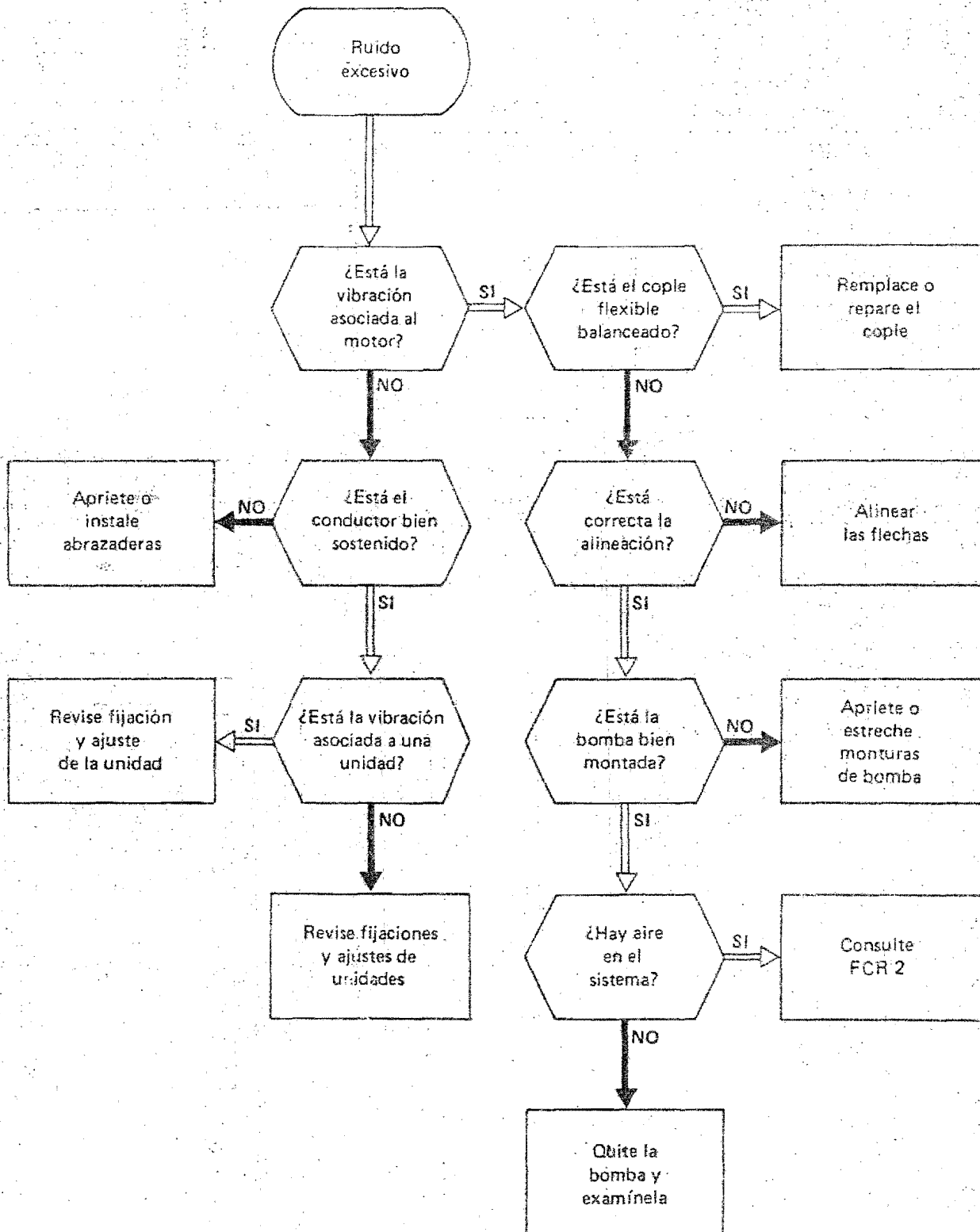
Ruido excesivo.

Algo 0.3



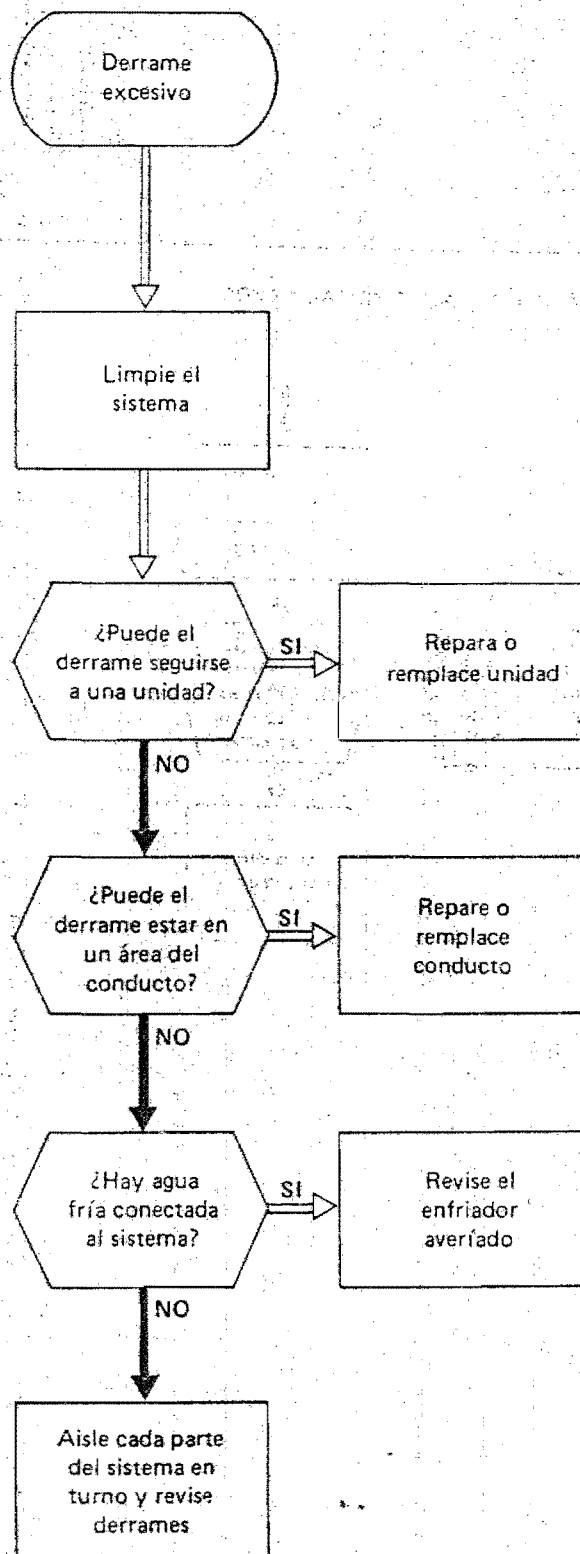
Vibración excesiva.

Algo 0.4



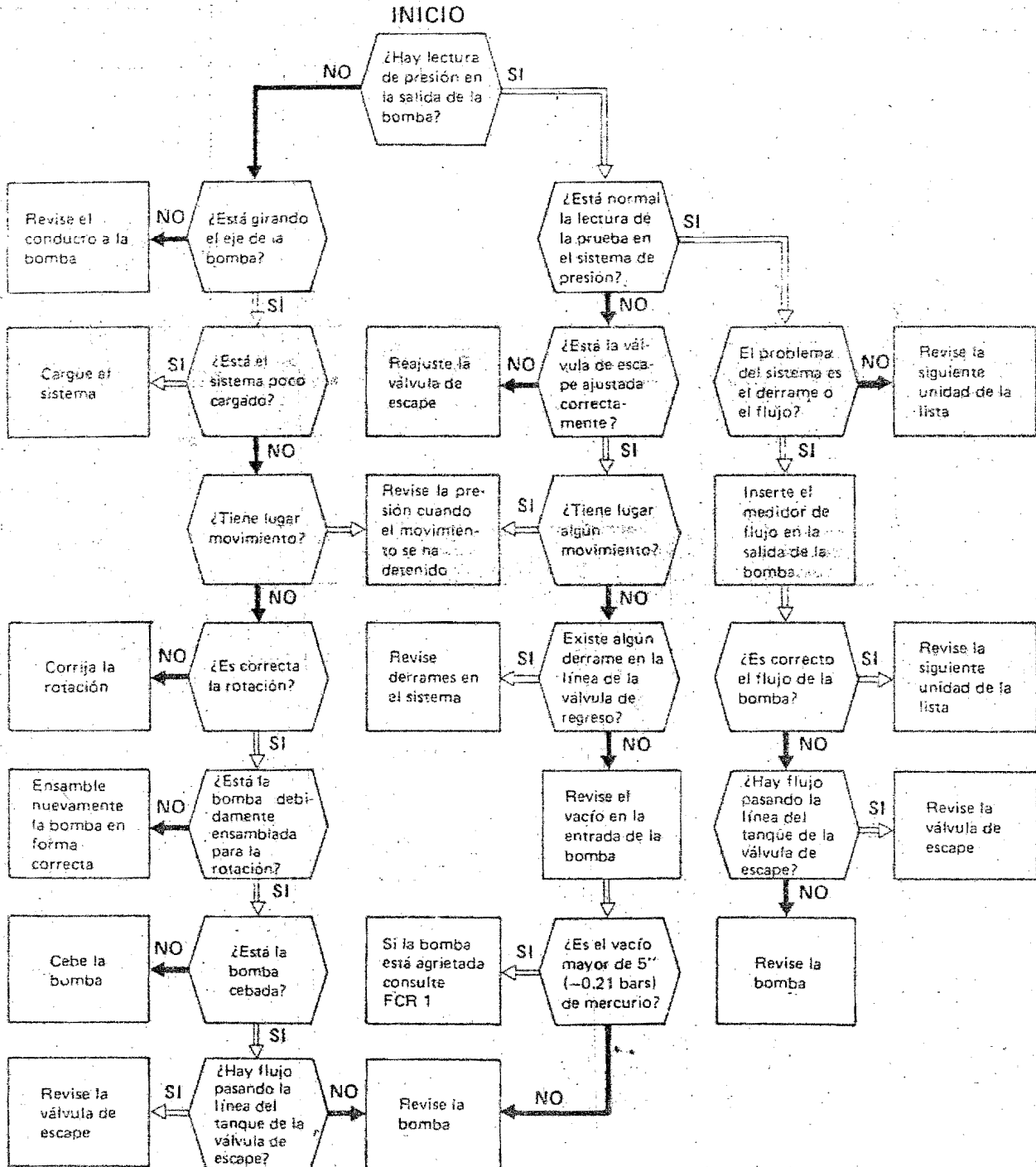
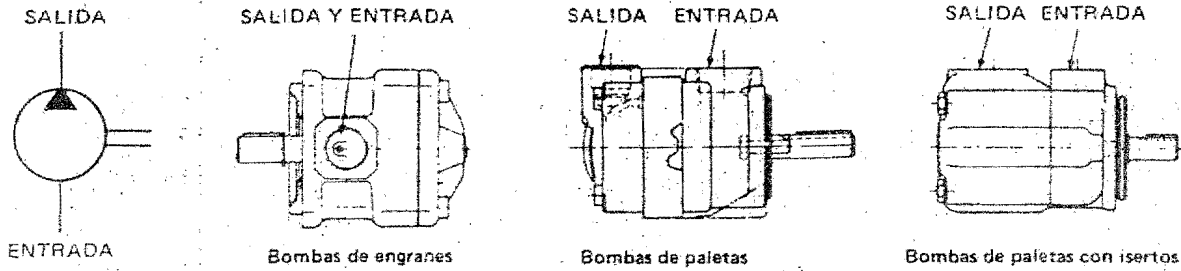
Derrame excesivo.

Algo 0.5



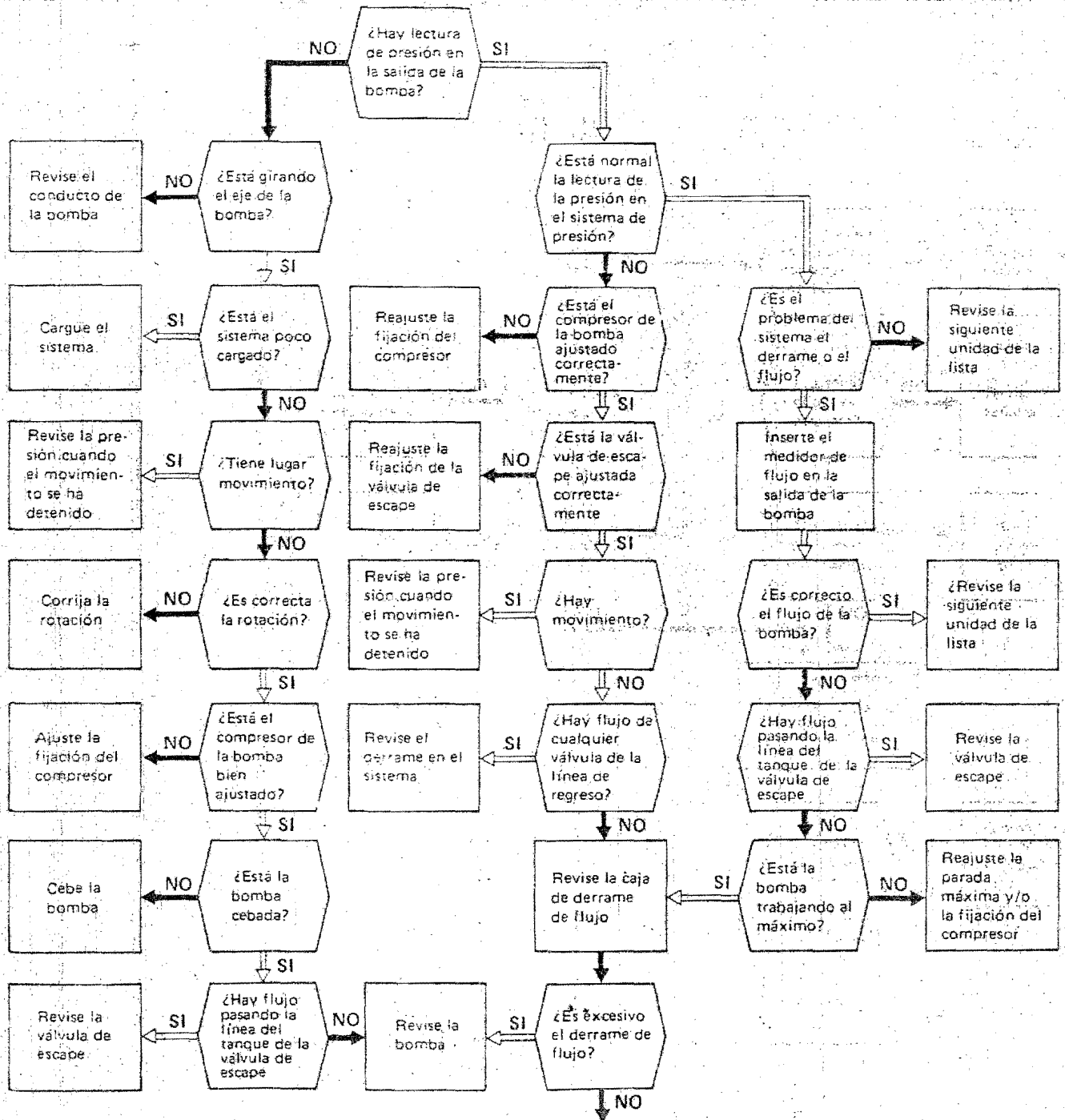
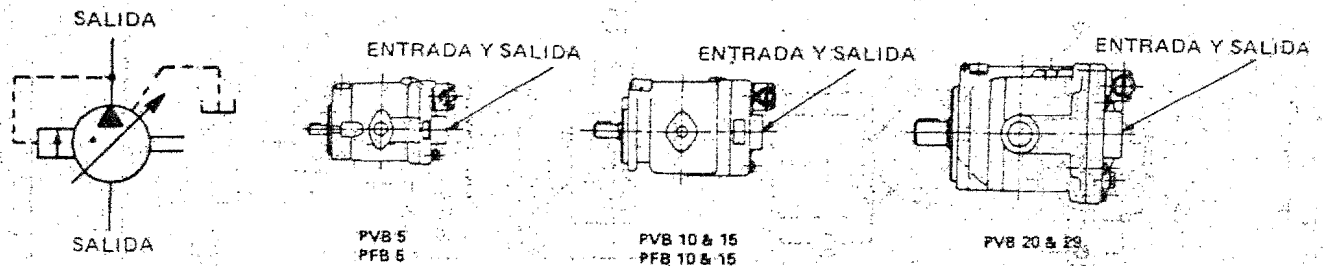
Prueba de sistema para mecanismo y apsa de bombas.

Algo A.1



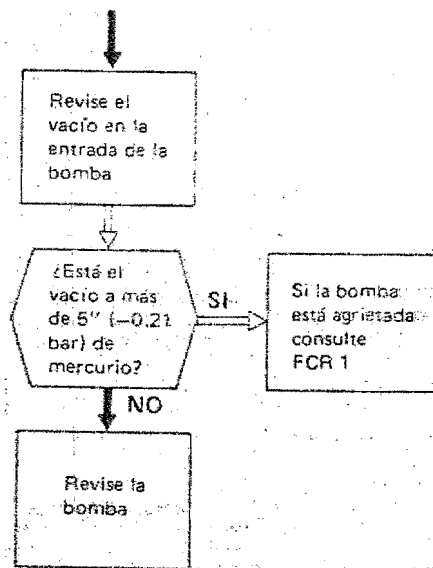
Prueba de sistema para bombas de pistones.

Algo A.2



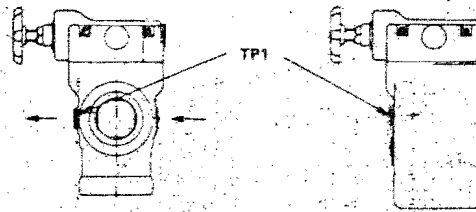
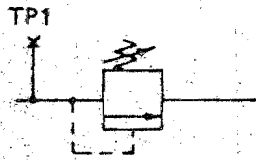
CONTINUA EN EL SIGUIENTE DIAGRAMA

CONTINUACION DE LA TARJETA A.2



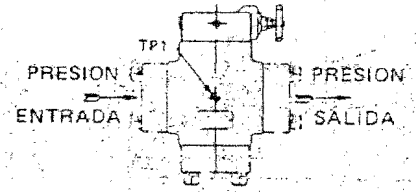
Prueba de sistema para válvulas de alivio de presión.

Algo B.1

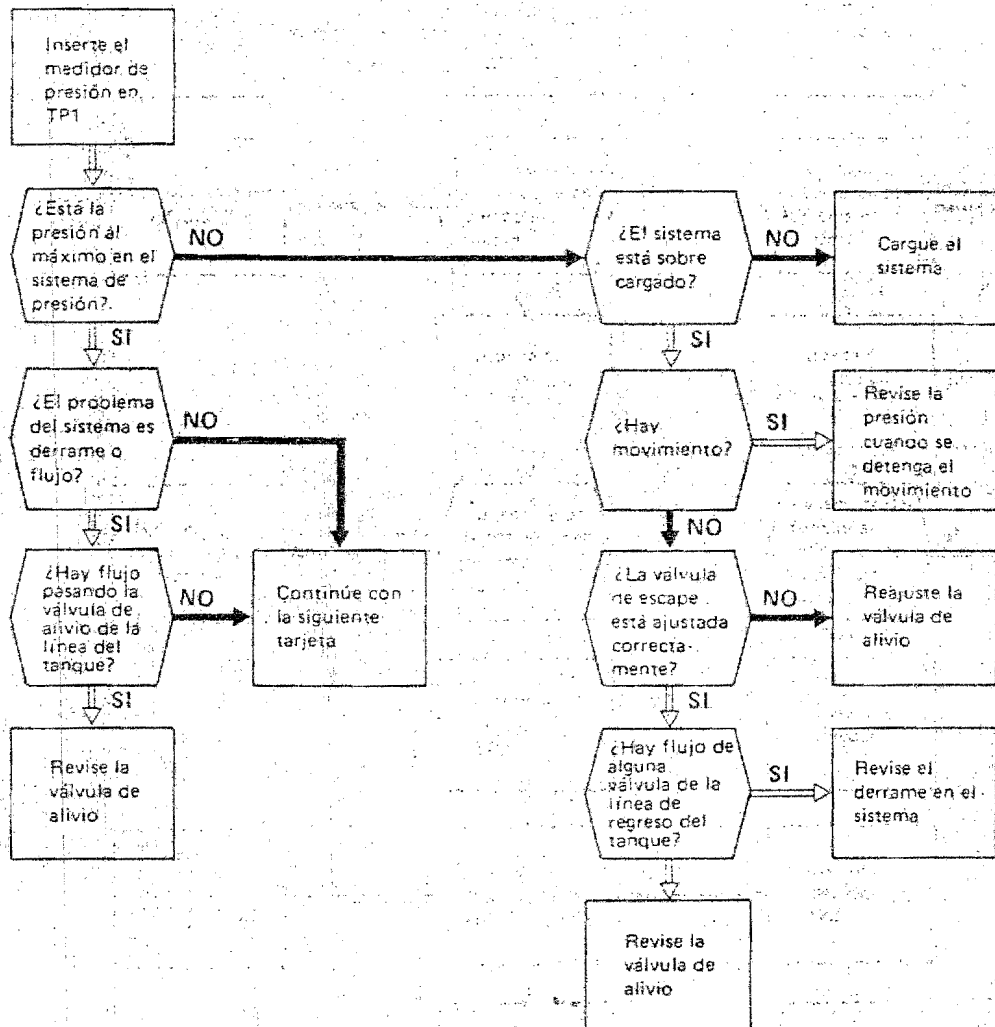


CT-06
CT-10

CG-06
CG-10

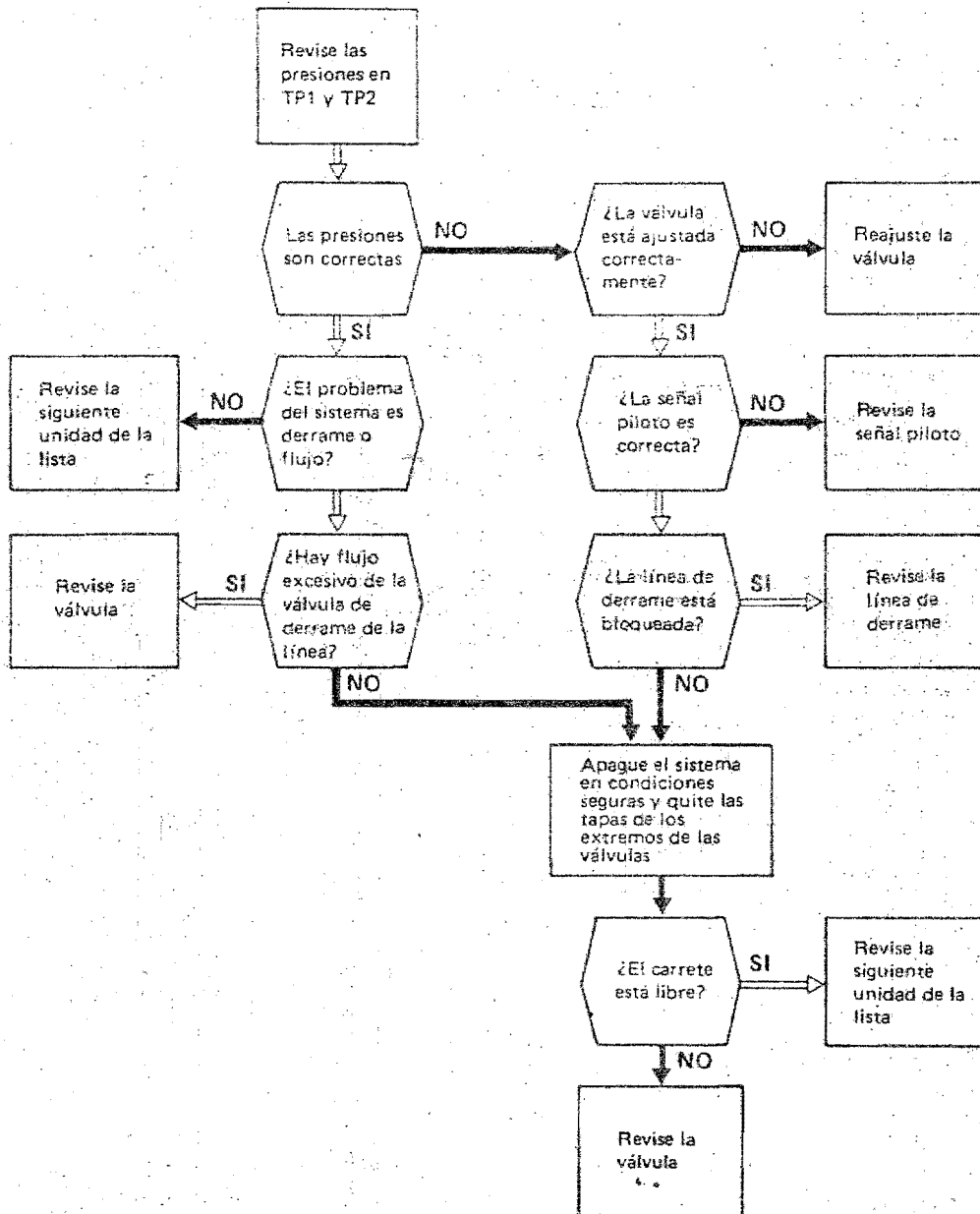
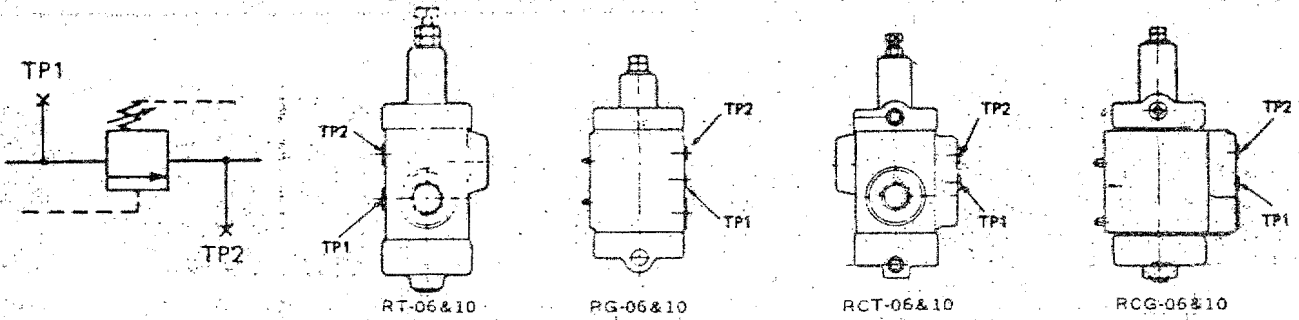


CF-16

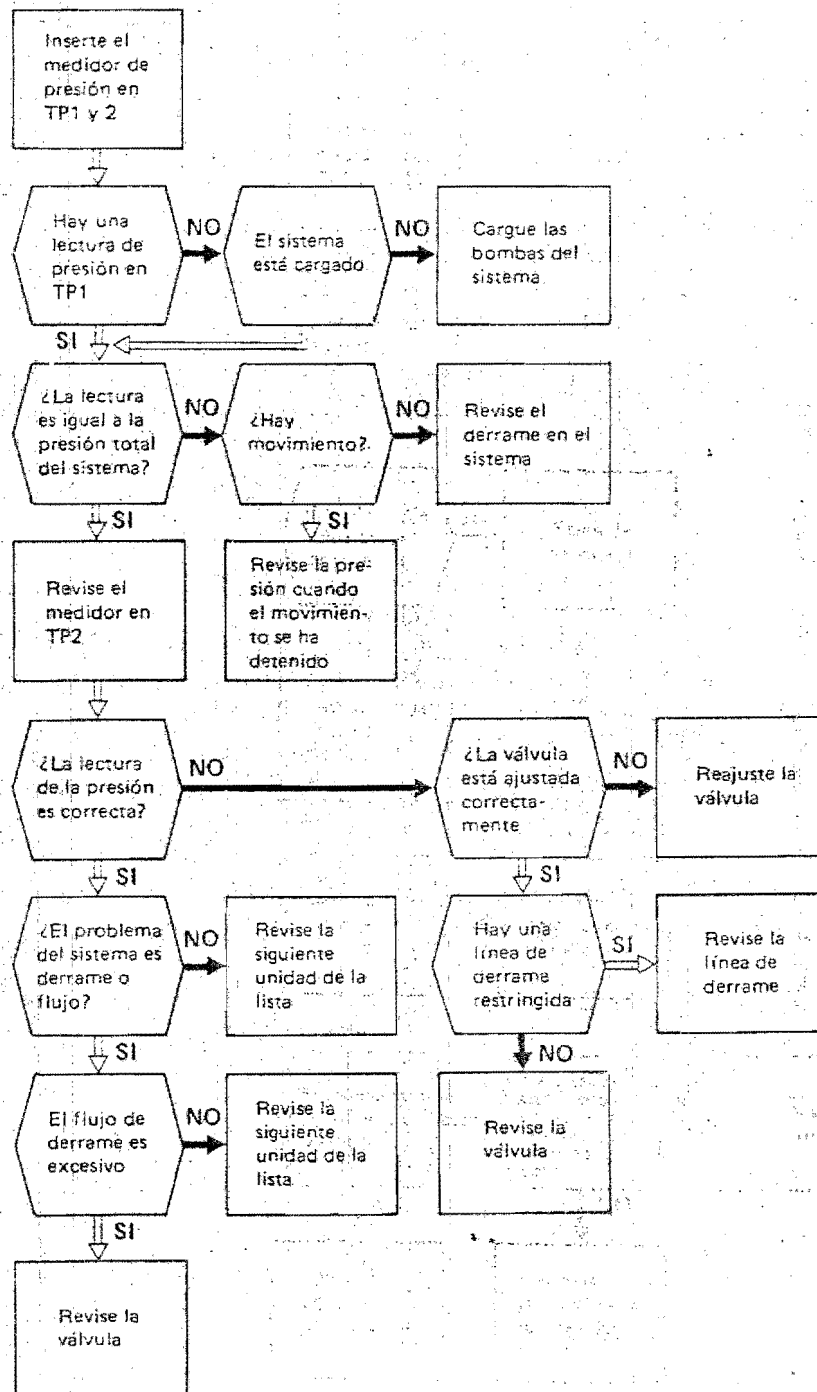
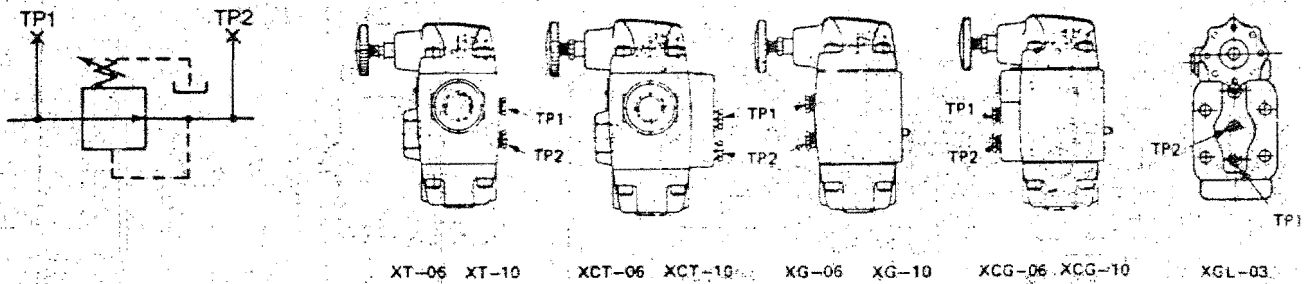


Revisión del sistema para válvulas de secuencia.

Algo B.2

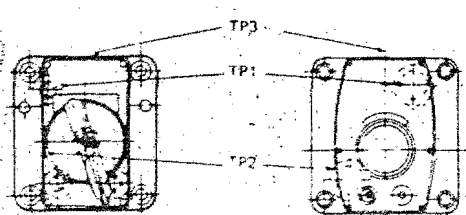
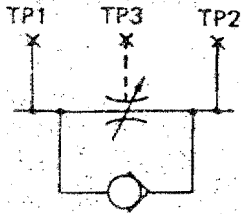


Prueba de sistema para válvulas de reducción de presión. Algo B.3

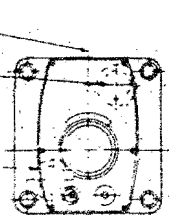


Prueba de sistema para válvulas de control de flujo.

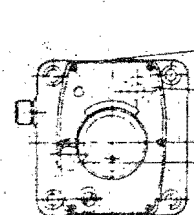
Algo C.1



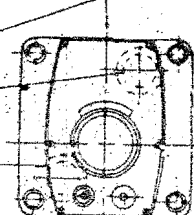
FG-02



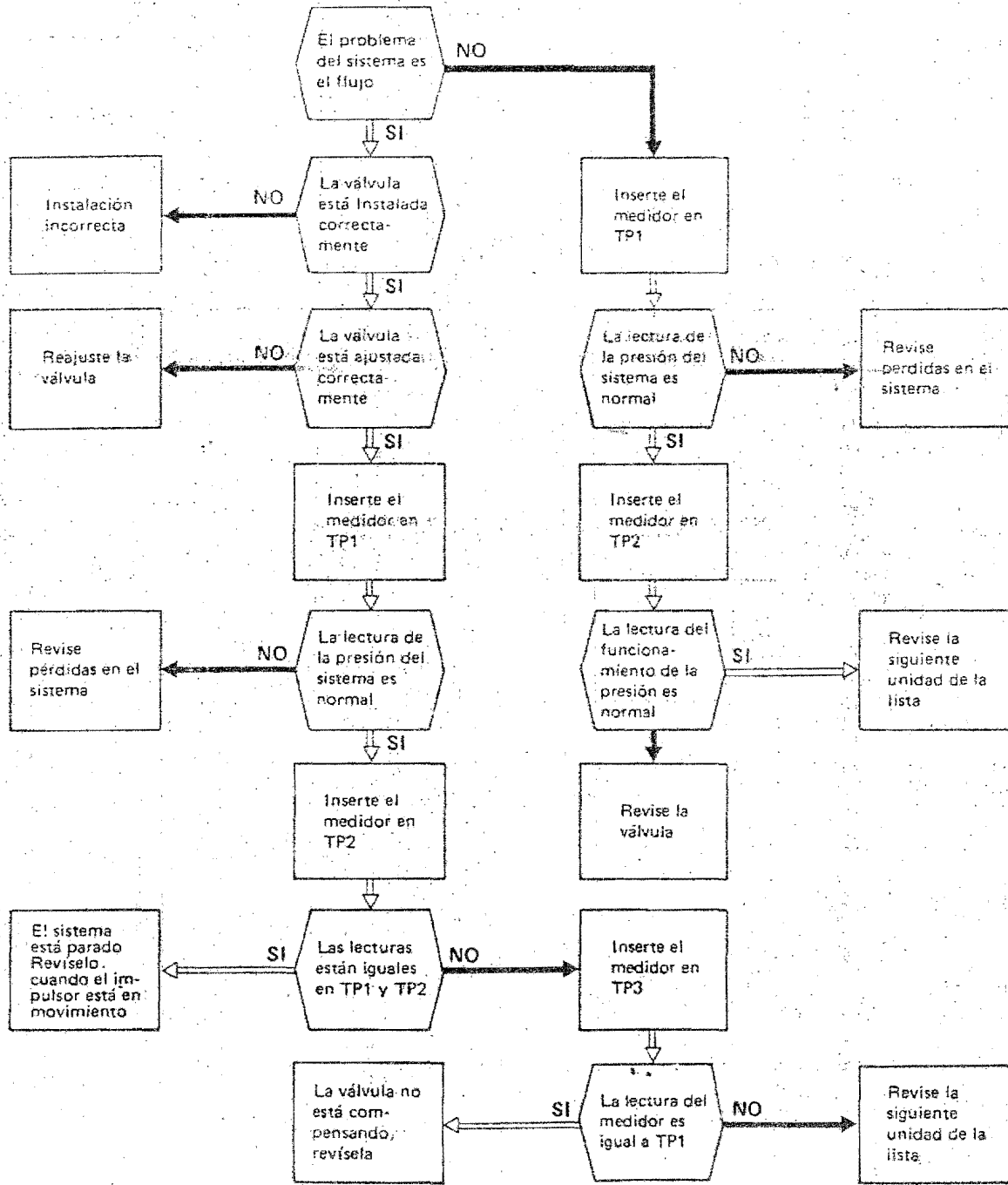
FCG-02-1000



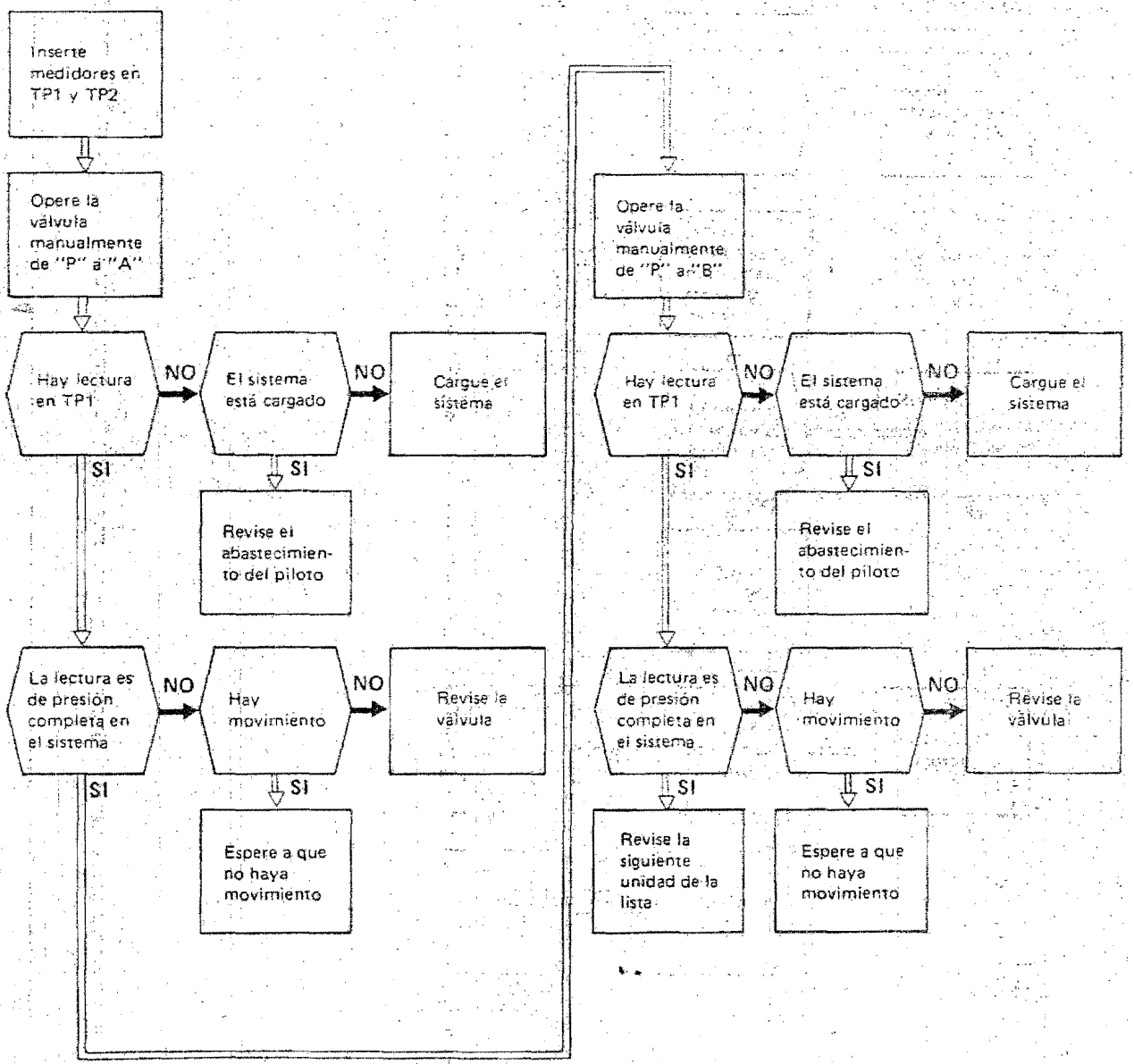
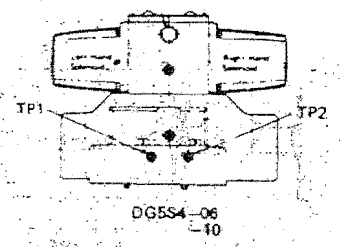
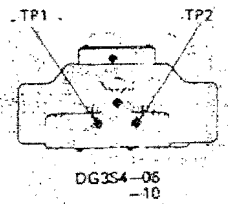
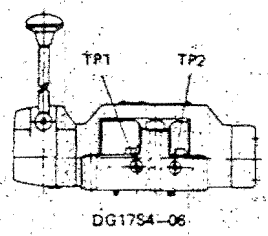
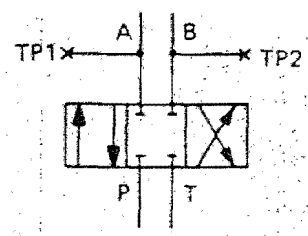
F*G-02-1500



FG-03-28-22

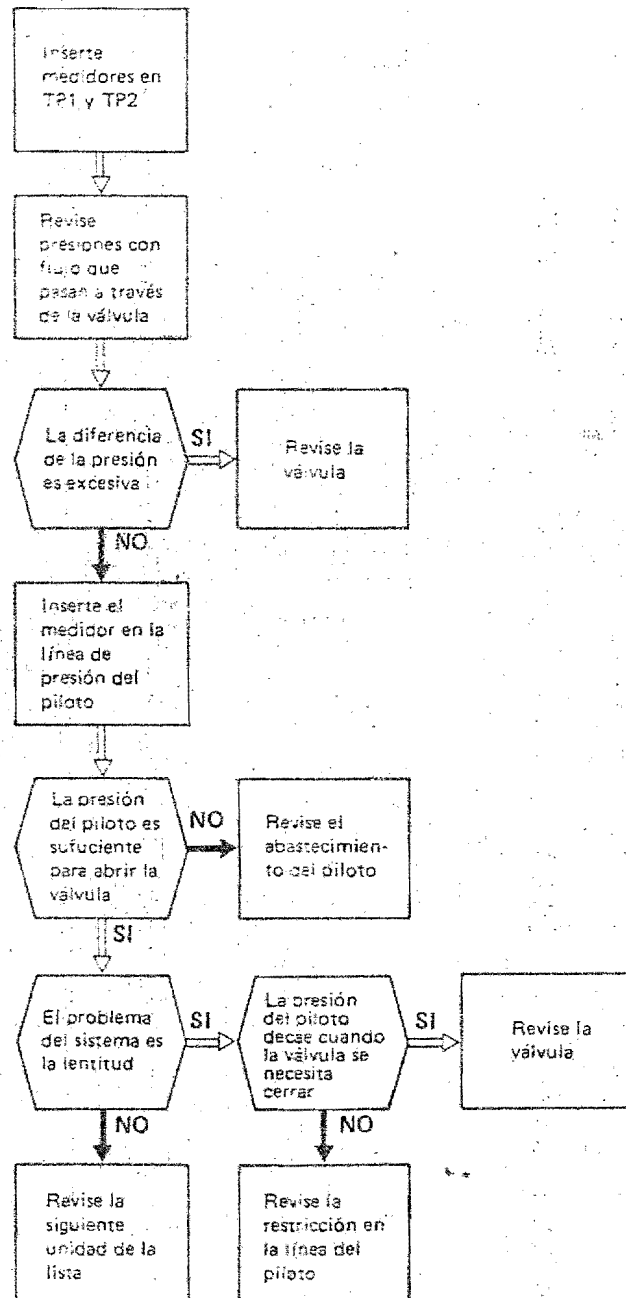
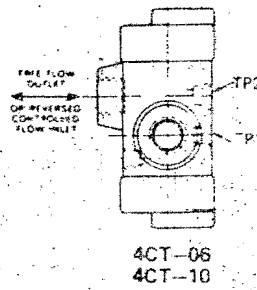
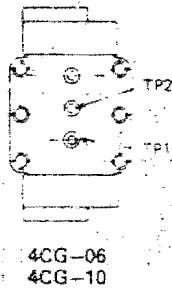
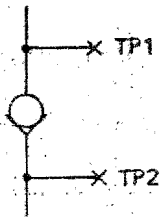


Prueba para sistema para válvulas de control direccional. Algo D.1



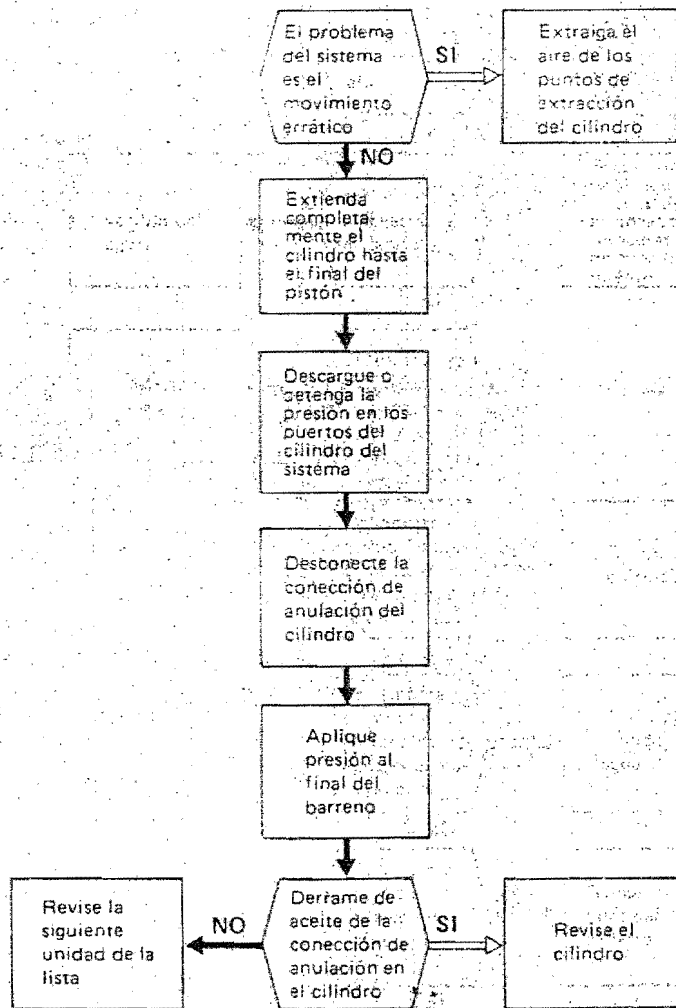
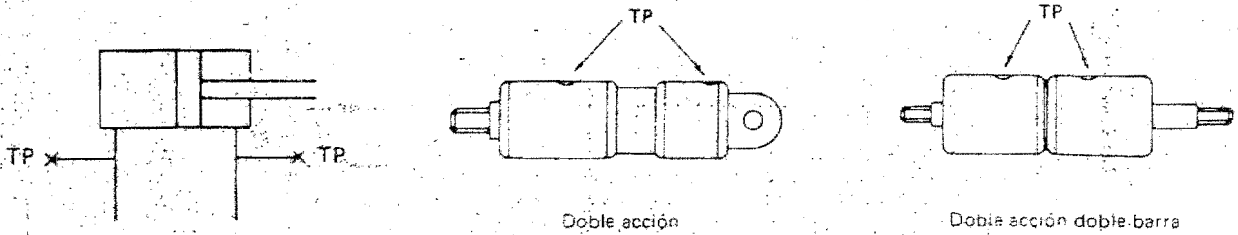
Prueba de sistema para válvulas check operadas por presión piloto.

Algo E.1



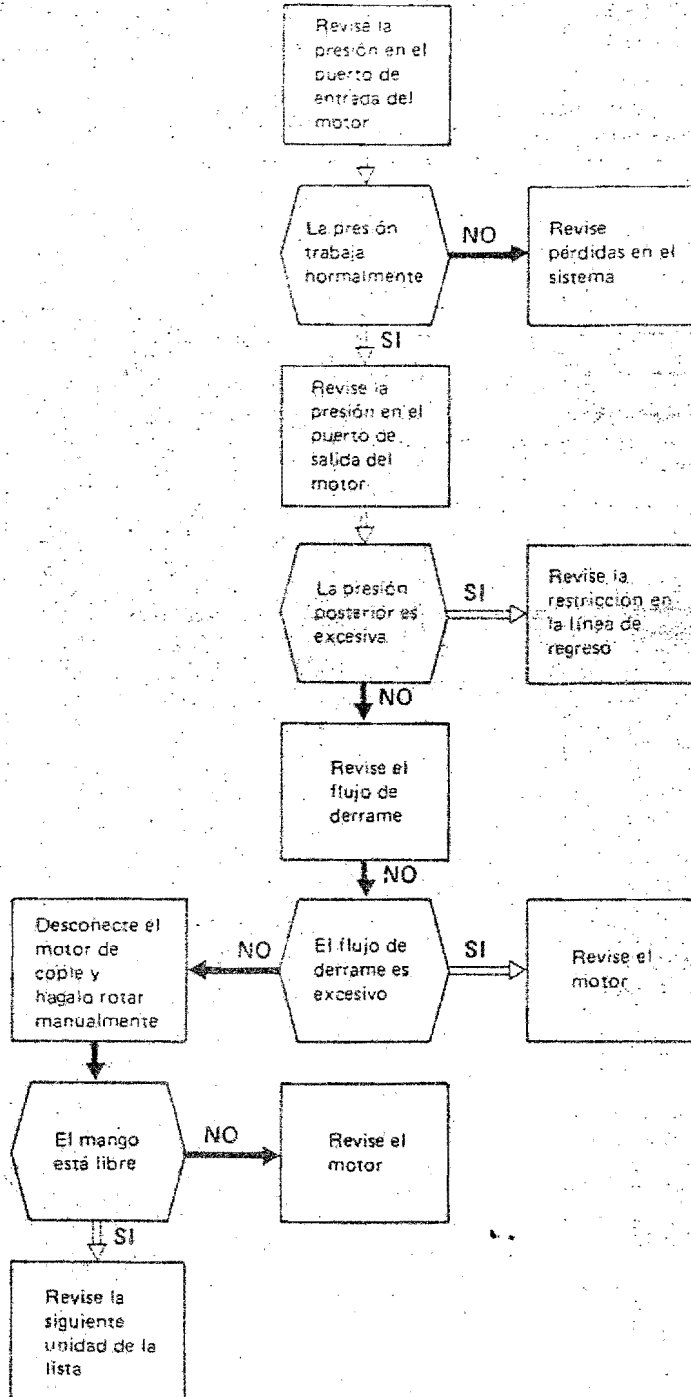
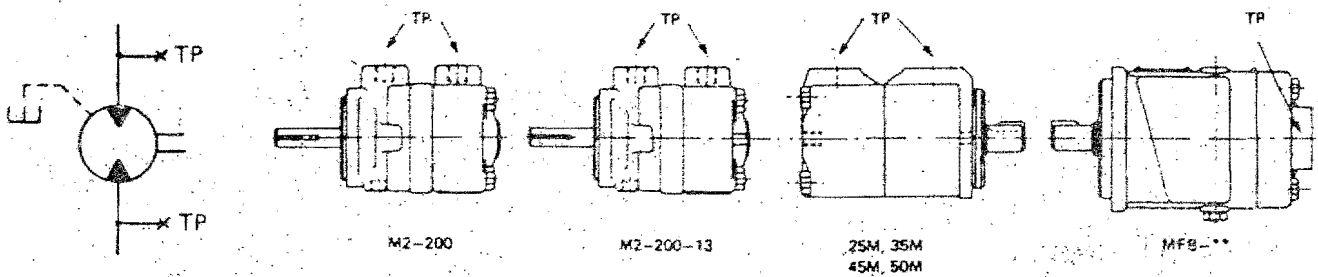
Prueba de sistema para cilindros.

Algo G.1



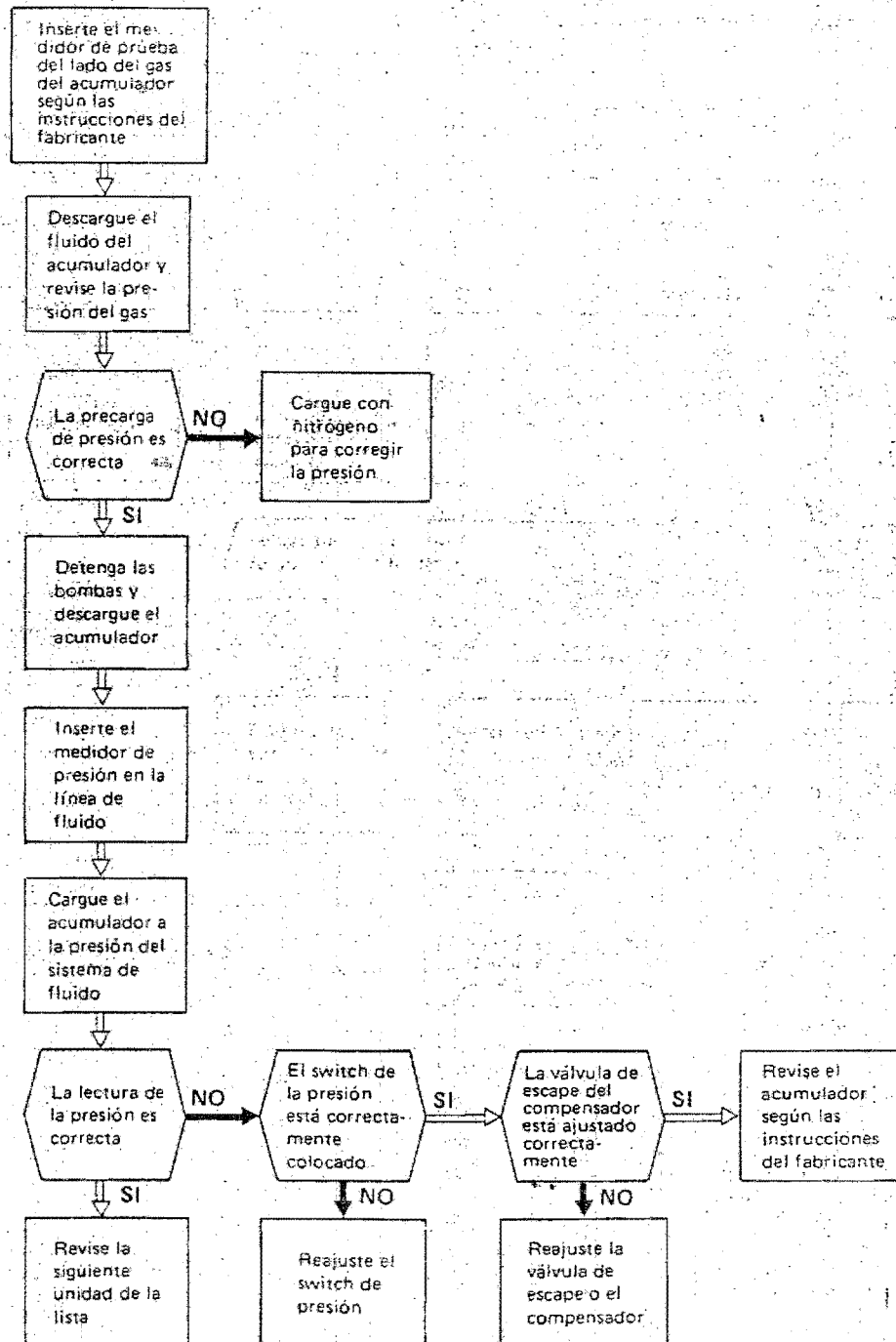
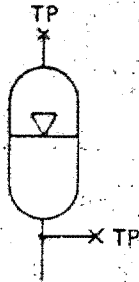
Prueba de sistema para motores hidráulicos.

Algo G.2



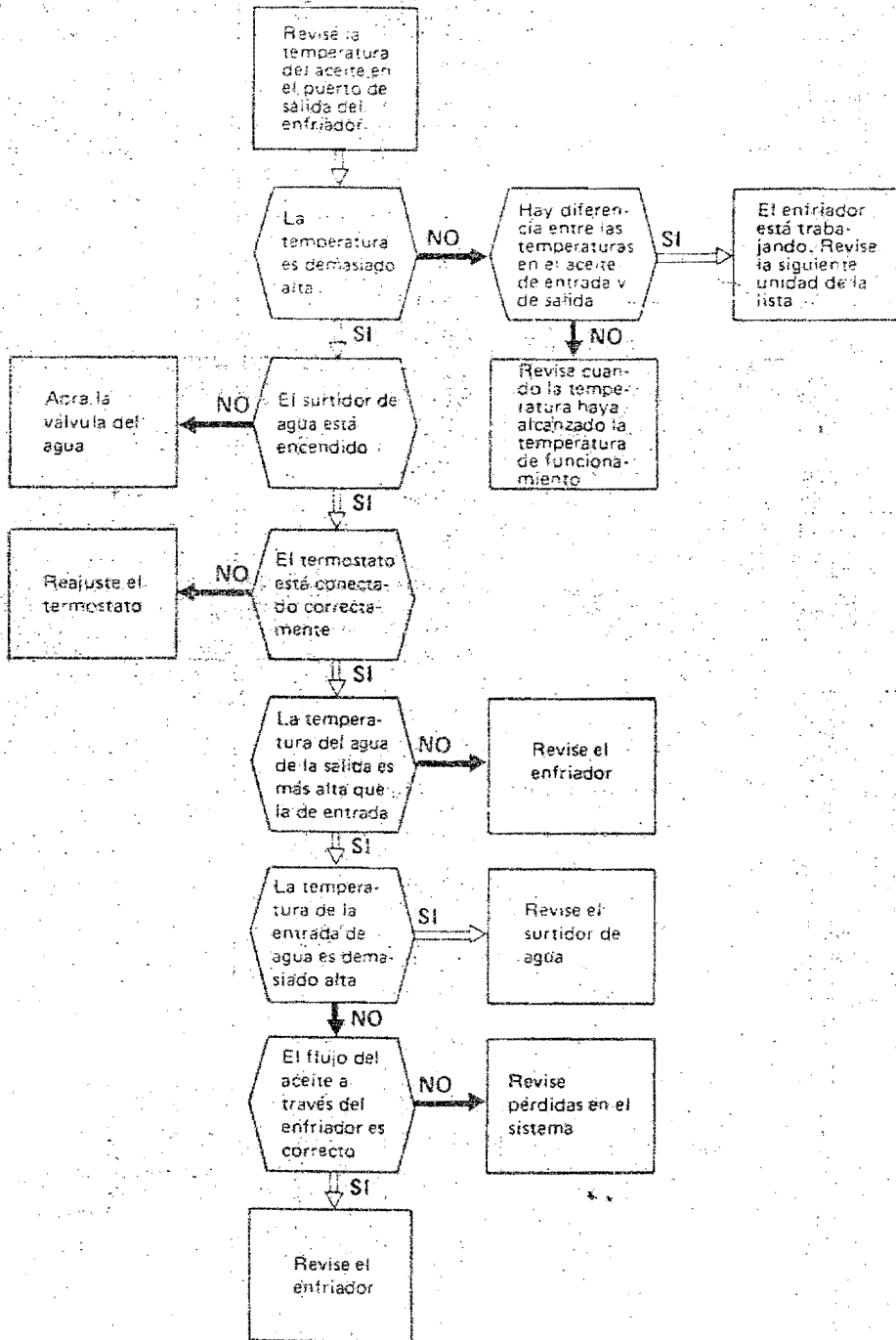
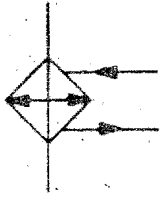
Prueba de sistema para acumuladores.

Algo J.1



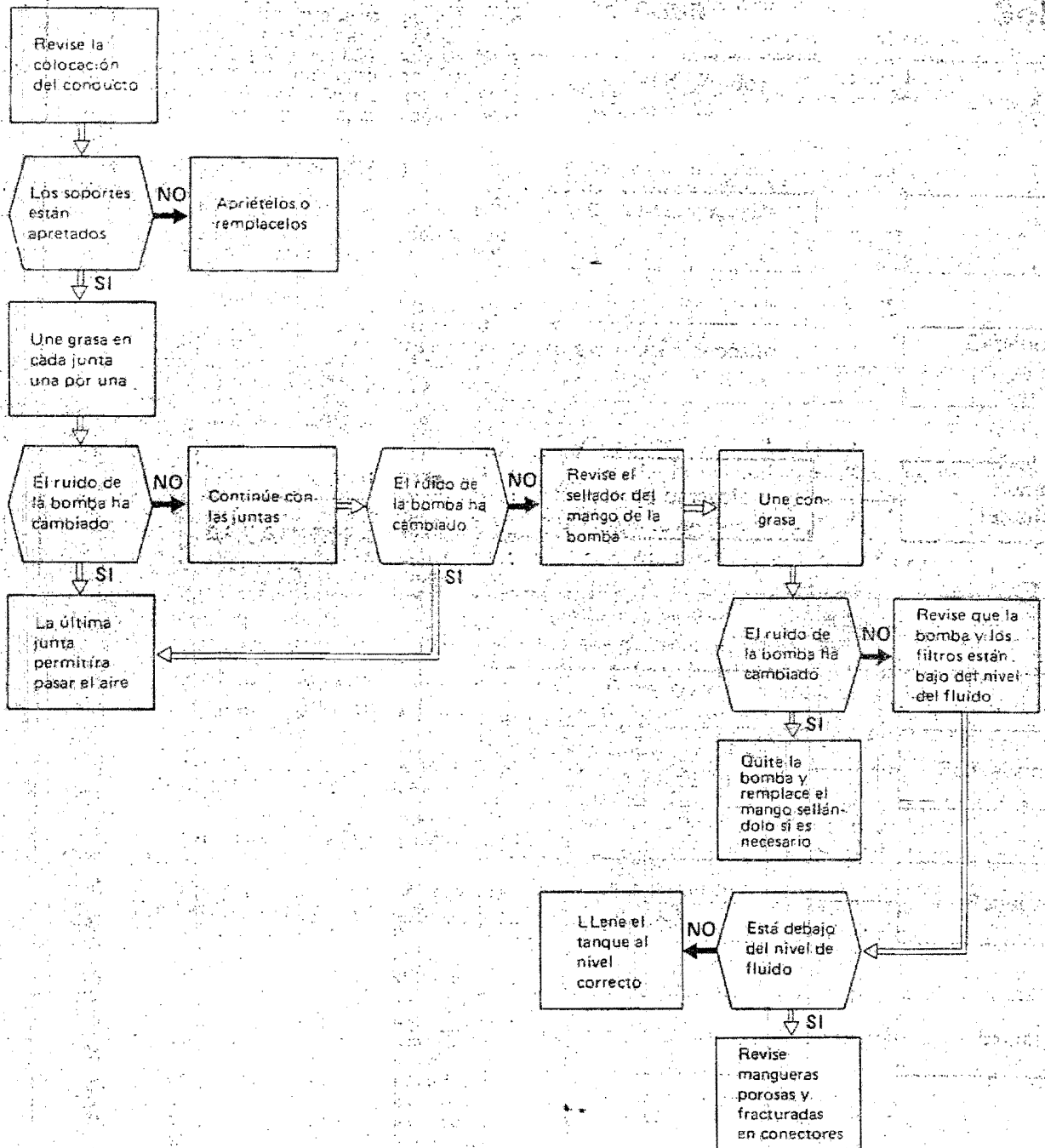
Prueba de sistema para enfriadores.

Algo J.2



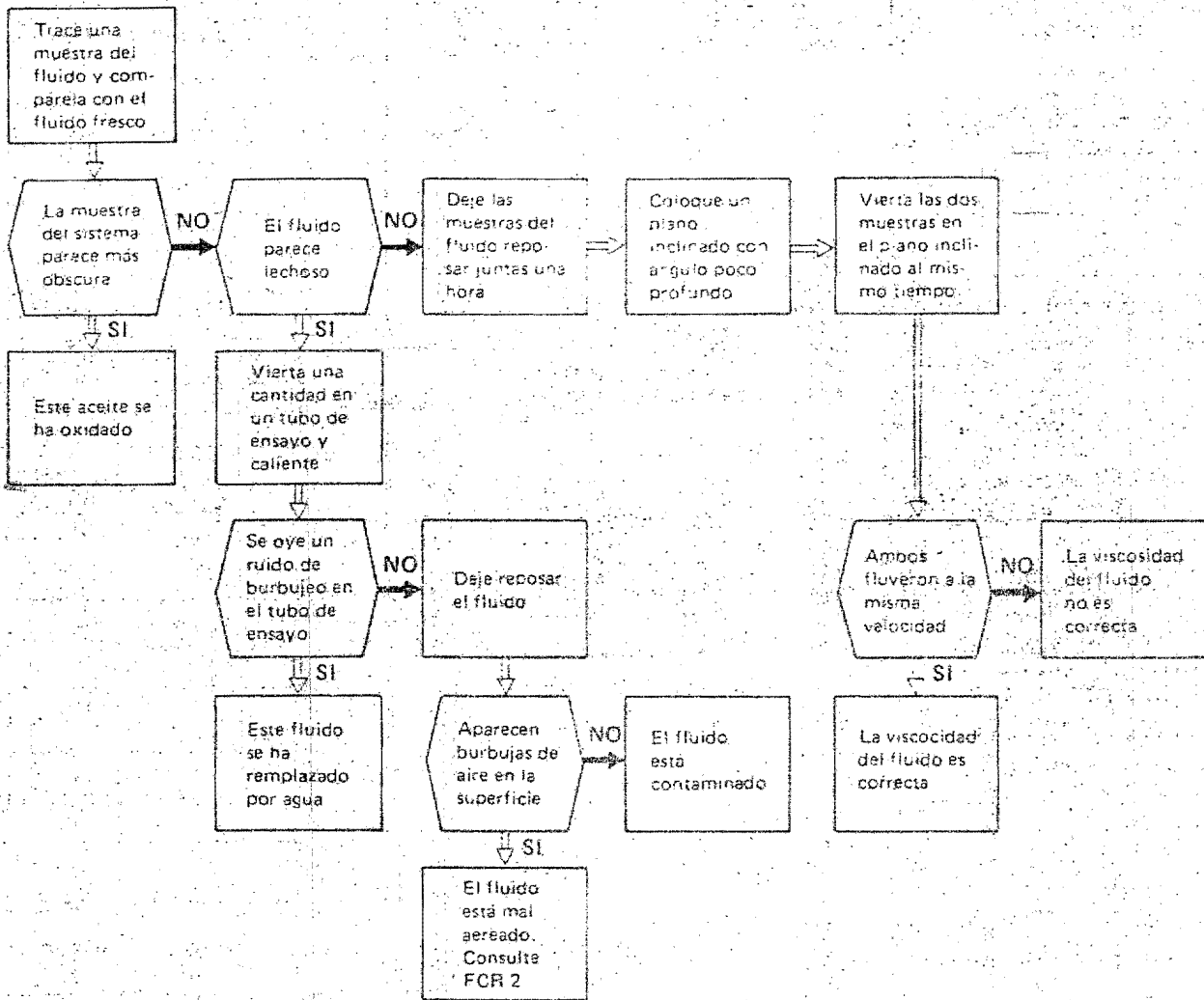
Prueba de sistema para fugas de aire.

Algo L.1



Prueba de sistema para contaminación de fluido.

Algo L.2



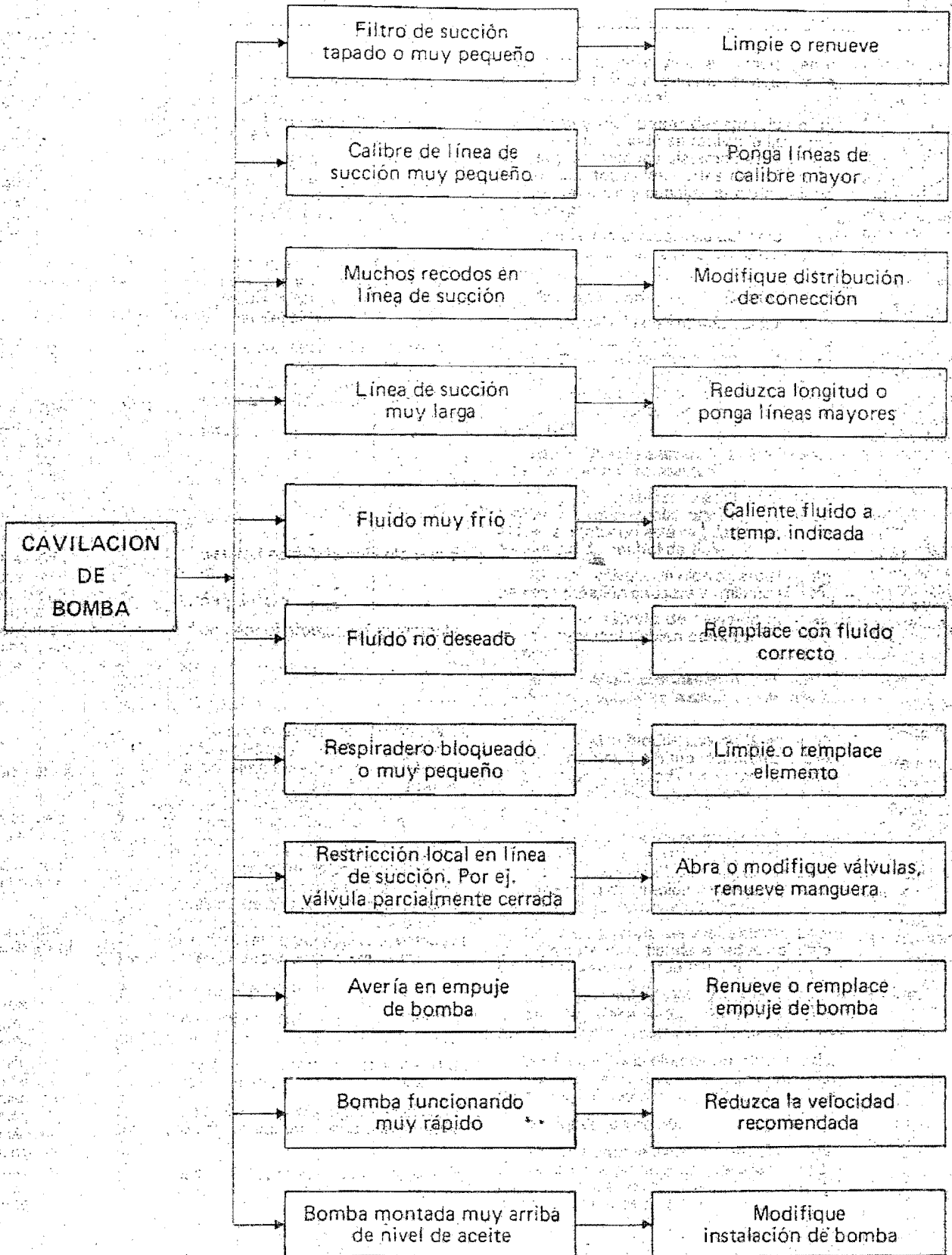
Cavilación de bomba.

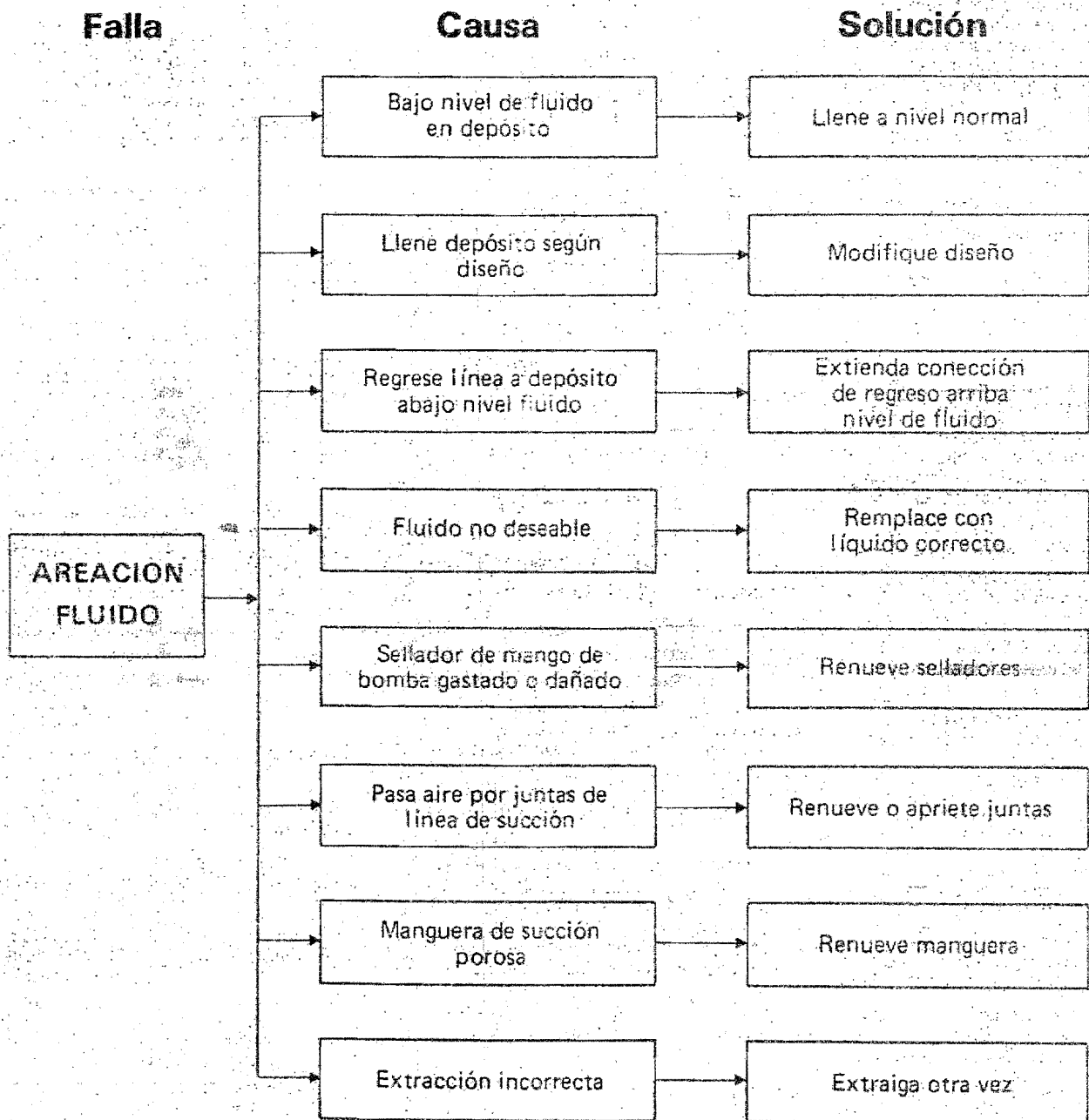
FCR 1

Falla

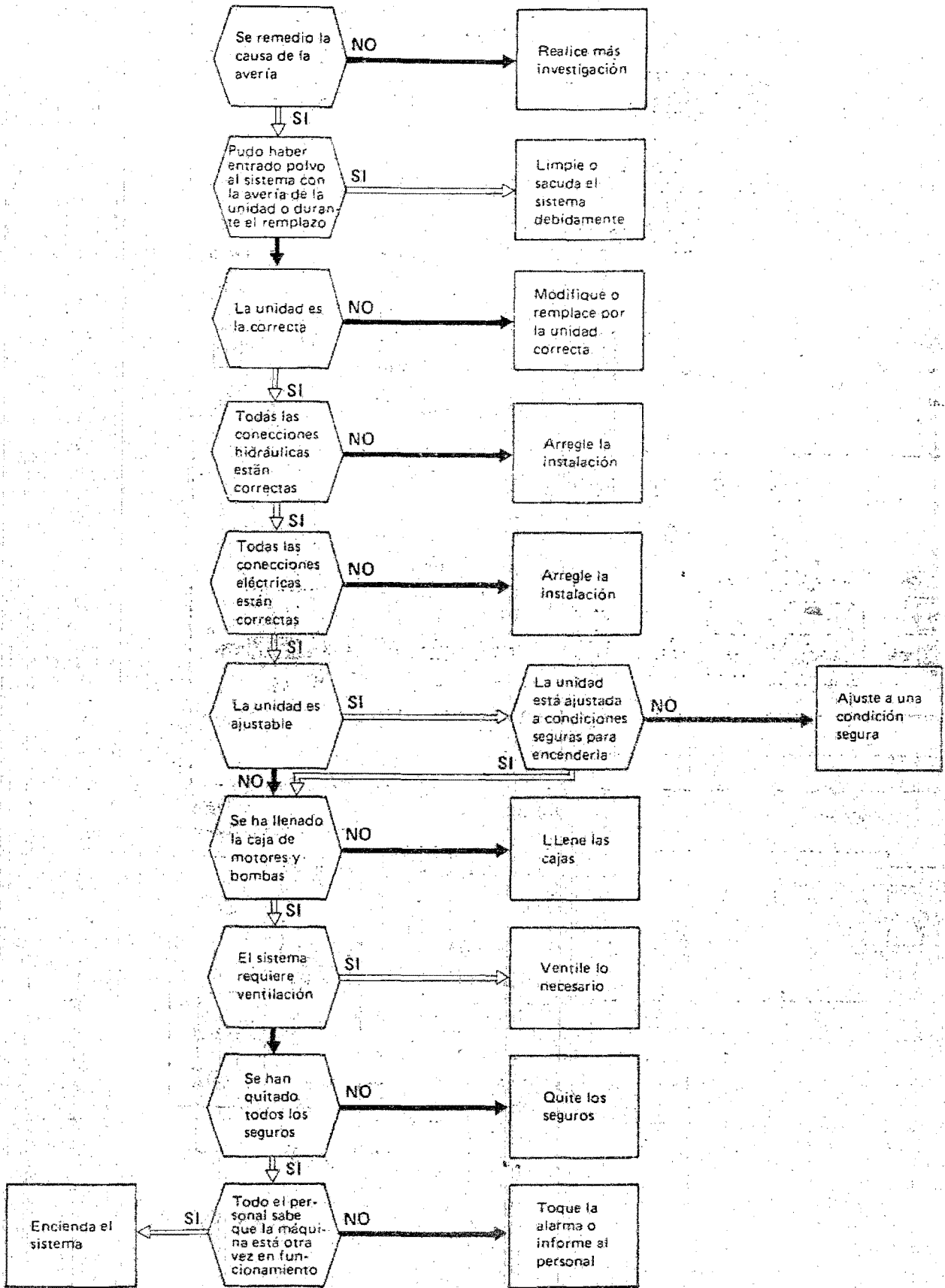
Causa

Solución





Procedimiento para poner en funcionamiento nuevamente. Algo 0.6



Máquina de alineación de barra.

Ejercicio de solución de problemas

Introducción

Para ilustrar el procedimiento descrito en este libro debe ponerse un ejemplo detallado para una máquina típica como la que se muestra a continuación.

La máquina de ajuste de barra consiste en un soporte corredizo que se maneja hacia atrás y hacia adelante que mueve una luz cortante a través de una barra de metal.

Dos abrazaderas cilíndricas sujetan la barra en su lugar y un impulsor semirrotatorio empuja la barra sobre una mesa giratoria al final del ciclo.

Supóngase que el operador ha reportado tres problemas que ocurrieron simultáneamente y ante los cuales la máquina estaba operando satisfactoriamente.

Síntomas

1. El motor del soporte corredizo está lento en ambos sentidos.
2. El cilindro transversal está lento al extenderse.
3. El sistema está más caliente que de costumbre.

Punto de inicio

Empiece por el problema fundamental, por ejemplo, el movimiento lento del motor del soporte corredizo y del cilindro transversal usando el problema de calentamiento como clave.

Cuando han ocurrido dos problemas a la máquina no es posible que los dos hayan tenido lugar simultáneamente en el sistema hidráulico. Es más probable que una falla en el sistema hidráulico está ocasionando ambas fallas de la máquina.

Por consiguiente, al procedimiento lógico es mirar ambas fallas por turno y llegar a una lista de unidades que pueden ser responsables de dichos síntomas en particular y después mire las unidades comunes de ambas listas, por ejemplo, unidades que pueden causar ambos síntomas.

Falla 1 de la máquina

Velocidad lenta del motor del soporte corredizo.

Paso 1. El síntoma es de velocidad, por lo tanto, el problema es el Flujo.

Paso 2. Consulte el diagrama del circuito e identifique las unidades y sus funciones.

Paso 3. Enliste las unidades que pueden afectar el flujo al motor de mando del soporte corredizo.

(El objetivo de este paso es reducir el número de unidades lo más posible. Sin embargo, es importante no emitir muchos

juicios en este nivel ya que es mejor tener una lista mayor que una menor que puede excluir la unidad vital.

Es muy fácil pasar desapercibido un componente cuando se realiza la lista, por lo que para muchos sistemas es más seguro pasar todas las partes de la lista en orden numérico y considerar cada unidad por separado.

En relación al diagrama del circuito, las siguientes unidades pueden causar el problema:

No. de unidad	Comentarios
---------------	-------------

9. Una válvula de entrada parcialmente cerrada puede liquidar la bomba y por lo tanto el sistema del fluido (bajo estas circunstancias la bomba estará probablemente haciendo ruido pero como se mencionó anteriormente, no emita juicios en este nivel).

10. Un filtro de entrada bloqueado puede causar el mismo efecto.

11. La baja potencia de la bomba afectará el soporte corredizo en el motor ya que el flujo al motor no está regulado por ninguna válvula de control de flujo.

13. Una válvula de cierre parcialmente cerrada también causará el mismo efecto.

16. Una válvula de revisión parcialmente cerrada también causará el mismo efecto.

17. Una válvula de escape que se derrame reduce el funcionamiento efectivo de la bomba.

18. Un filtro bloqueado en la línea de regreso reducirá el flujo del motor. (Sin embargo está colocado una manguera de paso en el filtro por lo que debe estar mal instalado).

20. Puede suponerse que el propósito del acumulador en este sistema es complementar el flujo de la bomba, por lo tanto, una precarga de presión incorrecta puede afectar el flujo del acumulador.

21. Una válvula de aislamiento parcialmente cerrada tiende a reducir el flujo del acumulador y por lo tanto al motor.

22. Una válvula de escape de aire dejada abierta puede reducir el flujo efectivo tanto del acumulador como del motor.

30. Una válvula direccional chorreando «P» o «T» puede reducir el flujo al mando del motor del soporte corredizo.

31. Igual que en 30.

34. Un derrame excesivo en la línea de derrame de la presión de la válvula de reducción puede reducir el flujo al mando del motor del soporte corredizo.

35. Una reducción en la válvula direccional que controla el mando del motor del soporte corredizo (causado por virutas

grandes, movimiento de carrete incompleto o carrera de pistón de ajuste mal ajustada por ejemplo) puede reducir el flujo al motor.

(36 + 37). Aunque una válvula de escape goteando puede afectar el flujo al motor, tienen que ocurrir dos fallas para afectar la velocidad en ambas direcciones, por ejemplo, 36 + 37 o 36 + 38 goteando. Ya que esto es imposible, si es posible algo muy diferente).

40. Igual que para 30 y 31.

41. Igual que 40. 42.

48. Un motor gastado o dañado que tenga drenaje excesivo puede reducir el flujo efectivo al motor.

(49 + 50). De la tarjeta de energización solenoide puede verse que ni el cilindro transversal ni el impulsor rotativo de ejecución operan al mismo tiempo que el mando del motor del soporte corredizo, por lo tanto, el derrame en cualquiera de estos dos impulsos no afectará el flujo al Motor O.

51. Debido a que las abrazaderas cilíndricas se sostienen bajo presión cuando el mando del motor del soporte corredizo está operando (refiérase a la tarjeta de energización solenoide) un derrame a través de los selladores del pistón afectará el flujo al mando del motor del soporte corredizo.

52. Igual que en 51.

Falla 2 de la máquina.

Velocidad lenta del cilindro transversal cuando se extiende.

Paso 1. Otra vez el síntoma es de velocidad por lo tanto el problema es de Flujo.

Paso 2. Consulte el diagrama del circuito e identifique las unidades y sus funciones.

Paso 3. Enliste las unidades que pueden afectar el flujo al cilindro transversal cuando se extiende.

Unidad	Comentarios
9	Ver falla 1 de la máquina
10	Ver falla 1 de la máquina
11	Ver falla 1 de la máquina
13	Ver falla 1 de la máquina
16	Ver falla 1 de la máquina
17	Ver falla 1 de la máquina
18	Ver falla 1 de la máquina
20	Ver falla 1 de la máquina
21	Ver falla 1 de la máquina
22	Ver falla 1 de la máquina
30	Ver falla 1 de la máquina
31	Ver falla 1 de la máquina
34	Ver falla 1 de la máquina
35	Ver falla 1 de la máquina
40	Ver falla 1 de la máquina
42	Ver falla 1 de la máquina

19. Disposición de la máquina de ajuste de barra.

Pag - 60 -

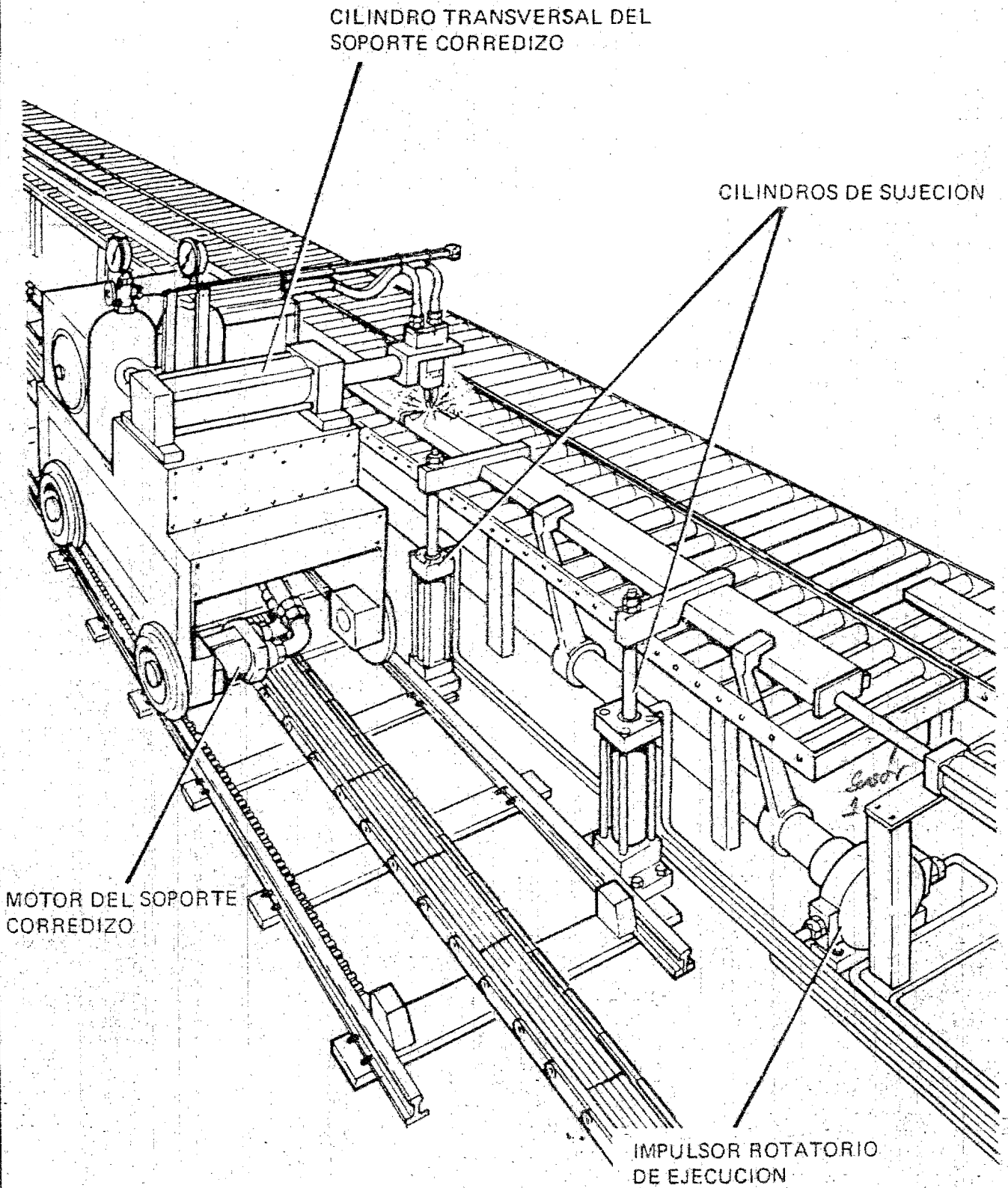
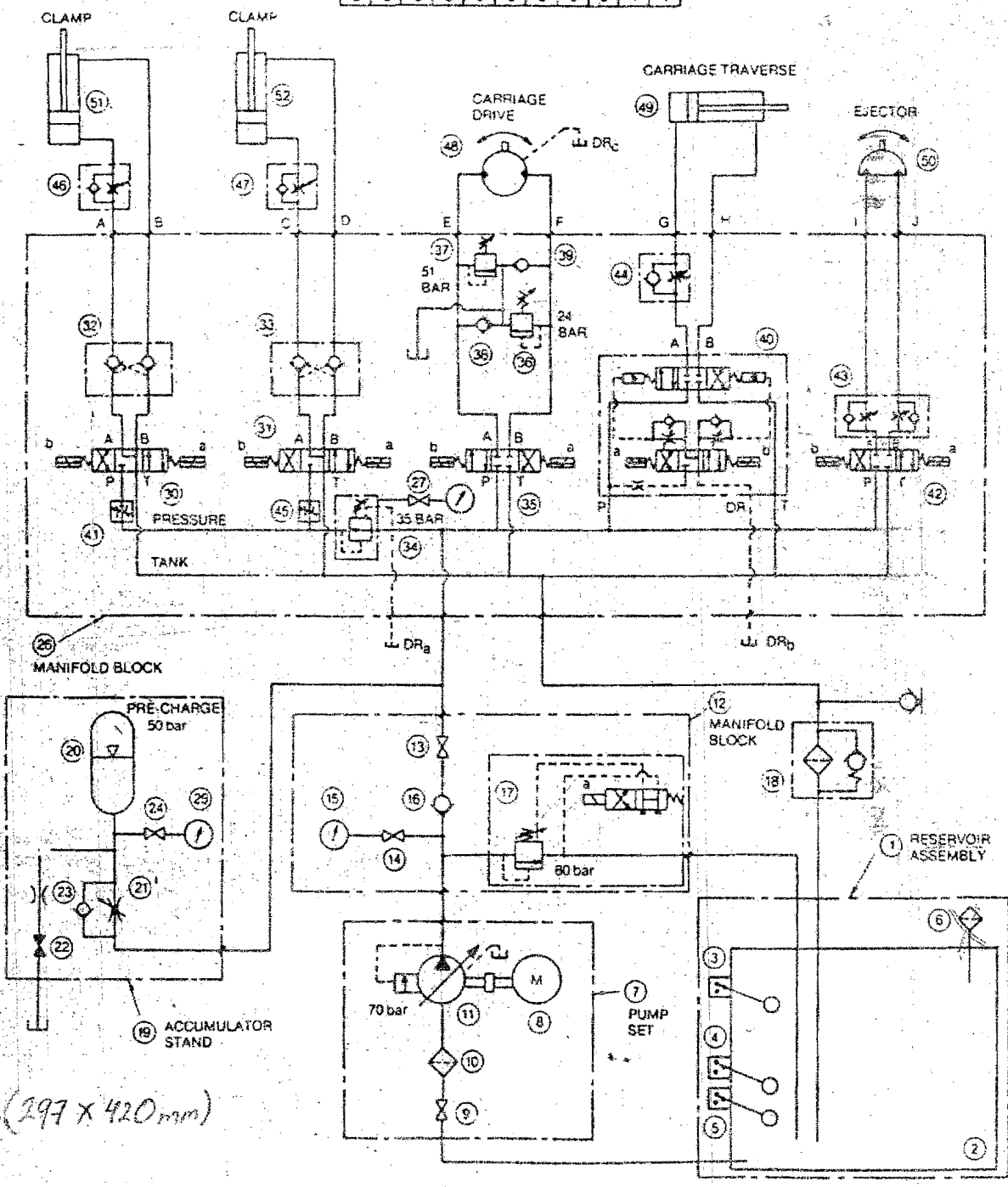


Diagrama de circuito para máquina de ajuste de barra.

Fig. 11
SOLENOID CHART P2 Q1 C4

VALVE	30		31		35		40		42		17
SOL	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1



A3 (297 x 420 mm)

44. La avería de la válvula de revisión de la manguera de paso por ejemplo, cerrada por estar enredada, en la válvula de control de flujo reducirá el flujo al cilindro transversal cuando se extiende.

49. El derrame a través de los selladores del pistón de los cilindros transversales reducirá la rapidez efectiva del flujo al cilindro.

51. Ver falla 1 de la máquina.

52. Ver falla 1 de la máquina.

Las unidades comunes de ambas listas, por ejemplo, las unidades que por si mismas pueden causar fallas en ambas máquinas como sigue:

9, 10, 11, 13, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 30, 31, 34, 40, 42, 51, 52.

(Por consiguiente, de un total de 52 unidades en el sistema la búsqueda se ha reducido a 18 no haciendo más que mirar el diagrama del circuito, subrayando la importancia de ser capaz de identificar y entender el diagrama del circuito).

Paso 4. Acomode la lista de unidades en orden de revisión.

(El orden en el cual las unidades son revisadas es puramente arbitrario y deberá estar influenciado por experiencias pasadas, arreglo de los componentes, posición de los medidores, etc., sin embargo, algunas unidades serán inevitablemente más fáciles de revisar que otras).

(a) Las válvulas de apagado pueden revisarse fácilmente para asegurarse de que están en posición correcta, así, esto puede ser lo primero de la lista - 9, 13, 21, 22.

(b) Suponiendo que se han fijado indicadores a los filtros, esto también puede revisarse fácilmente - 10, 18.

(c) Un medidor de presión se encuentra fijo a la salida de la bomba por lo que la colocación del compresor de la bomba y la válvula de escape pueden revisarse también fácilmente - 11, 17.

(d) Está colocado un medidor de presión

a la válvula de reducción 34 por lo que la colocación de dicha válvula puede revisarse - 34.

(e) Las abrazaderas de los cilindros pueden revisarse para posibles síntomas anormales - 51, 52.

(f) Las válvulas direccionales pueden revisarse ahora para cualquier síntoma anormal - 31, 31, 35, 40, 42.

(g) Finalmente revise la válvula 16 para síntomas anormales quedando el orden de la lista así: 9, 13, 21, 22, 10, 18, 11, 17, 34, 51, 52, 30, 31, 35, 40, 42, 16.

Paso 5. Revisión preliminar.

(Antes de lanzarse a colocar medidores de presión adicionales, medidores de flujo, etc... o antes de quitar la conexión, hay algunas cosas que pueden revisarse con los instrumentos ya instalados o con los sentidos de la vista, el tacto y el oído. Hasta que no se haya completado este paso es muy fácil pasar por alto lo que a simple vista parece un problema obvio, por ejemplo, mire antes que nada todo lo obvio).

Para cada una de las unidades de la lista deben contestarse las siguientes preguntas.

¿Está correcta la unidad? (número de modelo).

¿Está la unidad instalada correctamente?

¿Está la unidad ajustada correctamente?

¿Está correcta la señal externa?

¿ Responde la unidad a la señal?

¿Hay algún síntoma anormal (calor, ruido, etc.)?

Supóngase que la revisión preliminar para cada unidad se realiza en la abrazadera del cilindro 52, la cual normalmente está caliente.

Paso 6. Prueba Algo.

Habiendo descubierto que una unidad exhiba síntomas anormales como el calor,

la unidad puede revisarse más detalladamente refiriéndose a la hoja de prueba de sistema para cilindros: Algo G.1.

Supóngase que una vez quitada la conexión del final de la barra del cilindro y presurizado el lado del calibre el fluido derrama de la conexión, por ejemplo, el sellador del pistón está averiado.

Paso 7.

La unidad averiada ha sido localizada y puede tomarse una decisión como sacar la unidad en el lugar y repararla o reemplazar la unidad completa llevando la unidad averiada al área de servicio de segunda línea para futuro examen.

Paso 8. ¡Piense!

Una vez hecha la reparación o reemplazado la unidad debe pensarse tanto en la causa como en la consecuencia de la avería.

Suponiendo que los sellos del pistón de cilindro estuvieran dañados, deben contestarse las siguientes preguntas antes de poner nuevamente en funcionamiento la máquina:

¿Que causó que se averiaran los sellos?

¿Contaminación?

¿Calor?

¿Sellos equivocados?

¿Instalación incorrecta?

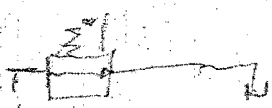
¿Puede haber causado la avería algún efecto en el resto del sistema?

¿Si el sello se rompió entraron partículas de hule en el sistema?

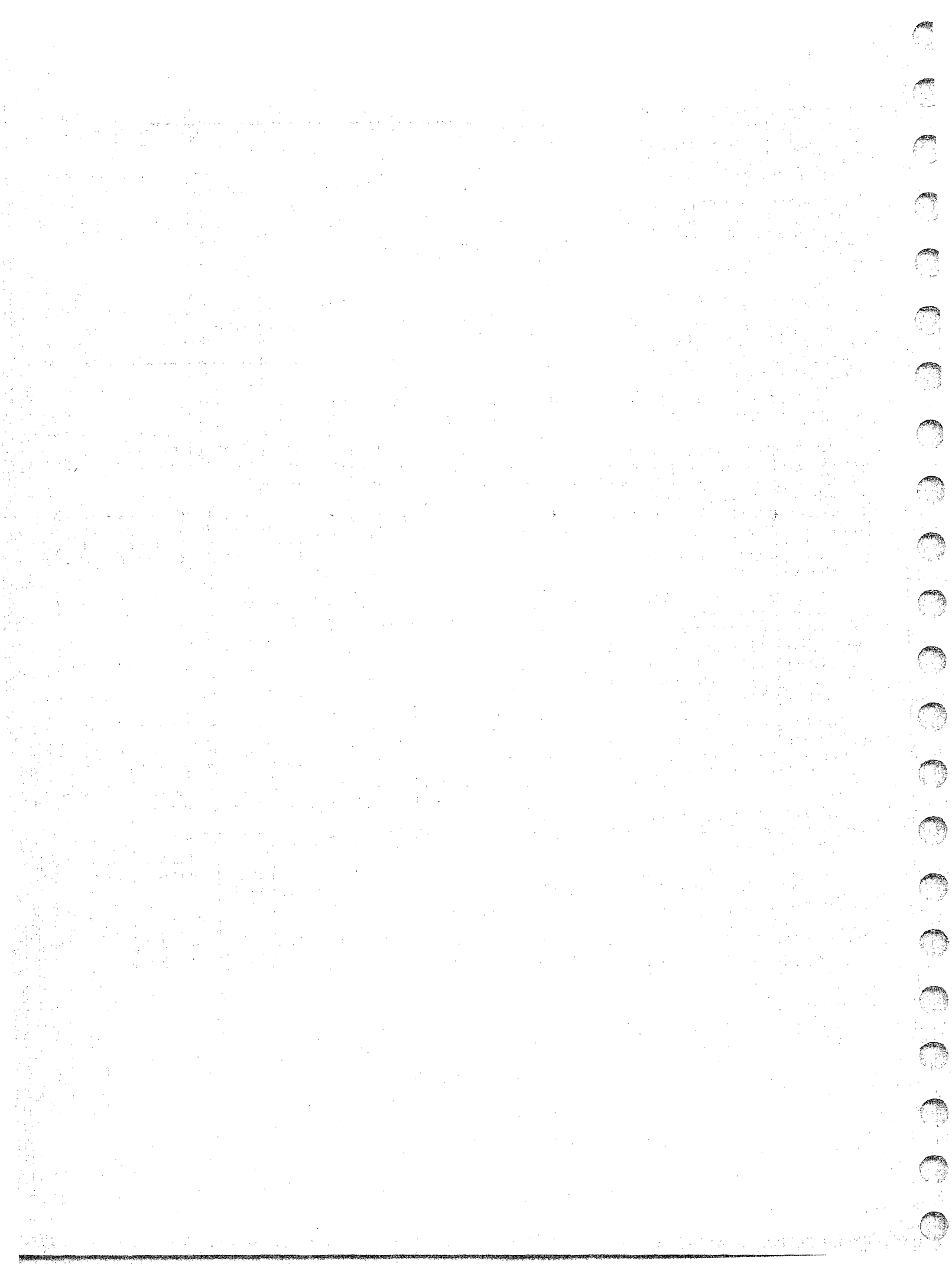
¿Se sobrecalentó el aceite y se oxidó?

¿Se ha ajustado alguna válvula para compensar el derrame y requerirá reajustarse, etc.?

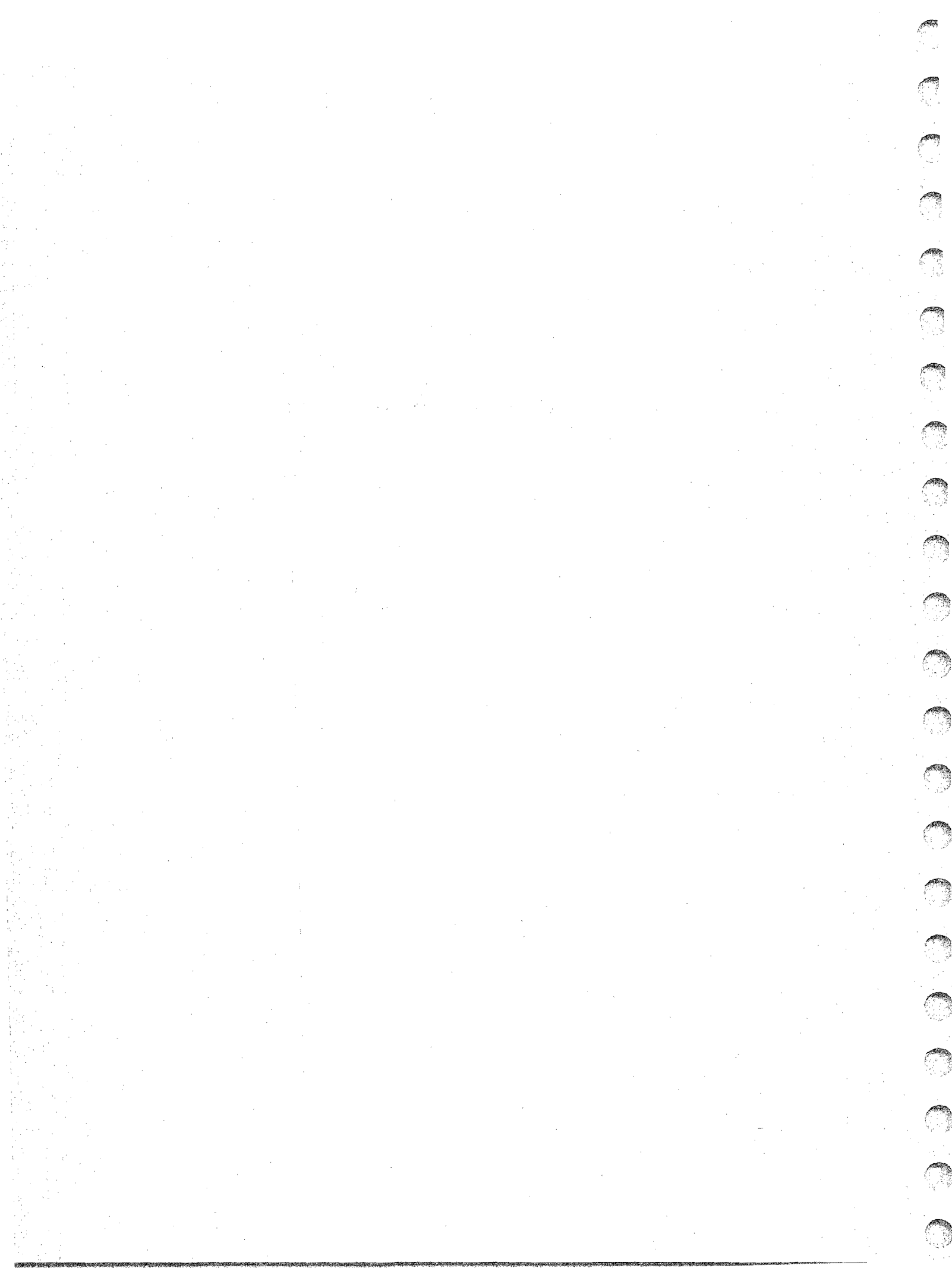
Pensando en la causa y la consecuencia de la avería, el mismo problema (o uno que sea consecuencia de éste) pueden prevenirse en el futuro.



A

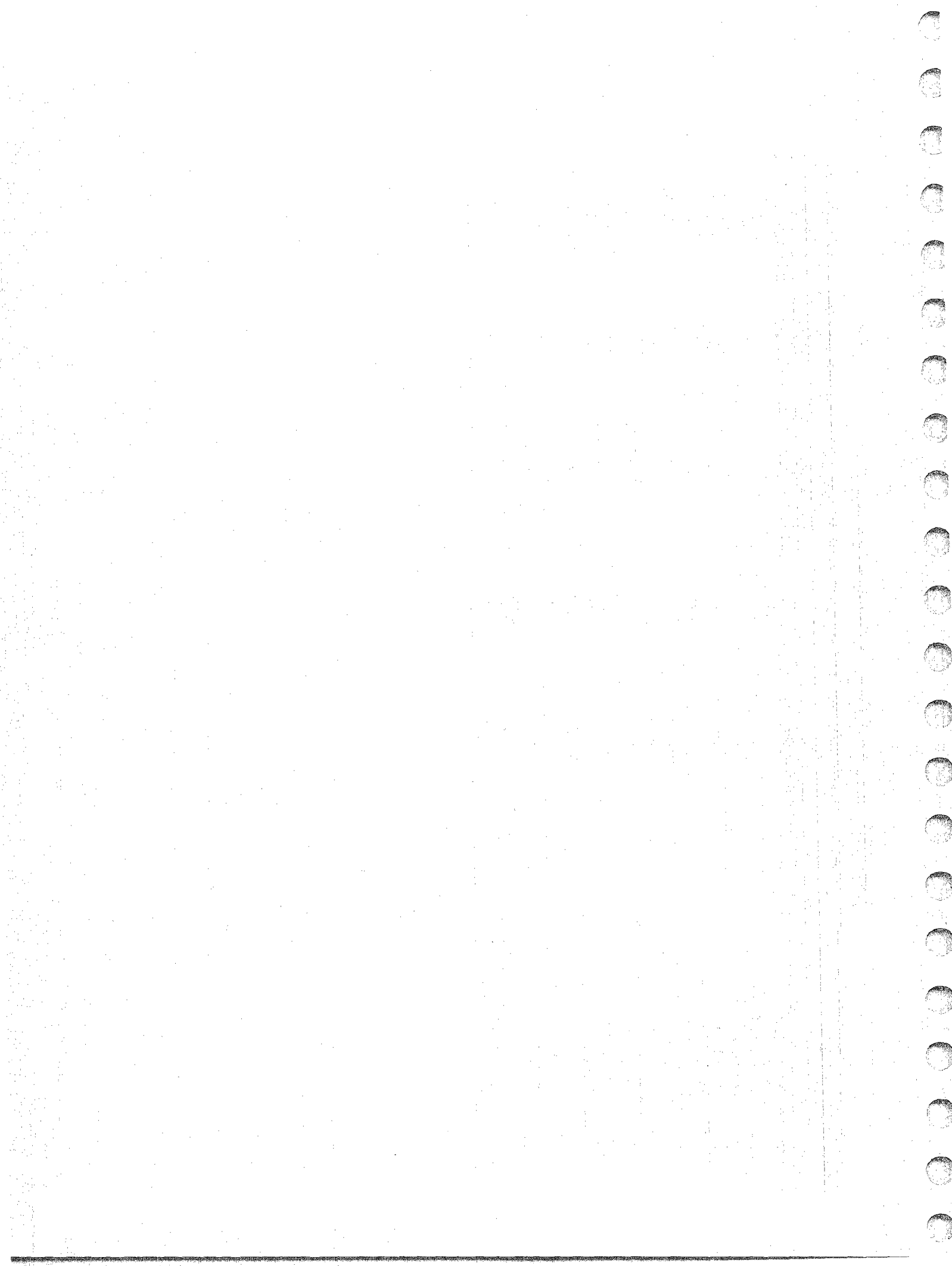


APENDICE B



Operación en horas por período (min,hrs.,día año) de cada componente.

Evento básico	Tipo de falla	Numero de intervenciones por día en min.	Hrs.	Numero de intervenciones por día.	Hrs/día	Año/Hrs.
N3	Descalibración	20,00	0,33	15,00	5,00	1825,00
N4	No retiene el flujo	20,00	0,33	15,00	5,00	1825,00
N5	No retiene el flujo	20,00	0,33	15,00	5,00	1825,00
N2	Descalibración	20,00	0,33	15,00	5,00	1825,00
C3	No opera	45,00	0,75	21,00	15,75	5748,75
D7	No hay presión de aire	1440,00	24,00	1,00	24,00	8760,00
8	Impacto exterior	1440,00	24,00	1,00	24,00	8760,00
9	Fuga de sellos	1440,00	24,00	1,00	24,00	8760,00
N1	Atascamiento	10,00	0,17	21,45	3,58	1304,88
D6	Abierta	1380,00	23,00	1,00	23,00	8395,00
B3	No opera el motor	1440,00	24,00	1,00	24,00	8760,00
B1	Cerrada en operación	1440,00	24,00	1,00	24,00	8760,00
B4	No opera la bomba	1440,00	24,00	1,00	24,00	8760,00
B2	Obstrucción	1440,00	24,00	1,00	24,00	8760,00
B5	Falla parcial al vibrar en operación	1440,00	24,00	1,00	24,00	8760,00
C6	Falla al quedar cerrada en operación	1440,00	24,00	1,00	24,00	8760,00

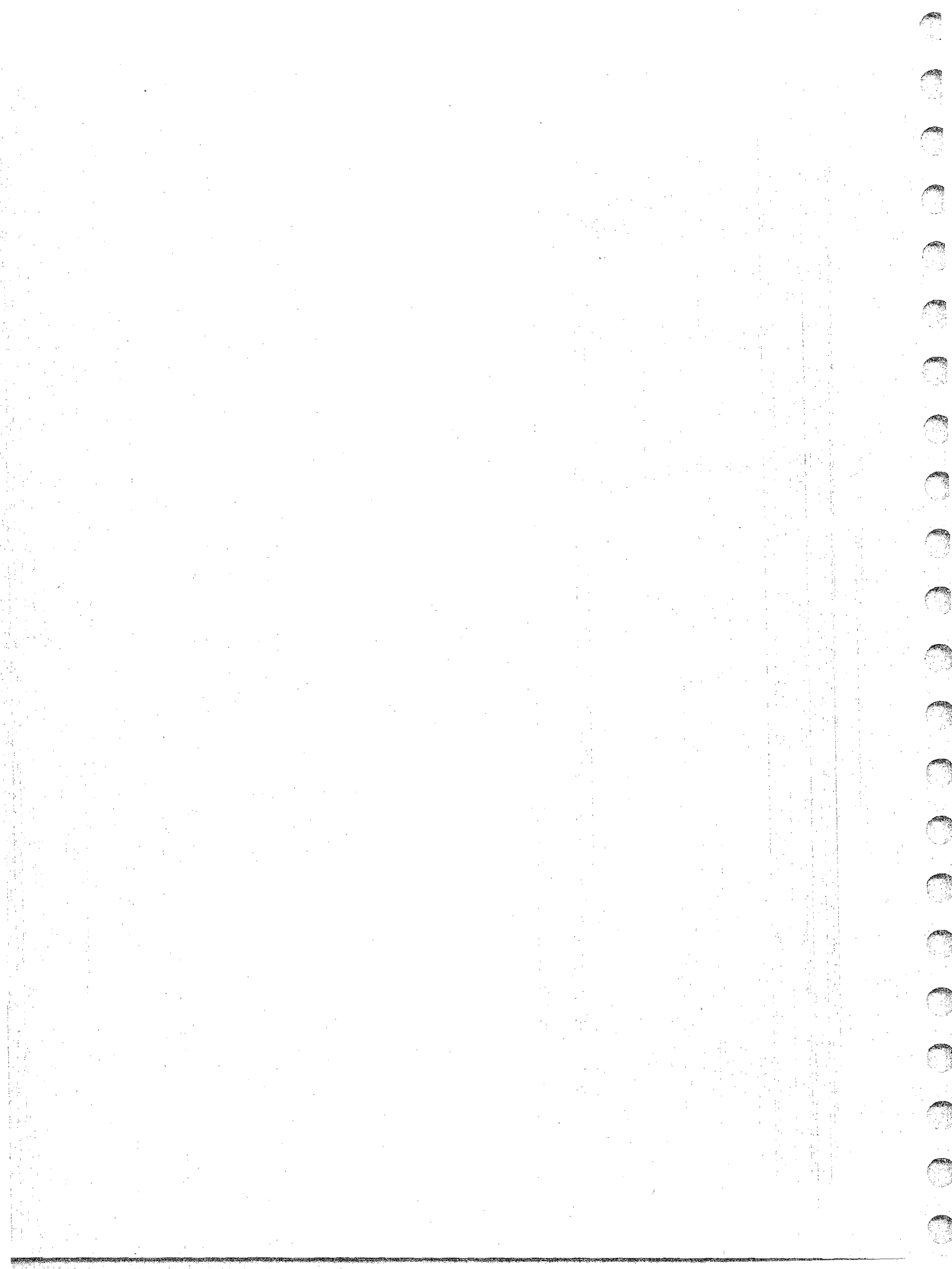


Fases de operación en el sistema hidráulico y su tiempo

Fases	Operación	min	hrs.	turno	día	año
1	Stanby	60,00	1,00	1,00	3,00	1095,00
2	Arranque	5,00	0,08	0,25	0,75	273,75
3	Agarre de barra	2,00	0,03	0,35	1,05	381,91
4	Posicionamiento del carro a distancia	10,00	0,17	1,74	5,23	1909,57
5	Corte de placa, Afuera hacia adentro	5,00	0,08	0,87	2,62	954,79
6	Corte de placa, adentro hacia fuera	5,00	0,08	0,87	2,62	954,79
7	Retorno de carro a origen	10,00	0,17	1,74	5,23	1909,57
8	Soltar la barra	1,00	0,02	0,17	0,52	190,96
9	Traslado de la barra a salida	2,00	0,03	0,35	1,05	381,91
10	Retorno del piston de expulsión	1,00	0,02	0,17	0,52	190,96
	Total	41,00	0,68	7,53	22,58	8243,21

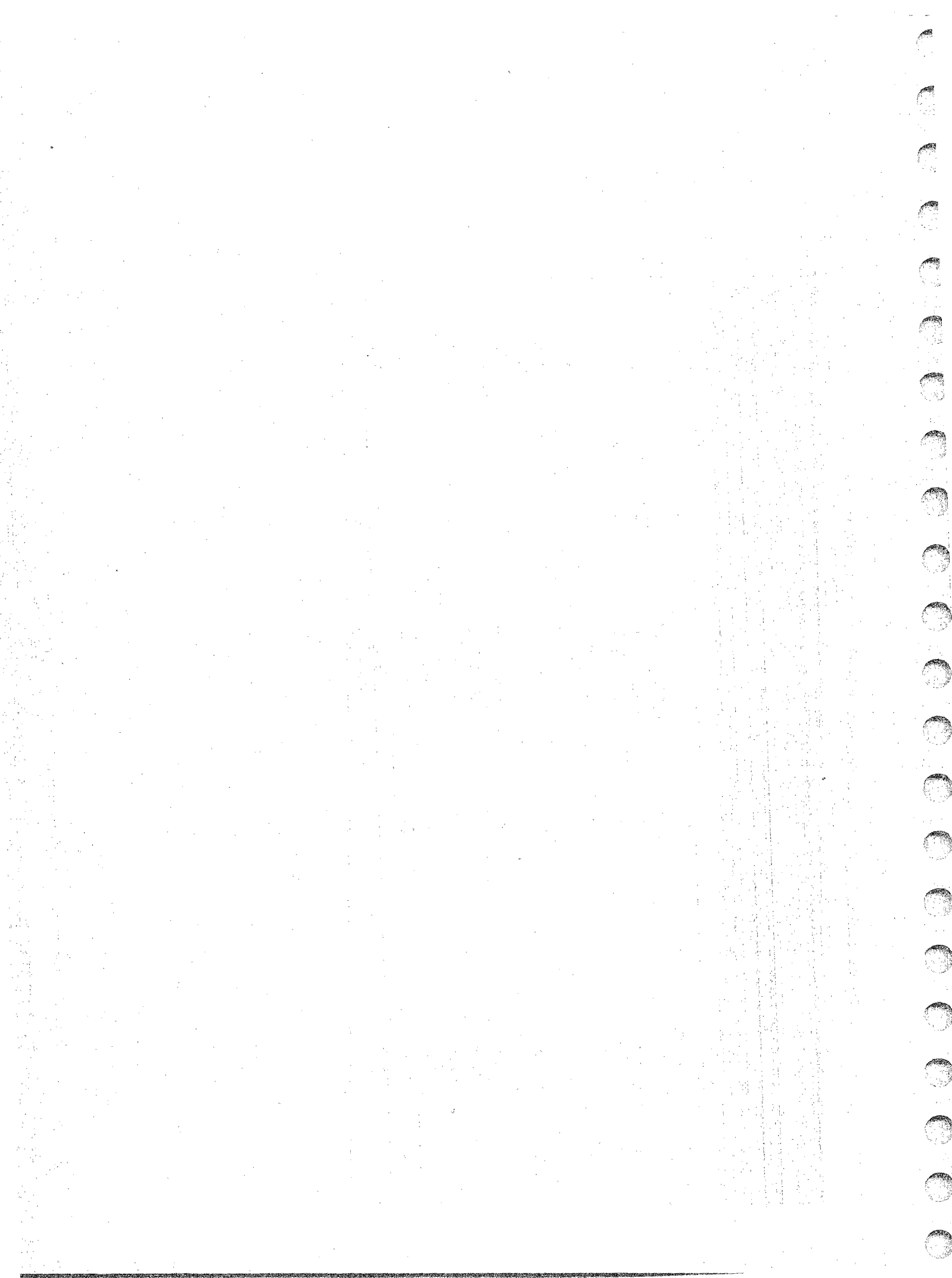
Numero de ciclos por turno

10,46



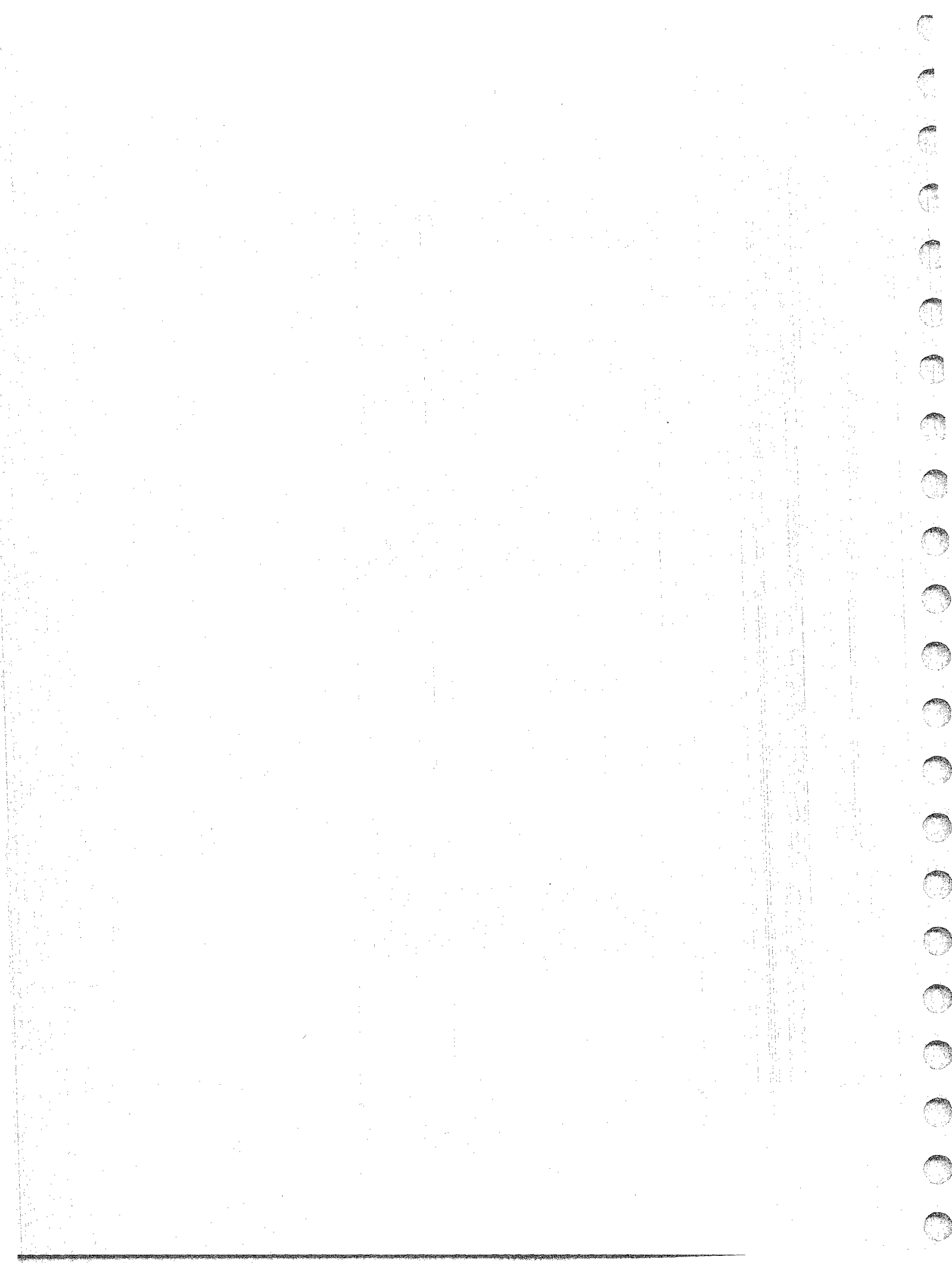
Determinación de los datos de fiabilidad, tasa de falla y tiempo medio muerto

Evento Básico	Tipo de operación	Fallas por año	Tasa de falla 1/hrs	Tiempo medio muerto hrs.	Tiempo promedio entre fallas hrs.
N3	Demanda	150	8,2191781E-02	1	750
N4	Demanda	60	3,2876712E-02	2	300
N5	Demanda	87	4,7671233E-02	2	435
N2	Demanda	167	9,1506849E-02	1	835
C3	Demanda	200	3,4790172E-02	1	3150
D7	Misión	134	1,5296804E-02	3	3216
8	Misión	1	1,1415525E-04	24	8760
9	Misión	93	1,0616438E-02	4	2232
N1	Demanda	84	6,4373982E-02	3	300,3
D6	Misión	62	7,3853484E-03	0,5	1426
B3	Misión	72	8,2191781E-03	3	1728
B1	Misión	49	5,5936073E-03	0,5	1176
B4	Misión	130	1,4840183E-02	4	3120
B2	Misión	204	2,3287671E-02	2	4896
B5	Misión	300	3,4246575E-02	1	7200
C6	Misión	54	6,1643836E-03	0,5	1296



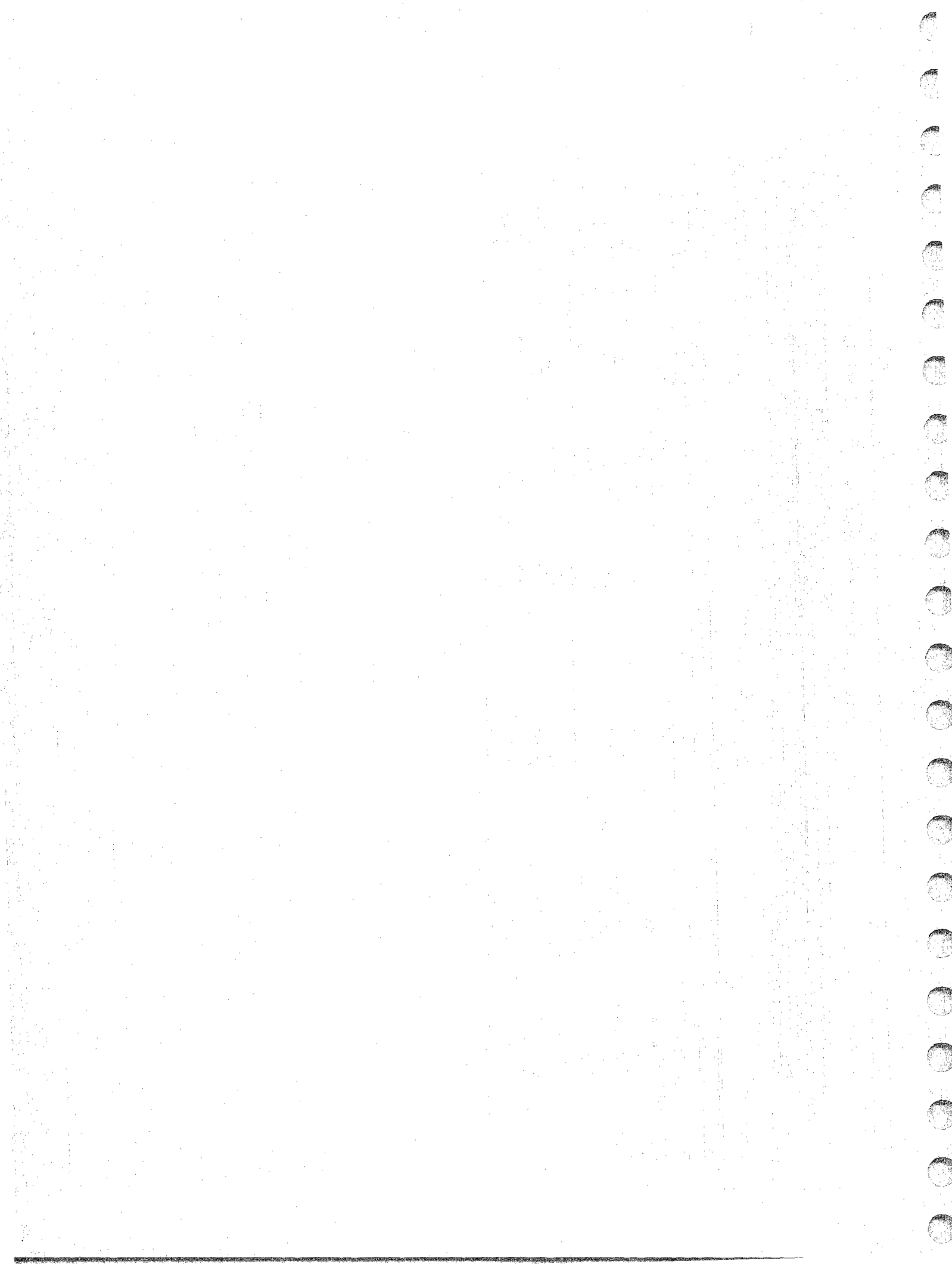
CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE LOS EVENTOS BASICOS

	Ecuación general para la disponibilidad	Condición,	Condición,	Disponibilidad aproximación	Argumento de la ecuación general
Evento Básico	$\bar{a}_i = \frac{\lambda_i \tau_i}{1 + \lambda_i \tau_i} \left[1 - e^{-\left(\lambda_i + \frac{1}{\tau_i}\right)t} \right]$	$(t \geq 2\tau_i)$	$\lambda_i \tau_i < 0.1$	$\bar{a}_i = \frac{\lambda_i \tau_i}{1 + \lambda_i \tau_i}$	$\left[1 - e^{-\left(\lambda_i + \frac{1}{\tau_i}\right)t} \right]$
N3	7,5610074E-02	2	8,2191781E-02	7,5949367E-02	0,9955326
N4	5,7399963E-02	4	6,5753425E-02	6,1696658E-02	0,9303577
N5	8,1413845E-02	4	9,5342466E-02	8,7043522E-02	0,9353234
N2	8,3477863E-02	2	9,1506849E-02	8,3835341E-02	0,9957359
C3	3,3620506E-02	2	3,4790172E-02	3,3620509E-02	0,9999999
D7	4,3866687E-02	6	4,5890411E-02	4,3876883E-02	0,9997676
8	1,7298554E-03	48	2,7397260E-03	2,7322404E-03	0,6331271
9	4,0657611E-02	8	4,2465753E-02	4,0735874E-02	0,9980788
N1	1,2280872E-01	6	1,9312195E-01	1,6186271E-01	0,7587216
D6	3,6790885E-03	1	3,6926742E-03	3,6790885E-03	1,0000000
B3	2,4057544E-02	6	2,4657534E-02	2,4064171E-02	0,9997246
B1	2,7890034E-03	1	2,7968037E-03	2,7890034E-03	1,0000000
B4	5,5937206E-02	8	5,9360731E-02	5,6034483E-02	0,9982640
B2	4,4502461E-02	4	4,6575342E-02	4,4502618E-02	0,9999965
B5	3,3112583E-02	2	3,4246575E-02	3,3112583E-02	1,0000000
C6	3,0727211E-03	1	3,0821918E-03	3,0727211E-03	1,0000000



CALCULO DE LAS VARIABLES DE FIABILIDAD PARA LOS EVENTOS BASICOS

	Disponibilidad	Proporción de la falla	Probabilidad de fallar en la demanda	Numero esperado de falla	Fiabilidad	Fiabilidad	Dependencia
Evento Básico	$\bar{a}_i = \frac{\lambda_i \tau_i}{1 + \lambda_i \tau_i}$	$rof_i = (1 - \bar{a}_i) \lambda_i$	$PFOD_i = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} \bar{a}_i(t) dt$	$enf_i = \int_0^{T_i} rof_i dt$	$\bar{r}_i = \lambda_i t$	$\bar{r}_i = 1 - e^{-\lambda_i t}$	$\bar{d}_i = PFOD_i + \bar{r}_i$
N3	7,5610074E-02	0,0759773	0,1890252	138,66	0,4109589	0,3369858	0,5260110
N4	5,7399963E-02	0,0309896	0,1434999	56,56	0,1643836	0,1515835	0,2950834
N5	8,1413845E-02	0,0437901	0,2035346	79,92	0,2383562	0,2120780	0,4156126
N2	8,3477863E-02	0,0838681	0,2086947	153,06	0,4575342	0,3671578	0,5758525
C3	3,3620506E-02	0,0336205	0,2647615	193,28	0,5479452	0,4218635	0,6866249
D7	4,3866687E-02	0,0146258	0,5264002	128,12	0,3671233	0,3072758	0,8336760
8	1,7298554E-03	0,0001140	0,0207583	1,00	0,0027397	0,0027360	0,0234942
9	4,0657611E-02	0,0101848	0,4878913	89,22	0,2547945	0,2249243	0,7128156
N1	1,2280872E-01	0,0564683	0,2195206	73,68	0,2301370	0,2055752	0,4250958
D6	3,6790885E-03	0,0073582	0,0423095	61,77	0,1698630	0,1562196	0,1985291
B3	2,4057544E-02	0,0080214	0,2886905	70,27	0,1972603	0,1790231	0,4677136
B1	2,7890034E-03	0,0055780	0,0334680	48,86	0,1342466	0,1256256	0,1590936
B4	5,5937206E-02	0,0140101	0,6712465	122,73	0,3561644	0,2996425	0,9708890
B2	4,4502461E-02	0,0222513	0,5340295	194,92	0,5589041	0,4281646	0,9621941
B5	3,3112583E-02	0,0331126	0,3973510	290,07	0,8219178	0,5604122	0,9577632
C6	3,0727211E-03	0,0061454	0,0368727	53,83	0,1479452	0,1375216	0,1743943



CALCULO DE LAS VARIABLES DE FIABILIDAD PARA LOS CONJUNTOS MINIMOS DE CORTE

K	CMC	Disponibilidad	Probabilidad de fallar en la demanda	Numero esperado de falla	Fiabilidad	Dependencia	Proporcion de la falla	Tasa de falla	Importancia	
		$\bar{A}_k = \prod_{i=1}^{n_k} \bar{a}_i$	$PFOD_k = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{A}_k(t) dt$	$ENF_k = \int_0^T ROF_k dt$	$\bar{K}_k = \int_0^T \Lambda_k dt$	$\bar{L}_k = PFOD_k + \bar{K}_k$	$ROF_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i \alpha_i \prod_{j=1}^{n-1} \bar{a}_j$ Donde $j \neq i$	$\Lambda_k = \frac{ROF_k}{1 - \bar{A}_k}$	$\bar{a}_k = \frac{\bar{A}_k}{\bar{A}_T}$	$I_k^R = \frac{\bar{K}_k}{\bar{R}_T}$
1	N3,N4	4.3400155E-03	1.085004E-02	0.8309269	0.0023213	0.0131813	0.0004642	4.6626134E-04	1.4285474E-02	0.0189114620
2	N5,N2	6.7952539E-03	1.699063E-02	1.5941999	0.0043677	0.0213383	0.0008676	8.7353420E-04	2.2370359E-02	0.0254003636
3	C3	3.3620506E-02	2.647615E-01	6.7241011	0.0184222	0.2831837	0.0011303	1.1696632E-03	1.1066432E-01	0.1494400713
4	D7	4.3866687E-02	5.264002E-01	5.8781350	0.0161045	0.3425047	0.0005416	6.7102009E-04	1.4439038E-01	0.1306388830
5	B	1.7288554E-03	2.075826E-02	0.0017299	0.0000047	0.0207630	0.0000002	1.9747208E-07	5.6939436E-03	0.00030384452
6	9	4.0657511E-02	4.878913E-01	3.7811578	0.0103593	0.4982507	0.0004141	4.3163902E-04	1.3382746E-01	0.0840345031
7	N1	1.2280872E-01	2.195206E-01	10.3159328	0.0282628	0.3477834	0.0069348	7.9058866E-03	4.0423377E-01	0.2292668876
8	D6	3.6790886E-03	4.230952E-02	0.2281035	0.0006249	0.0429345	0.0000271	2.7171251E-05	1.2109985E-02	0.0050594957
9	B3	2.4057544E-02	2.886905E-01	1.7321431	0.0047456	0.2934361	0.0001930	1.9773324E-04	7.9187139E-02	0.0384960889
10	B1	2.7890034E-03	3.346804E-02	0.1366612	0.0003744	0.0338425	0.0000156	1.5600590E-05	9.1802055E-03	0.00303072319
11	B4	5.5937206E-02	6.712465E-01	7.2718368	0.0199228	0.6911693	0.0007837	8.3011836E-04	1.8412135E-01	0.1616132459
12	B2	4.4602451E-02	5.340295E-01	9.0785021	0.0248726	0.5389021	0.0009902	1.0363587E-03	1.4648306E-01	0.2017655582
13	B5	3.3112683E-02	3.973774E-01	9.9337748	0.0272158	0.4245668	0.0010964	1.1339926E-03	1.0899245E-01	0.2207732005
14	C6	3.0727211E-03	3.687265E-02	0.1659269	0.0004546	0.0373272	0.0000189	1.8941431E-05	1.0114083E-02	0.0036876503

CALCULO DE LAS VARIABLES DE FIABILIDAD PARA EL EVENTO TOPE

Disponibilidad	Tasa de falla	Probabilidad de fallar en la demanda	Numero esperado de falla	Fiabilidad	Dependencia
$\bar{A}_T \leq \sum_{k=1}^N \bar{A}_k$	$ROF_T \leq \sum_{k=1}^N ROF_k$	$PFOD_T \leq \int_0^T ROF_T dt$	$ENF_T \leq \sum_{k=1}^N ENF_k$	$\bar{R}_T \leq \int_0^T \Lambda_T dt$	$\bar{D}_T \leq PFOD_T + \bar{R}_T$
0,4209703	0,0135777	0,3258647	57,6931330	0,3546700	0,680534777

sanamas@hotmail.com