

50521
14



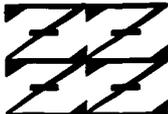
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**"ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA SCADA
DE UNA ESTACIÓN DE BOMBEO PARA EL GAS LP."**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A :
CÉSAR RAFAEL CRUZ RENDÓN

ASESOR: ING. RENÉ DE LA MORA MEDINA



LO HUMANO
EJE
DE NUESTRA REFLEXIÓN

MEXICO, D.F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

**TESIS
CON
FALLA DE
ORIGEN**



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/062/02

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: CRUZ RENDON CESAR RAFAEL

P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	I.Q. Eduardo Vázquez Zamora
Vocal:	I.Q. René de la Mora Medina
Secretario:	Fisc. Carlos Javier Martínez Gómez
Suplente:	I.Q. Juan Zito Reyes Arce
Suplente:	I.Q. Julio Felix Martínez Reyes

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

México, D. F., 25 de Julio del 2002

EL JEFE DE LA CARRERA

I.Q. ANDRES AQUINO CANCHOLA

**TESIS CON
FALTA DE ORIGEN**

B



¿VIVO O MUERTO?

**SI POR ALGÚN MOTIVO VIVES SIEMPRE
PREOCUPADO POR LO QUE EL TIEMPO
PUEDA TRAER, VIVES EN MUERTE.**

**SI TUS IDEAS O PENSAMIENTOS
NO TE OTORGAN LA TRANQUILIDAD DE UN
AMANECER, LA OSCURIDAD REINARÁ EN TU VIDA.**

**SI TUS ACCIONES SON ENCAMINADAS
POR MOTIVOS DIFERENTES A TU CONCIENCIA,
RETROCEDES A CADA PASO.**

**SI NO LOGRAS SENTIR
LO SUBLIME DE TU EXISTENCIA,
TU TIEMPO ES NULO.**

**¡ PERO, SI LOGRAS EXPERIMENTAR
TODO LO CONTRARIO!, HABRÁS ALCANZADO
LA DIÁFANA EXISTENCIA DE SER HUMANO.**

C.R.C.R.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

C



A MIS MAESTROS: GRACIAS POR BRINDARME SUS CONOCIMIENTOS, LOS CUALES PERMITEN AMPLIAR MIS HORIZONTES. POR COMPARTIR SUS EXPERIENCIAS "LEGADO INCOMPARABLE DE TODO SER HUMANO", Y SOBRETUDO GRACIAS POR COMPARTIR SU TIEMPO.

A LAS PERSONAS QUE DE FORMA DESINTERESADA BRINDARON SU APOYO Y ASESORAMIENTO:

ING. JULIO FÉLIX MARTINEZ REYES.
ING. DELFINO GALICIA RAMÍREZ.
FIS. CARLOS JAVIER MARTÍNEZ GÓMEZ.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO: POR PERMITIRME ADQUIRIR LOS CONOCIMIENTOS TÉCNICOS Y HUMANÍSTICOS, DEL MÁS VALIOSO DE SUS RECURSOS "LOS MAESTROS", PARA MI FORMACIÓN ACADÉMICA Y PERSONAL.

A EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO: POR HABERME APOYADO CON LOS RECURSOS FINANCIEROS E INFORMACIÓN TÉCNICA, QUE ME PERMITIERON REALIZAR ESTE TRABAJO.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

D



A DIOS: POR DARMÉ LA EXISTENCIA, Y UNA FAMILIA CAPAZ DE EXPRESAR SU APOYO Y COMPRENSIÓN, EN TODO MOMENTO.

A MIS MADRES, AMIGAS, PROTECTORAS Y GUÍAS: ESTHER RENDÓN VALLE, MARÍA DOLORES CRUZ RENDÓN, MARÍA VALLE MIGUEL, POR ENSEÑARME A VIVIR EN ARMONÍA, RESPETO Y AMOR; CON DIOS, CON MIS CONGÉNERES Y CONMIGO MISMO.

A MIS PADRES: RAFAEL RENDÓN CRUZ, GREGORIO RENDÓN VALLE "ENPAZ DESCANSE", MIGUEL RENDÓN VALLE, ALEJANDRO CRUZ RENDÓN. POR MOSTRARME CON HECHOS EL SIGNIFICADO DE SER UN HOMBRE CONSCIENTE Y RESPETUOSO DE SI MISMO.

A MIS HERMANOS: LILIANA Y ESTEBAN: POR SU AMISTAD, POR SU APOYO, POR SUS ENSEÑANZAS Y SU PRESENCIA; LAS CUALES ENRIQUECEN MI EXISTENCIA.

A MIS AMIGOS: POR COMPARTIR EXPERIENCIAS, POR SU CONSEJOS Y POR SU APOYO INCONDICIONAL; POR SER DESPUÉS DE DIOS Y MI FAMILIA, LO MÁS PRECIADO QUE TENGO EN ESTA VIDA.

A MI ASESOR: POR SU APOYO Y CONFIANZA OTORGADA DE FORMA INCONDICIONAL.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

A MI JURADO: AGRADEZCO INFINITAMENTE EL TIEMPO DEDICADO PARA LA REVISIÓN DE ESTE TRABAJO, Y SOBRETUDO AGRADEZCO SUS COMENTARIOS Y OBSERVACIONES.

CON
FALLA DE ORIGEN

E



ÍNDICE GENERAL

<u>CAPÍTULOS</u>	<u>Pag.</u>
OBJETIVOS	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES	
1.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE LPG	4
1.2.- UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DEL SISTEMA LPG-DUCTO	9
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE BOMBEO Y TELECOMUNICACIÓN	
2.1 SISTEMA DE BOMBEO	12
2.2 PROCEDIMIENTO OPERATIVO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA	13
2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA ESTACIÓN BOMBA CENTRÍFUGA "BYRON JACKSON"	16
2.2.2 VALVULA DE RECIRCULACIÓN "YARWAY" (DE TRES VÍAS)	17
2.2.3 VALVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN DE DESCARGA	18
2.2.4 FILTROS DE SUCCIÓN	18
2.2.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE DE UNIDAD (PLC)	19
2.3 CONFORMACIÓN DE UN SISTEMA SCADA	23
2.3.1 INSTRUMENTACIÓN DE CAMPO	24
2.3.2 ESTACIÓN REMOTA	25
2.3.3 RED DE COMUNICACIÓN	27
2.3.4 ESTACIÓN DE MONITOREO CENTRAL	31
CAPÍTULO 3: MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE BOMBEO Y ESTACIONES DE TELECOMUNICACIÓN	
3.1 MANTENIMIENTO COMO MEDIO PARA INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD	35
3.2 MANTENIMIENTO A EQUIPO DE BOMBEO	36
3.2.1 MANTENIMIENTO OPERACIONAL	36
3.2.2 MANTENIMIENTO INTERMEDIO	36
3.2.3 MANTENIMIENTO MAYOR	37
3.2 MANTENIMIENTO RECOMENDADO PARA LA TURBINA RUSTON	39
3.3 MANTENIMIENTO RECOMENDADO PARA LA BOMBA CENTRÍFUGA BAYRON JACKSON	41
3.4 MANTENIMIENTO REQUERIDO PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE LA TURBO-BOMBA	42
3.5 MANTENIMIENTO RECOMENDADO PARA ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIÓN	43
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	
4.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA CONFIABILIDAD	45

F

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



4.1.1	DEFINICIÓN DE CONFIABILIDAD	46
4.2	ESTADÍSTICA PARA EL ESTUDIOS DE CONFIABILIDAD	46
4.2.1	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	50
4.2.1.1	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD NORMAL	50
4.2.1.2	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXPONENCIAL	52
4.2.1.3	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE WEIBULL	52
4.2.1.4	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE POISSON	54
4.2.1.5	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BINOMIAL	55
4.3	DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL	59
4.3.1	VIDA CARACTERÍSTICA	61
4.4	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)	65
4.5	TEORÍA DE LA TASA DE FALLA CONSTANTE	66
4.6	CONFIABILIDAD DEL SISTEMA	67
4.7	DISPONIBILIDAD	69
4.8	ANÁLISIS DE PARETO	70
4.9	ANÁLISIS DE DATOS	73
4.9.1	ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONFIABILIDAD PARA LA TURBO-BOMBA No.1	77
4.9.1.1	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL MTTF PARA LA TURBO-BOMBA No.1	85
4.9.2	ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONFIABILIDAD PARA LA TURBO-BOMBA No.2	86
4.9.2.1	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL MTTF PARA LA TURBO-BOMBA No.2	93
4.9.3	RESULTADOS DEL CÁLCULO DE CONFIABILIDAD PARA LA INSTRUMENTACIÓN Y ELEMENTOS INCORPORADOS AL SISTEMA SCADA	94
4.9.4	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA SCADA DE LAS ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA	96
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		104
ANEXO I:	PROPIEDADES DEL LPG	112
ANEXO II:	PROCEDIMIENTO OPERATIVO DEL SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN LOCAL DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO	121
ANEXO III:	INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA	135
ANEXO IV:	INSTRUMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA	138
ANEXO V:	PLANOS Y DIAGRAMAS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA	
1.	PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA	
2.	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA	
3.	DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA	
4.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE CONFIABILIDAD PARA EL SECTOR MENDOZA	
5.	DIAGRAMA GENERAL DE ESTRUCTURA DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIÓN	
	SCADA DEL SECTOR CD. MENDOZA	
6.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE CONFIABILIDAD SISTEMA SCADA	
BIBLIOGRAFÍA		142

9

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



OBJETIVOS

1. Determinar la confiabilidad, con un software especializado "Weibull ++5.0", de los elementos que conforman al sistema Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), tanto de la instrumentación, elementos finales de control y elementos del sistema de telecomunicaciones de una estación para el bombeo de Gas Licuado de Petróleo (LPG), del sistema de distribución LPG-ducto operado por Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB).
2. Identificar aquellos elementos críticos que pueden ocasionar fallas operacionales como: paro de la estación de bombeo ó fallas en el sistema de telecomunicaciones, para la transmisión de datos.
3. Efectuar recomendaciones para disminuir el número de fallas operativas de los elementos críticos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



INTRODUCCIÓN

Un análisis de confiabilidad "cuantitativo" tiene por objetivo obtener la probabilidad de funcionamiento y falla, de un dispositivo, equipo ó sistema el cual proporciona un servicio; ya sea de vital importancia o no. Para realizar este tipo de análisis se requiere de información específica, tal información es generalmente de tipo histórico "bitácora de eventos" ó de diseño "proporcionada por el fabricante". También es necesario contar con la siguiente información: 1) Estructura ó diseño del equipo, esto con la finalidad de establecer el tipo de elementos que conforman el equipo. 2) Condiciones operativas del equipo, es muy diferente el comportamiento que presenta un equipo que funciona de forma continua a un equipo que funcione de forma intermitente "tiempo establecido por el proceso". 3) Condiciones ambientales, las condiciones climatológicas afectan el funcionamiento de algunos equipos por ejemplo: la humedad, el polvo ó las altas temperaturas. La afectación de estos aspectos disminuye el tiempo de funcionamiento.

Toda ésta información se interpreta para identificar los dispositivos que tienen un mayor número de fallas y por tanto un menor tiempo de operación, una vez identificados se emiten recomendaciones encaminadas a incrementar el tiempo de operación, logrando de esta forma incrementar la confiabilidad.

El presente análisis está enfocado al estudio de los elementos que conforman un sistema SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA) de una estación de bombeo de LPG, perteneciente al sistema LPG-ducto, el cual es operado por Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB).

El SCADA, es un sistema computarizado que permite controlar y monitorear elementos específicos de las instalaciones dispersas como: estaciones de bombeo, estaciones de medición y válvulas de seccionamiento. Este sistema colecciona y procesa información en tiempo real de las siguientes variables de proceso: flujo, presión, temperatura y calidad del gas.

El estudio de éste sistema de control y monitoreo permitirá establecer la estructura y los elementos que lo conforman, esto con la finalidad de realizar una evaluación de la confiabilidad que permita cuantificar el tiempo probable de funcionamiento, estableciendo las recomendaciones pertinentes para aquellos elementos que presenten una menor confiabilidad, los cuales ocasionarían problemas en el funcionamiento del SCADA.

Uno de los problemas que se presentaron para la realización del análisis de confiabilidad del SCADA, fue la obtención de datos históricos del equipo de bombeo, instrumentación así como de los elementos del sistema de telecomunicaciones. Por tal motivo fue necesario utilizar datos, en algunos casos



proporcionados por el fabricante (caso elementos de telecomunicaciones), otros de manuales especializados para el estudio de confiabilidad como el OREDA y El CCPS (caso instrumentación y elementos finales de control para la Estación de Bombeo Zapopita), y por último se utilizó un banco de datos de un equipo de bombeo de la plataforma marina satélite AKAL-J, ya que el equipo operado en ésta instalación tiene características similares al de la Estación de Bombeo No. 4 Zapopita. Se tomó ésta decisión ya que este trabajo pretende además del análisis de confiabilidad del SCADA, establecer la metodología que nos permita realizar la evaluación de la confiabilidad a partir de datos históricos. Si por el contrario se hubiese trabajado con datos obtenidos únicamente del fabricante ó de los manuales especializados, el estudio se hubiese limitado a la aplicación de unas cuantas formulas, como se puede observar en el cálculo realizado a la instrumentación, elementos finales de control y a los elementos del sistema de telecomunicaciones.

Para la parte de la Estación de Monitoreo (Centro de Control Principal) del SCADA no se encontraron datos con los cuales se realizará el cálculo de confiabilidad, por tal motivo no fue posible establecer el parámetro de confiabilidad para éste subsistema, quedando limitado el análisis. Sin embargo éste trabajo presenta el método con el cual es posible realizar la evaluación de esta parte del sistema.

Los capítulos desarrollados durante el presente trabajo fueron cinco con sus respectivos anexos donde se encuentra información relacionada con el capítulo en cuestión, misma que no fue incluida en el capítulo correspondiente ya que se hubiese perdido el objetivo de cada capítulo.

Capítulo I: El presente capítulo contiene información relacionada con la estructura del sistema de distribución de Gas LP. en las zonas Sur y Centro de la República, esto con la finalidad de ubicar las instalaciones para el bombeo del LPG a lo largo del ducto de 24, 20 y 14" Ø (LPG-ducto), lo cual nos permitirá elegir la instalación de bombeo a la cual se realizará el análisis de confiabilidad.

Capítulo II: Se realizará una descripción de los elementos que conforman a la Estación de Bombeo Zapopita, justificando el porque fue seleccionada. Además se realizará una descripción detallada de los subsistemas que conforman al sistema SCADA, esto con la finalidad de establecer los elementos a los cuales se debe realizar el análisis de confiabilidad

Capítulo III: Se establecerán los elementos a los cuales se les proporcionará mantenimiento, así como los períodos requeridos para un funcionamiento correcto de la instalación de bombeo y los elementos de telecomunicaciones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



- Capítulo IV:** Se establecen los fundamentos para realizar el análisis de confiabilidad así como los datos requeridos para realizar el análisis de los elementos de la estación de bombeo y del sistema de telecomunicaciones, presentando los resultados obtenidos de la evaluación: efectuada en el software "Weibull++5.0", de la aplicación de la fórmula de confiabilidad aplicando la tasa de falla constante y el Tiempo Medio Entre Fallas (MTTF); Así como una explicación de los resultados obtenidos.
- Capítulo V:** Finalmente se presenta las recomendaciones para disminuir el número de fallas de los equipos y elementos de telecomunicaciones, esto con la finalidad de que los equipos realicen aquellas funciones para las cuales fueron diseñadas de una manera satisfactoria "confiabilidad", así como el poder utilizarlo en el momento que sea requerido "disponibilidad", objetivo primordial de un análisis de contabilidad y de este trabajo.
- Anexo I:** Se encuentra contenida información relacionada con las propiedades del Gas LP, así como algunas técnica para el manejo del producto correspondiente al capítulo 1.
- Anexo II:** Esta información se relaciona con el Procedimiento Operativo del Sistema de Control y Supervisión Local de las Estaciones de Bombeo del Sistema LPG-ducto, correspondiente al capítulo 2.
- Anexo III:** Esta información está relacionada con los datos técnicos de los equipos de la Estación de Bombeo No. 4 Zapoapita, correspondiente al capítulo 2.
- Anexo IV:** Se lista la instrumentación de la Estación de Bombeo Zapoapita la cual requiere de mantenimiento preventivo para su buen funcionamiento, correspondiente al capítulo 3.
- Anexo V:** Se presentan los planos correspondientes de la Estación de Bombeo Zapoapita, así como los diagramas de bloques de confiabilidad para el sistema de telecomunicaciones y la conformación de las instalaciones que pertenecen al sector, donde se puede localizar la estación No.4 y elementos de telecomunicaciones, a los cuales se realizará el análisis.



CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

3-A

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**GENERALIDADES**

Para el presente capítulo se realizará una descripción de la Red Nacional de Transporte de LPG, por ducto, con la finalidad de establecer la importancia que tiene un funcionamiento libre de fallas para un sistema de estas características, ya que de presentarse problemas operacionales el suministro del hidrocarburo se vería interrumpido, en la zonas Centro y Sur del país, lugares donde se produce, transporta y consume básicamente el producto.

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE LPG

El 60% del volumen total del gas licuado distribuido y consumido en la República Mexicana se produce en los centros procesadores de gas de PGPB de la zona sudeste del país y es transportado desde estos centros a las terminales de distribución a través del Sistema de Transporte por ducto de LPG, por ser el medio más económico y seguro donde el LPG-ducto Cactus-Tula-Guadalajara 24, 20 y 14" diámetro nominal, es la columna vertebral de este sistema de transporte.

Los elementos que conforman el Sistema de Transporte por Ducto se representa en la siguiente tabla:

TABLA. 1.1 INSTALACIONES DEL SISTEMA LPG-DUCTO

ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR DUCTOS					
CENTRO PROCESADOR DE GAS LICUADO	TERMINAL DE DISTRIBUCIÓN	ESTACIONES DE BOMBEO	ESTACIONES DE MEDICIÓN Y REGULACIÓN	ESTACIONES DE MEDICIÓN	ESTACIONES DE REGULACIÓN DE PRESIÓN
1. NUEVO PEMEX	1. TERRESTRE SALINA CRUZ	1. ARROYO MORENO	1. JALTIPÁN	1. CACTUS COSOLEAC	1. ENCASA SIEMAS LOMAS
2. CACTUS "COATZACOALCOS"	2. REFRIGERADA SALINA CRUZ	2. ZAPOCAPITA CIUDAD	2. VENTA DE CARPIO	2. AQUE	
3. CANDELEIRA	3. TIERRA BLANCA	3. SIENDOZA	3. PALMILLAS	3. REFINERIA BINATITLÁN	
4. MORELOS	4. PUEBLA	4. MALTRATA SANMARTÍN	4. VALTIERRA	4. SANTA ANA	
5. T. R. PAJARITOS	5. SAN MARTÍN TEXMELUCAN	5. TEXMELUCAN	5. BERISTAIN		
6. MINATITLÁN	6. POZA RICA				
7. SALAMANCA	7. SAN JUAN IXHUATEPEC				
8. SALINA CRUZ	8. TEPEJI				
	9. TULA				
	10. ABASOLO				
	11. GUADALAJARA				

Para coordinar la operación del sistema de distribución de distribución LPG-ducto se cuenta con el Centro de Control Principal, ubicado en el Centro Administrativo de



Petróleos Mexicanos en México D. F. con el apoyo del Centro de Control de la Terminal Refrigerada Pajaritos, Veracruz.

La operación básica de este Sistema de Transporte es el recibir todo el gas licuado producido en la zona sudeste del país, así como la que entregan al ducto las refinерías de Minatitlán, Salamanca y Salina Cruz para su distribución a las 11 terminales conectadas al sistema, que a su vez la embarcarán al distribuidor final vía auto-tanque, carro tanque o buque-tanque.

La operación del sistema de transporte de LPG por ducto está dividido en tres partes principales:

- LPG-ducto de 24" d. n. Cactus-Venta de Carpio.
- LPG-ducto de 20" d. n. Venta de Carpio-Santa Ana.
- LPG-ducto de 14" d. n. Santa Ana-Guadalajara.

En el tramo del LPG-ducto de 24" d.n. Cactus-Venta de Carpio se tienen 5 inyecciones integradas por los Centros Procesadores de Gas de Nuevo PEMEX, Cactus, de la Terminal Refrigerada de Pajaritos, que incluye la producción de Morelos y Cangrejera, y la Refinería de Minatitlán las cuales son coordinadas por el Centro de Control de la Terminal Refrigerada de Pajaritos, ésta Terminal cuenta con un muelle para recibir LPG, Butano y/o Propano de importación vía buque tanque, la cual cuenta con tres tanques criogénicos con capacidad de almacenamiento de 200 MB cada uno, para butano.

La primera de las extracciones al LPG-ducto es mediante un ducto de 12" d. n. hacia la T. R. Salina Cruz, la cual cuenta con un tanque criogénico con capacidad de 200 MB. De esta misma línea se entrega producto a la Terminal Terrestre de Salina Cruz cuando así lo requiere y la Refinería de Salina Cruz puede inyectar también en caso de no poder entregarle su producción en forma directa a la Terminal Terrestre. El gas licuado que se maneja a través de este ducto mide y controla su presión mediante la Estación de Regulación y Medición de Jáltipan.

La capacidad máxima de transporte que se ha fijado en el tramo del ducto Cactus-Terminal Tierra Blanca es de 260 MBD. Para el tramo Arroyo Moreno-Venta de Carpio las capacidades de transporte mínima y máxima están determinadas por la capacidad del equipo de bombeo, siendo estas de 120 y 220 MBD, respectivamente.

Este ducto tiene 5 estaciones de bombeo cada una con dos turbo-bombas instaladas en cada estación; de las cuales una opera y la otra es de relevo, ya que dentro de su trayectoria se tienen extracciones en diferentes ramales de transporte y distribución:

- LPG-ducto de 12" d. n. Jáltipan- Salina Cruz
- LPG-ducto de 4" d. n. Venta de Carpio-Poza Rica.



- LPG-ducto de 12" d. n. Venta de Carpio-San Juan Ixhuatepec.

De los ramales mencionados anteriormente extraen las siguientes Terminales: Terrestre y Refrigerada de Salina Cruz; Poza Rica y San Juan Ixhuatepec, respectivamente. Las Terminales de Tierra Blanca, Puebla y el C. F. I. San Martín Texmelucan; los cuales extraen directamente del ducto troncal de 24" d. n.

El LPG-ducto de 20" d. n. Venta de Carpio-Santa Ana tiene una capacidad máxima de transporte de 170 MBD, la cual puede reducirse en base al programa de distribución hacia las Terminales de Tepeji del Río, Tula, Abasolo y Guadalajara. La capacidad máxima está limitada por las presiones de operación máximas de la Estación de Regulación y Medición de Venta de Carpio y de la Máxima Presión Permisible de Operación de la tubería. Este ducto tiene como ramal de transporte y distribución el LPG-ducto de 14" d. n. Santa Ana-Tula y como extracción directa del ducto de 20" d. n. a la Terminal de Tepeji. Esta última Terminal no tiene sistema de almacenamiento de gas licuado, lo que provoca que cualquier variación a sus condiciones de recibo, afecte la operación normal del sistema de transporte, requiriendo contar con almacenamiento disponible en la terminal de Tula para evitar disturbios mayores a la operación.

Con la Estación de Regulación y Medición de Venta de Carpio se miden los volúmenes entregados y distribuidos al ramal de 4" a Poza Rica y adicionalmente se regula la presión del LPG enviado al ramal de San Juan Ixhuatepec así como del enviado hacia la línea de 20" con dirección a Santa Ana.

El LPG-ducto de 14" d. n. Santa Ana-Guadalajara recibe el producto proveniente del LPG-ducto de 20" d. n. Venta de Carpio-Santa Ana y la inyección de la Refinería de Salamanca. La capacidad máxima promedio de transporte de este ducto es de 65 MBD, dependiendo de la distribución. Esto quiere decir que para llagar a obtener este valor de capacidad, la Terminal Guadalajara debe recibir un volumen máximo de 23 MBD, siendo la diferencia 42 MBD para la Terminal de Abasolo, misma que opera en forma similar a la de Tepeji y tampoco cuenta con almacenamiento. En Santa Ana se mide el LPG enviado hacia Tula y lo que se envía hacia Abasolo y Guadalajara.

Su capacidad está limitada por la máxima presión permisible de operación del ducto y la situación más crítica se presenta cuando se requiere extraer más producto en Guadalajara o que la Terminal de Abasolo que de fuera de operación por cualquier motivo; bajo este esquema, se podrían trasportar hasta 45 MBD hacia la Terminal de Guadalajara, únicamente si Abasolo no recibe producto.

La inyección de la Refinería de Salamanca puede incrementar el volumen a transportar por arriba de los 65 MBD siempre y cuando el gas inyectado sea entregado en la Terminal de Abasolo o que se distribuyan entre las terminales de Abasolo y Guadalajara cuidando de mantener una presión diferencial para operar en forma segura las Estaciones de Regulación y Medición de Palmillas y Valtierra



con las cuales se controla la presión de estos tramos de línea que por la topografía del terreno en estos sitios así se requiere.

Al sistema se encuentran integradas 3 terminales de distribución, Terminal Terrestre de Salina Cruz, Tepeji y Abasolo, que no cuentan con almacenamiento y que cargan directamente del ducto a los autotanques aprovechando la energía de presión con que llega el producto a cada una de ellas, actualmente en caso de cierre en cualquiera de éstas se cuenta con almacenamiento de respaldo de las siguientes terminales: Terminal Refrigerada de Salina Cruz, Tula y Guadalajara, respectivamente, para con esto absorber cualquier variación o disturbio provocado por esta causa, si por cualquier motivo se modificará este esquema operativo y las terminales con almacenamiento fueran controladas en forma independiente, se perdería la flexibilidad operativa y al presentarse esta misma situación, el sistema se presionaría por un golpe de ariete cuya magnitud podría llegar a rebasar la presión máxima permisible del ducto que a su vez se traduciría en la ruptura del ducto en su parte más débil.

En caso de requerir manejar el flujo mínimo que el sistema soporta, cualquier cierre de recibo en alguna de las terminales resultará en la suspensión total de la operación del transporte, teniendo como consecuencias: Incremento en los inventarios de los centros productores con la posibilidad de la reducción de su capacidad de proceso por el limitado almacenamiento de cada una de estas instalaciones, rechazo de condensados y disminución de crudo y gas, afectando directamente las cuotas de gas natural, etano, gasolina natural y azufre, ya contratadas.

El transporte por ducto es parte de un sistema integral de producción, transporte, distribución y comercialización, en donde la falta ó falla de algunos de los elementos antes mencionados, significaría la inestabilidad del sistema con grandes pérdidas económicas. Portal motivo PEMEX Gas ha implementando el Sistema de Adquisición de Datos y Control Supervisor, "SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION" (SCADA) al transporte de LPG. y Gas Natural por ducto, esto con la finalidad de contar con un mayor control en la operación de los ductos, cabe mencionar que Petróleos Mexicanos ha implementado el SCADA en otras instalaciones. Tal es el caso de las Plataformas de producción de crudo y gas en la Sonda de Campeche, entre otras, éste sistema fue puesto en operación en diciembre de 1984.

Dentro del sistema de LPG-ducto, operado por Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB), el SCADA controla y monitorea:

- 99% de las inyecciones de gas natural
- 97% de las extracciones de gas natural
- 100% de las inyecciones y extracciones del LPG
- 170 estaciones de medición
- 3 estaciones de compresión

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



- 5 estaciones de bombeo
- 8,875 kilómetros de ducto para gas natural
- 1,822 kilómetros de ducto para LPG

La puesta en marcha de este sistema ha permitido tener múltiples beneficios como:

- Eficientizar las actividades administrativas y comerciales.
- Optimizar el uso de la capacidad potencial de transporte, aplicando Sistemas de Simulación.
- Verificar los consumos individuales de los clientes, facilitando la conciliación entre condiciones controladas y consumos reales.
- Permitir un registro confiable de datos de operación: volúmenes, presiones, temperaturas y calidad del gas.
- Proporcionar información en tiempo real a los clientes sobre sus consumos, condiciones de suministro, calidad del producto y cumplimiento de contratos.

El objetivo básico del SCADA es aumentar la seguridad y eficiencia de las instalaciones de Transporte de LPG por ducto, y permitir agilizar la toma de decisiones Operativas, mediante la realización de las siguientes funciones:

1. Obtener información centralizada en tiempo real, que permita supervisar continuamente la operación del LPG-ducto.
2. Presentar la información en unidades de ingeniería en gráficos dinámicos y en impresores; correspondientes fundamentalmente a variables de operación (presiones, flujos, temperaturas, velocidades y calidad del gas); indicaciones de operación principalmente válvulas de seguridad (abiertas-cerradas) para turbo-bombas.
3. Mejorar el contacto de la operación mediante la ejecución de comandos en forma remota o automática que permiten realizar paros de emergencia y cierre de válvulas de seguridad.
4. Obtener en forma inmediata los reportes y gráficas del proceso de operación. Esta información está al alcance de los supervisores de operación en tiempo real y en la Oficina Central de PEMEX.
5. Facilitar las actividades de operación del proceso en todos los niveles por medio de los teclados funcionales, pantallas e impresores disponibles en las consolas de Estaciones Centrales.

Para que el SCADA pueda operar de forma eficiente, es necesario contar con un buen sistema de telecomunicaciones, que esté distribuido de forma estratégica a lo largo del sistema del LPG-ducto, esto con la finalidad de poder monitorear la



operación de las estaciones de bombeo, estaciones de medición, estaciones de regulación, válvulas de seccionamiento, trampas de diablos, trampas de recibo y válvulas troncales.

Dada la dispersión de las instalaciones a cubrir, se requiere de equipo de telecomunicación para poder transmitir y procesar la información obtenida de los distintos elementos del sistema LPG-ducto.

1.2.- UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DEL SISTEMA LPG-DUCTO

La ubicación de cada una de las estaciones de bombeo está realizada para proporcionar la energía cinética necesaria para que el LPG pueda vencer las pendientes del terreno por donde pasa el ducto.

Para coordinar la operación del sistema de ducto de LPG se cuenta con el Centro de Control Principal, ubicado en el Centro Administrativo de Petróleos Mexicanos en México D. F. con el apoyo del Centro de Control de la T. R. de Pajaritos, Veracruz.

El procedimiento operativo básico de este Sistema de Transporte es recibir todo el gas licuado producido en la zona sudeste del país, así como la que entregan al ducto las refinerías de Minatitlán, Salamanca y Salina Cruz para su distribución a las 11 terminales conectadas al sistema, que a su vez la embarcarán al distribuidor final vía autotanque, carrotanque o buquetanque.

La operación del sistema de transporte de LPG- ducto está dividido en tres ductos principales.

El ducto de 24" d. n. Cactus-Venta de Carpio.
El ducto de 20" d. n. Venta de Carpio-Santa Ana.
El ducto de 14" d. n. Santa Ana-Guadalajara.

La ubicación de las cinco estaciones de bombeo se puede observar en la figura 1.1, y los elementos del sistema LPG-ducto se pueden apreciar en forma representativa en la figura 1.2.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



CAPÍTULO 2

**DESCRIPCIÓN DE LAS
INSTALACIONES DE BOMBEO Y
TELECOMUNICACIÓN**

11-A

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE BOMBEO Y TELECOMUNICACIÓN

En el presente capítulo se describirán los elementos que conforman un sistema SCADA, los elementos del sistema de telecomunicaciones que forman parte vital del SCADA. Así como del la estación de bombeo Zapoapita, con la finalidad de tener una visión global de lo que implica monitorear y controlar "en tiempo real" un sistema de bombeo con los elementos que están integrados a un sistema SCADA, para determinar la confiabilidad.

2.1 SISTEMA DE BOMBEO

El control y monitoreo se lleva a cabo desde el Centro de Control Principal (CCP=MUT) y un Centro de Control de Contingencias y 17 Centros de Información Remotos (CIR=RTU) ubicadas en diferentes sitios de la República Mexicana.

Dada la gran cantidad de instalaciones, tanto de Gas Natural como LPG, que controla y monitorea el sistema SCADA fue necesario elegir una de las instalaciones que conforman al LPG-ducto, seleccionando el sector de Ciudad Mendoza el cual cuenta entre sus instalaciones con 4 estaciones de bombeo conocidas como: Estación de Bombeo No 3 Arroyo Moreno Ver; Estación de Bombeo No. 4 Zapoapita Ver, Estación de bombeo No. 5 Cd. Mendoza Ver. y Estación de bombeo No. 6 Maltrata Ver., además cuenta con 246.829 Km. de ducto 24" d.n., trampas de diablos, 15 válvulas de seccionamiento, 20 cruces de vías de comunicación, 12 pasos aéreos, 17 camas anódicas, 3 testigos de corrosión, 8 turbinas Ruston mod.5000, 8 bombas centrífugas Byron Jackson para bombeos de 220 MBPD, 4 válvulas de relevo, 8 válvulas de recirculación, 8 filtros de succión de estación y 4 líneas de recirculación.

La estación de bombeo seleccionada para realizar el estudio de confiabilidad fue la No. 4 "Zapoapita", esto por los problemas operacionales que se presentan en la transmisión de datos del sistema de telecomunicaciones, siendo ésta la que presenta el menor número de horas de operación, comparada con las demás estaciones de bombeo del sector. La estación se encuentra ubicada en el poblado de Zapoapan, a 6.9 Km. de Fortín de las Flores, Veracruz por la desviación de Villa Unión.

El procedimiento operativo para las estaciones de bombeo de LPG, se encuentra contenido en el anexo II, ésta información se anexa para una mayor comprensión del funcionamiento de la estación de bombeo.



2.2 PROCEDIMIENTO OPERATIVO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA

Para el presente capítulo nos enfocaremos a realizar la descripción del procedimiento operativo de la Estación de Bombeo Zapopita, a la cual se realizará el análisis de confiabilidad, ya que ésta es la que presenta un menor número de horas operando (976.71) comparada con las cuatro estaciones de bombeo restantes (el reporte del tiempo de operación de las estaciones de bombeo se encuentra contenido en el capítulo 4, en el análisis de resultados).

La estación de bombeo N°4 Zapopita, perteneciente al Sector Mendoza, cuenta con dos tubo-bombas (una en operación y la otra en relevo) con una capacidad de 220,000 BPD, para enviar el LPG hacia la Estación de bombeo N°5 Cd. Mendoza. La Estación opera los 365 días del año.

Descripción del Flujo de Proceso

La Estación de Bombeo es un Centro transformador de energía que convierte la energía motriz procedente de una turbina, que es utilizada por una bomba centrífuga la cual proporciona energía cinética al LPG para ser transportado a la estación de bombeo No.5 Cd. Mendoza. Las estaciones de bombeo cuentan con una turbo-bomba en operación y otra de relevo y tiene para su operación continua, cabezales de succión y descarga de producto, filtros en la succión, válvulas para recirculación por flujo mínimo, válvulas para alivio de presión en la descarga y sistemas de medición de flujo.

Recepción de LPG

El proceso inicia con la llegada del LPG-ducto de 24" que sale a la superficie dentro de la Estación en línea directa hacia el receptor de diablos (figura 2.1, Diagrama de flujo del proceso), el cual cuenta con una válvula de bloqueo de 24", normalmente cerrada, a fin de cortar el fluido y dirigirlo hacia la válvula principal EOY-101 que alimenta al sistema de la estación, normalmente abierta, esta válvula se encuentra automatizada bajo el sistema SCADA con indicadores y control de apertura y cierre, alarma de apertura y cierre del interruptor de transformación de operación automático y manual.

De la válvula principal parte una línea de 24" la cual en primera instancia recibe una línea de 8" de diámetro, que viene del receptor de diablos y que cuenta con una válvula HOV-109, normalmente cerrada, así como también se encuentra un transmisor de presión configurado a un paro de unidad. De igual manera, a este cabezal de 24", llega una línea de 10" procedente de la válvula de alivio de presión de descarga de la estación.



Posteriormente de esta línea de 24" se ramifican dos líneas de alimentación a los filtros FV-01 y FV-02, que tienen como función eliminar las partículas sólidas que se encuentren en la corriente del LPG.

Los filtros FV-01 y FV-02, están provistos con válvulas de 20" a la entrada y a la salida de los mismos, válvula de drenado manual de 2" que envía los sedimentos a la fosa de quemado. Las salidas de los filtros se conectan al cabezal de succión, que es propiamente quien alimenta a cada equipo de bombeo, dicha línea cuenta con sensores de indicación de presión y temperatura hacia el sistema SCADA.

La línea de succión de la Bomba BC-01, cuenta con la válvula de bloqueo EOY-102 de 24", dicha válvula se encuentra operada eléctricamente con señal al sistema SCADA. El flujo entra a la bomba por una reducción de 24" a 14" y continúa por una línea de 10" que se incrementa a 20", dicha línea de descarga cuenta con la siguiente instrumentación con señal hacia el sistema SCADA, indicación de presión y temperatura.

Esta línea llega primeramente a la válvula Yarway, el flujo de recirculación pasa hacia la línea de recirculación de 10", compuesta por una válvula check y una válvula tipo macho, ambas de 6", cuyo objetivo principal es retornar hasta la succión de los filtros FV-01 y FV-02.

Una situación de proceso idéntica ocurre con la bomba de relevo BC-02, la cual esta provista de las válvulas operadas eléctricamente EOY-104 a la succión y EOY-105 a la descarga.

Las líneas de descarga de la bomba de operación y de relevo, convergen en un cabezal común de 24" que recorre el rack completo hasta llegar a la medición de flujo, compuesto por una placa de orificio con clave FE-103, con señalización hacia el sistema SCADA. Dicho sistema de medición cuenta con sus bloqueos de 20" y su línea de Bypass. La línea vuelve a cambiar de diámetro a 24" y continua hasta encontrar un ramal de donde surge la válvula de recirculación por alta presión (PCV-118) de 8" Válvula Brooks la cual descarga al cabezal de succión de la estación.

Continuando por la línea de 24" se llega a una válvula check y una válvula de compuerta operada eléctricamente, ambas de 24", las cuales constituyen el bloqueo de descarga de la estación. Esta línea se dirige hacia la trampa de salida y finalmente hacia la Estación No. 5 Cd. Mendoza.

Por otro lado, también se considera que el paro de emergencia de estación sólo será activado por el operador de la estación, cuando se presenten los siguientes eventos: Fuga de producto en equipos, rotura de líneas de proceso e incendio; quien desarrollará las siguientes actividades:



1. Informar del paro por Radio abierto al Centro de Control Principal (México).
2. Oprimir el botón de Paro de Emergencia.
3. Informar del paro de Emergencia por Radio Abierto a Estaciones anteriores y posteriores.
4. Aplicar Plan General de Emergencia.

Es importante mencionar que al oprimir el botón de paro de emergencia, la lógica del sistema automáticamente ordena:

- El cierre de la Válvula principal de Succión de Estación (EOV-101).
- El cierre de la Válvula principal de Descarga de Estación (EOV-106).
- El cierre de la Válvula de Succión de las Bombas (EOV-102, EOV-104).
- El cierre de la Válvula de Descarga de las Bombas (EOV-103, EOV-105).
- La apertura de las Válvulas de desfogue de las Bombas.

El gas combustible es alimentado a las turbinas que accionan las bombas de la Estación. El suministro es enviado por medio de una línea de 6" que entra al filtro separador de condensados, alimenta al calentador de gas, donde entra a 20°C y sale a 44°C, con la finalidad de evitar que existan hidratos y lleguen a la turbina, pasa hacia la etapa de regulación de presión, cuya función es reducir la presión de 37 Kg/cm² a 20 Kg/cm².

Los equipos principales que corresponden al área operativa de LPG son:

- Ducto de recibo de LPG, 24 pulgadas de diámetro, proveniente de la Estación No. 3 Arroyo Moreno.
- Trampas de envío y recibo de diablos.
- Sección de tuberías, constituidas principalmente por válvulas de compuerta, filtros, válvula check, placa de orificio, válvula macho con operador eléctrico.
- Medidor de densidad.
- Cabezal de envío de LPG de 24 pulgadas de diámetro, hacia la Estación No.5 Mendoza.

2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA ESTACIÓN

Las características técnicas de los elementos principales de la estación de bombeo se encuentran contenidas en el anexo III.



♦ TURBINA RUSTON TB-5000

Máquina de combustión interna, combustible gas natural, consta de un compresor axial de aire, una cámara de combustión, turbina de potencia y dispositivos auxiliares de lubricación, regulación de velocidad, alimentación de combustible, puesta en marcha y control operativo.

Su velocidad máxima de giro es de 7,950 r.p.m. con potencia de 4,900 HP correspondiente a una temperatura de operación de 487°C, bajo condiciones ISO; tiene límites de temperaturas de operación para la turbina de gas TB-5000 como sigue:

- Operación Continua Normal: 477°C.
- Operación Continua Máxima: 487°C.
- Temperatura de Alarma 495°C.
- Temperatura de Paro: 505°C.

La turbina consta de un compresor de aire de flujo axial, ensamblaje de 12 etapas móviles llamado rotor, y de 13 etapas fijas llamadas estator, éste compresor gira aproximadamente a 10,000 r.p.m. por el impulso de gases calientes que se proyectan a los álabes de la turbina del compresor.

Cuenta con un ensamble de una flecha (turbina de potencia) que gira con dos discos de álabes y espaciados con diafragmas, para conducir y aprovechar al máximo el flujo de gases calientes, que puede girar a 7,950 r.p.m. máximo, así también, tiene una flecha principal que gira con la bomba centrífuga, por medio de un acoplamiento de extensión flexible y alineada para proporcionar giro y potencia necesaria.

2.2.2 BOMBA CENTRÍFUGA "BYRON JACKSON"

La bomba centrífuga destinada a proporcionar presión y velocidad al LPG con caudal continuo-intermitente, la cual está acoplada directamente a la turbina de Gas marca Ruston Mod. TB-5000 que es el elemento motriz.

La bomba consta de un impulsor centrífugo con aspiración lateral de 12 5/8" de diámetro, flecha, anillos de desgaste, cojinetes, sellos mecánicos tipo tandem, dispositivos de lubricación, sensores de vibración, protecciones de temperatura y presión de aceite lubricante, así como un sistema de enfriamiento a sellos.

2.2.3 VÁLVULA DE RECIRCULACIÓN MARCA YARWAY (DE TRES VÍAS)

Válvula de diseño estable con retención incluida para control preciso de recirculación, brinda protección efectiva a las bombas centrífugas Byron Jackson, contra serios daños resultantes del sobrecalentamiento o inestabilidad que se



puede producir a bajo flujo. Su operación es totalmente mecánica y autoalimentado, no tiene barras correctoras, señales de control, válvulas piloto, etc., no requiere mantenimiento, es intrínsecamente segura en todos sus sellos estáticos, no tiene empaques y no permite fugas a la atmósfera.

Consta de un disco de válvula de retención y un sensor de flujo principal sensible al flujo y no a la presión, se auto modula de acuerdo a la demanda de flujo principal. En posición cerrada no hay flujo principal y la recirculación está totalmente abierta, protegiendo la bomba contra "operación a cero flujo", ya sea planeada o accidental. A medida que el disco se levanta en respuesta de aumento de flujo principal, el elemento de recirculación que forma parte del disco, cierra gradualmente los orificios de flujo reduciendo el flujo de recirculación. Cuando el disco está en posición completamente levantada, la recirculación está totalmente cerrada y a medida que el flujo principal disminuye se produce la acción inversa y el flujo de recirculación vuelve a aumentar.

2.2.4 VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN DE DESCARGA

Válvula de 8" de diámetro, de 2 vías auto-operada por piloto para trabajar hasta 1,440 lb/in² de presión, está calibrada para abrir por alta presión desde la descarga hasta la succión de la estación. Esta válvula, libera automáticamente excesos de presión. Actúa por medio de un control instrumental que permite una apertura parcial del pistón de la válvula para controlar la presión. Valor de calibración 65 Kg/cm².

2.2.5 FILTROS DE SUCCIÓN

Es un cilindro con una entrada y una salida bridada, en su parte interna se encuentra una canastilla para retención de sólidos con una malla de 5/32" y en el fondo o parte inferior, al centro una línea de desfogue para las partículas pequeñas que son separadas del flujo.

Capacidad:	165,000 -220,000 BPD
Malla:	5/32"
Tipo:	Canasta
Sellos mecánicos tipo	Tandem

Su limpieza y eficiencia de filtrado, juega un papel muy importante en la vida útil de los equipos dinámicos como la bomba y los sellos mecánicos de la misma.

Las dos bombas centrífugas marca Byron Jackson Mod, cuentan (lado cople y lado libre), con sellos mecánicos diseñados para prevenir fugas de LPG



del interior de la bomba hacia la atmósfera, particularmente entre el eje giratorio de la misma y el alojamiento del sello mecánico.

Estos sellos, tipo Tandem diseñados para altas velocidades y presiones de trabajo teniendo la particularidad de contener dos sellos. Este avanzado sistema de cierre equilibrado amplía la capacidad de trabajo del sello en sí, al contar con un sello primario de trabajo y otro secundario de sellado que en conjunto ofrecen una protección eficaz.

2.2.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE DE UNIDAD (PLC)

Un Controlador Lógico Programable (PLC) en su definición básica es un dispositivo de estado sólido basado en microprocesadores el cual es programado para operar en una secuencia particular en respuesta a señales de entrada externas. La lógica de control reside en la memoria del procesador, la cual puede ser modificada para permitir cambios en las aplicaciones o corregir errores de la programación inicial.

El PLC empleado en la Estación de Bombeo (figura 2.2), consiste en un Sistema de Control Digital el cual emplea módulos estándar de Entradas y Salidas tanto del tipo analógico como digitales. Este se encuentra instalado dentro de un tablero denominado "Tablero de Control de Unidad", el cual en su parte frontal consta de Indicaciones análogas de velocidad de Generador de Gases, Turbina de Potencia (figura 2.3), Indicación de la temperatura de operación, así como del Punto de Ajuste de velocidad de la turbina de potencia.

El tablero de control (figura 2.4), cuenta además con una serie de botones pulsadores los cuales están asociados al PLC para desencadenar las secuencias lógicas configuradas en el mismo.

Entre estos botones pulsadores, se destacan: El Paro de Emergencia de Unidad, El Paro de Unidad Asegurado, Arranque y Paro Normal, Reconocimiento de Alarmas, Restablecimiento, botones para incremento o disminución de velocidad de turbina, etc.

Se dispone también de una serie de lámparas indicadoras, para alertar e informar al operador la existencia de flama en las cámaras de combustión de la turbina, Indicación de Paro de Unidad Activado, Modo de Operación del PLC, Turbina lista para arranque, Paro Normal Activado, Alabes variables de turbina cerrados, Indicación de posición de válvulas de succión, Descarga y válvula de desfogue al quemador, así como el modo de control de las mismas (Local - Remoto), indicación de falla en el PLC, etc.

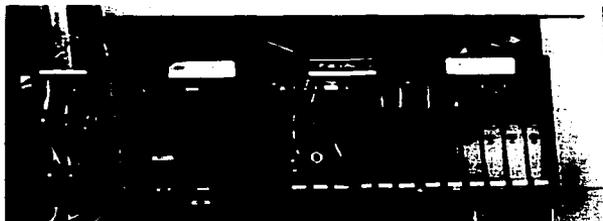


FIGURA. 2.2 CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)



FIGURA. 2.3 TURBINA RUSTON



Para el manejo y procesamiento de todas estas señales, el equipo del PLC cuenta con un rack el cual cuenta con diez módulos con diferentes funciones:

Figura 2.4. Módulos del PLC

0. Módulo de Fuente de Energía (24 VDC).
1. Módulo de Procesamiento (CPU).
2. Módulo de Comunicaciones de puertos seriales (RS-232 / 422) Sistema de Bently Nevada, PLC Estación.
3. Módulo de comunicaciones de Red Ethernet (LAN) (Interface con el MMI y LAN del PLC).
4. Módulo de interfase con sensores de velocidad, (Turbina de Potencia y Generador de Gases).
5. Módulo de entradas discretas, (24 Digital Input), Indicaciones de posición y modo de control de las EOY 102, 103, 107, bombas auxiliares y de emergencia del sistema de aceite de lubricación, etc.





6. Módulo de Salidas discretas. (64 Digital Outputs), Lámparas indicadoras de posición en tablero de las válvulas EOY-102,103 y 107 (para el caso de la unidad 1), señales de control del sistema de aceite de lubricación auxiliar y de emergencia y su respectiva indicación, señales de control a elementos del sistema de gas combustible a turbina, etc.
7. Módulo de Entradas / Salidas Analógicas. 24 Analógicas Inputs, PT-107 Succión, PT-109 Descarga, PT-120 Aceite lubricación, PT-134 Gas Combustible, PDT-126 Presión diferencial filtros, Vibración Axial en la bomba, Vibración Axial turbina, etc. y 8 Analógicas Outputs; Medidor de Velocidad del Generador de Gases, Medidor de Velocidad de la Turbina de Potencia, Control de Posición de la GS-3, etc.
8. Módulo Controlador de Enlaces de Comunicación con tarjetas de Entradas y Salidas discretas, I/O análogas, Entradas de termopares y de RTD's.
9. Módulo de entradas de Termopares tipo k (8 TC inputs), Temperaturas de Salida de la TP.
10. Módulo de entradas de RTD's tipo PT 100 (8 RTD Inputs), Temperatura de entrada de aire, Temperatura rodamientos de la Bomba de Aceite de Lubricación, Temperatura rodamientos de la Bomba (4), Temperatura de Succión de unidad, Temperatura de Descarga de Unidad, etc.

Dentro de las acciones principales configuradas en el PLC se encuentran las secuencias de arranque y paro de las turbo-bombas en operación normal y de Emergencia, tanto de manera manual como automática en caso de falla de algún elemento que intervenga dentro de la secuencia.

En dicha configuración se encuentra incluido el control de la posición de las válvulas de succión y descarga de la Unidad así como el control de la válvula de desfogue.

Consideraciones

Respecto a las consideraciones, es importante destacar que se asume de acuerdo a la filosofía de control, la estación opera con una Unidad de Turbo-bomba mientras la otra permanece disponible para operar como respaldo en caso de presentarse algún problema, además es importante acentuar que la operación del sistema de bombeo no contempla tener un control remoto, sino un monitoreo de las condiciones de la estación, por lo que siempre se requerirá estar tripulada, en donde los movimientos y acciones operativas que tengan relación directa con el Bombeo en el Sistema, deben ser obligatoriamente reportados por el Operador al Centro de Control Principal (SCADA México), y anunciados de manera clara, precisa y pausada a las demás Estaciones por medio del sistema de radio vía microondas, confirmando por ese mismo medio si recibieron el mensaje, para proceder a los movimientos y acciones correspondientes.



2.3 CONFORMACIÓN DE UN SISTEMA SCADA

Comenzaremos diciendo que el SCADA es una tecnología que permite la recolección de datos "monitoreo" de uno o más lugares distantes, estos datos son enviados a un Centro de Control Principal (CCP), en este lugar se toman decisiones operativas y una vez realizadas se envían instrucciones (control) las cuales permiten operar elementos finales de control, abriendo o cerrando válvulas y/o switches, así como de alarmas de la instalación, permitiendo mantener las condiciones de operación establecidas en el procedimiento de operación.

El SCADA hace innecesario que un operador sea designado para permanecer en determinado lugar para supervisar las condiciones de operación de uno o varios elementos de control, o la realización de visitas en forma frecuente a una instalación determinada, esto facilita la operación normal segura de una instalación distante ya que se cuenta con información en tiempo real de las diferentes áreas que conforman un proceso.

Un sistema SCADA puede utilizarse para la operación de múltiples procesos, por ejemplo: la distribución de hidrocarburos por ductos tales como petróleo, aceites, gas natural, LPG ó la compleja generación de la energía hidroeléctrica, etc.

Cuando en un proceso una terminal está ubicada varios kilómetros del Centro de Control Principal (CCP), los beneficios en términos de reducción de costos en visitas rutinarias puede reducirse apreciablemente, sobre todo cuando el acceso a dichas terminales es complicado, requiriendo de transporte especializado (por ejemplo: acceder por medio de un helicóptero).

La aplicación de la tecnología SCADA es recomendable para procesos que se extienden a través de grandes extensiones los cuales requieren ser controlados y monitoreados, requiriendo intervenciones regulares, frecuentes ó inmediatas. en los siguiente ejemplos se observan la aplicación a los procesos.

A) Para pequeñas estaciones generadoras de energía hidroeléctrica que requiere ser encendidas o apagadas como respuesta a las demandas del cliente que usualmente son ubicadas en el área local, éste control puede ser por cierre o apertura de las válvulas de la tubería, la cual debe ser monitoreada continuamente. Además se requiere de una respuesta relativamente rápida ante una demanda de energía eléctrica en la red.

B) Medios para la producción de petróleo los cuales comprenden pozos, acumulación de sistemas, medidores de flujo y bombas. Usualmente dispersas en grandes áreas que requieren de un control relativamente simple como la recolección de información para decidir si un motor es encendido en condiciones de respuesta inmediata.



C) La operación de ductos para el transporte de gas, aceites, químicos ó agua que contenga otras sustancias, estos ductos pueden estar localizados a distancias considerables y la operación puede consistir en abrir ó cerrar válvulas, iniciar ó parar bombas, y responder rápidamente a las condiciones de venta "extracciones" ó fugas de productos tóxicas que ponga en peligro al medio ambiente ó población civil, de productos tóxicos.

D) Puede controlar los switches, abriendo ó cerrando un sistema de distribución eléctrica el cual puede cubrir miles de kilómetros cuadrados y además responder prácticamente de inmediato a un aumento de la tensión en las líneas.

Dadas las ventajas operativas que ofrece un sistema SCADA , PEMEX, Gas y Petroquímica Básica lo ha implementado en sus instalaciones, para el control y monitoreo de las condiciones de operación del LPG-ducto, en tiempo real.

Para el sistema LPG-ducto el SCADA centraliza la información básica de operación de cada una de las estaciones ligadas al sistema de transporte del LPG, permitiendo operar los instrumentos y equipos asociados de las diferentes instalaciones en forma rápida y confiable como un factor fundamental que contribuya a que el LPG-ducto opere con mayor productividad, con menor costo y mínimo esfuerzo humanos, lo cual deberá permitir una dinámica y certera toma de decisiones en los niveles de jerárquicas correspondientes, al tener el conocimiento de cualquier situación ya sea normal, anormal ó de emergencia en un momento determinado.

El sistema SCADA está construido por los siguientes componentes o sub-sistemas figura 2.5.



1.- INSTRUMENTACIÓN DE CAMPO.



2.- CENTROS DE INFORMACIÓN REMOTA.



3.- REDES DE COMUNICACIÓN.



4.- ESTACIÓN DE MONITORES CENTRAL.

A continuación se describirá de forma breve cada uno de ellos.

2.3.1 INSTRUMENTACIÓN DE CAMPOS

Es la referida a los sensores los cuales monitorean ciertos parámetros, actuadores para controlar ciertos módulos del sistema y dispositivos, los cuales están directamente conectados a la estación de bombeo Zapopita, en la cual se monitorea y controla la turbo-bomba.

La instrumentación de la estación de bombeo a ser monitoreada y/o controlada es la siguiente.



- Transmisor de presión entrada de estación (monitoreo).
- Transmisor de presión de cabezal de succión (monitoreo).
- Transmisor de presión de succión de bomba (monitoreo).
- Transmisor de presión de cabezal de descarga (monitoreo).
- Transmisor de presión de salida de estación (monitoreo).
- Transmisor de temperatura de cabezal de succión (monitoreo).
- Transmisor de temperatura de la succión de bomba (monitoreo).
- Transmisor de temperatura de descarga de bomba (monitoreo).
- Interruptor por alto flujo (monitoreo).
- Interruptor por alto flujo (monitoreo).
- Entrada de estación VOE off/on (control y monitoreo).
- Descarga de bomba VOE off/on (control y monitoreo).
- Válvula a quemador (control y monitoreo).
- Salida de estación VOE off/on (control y monitoreo).

Esta instrumentación convierte parámetros físicos (por ejemplo: flujo, presión, temperatura) a señales eléctricas (ejemplo voltaje o corriente) legible por medio de la Estación Remota.

Las salidas pueden ser del tipo analógicas (rangos continuos) o digitales (valores discretos). Algunas de las salidas analógicas estándar en la industria para estos sensores son de 0 a 5 volts, 0 a 10 volts 4 a 20 mA y 0 a 20 mA. Los voltajes de salidas son usados cuando los sensores son instalados cerca de los controladores (RTU O PLC). Las corrientes de salida son usadas cuando los sensores están localizados lejos de los controladores.

Las salidas digitales son usadas para diferenciar los estados discretos de los equipos. Usualmente < 1 > es usado para significar el estado del EQUIPO ENCENDIDO y <0 > para EQUIPO APAGADO. Estos pueden también significar <1> para LLENO ó <0> para VACIO.

Los actuadores son usados en modo girar para abrir o girar para cerrar ciertos equipo. También las señales digitales analógicas de entrada son usadas para control. Por ejemplo, las entradas digitales, pueden ser usadas para abrir y cerrar módulos en un equipo. Mientras que las entradas analógicas son usadas para control de velocidad de un motor a la posición de una válvula motorizada.

2.2.1 CENTROS DE INFORMACIÓN REMOTA

La instrumentación de campo conectada al proceso o equipo en la estación que está siendo monitoreada y controlada es enlazada a los Centros de Información Remota para permitir la manipulación del proceso desde un sitio remoto. Es usada también para recolectar datos del equipo y transferirlos al Centro de Control Principal del SCADA. El Centro de Información Remota, puede estar en un RTU (Unidad Terminal Remota) o en un PLC (Controlador Lógico Programable) puede también estar en un tablero aislado o en una unidad modular,



siendo monitoreado y controlado por medio de la Computadora Organizadora Central.

◆ INSTALACIONES REMOTAS

Para enlazar las instalaciones remotas a las estaciones de microondas (maestras), se utilizan sistemas de radio comunicación digital punto-multipunto en la banda de UHF, de estaciones terrenos para transmisión de datos de baja velocidad y enlaces físicas por medio de MODEM y cables.

A continuación se anunciarán los elementos que son utilizados dentro de la red de comunicación.

- **TERJETA DE MULTIPLEXOR V28.** El multiplexor se utiliza para controlar las comunicaciones entre el satélite y la estación terrestre, para operar se utiliza una división del canal espectral en varios subcanales, éstos se asignan a los usuarios, que pueden transmitir el tráfico de información que deseen dentro del sector de frecuencia que tengan asignado.
- **MODEM-CABLE.** Se utilizan en las estaciones que estén cerca de una estación de microondas (distancias no mayor a 300 mts. o que exista infraestructura telefónica), Siempre y cuando no exista una estación maestra de UHF en dicha estación de microondas. El modem proporciona el interfaz entre los mundos analógico/digital, éste dispositivo altera la amplitud, la frecuencia ó la fase de la señal analógica para representar los datos binarios. La palabra "modem" procede de la abreviatura de los términos modulación/demodulación, la señal es modulada por el modem transmisor y es demodulado por el modem receptor para las estaciones de bombeo, la parte digital tiene las siguientes aplicaciones: <1> es usado para significar el estado del equipo encendido y <0> para equipo apagado. Estos pueden también significar <1> lleno y <0> vacío.
- **RADIO MAESTRO UHF.** Estos sistemas serán utilizadas en diversas estaciones de microondas y estaciones terrenales, con el propósito de agrupar una o más instalaciones y aprovechar el canal de telecomunicaciones para enviar la información a México.
- **RADIO REMOTO UHF.** Se utilizan en estaciones que se encuentran dentro de un área no mayor a 45 Km. de una estación de microondas o estaciones terrenales asociadas con radio UHF, siempre y cuando exista línea de vista (esto es que no exista algún obstáculo entre ellas) y no se requiera una torre mayor a 40 metros, para lograr el enlace.
- **SISTEMA SATELITAL.** La estaciones terrenales serán utilizadas para comunicarse con aquellos sitios donde no se cuenta con cobertura de los



sistemas de microondas. En algunos sitios se utilizan en combinación con los equipos de UHF para enlazar a México una o varias RTU'S.

- Bajo las condiciones anteriores, y como ya se había mencionado, la arquitectura general de la red se puede representar en forma conceptual.
- Interconexión a Estaciones de Microondas (splitter y/o cable). Se utiliza para integrar la señal de las Estaciones Maestras y/o Remotas a los equipos de la Red de Microondas Digital.

◆ SISTEMA DE TELECOMUNICACIÓN DE LA ESTACIÓN ZAPOAPITA

Los elementos de telecomunicación con los que cuenta la Estación de Bombeo Zapopita para el envío y recepción de datos de control y/o monitoreo hacia el CIR (Centro de Información Remota), la cual a su vez transmite la información al CCP(Centro de Control Principal).

El sistema de telecomunicaciones Zapopita cuenta con los siguientes elementos de telecomunicación para la transmisión de datos:

- Cuatro Splitters.
- Seis Tarjetas de multiplexor.

La conformación de estos elementos se puede observar en el plano "Diagrama General de Estructura de Confiabilidad del Sistema de Telecomunicaciones para la Estación Zapopita" contenido en el anexo de este documento. Para el análisis de confiabilidad se considerarán solo los elementos por donde se transmite la información hacia la CIR, la cual transmite la información via microondas al CCP.

2.3.3 RED DE COMUNICACIÓN

Una característica fundamental que tiene el sistema SCADA es la facilidad para comunicarse usando una variedad de métodos diferentes, haciéndolo especialmente útil en la transferencia de información hacia y desde lugares remotos. El SCADA es capaz de comunicarse a través de líneas telefónicas, radio UHF/VHF, sistemas de microondas, sistemas satelitales y sistemas de alta velocidad como fibra óptica.

Para el caso del sistema SCADA implementado por PEMEX, se utiliza la red de microondas digital existente, con la cual se comunican actualmente un alto porcentaje de sus subsidiarias. A partir de esta infraestructura, se suministran los servicios de comunicación entre las estaciones ubicadas a lo largo de la República Mexicana, los Centros de Control Principal y de Contingencia, y los centros de información Remota, en ciertas regiones del territorio Nacional se cuenta con



tecnologías especializadas de telecomunicaciones, como sistemas satelitales y radio UHF.

◆ SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES

Considerando que un sistema SCADA consiste de uno o más MTU(S) los cuales envían instrucciones y reciben datos desde uno o más RTU(S), las telecomunicaciones juegan un papel muy importante en la operación del sistema.

Las telecomunicaciones son la columna vertebral del sistema SCADA, ya que éstas se transportan los datos recolectados de la instrumentación de campo, los cuales permiten actualizar la base de datos, y transmitir las ordenes a los dispositivos de campos; así mismo, asegura que los sistemas de reserva de control reciban datos actualizados lo cuales permite al operador tomar decisiones eficientes.

Para realizar las funciones antes mencionadas, la red de comunicaciones debe cubrir los siguientes requisitos funcionales: baja demora retraso en las transferencias de información, con un alto grado de confiabilidad en la infraestructura, desde el momento en que los datos entran a la red hasta el momento en que estas llegan a su destino.

Los sitios de cobertura por la red de telecomunicaciones son aquéllas instalaciones en las que se tienen elementos incorporados al SCADA como son las válvulas de seccionamiento, trampas de diablos, trampas de recibo, válvulas troncales y estaciones de bombeo de la red nacional de gasoductos.

A. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA RED

Una configuración de red se denomina *arquitectura de la red*. Por lo tanto la *arquitectura de la red* nos establece la forma. El término es utilizado para describir la forma de la red, para la elección de la topología se debe considerar tres puntos:

- Proporcionar la máxima confiabilidad a la hora de establecer el tráfico de datos (por ejemplo, mediante encaminamiento alternativo).
- En caminar el tráfico de datos utilizando la vía de costo mínimo entre los elementos transmisores de datos y recepción.

Proporcionar al usuario el rendimiento óptimo de tiempo de respuesta mínimo.

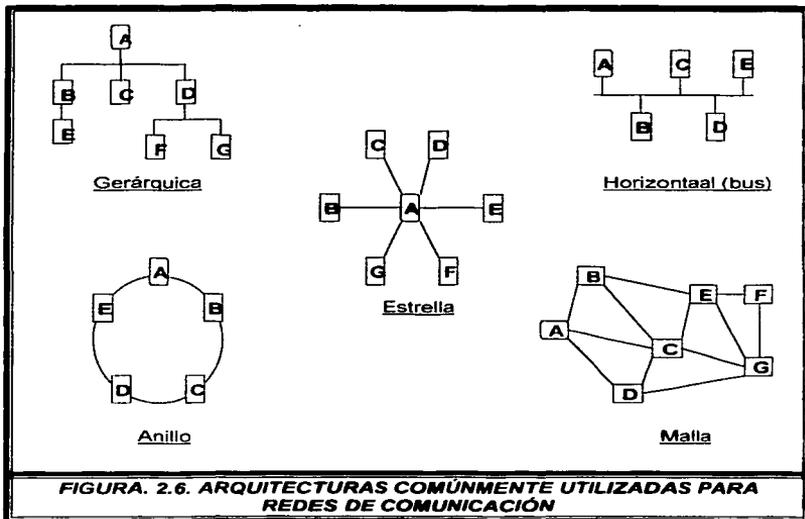
- Proporcionar el mínimo tiempo de respuesta y el máximo rendimiento. Para minimizar el tiempo de respuesta hay que procurar minimizar el retardo entre la transmisión y la recepción de datos.



Esto es especialmente importante para sesiones interactivas entre aplicaciones de usuario. El rendimiento tiene que ver con la transmisión de la máxima cantidad de datos en un periodo determinado.

A continuación se dará de forma breve las arquitecturas de red comúnmente utilizadas.

- La arquitectura jerárquica (en árbol).
- La arquitectura Horizontal (en bus).
- La arquitectura de estrella.
- La arquitectura en anillo.
- La arquitectura en malla.





I. ARQUITECTURA JERÁRQUICA (EN ÁRBOL)

La arquitectura jerárquica, figura 2.6, es una de las más comúnmente utilizadas hoy en día, ésta proporciona un punto de concentración para control y resolución de errores.

Aunque la arquitectura jerárquica es atractiva desde el punto de vista de la simplicidad de control, presenta problemas serios de cuellos de botella, el problema no sólo son los cuellos de botella, sino también la confiabilidad. No obstante la arquitectura jerárquica se ha utilizado ampliamente en el pasado y continuará utilizándose en el futuro. Permite una evolución simple hacia redes más complejas ya que es muy sencillo añadir nuevos elementos.

Un ejemplo muy típico es la arquitectura jerárquica de cualquier centro de trabajo. En realidad, las ventajas y desventajas de las redes de comunicación de datos verticales son las mismas que las de una estructura jerárquica de un centro de trabajo. Líneas de autoridad muy claras con cuellos de botella muy frecuentes en los niveles superiores, y a menudo delegación insuficiente de responsabilidades. Otro ejemplo lo constituyen algunas redes telefónicas.

II. ARQUITECTURA HORIZONTAL (BUS)

La arquitectura horizontal o en bus se ilustra en la figura 2.6, es una disposición muy popular en redes de áreas locales. El principal inconveniente de ésta topología es que habitualmente sólo existe un único canal de comunicaciones al que se conectan todos los dispositivos de la red en consecuencia, si falla dicho canal, la red deja de funcionar. Algunos fabricantes suministran un canal redundante que se pone en funcionamiento en el caso de falla en el canal primero. Un ejemplo es la disposición en redes de área local.

III. ARQUITECTURA DE ESTRELLA

La arquitectura en estrella es otra estructura ampliamente utilizada en sistema de comunicación de datos. Todo el tráfico surge del centro de la estrella como se ilustra en la figura 2.6, etiquetando con A. El nudo A típicamente un computador, controla completamente. Los Equipos Terminales de Datos, conectados a él. Es por tanto, una estructura muy semejante a la estructura jerárquica, con la diferencia de que la estructura en estrella tiene mucho más limitado las posibilidades de procedimiento distribuido.

La localización de averías es relativamente simple en éste tipo de redes, ya que es posible ir aislando las líneas para identificar el problema. Sin embargo, como sucedía en la estructura jerárquica la red en estrella surgen los mismos problemas de fallas o cuellos de botella, debido al nudo central. Algunas redes en estrella diseñadas en los años 70 sufrieron serios problemas de confiabilidad debido al carácter centralizador de la red. Algunos sistemas poseen un nudo



central de reserva, la arquitectura de la red de PGPB tiene un nudo central de respaldo Centro de Control de Contingencias (CCC) ubicado en Venta de Carpio, Lo que incrementa considerablemente la confiabilidad de los sistemas. Esta arquitectura es la que se aplica para la red del sistema de telecomunicaciones de PEMEX Ventas de Carpio en el Estado de México y diversas consolas de los Centros de Información Remota que estarán ubicadas en los sectores en donde se controla cierta cantidad de instalaciones, figura 2.7.

Cabe señalar que la arquitectura se elige también elegida en base al terreno que se pretenda cubrir, es decir, dependerá de la forma en la cual estén dispersos los sistemas que se pretende comunicar, estando como nudo central de recolección de la información el Centro de Control Principal del SCADA

ARQUITECTURA DE ANILLO

La arquitectura de anillo, figura 2.6, es muy atractiva debido a que los cuellos de botella son mucho más raros. Además, la lógica necesaria en una red de este tipo es relativamente simple. Pero como todas las redes el anillo tiene sus inconvenientes. El principio de ellos es que existe un único canal que une a todos los componentes del anillo. Si falla el canal de un nudo falla la red, en consecuencia, algunos sistema incorporan canales de reserva. En otros casos, se proporciona la posibilidad de evitar el enlace defectuoso de forma que la red no quede fuera de servicio. Otra solución puede ser utilizar un doble anillo.

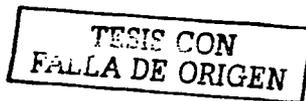
I. ARQUITECTURA DE MALLA

La arquitectura en malla, figura 2.6, se ha venido aplicando en los últimos años. Su principal atractivo es su relativa inmunidad a problemas de fallas y cuellos de botellas, es posible en caminar el tráfico, evitando componentes que fallan ó nudos ocupados. Aunque esta solución es costosa algunos usuarios prefieren la gran confiabilidad de la topología en malla frente a las otras (especialmente para las redes con pocos nudos).

2.3.4 ESTACIÓN DE MONITOREO CENTRAL (CMS)

Se trata de la localización de la computadora organizadora o maestra, donde varias estaciones de trabajo son configuradas en el CMS y emplear un programa de interfase Hombre Máquina (MMI) para monitorear varios tipos de datos necesarios para la operación.

La CMS es la Unidad Maestra del Sistema SCADA. Ya que es la encargada de recopilar información reunida por medio de las estaciones remotas y de la generación de acciones necesarias para algún evento detectado. La CMS podrá tener una simple computadora de configuración o puede estar en red a una estación de trabajo para compartir la información desde el sistema SCADA.





Un programa de interfase Hombre Máquina (MMI, por sus iniciales en inglés) será ejecutado en el computador CMS: Un diagrama mímico de toda la estación o proceso puede ser desplegado en una pantalla para facilitar la identificación real del sistema. Cada punto de Entradas/Salidas, de las unidades remotas pueden ser desplegadas con sus correspondientes representaciones gráficas y la presentación de E/S de lectura. Las lecturas de flujo pueden ser desplegadas sobre una representación gráfica de un medidor de flujo.

Los parámetros de estructuración tales como disparos de válvulas límites, etc. Son introducidas en este programa y retransmitidas a las correspondientes unidades remotas para actualización de sus parámetros de operación.

El programa MMI puede también crear una ventana separada para alarmas. Las ventanas de alarma pueden desplegar el nombre de la identificación de la alarma, descripción, valor del punto de disparo, tiempo, flecha y otra información. Todas las alarmas serán salvadas en un archivo separado para ser revisado más tarde.

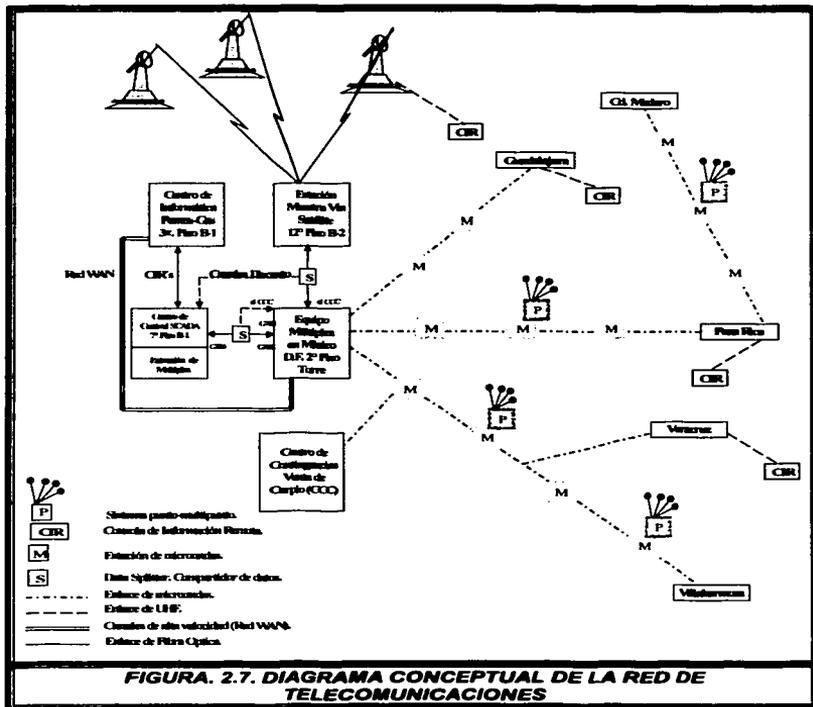
El SCADA cuenta con un Centro de Control Principal (CCP) en la Ciudad de México y un Centro de Control de Contingencia (CCC) en Venta de Carpio, Estado de México.

El SCADA que aplica PGPB para sus instalaciones consta de una Unidad Terminal Maestra (MTU) y varias Unidades Terminales Remotas (RTU). Además de contar con la ventaja de usar una variedad de formas de comunicación. Haciéndolo útil para la adquisición de información de lugares remotos o de otros sistemas digitales. El SCADA es capaz de comunicarse a través de líneas telefónicas, radios UHF/VHF, sistemas de microondas, sistemas satelitales y sistemas de alta velocidad como fibra óptica.

El CCC es una replica del CCP, excepto que no tendrá componentes redundantes.

El lazo de comunicación primario del CCP con los equipos de campo, será a través de líneas dedicadas, enlaces vía satélite, transmisión por radio y la red telefónica conmutada.

TESIS CON
FOLIO DE ORIGEN





CAPÍTULO 3

**MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE
BOMBEO Y ESTACIONES DE
TELECOMUNICACIÓN**

34-A

TESIS CON
LLA DE ORIGEN



MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE BOMBEO Y ESTACIONES DE TELECOMUNICACIÓN

A continuación se mencionan de forma breve recomendaciones encaminadas a prolongar el tiempo de funcionamiento de los distintos elementos que conforman tanto el sistema de bombeo como el sistema de telecomunicaciones.

3.1 MANTENIMIENTO COMO MEDIO PARA INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD

Uno de los aspectos fundamentales para aumentar la confiabilidad de un equipo de proceso consiste en el mantenimiento preventivo que se proporcione a los elementos que conforman a éste, el tipo de mantenimiento y la periodicidad depende tanto de las horas de funcionamiento como de las condiciones ambientales a los que esté sometido durante la operación.

El mantenimiento está estrechamente relacionado con un funcionamiento efectivo de un producto determinado, el objetivo es brindar al producto la posibilidad de proporcionar un desempeño satisfactorio, tomando como base los requerimientos establecidos por el sistema o proceso.

Es posible determinar dos tipos de mantenimiento:

1. El mantenimiento de conservación, realizado cuando existen fenómenos de desgaste o funcionamiento anormal en los componentes que conforman el equipo, a éste tipo de mantenimiento se le denomina **preventivo**.
2. El mantenimiento de restauración es aquel que está ligado con la probabilidad de falla de alguno de los elementos del equipo, a éste tipo de mantenimiento se le denomina **correctivo**.

Un aspecto fundamental con lo referente al mantenimiento es el tiempo, la falla tiene que ser corregida en un periodo de tiempo mínimo ya que el funcionamiento del equipo es prioritario para realizar las tareas asignadas. Para lograr lo anterior es necesario seguir diferentes aspectos como son:

- Minimizar tareas de mantenimiento
- Técnicas de reconocimiento rápido de la falla
- Contemplar la accesibilidad



- Minimizar los tipos de herramientas y equipos de pruebas
- Proporcionar seguridad para el personal de mantenimiento
- Prever las óptimas condiciones ambientales y de aspecto físico para la realización de trabajos de mantenimiento

En la actualidad las diferentes empresas dedicadas a la producción de productos químicos, transporte de hidrocarburos por ductos, prestación de servicios de importancia vital (hospitales, instituciones de servicio público, aeropuertos y centros de transporte y comunicación), etc. han venido estableciendo programas de mantenimiento preventivo, así como una comprobación periódica de todos los aparatos eléctricos; lo cual se logra implementando programas de paros programados para la realización de un mantenimiento preventivo. Esto para aumentar la confiabilidad de los equipos que conforman las instalaciones del proceso, ya que muchas plantas no pueden tolerar una falla en sus equipos y/o aparatos eléctricos puesto que muchos de los procesos de producción exigen un proceso continuo.

3.2 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE BOMBEO

La frecuencia de mantenimiento es programado en base a las horas de funcionamiento del equipo, por año y se divide en tres categorías:

- A. Mantenimiento operacional
- B. Mantenimiento intermedio
- C. Mantenimiento mayor

A continuación se definirán los diferentes tipos de mantenimiento considerados para éste equipo.

3.2.1 MANTENIMIENTO OPERACIONAL

El mantenimiento operacional consiste en una inspección visual alrededor del conjunto turbo-bomba para cerciorarse que el equipo funcione correctamente y para detectar las primeras señales de deterioro. En instalaciones remotas o aquellas que funcionan continuamente sin personal, no es necesario efectuar diariamente los procedimientos de mantenimiento operacional. Se recomienda que se realicen a los intervalos que se considere más práctico. No es necesario parar el equipo para efectuar el mantenimiento operacional.

3.2.2 MANTENIMIENTO INTERMEDIO

En el mantenimiento intermedio se pone énfasis en la verificación de los sistemas de protección y en la limpieza de la bomba de la turbina, y se asegura el rendimiento óptimo del equipo. El mantenimiento intermedio requiere que el equipo permanezca parado durante la mayor parte de la inspección. Se



recomienda que este mantenimiento se lleve a cabo a los seis meses de funcionamiento sin tomar en cuenta el número de horas de funcionamiento. Los intervalos de mantenimiento para el funcionamiento posterior deben establecerse en base a la experiencia obtenida durante el primer año, teniendo en cuenta la posibilidad de que las condiciones de funcionamiento cambiantes puedan dictaminar otros intervalos más prácticos.

3.2.3 MANTENIMIENTO MAYOR

El mantenimiento mayor se desmontan ciertos componentes de los subsistemas para su inspección, y se lleva a cabo la inspección visual de los componentes a los largo de la ruta de los gases de la turbina por medio de endoscopios. El mantenimiento mayor debe efectuarse al término de cada 8000 horas de funcionamiento. Sin embargo, las condiciones de funcionamiento establecerán el intervalo más práctico para la inspección y mantenimiento.

Aquellos elementos que han fallado o que han tenido fallas durante el funcionamiento y todas las discrepancias que se han presentado durante las inspecciones anteriores, deben ser verificados una vez más aun cuando no se encuentren en la lista de tareas del mantenimiento a efectuarse. El mantenimiento de registro detallado es importante y útil como medio para detectar un defecto en un componente, señalar fallas en un componente en particular y detectar una falla antes de llegar a la etapa donde se vea afectado el rendimiento. Para el mantenimiento mayor es necesario parar el equipo.

Para realizar el mantenimiento de cualquier equipo de proceso, es recomendable tener una lista previa de los elementos a ser revisados, para esto es conveniente realizar una lista la cual deberá contener las tareas de mantenimiento a ser realizadas, esto con base en los elementos que pueden causar que el equipo pare "elementos críticos". A continuación se muestra una tabla con las tareas a realizar.

TABLA. 3.1 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO EN LA ESTACIÓN

EQUIPO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DENTRO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO			DESCRIPCIÓN.
	INTERVALOS			
	OPERA CIONAL	INTER MEDIO	MAYOR	
CONJUNTO IMPULSADO POR LA TURBINA	X	X	X	Revisar toda la instalación y notar si hay condiciones anormales de funcionamiento.
	X	X	X	Verificar si los cables y conductos están agrietados, desgastados o descoloridos; verificar si hay fugas de aire o aceite, ruidos y vibraciones anormales.
	X	X	X	Revisar si hay herrajes sueltos.



	X	X	X	Registrar el rendimiento de los sistemas de la turbina
	X	X	X	Revisar todas las tuberías y verificar que estén bien afianzados todos los soportes, dispositivos de fijación y herrajes de las tuberías y ductos.
	X	X	X	Mantener las normas de limpieza más altas.
	X	X	X	Inspeccionar todos los manómetros para verificar si tienen fugas.
ANTES DE LA PARADA		X	X	Registrar el rendimiento de la turbina y del sistema, comprobar el resultado con análisis anteriores.
		X	X	Realizar análisis de vibración
DESPUÉS DE LA PARADA		X	X	Realizar inspección con endoscopio
		X	X	Revisar todo el exterior de la turbomaquinaria
TURBINA	X	X	X	Revisar si los ductos de entrada de aire y de escape de la turbina, la malla de entrada de la turbina así como las piezas de interconexión están dañadas o contaminadas.
	X	X	X	Revisar si están obstruidos o contaminados los filtros de la entrada de aire.
		X	X	Revisar el compresor de la turbina según se requiera.
		X	X	Inspeccionar los mazos de cables de los termopares para verificar su condición general o si han sufrido roturas.
		X	X	Inspeccionar la condición general de los mecanismos de álabes variables del compresor de la turbina.
		X	X	Durante el arranque, registrar el rendimiento de la turbina y del sistema, y llevar a cabo la verificación del Pcd sin carga.
		X	X	Limpiar e inspeccionar la toma magnética de velocidad.
		X	X	Inspeccionar y limpiar la válvula de purga de la cámara de combustión de la turbina.
			X	Desarmar y revisar los ejes y estrías de interconexión entre la turbina y el equipo impulsado.
			X	Revisar las condiciones del sistema de protección contra vibraciones) sondas, monitores y transductores de velocidad y acelerómetros).
EQUIPO IMPULSADO		X	X	Inspeccionar todas las conexiones externas por si hay fugas y reparar según se requiera para mantener el funcionamiento adecuado.
SISTEMA DE ARRANQUE	X	X	X	Revisar el suministro de aceite en el lubricador
		X	X	Limpiar las trampas en las tuberías de suministro al sistema de arranque, si corresponde.
			X	Revisar el sistema de arranque, cables y controles asociados.

ANÁLISIS CON
PUNTO DE ORIGEN



SISTEMA DE COMBUSTIBLE	X	X	X	Verificar la presión de suministro de combustible.
		X	X	Limpiar las trampas en las tuberías de suministro del sistema de combustible.
		X	X	Desmonte e inspeccione los inyectores de combustible.
		X	X	Inspeccione los componentes del sistema de combustible y verifique su funcionamiento correcto.
		X	X	Desmontar e inspeccionar el conjunto del quemador y la bujía de encendido.
SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE	X	X	X	Revisar el suministro de aceite en el tanque de aceite.
	X	X	X	Revisar el funcionamiento de los filtros de aceite. Reemplazar los elementos filtrantes según se requiera.
	X	X	X	Revisar todos los manómetros en el (los) panel (es) de indicadores.
	X	X	X	Revisar la mirilla de flujo del aceite lubricante para verificar que el aceite fluye.
		X	X	Verificar si hay degradación del aceite de lubricación. Tomar una muestra de aceite cada seis meses para ser analizada en el laboratorio.
CONSOLA DE CONTROL	X	X	X	Revisar las conexiones eléctricas de la consola de control para verificar que estén seguras.
		X	X	Probar y calibrar los sistemas de alarmas, fallas y de parada.
			X	Revisar las cajas de empalme y verificar la condición general del equipo y si hay señales de condensación.
			X	Efectuar una revisión del sistema de fallas, de protección y cerciorarse que hay continuidad (y pérdida de señal) en los puntos de ajuste seleccionados.
BATERIAS	X	X	X	Verifique el nivel de electrolito de las baterías que se utiliza en la fuente de alimentación eléctrica de control CD.
			X	Efectuar la prueba de carga de los sistemas de baterías de energía de control y auxiliar. Verificar el funcionamiento correcto de las baterías y cargadores.

El mantenimiento no es establecido solo con los elementos a los cuales se les realiza la inspección, es necesario determinar períodos de revisión, esto en base a las horas de operación y las condiciones ambientales.



3.2 MANTENIMIENTO RECOMENDADO PARA LA TURBINA *RUSTON*

Es importante señalar que es el distribuidor quien establece los tiempos y los procedimientos necesarios para dar mantenimiento a un equipo como primera instancia cuando el equipo es adquirido por el cliente, conforme transcurra el tiempo de operación es el usuario quien establece la frecuencia con la cual se proporciona el mantenimiento al equipo. A continuación se presentan las revisiones recomendadas por el distribuidor de la turbina *Ruston*.

• **Mantenimiento diario.**

1. Revisar el nivel de aceite de lubricación en los componentes y partes superiores.
2. Revisar la presión de suministro del gas combustible de la turbina
3. Revisar por medio de la mirilla, que las condiciones de la flama sean las normales.
4. Revisar que el motor y las instalaciones para suministro de combustible y aceite no presenten fugas.
5. Aun cuando la máquina esté operando, se debe revisar que el indicador diferencial del filtro de aceite esté en verde. Si el disco de muestra es completamente rojo, el elemento del filtro deberá de ser reemplazado en un tiempo razonable.
6. Revisar que la energía de salida del cargador de la batería sea satisfactorio.
7. Revisar las líneas de suministro de gas al contenedor de ignición.
8. Revisar que la lámpara indicadora esté funcionando.
9. Registrar las lecturas de todas las mediciones, como una guía del funcionamiento del equipo, las lecturas irregulares deberán de ser investigadas.
10. Revisar que todas las válvulas funcionen correctamente y que no tenga fugas.
11. Quitar cada cámara de combustión, plato y revisar embudo, el piloto encendido, la extensión de tubería, la hoja del estator y los cuadrantes por distorsión, agrietamiento y desgaste. También se revisará que no esté obstruido el embudo, el piloto de encendido y el tubo de extensión.
12. Llevar a cabo la revisión del incremento de la temperatura en el monitor.
13. Revisar que el motor de la bomba este bien acoplado y que los tornillos de fijación estén bien sujetos, Por seguridad.

• **Revisión Periódica**

1. Después de las primeras 250 horas de funcionamiento, revisar las señales de corrosión del quemador. Si la señal del quemador marca limpio entonces no es necesario una revisión del mismo ya que las condiciones de combustión son las satisfactorias.



2. Revisar que el equipo para combustible, aceite y aire no tenga fugas.

• **Revisión anual**

a) Cada 5,000 horas

Revisar la vibración del motor y la válvula de combustible.

b) Cada 10, 000 horas

Llevar a cabo una calibración completa del regulador.

c) Cada 15,000 horas

Llevar a cabo una revisión completa del generador de gas.

d) Cada 30,000 horas

- Llevar a cabo una revisión completa de la potencia de la turbina.
- Llevar a cabo una inspección completa de la caja de velocidades principal y auxiliar de la turbina.

3.3 MANTENIMIENTO RECOMENDADO PARA LA BOMBA CENTRÍFUGA BAYRON JAKSON

a) Observación diaria

- Se verificará cualquier cambio de sonido, verificándolo de inmediato.
- Las temperaturas de los cojinetes deberán observarse cada hora. Ya que un cambio repentino en la temperatura es señal de problemas.
- Revisar el funcionamiento de las chumaceras.
- Revisar la operación de los estoperos. Se debe revisar el escurrimiento de los estoperos para ver si es suficiente para proporcional enfriamiento y lubricación a la empaadura.
- Revisar los instrumentos y las lecturas de los manómetros e indicadores de flujo.
- Revisar que la presión y el flujo a al succión y a la descarga.

b) Inspección semestral

- Revisar el prensa estopas del estopero para ver que tenga movimiento libre.
- Limpiar y aceitar los pernos y tuercas del prensaestopas.
- Revisar la empaadura para determinar si necesita reponerse.
- Revisar el alineamiento de la bomba y del impulsor deberá verificarse y corregirse si es necesario.
- Los cojines lubricados con aceite deberán vaciarse, escurrirse y cambiarlo el aceite.
- Los cojinetes lubricados con grasa deberán inspeccionarse para ver si se proporcionó la cantidad correcta de grasa.



c) Inspección anual

- Desmontar los cojinetes para limpiar y examinar si tienen defectos.
- Las cajas de los cojinetes deben limpiarse cuidadosamente.
- Los baleros antifricción deberán examinarse para ver si tienen desgaste, además de proporcionar la limpieza, inmediatamente después de la inspección se deberá cubrir con una capa de aceite o grasa para evitar que se contamine con mugre o humedad.
- Extraer las empaquetaduras y la flechas para revisar si hay desgaste.
- Las mitades del acoplamiento deberán desconectarse y verificar el alineamiento.
- Cualquier movimiento vertical superior a 150% del juego en los extremos permitidos por los cojinetes también deberá verificarse, si tiene más del recomendado por el fabricante se deberá determinar la causa y corregir.
- Los conductos, tubería de agua de sello, tubería de agua de enfriamiento y otras tuberías deberán revisarse y soplarse.
- Revisar que el impulsor y la chumacera, se encuentre en buenas condiciones.

3.4 MANTENIMIENTO REQUERIDO PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE LA TURBO-BOMBA

La instrumentación generalmente no requiere de mantenimiento, lo que se práctica de forma periódica es una calibración que permita verificar el "set-point" ó punto de ajuste. Si el instrumento requiere de mantenimiento, se proporcionará solo si se cuenta con un taller que cuente con la herramienta necesaria para realizar tal actividad, en caso contrario el instrumento será enviado con el fabricante para su reparación.

Un instrumento no calibrado constituye un peligro potencial, y por tanto no puede ser un dispositivo de medición y control confiable, ya que la calibración es la parte esencial de la medición y el control del proceso.

La calibración es la única garantía de que los instrumentos industriales tienen la exactitud y el rango requerido para mantener en operación el proceso. Los instrumentos calibrados permiten que un fabricante o procesador realice sus actividades con las especificaciones y los requerimiento establecidos por el cliente.

La calibración se debe realizar de un modo periódico y requiere de un estándar para comprobar valores. La calibración es la comprobación de los valores específicos de entradas y salidas de un instrumento, con un estándar de referencia.

La calibración de los instrumentos por lo general indica si su funcionamiento puede satisfacer o no las especificaciones de precisión y rango que se establecen



en la filosofía de operación. Cuando dicho instrumento se ha diseñado para llenar ciertas especificaciones de precisión y rango pero no lo hace durante la calibración, se debe reparar y ajustar, estas reparaciones y ajustes las realizan operadores o mecánicos instrumentistas. La recalibración se lleva a cabo después de que un instrumento se ha ajustado, reparado, modificado o utilizado en forma incorrecta.

Con relación a los estándares existen dos tipos dependiendo de la precisión requerida por el proceso "primario y secundario".

- El estándar primario es una unidad de valor absoluto extremadamente precisa, certificada por el *National Bureau of Standards (NBS)*.
- El estimado de calibración para estándares secundarios depende de la exactitud y del tipo de estándar que se mantiene. El periodo de calibración del instrumento, depende de la clase de servicio en que se empleen y del tipo de construcción del instrumento.

Todos los indicadores de presión y los indicadores de temperatura del aceite de lubricación deberán ser calibrados en base al programa de mantenimiento normal de operación, establecidos para estos instrumentos.

Los dos tacómetros y el indicador de temperatura del escape de gas serán calibrados durante la operación. Después de haber sido instalados su revisión será de forma periódica.

3.5 MANTENIMIENTO RECOMENDADO PARA ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIÓN

Para este tipo de aparatos electrónicos existe una gran variedad de recomendaciones para su mantenimiento, por tal motivo se hace necesario resumir en tres puntos, la revisión y atención que se debe proporcionar, para disminuir al mínimo las fallas en el equipo.

1. La instalación deberá proporcionar la debida protección, a los aparatos, de los siguientes factores: vibración, polvo con propiedades conductivas, humos o gases y humedad excesiva. Los aparatos trabajarán con menos necesidades de mantenimiento si no se les sujeta a estas condiciones nocivas.
2. La limpieza acompañada de revisiones periódicas, se realizan con la finalidad de localizar defectos mecánicos como, conexiones flojas, aislamiento roto o deteriorado. El periodo de mantenimiento se verá afectado dependiendo de las condiciones en las que este funcionando, por ejemplo: en lugares en donde el aparato esta sometido a las adherencias de cantidades excesivas de materias extrañas y a vibraciones, necesitará revisiones más frecuentes.



Un período de revisión mensual es la recomendada para este tipo de aparatos, esto puede variar dependiendo de la experiencia y propuesta del personal de mantenimiento.

3. Se recomienda prever la preparación para contrarrestar el defecto en el momento en que comienza su desarrollo, esto con base a la información que se obtenga del resultado de un análisis de confiabilidad el cual nos proporciona los elementos que fallan con mayor frecuencia.



CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

44-A

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

En los capítulos anteriores se describieron los elementos que conforman un sistema SCADA así como la Estación de Bombeo Zapoapita, con la finalidad de establecer los elementos a los cuales se realizará el análisis de confiabilidad.

Con base en lo anterior, es necesario abordar el tema de confiabilidad, con la finalidad de conocer su definición y la aplicación del concepto al entorno industrial.

De forma general se mencionarán los métodos más utilizados para el cálculo de la confiabilidad, estableciendo el método con el cual se trabajará para realizar el cálculo de dicho parámetro al sistema de bombeo el cual está incorporado al sistema SCADA, una vez obtenidos los resultados del análisis se realizarán las recomendaciones con la finalidad de incrementar la confiabilidad del sistema, mismas que están contenidas en el capítulo 5.

4.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA CONFIABILIDAD

El significado tecnológico "Confiabilidad" surge justo antes de la Primera Guerra Mundial. Fue usado conjuntamente con la palabra Seguridad Operacional, esto fue utilizado para trabajos realizados con motores de aeroplanos. La confiabilidad fue establecida como el número de accidentes por hora de vuelo.

A principios de los años 1930, Walter Shewhaert, Harold F. Dodge y Harry G. Romig, fundamentaron las bases teóricas para utilizar métodos estadísticos, en calidad de control de productos industriales, tal método sería utilizado en gran medida hasta principios de la Segunda Guerra Mundial. Estos métodos fueron utilizados en productos que estaban conformados por un gran número de elementos.

Durante la Segunda Guerra Mundial un grupo de alemanes reportó que el primer proyectil V-1, desarrollados por Wernher Von Braun, fue un fracaso lo cual da lugar a establecer una serie de pruebas y métodos matemáticos encaminados a proporcionar la máxima calidad de los componentes. Se realizaron pruebas que proporcionarían la máxima calidad de los componentes. En el canal Inglés, el matemático Robert Lusser, opinó en una entrevista que su tarea había sido analizar el sistema de misiles y supervisar la elaboración de las reglas de probabilidad para la serie de componentes de los proyectiles, sentando las bases para el desarrollo de métodos encaminados a evaluar la confiabilidad.



En los Estados Unidos las primeras pruebas fueron hechas para el mejoramiento de la calidad de los componentes de un sistema, compensando así una baja confiabilidad en el sistema. Con la Automatización la necesidad de volverse constantemente más precisos, para un completo control y un sistema seguro, se volvió algo prioritario.

Hacia finales de los años 1950 y comienzos de los años 1960, Estados Unidos se interesó y concentró su atención en misiles intercontinentales y la carrera espacial, conjuntando el programa espacial Mercurio y Géminis. Siendo la primera nación en poner un hombre en la Luna, estos acontecimientos fueron muy importantes para el desarrollo de la confiabilidad. Una Asociación de Ingenieros se encargó de trabajar con la confiabilidad y pronto se establecieron las primeras interrogantes. El IEEE-Tratado en confiabilidad, vino a finales de 1963 además de diversas publicaciones.

En los Estados Unidos se conformó una gran comisión de investigación dirigida por Norman Rasmussen, que inició el análisis del problema, enfocada a plantas nucleares. El multimillonario proyecto resulto en el llamado reporte Rasmussen WASH-1400. A pesar de las características de este reporte representa el primer análisis serio de los problemas de seguridad que se presentan en una planta nuclear. Trabajos similares se realizaron en otros lugares fuera de los Estados Unidos, como Europa y Asia.

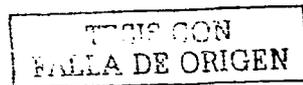
Con base en lo anterior observamos que la confiabilidad tiene sus orígenes en la industria del primer mundo, la cual mejora constantemente sus tecnologías de producción permitiendo una operación confiable de cualquiera de los elementos que integran un proceso, permitiendo con esto mejorar y prolongar el servicio "tiempo de operación".

4.1.1 DEFINICIÓN DE CONFIABILIDAD

Un producto confiable es aquel que desempeñará la función para la cual fue diseñado, durante un periodo de tiempo establecido. Por tanto un producto que "funciona" durante un periodo prolongado de tiempo es un producto confiable.

Una definición más precisa es la siguiente: *La confiabilidad es la probabilidad de que un producto determinado realice aquellas funciones para las cuales fue creado de una manera satisfactoria durante un lapso vital determinado y bajo ciertas condiciones ambientales previamente definidas.* Con base en la definición anterior, hay cuatro factores relacionados con la confiabilidad: (1) *Un valor numérico,* (2) *Una función específica,* (3) *Un lapso vital y* (4) *Condiciones ambientales.*

El valor numérico es la probabilidad de que el producto no falle durante un determinado tiempo. Por ejemplo: el valor 0.93 indicaría la probabilidad de que 93





de 100 productos funcionen por un lapso previamente establecido y de que siete productos fallen antes de ese mismo lapso. Para representar la tasa de falla por unidad de producto se utilizan distribuciones de probabilidad.

El segundo factor está relacionado con la función que desempeñará el producto. Los productos se diseñan para una aplicación determinada y de ellos se espera que sean capaces de realizarla. Por ejemplo, un montacargas eléctrico se espera que levante cierta carga especificada en su diseño; no es de esperar que pueda levantar una carga que exceda lo especificado en el diseño.

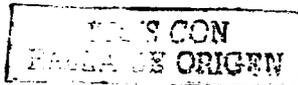
El tercer factor que se menciona en la definición de la Confiabilidad se refiere a la vida del producto, es decir, cuánto tiempo se espera que dure éste, por ejemplo, la vida de los neumáticos de los automóviles se especifica mediante diversos valores, como sería el de 36 meses ó 70,000 Km., dependiendo del tipo de armazón de los mismos. La vida de un producto se especifica en términos de uso, tiempo o ambos.

El cuarto factor de la definición tiene que ver con las condiciones ambientales. No se puede esperar que un producto destinado a servir protegido del las condiciones ambientales, como sería el caso de un compresor, funcione adecuadamente expuesto al sol, aire y lluvia. Ya que estos factores afectarían su funcionamiento y el tiempo de vida útil.

Mientras que la importancia de la confiabilidad está siendo reconocida en una variedad de productos "industria-cliente" se ha puesto énfasis sobre las medidas cuantitativas que ayudan a hacer de la confiabilidad un número que puede expresarse muy específicamente. Estas mediciones hacen posible determinar acciones específicas para implementar el mantenimiento preventivo, esto para prolongar el tiempo de operación del equipo.

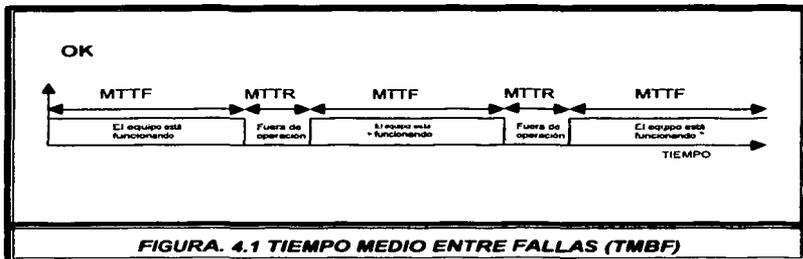
La definición anterior de confiabilidad es básica, pero ésta es solo una de las formas de especificar confiabilidad o de expresar el concepto. En la siguiente tabla se lista la confiabilidad, "representación de méritos" en uso común. Es evidente que la confiabilidad puede ser especificada en términos de: (1) probabilidad de sucesos para una misión o usos dados; (2) tiempo medio entre fallas; (3) ciclos medios de uso entre fallas y (4) disponibilidad del equipo o producto.

CONFIABILIDAD REPRESENTACIÓN DE MÉRITOS	
Tiempo medio entre fallas (TMBF)	Tiempo medio entre fallas de un producto reparable ó tiempo medio de primera falla de un producto reparable
Tiempo medio de primera falla (MTTF)	Tiempo medio para fallas. Este dato es proporcionado por los fabricantes y constituye el tiempo hasta la primera falla.
Tiempo medio entre mantenimiento (MTTR)	Tiempo medio entre una acción de mantenimiento correctivo.
Tasa de falla λ (t)	Número de fallas por unidad de tiempo.
Disponibilidad A (t)	Tiempo de operación expresado como un porcentaje del tiempo de operación y tiempo de reparación.





En la figura 4.1, se presenta la representación del TMBF en un periodo de tiempo.



4.2 ESTADÍSTICA PARA EL ESTUDIOS DE CONFIABILIDAD

Los clientes han dado muestra de que la compra de un artículo nuevo, especialmente si se trata de un producto complejo, traerá como consecuencia muchas reparaciones. Pero en general, después de este periodo, el artículo proporciona un servicio relativamente continuo, sin necesidad de reparación alguna, durante un lapso considerable. Posteriormente, al pasar los años, la frecuencia de las reparaciones se incrementa gradualmente al punto en que se hace intolerable. La figura 4.2, nos muestra la tendencia de dicha frecuencia (o proporción de falla) en forma gráfica, dada la forma de la curva se le conoce como curva de la "bañera". Se observa que es similar a una curva representativa de la mortandad humana, con un alto índice de mortalidad infantil y muerte por edad avanzada más allá de t_1 . Sin embargo, dado que existe todo tipo de productos, la curva de proporción de falla no representa necesariamente todos ellos. Pero casi todos los productos muestran un comportamiento similar al ilustrado en dicha figura, como un periodo de descompostura en la etapa inicial de operación continua y desgaste gradual al final.

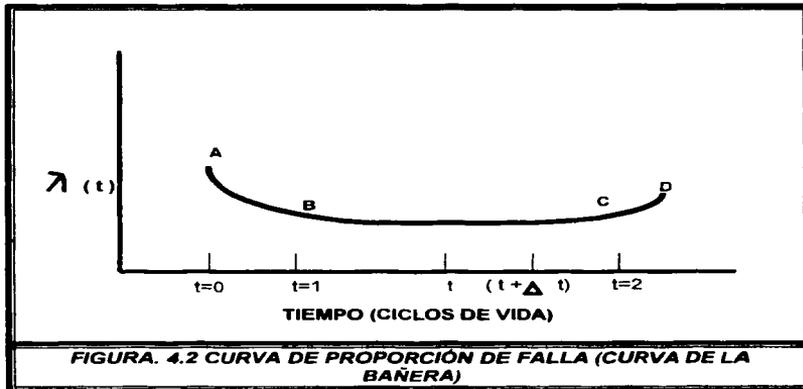
Estos tres periodos difieren en la frecuencia de fallas y en el patrón de causas de las fallas:

1. Periodo de mortandad infantil (A-B). Éste se caracteriza por tasas altas de fallas que ocurren al comenzar a usar el producto (mitad inferior izquierda de la figura 4.2). Es común que estas fallas sean el resultado de equivocaciones en el diseño o en la manufactura, el mal uso o aplicaciones erróneas. Por lo general una vez que las fallas se corrigen, no vuelven a



ocurrir. Las unidades con problemas en su diseño o construcción continúan fallando, pero la falla tiene lugar a la hora de la prueba y no en el servicio.

2. Periodo de tasa de fallas constantes (B-C). En este caso las fallas son el resultado de limitaciones inherentes al diseño, cambios ambientales y accidentes causados por el uso o el mantenimiento. Los accidentes se pueden disminuir con un buen control sobre los procedimientos de operación y mantenimiento
3. Periodo de desgaste (C-D). Estas fallas se deben al desgaste de los elementos que constituyen el equipo; por ejemplo las partes metálicas rotatorias sufren desgaste provocando inestabilidad en la operación del equipo, el aislante del cableado no cumple su función. Para reducir las tasas de fallas es necesario el reemplazo preventivo de estos componentes, antes de que se tenga una falla que afecte al proceso.



Las distribuciones de probabilidad son variadas, esto dependiendo de la aplicación a que se destinen, algunas de las utilizadas con mayor frecuencia son: la exponencial, la normal y la de Weibull. Las cuales se abordarán a continuación.



4.2.1 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Se hace una distinción entre una muestra y una población. Una muestra es un número limitado de elementos de una fuente más grande. Una población es una fuente más grande de elementos a partir de la cual se toma la muestra. Una función de distribución de probabilidad es una fórmula matemática que relaciona los valores de la característica con su probabilidad de ocurrencia en la población, la colección de estas probabilidades se llama distribución de probabilidad.

Las distribuciones de probabilidad son de dos tipos:

1. **Continuas** (para datos de "variables"). Cuando la característica que se mide puede tomar cualquier valor (sujeto a la exactitud del proceso de medición) su distribución de probabilidad se llama distribución de probabilidad continua. La experiencia ha mostrado que la mayoría de las características continuas siguen una de varias distribuciones de probabilidad comunes, es decir, la distribución normal, la distribución exponencial y la distribución de Weibull. Estas distribuciones concentran las probabilidades asociadas con los valores reales de las características. Otras distribuciones continuas (por ejemplo, t, F y la ji cuadrada) son importantes en el análisis de datos pero no son útiles para predecir de manera directa la probabilidad de ocurrencia de los valores reales.
2. **Discretas** (para datos de "atributos"). Cuando las características que se cuentan puede tomar sólo ciertos valores (por ejemplo, enteros 0, 1, 2, 3, etc.), su distribución de probabilidad se llama distribución de probabilidad discreta. Por ejemplo, la distribución del número de defectos "r" en una muestra de cinco artículos es una distribución de probabilidad discreta porque "r" sólo puede tomar uno de los valores 0, 1, 2, 3, 4 o 5. Las distribuciones discretas más comunes son la de Poisson y la binomial

Dado que los métodos de distribución no son recomendados para la aplicación a cualquier tipo de estudio estadístico, es necesario elegir el método de distribución adecuado para el tipo de estudio que se realizará.

4.2.1.1 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD NORMAL

Muchas funciones características en ingeniería se pueden aproximar por una función de distribución normal:

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$



Donde:

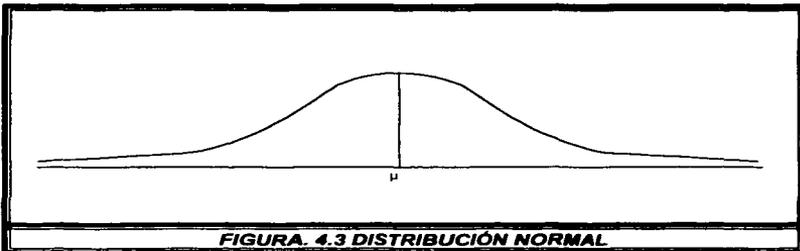
$$e = 2.718$$

$$\pi = 3.141$$

μ = media de la población

σ = desviación estándar de la población

Los problemas se resuelven con una tabla, pero la distribución requiere sólo el promedio μ y la desviación estándar σ de la población. La curva para la distribución de probabilidad normal, figura 4.3, se relaciona con la distribución de frecuencias y su histograma. Conforme la muestra crece el ancho de la celda disminuye y el histograma se aproxima a una curva suave. Si se midiera toda la población y ésta tuviera una distribución normal, el resultado sería la curva que representa comúnmente una distribución normal. Entonces la forma del histograma de los datos da una muestra de alguna indicación de la distribución de probabilidad para la población. Si el histograma parece tener la forma de una campana ésta es una base para suponer que la población sigue una distribución de probabilidad normal.



Como regla general se necesitan al menos 50 datos para que el histograma revele el patrón básico de variación. Los histogramas de muy pocas mediciones pueden llevar a conclusiones incorrectas, porque la forma del histograma puede estar incompleta sin que el observador se de cuenta. Este análisis se basa en la suposición de normalidad.

Los histogramas tienen limitaciones. Como las muestras se toman al azar en lugar del orden de fabricación, no se despliegan las tendencias del proceso de un período a otro durante la manufactura. De esta manera la aparente tendencia central de un histograma puede ser ilusoria el proceso puede haber cambiado en forma sustancial. De manera parecida el histograma no despliega el



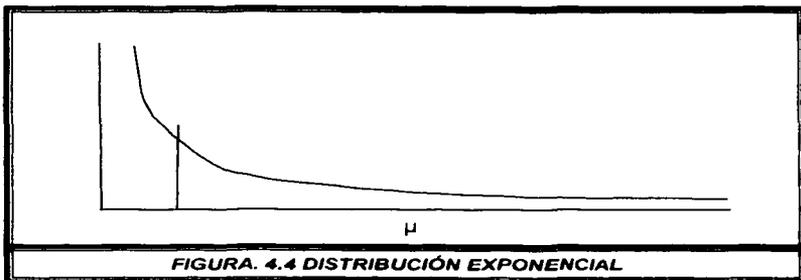
hecho de si el proceso del procesador estaba operando lo mejor posible, es decir, si se encontraba en un estado de control estadístico.

4.2.1.2 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXPONENCIAL.

La función de distribución exponencial es:

$$Y = \frac{1}{\mu} e^{-x/\mu}$$

La figura 4.4, muestra la forma de una curva de distribución exponencial. Se observa que la distribución normal y exponencial tiene formas muy diferentes. Un examen de las tablas de áreas indica que 50% de una población que sigue una distribución normal se encuentra a la derecha del valor medio y 50% a la izquierda. En una población exponencial, 36.8% se encuentra a la derecha de la media y 63.2% a la izquierda. Esto contradice la idea intuitiva de que la media siempre está asociada al 50% de probabilidad. La exponencial describe el patrón de carga de algunos miembros estructurales porque las cargas pequeñas son más numerosas que las cargas más grandes. La exponencial también es útil para describir la distribución de los tiempos entre descompostura de equipos complejos. Las predicciones basadas en una población que sigue una distribución exponencial requieren solo una estimación de la medida poblacional



4.2.1.3 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE WEIBULL

La distribución de Weibull, figura 4.5, es una familia de distribuciones, cuya función general es:

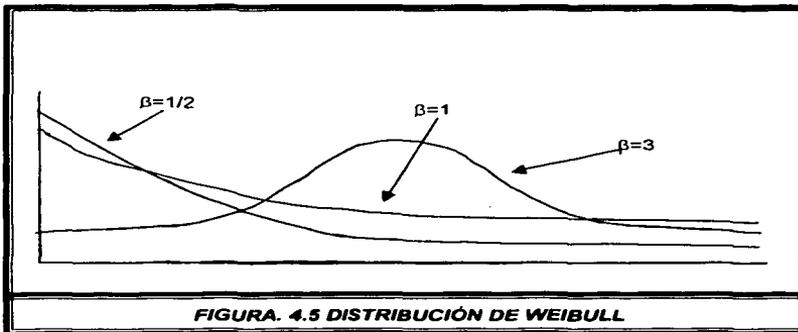
$$Y = \alpha\beta(x-\gamma)^{\beta-1} e^{-\alpha(x-\gamma)^\beta}$$



Donde:

$\alpha = \eta$ = parámetro
 β = parámetro de forma
 γ = parámetro de localización
 $X = t$ = tiempo en el cual se realiza la evaluación
 Y = confiabilidad la cual es función del tiempo "R (t)"

La curva de función varía mucho dependiendo de los valores numéricos de los parámetros. El parámetro de forma β es el más importante, ya que refleja el patrón de la curva y la ubicación del equipo con respecto a la curva de la bañera. Cuando β es igual a 1.0 la función de Weibull se reduce a la función exponencial, y cuando β es alrededor de 3.5 y $\eta=1$ y $\gamma=0$, la distribución de Weibull se aproxima muy de cerca a la distribución normal. En la práctica, β varía más o menos de 1/3 a 5. El parámetro de escala α se relaciona con lo puntiagudo de la curva, es decir, conforme η cambia la curva es más plana o más picuda. El parámetro de localización γ es el valor más pequeño posible de t . Con frecuencia se supone que este es cero, lo que simplifica la ecuación. Muchas veces no es necesario determinar los valores de estos parámetros, porque las predicciones se hacen directamente en el papel de probabilidad de Weibull; King (1981) procedimientos gráficos para encontrar η , β y γ . Actualmente se cuenta con software especializados los cuales realizan este procedimiento de cálculo.



La curva de Weibull figura 4.5 cubre muchas formas de distribuciones esto hace que tenga mucha aceptación en la práctica, porque reduce los problemas de



examinar un conjunto de datos y decir cuál de las distribuciones comunes (por ejemplo, normal ó exponencial) se ajusta mejor.

Para hacer una grafica de Weibull válida se necesitan al menos siete puntos o datos. Si hay menos surgen dudas sobre la capacidad de la gráfica para revelar el patrón de variación esencial. Cuando se prepara la gráfica, se espera, que los puntos estén aproximadamente en línea recta. Esto implica entonces una población estable y la recta se puede usar para emitir predicciones.

4.2.1.4 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE POISSON.

Si la probabilidad de ocurrencia p de un evento es constante en cada una de las n pruebas, independientes del evento, la probabilidad de r ocurrencias en n pruebas es:

$$P(x) = \frac{(np)^r e^{-np}}{r!}$$

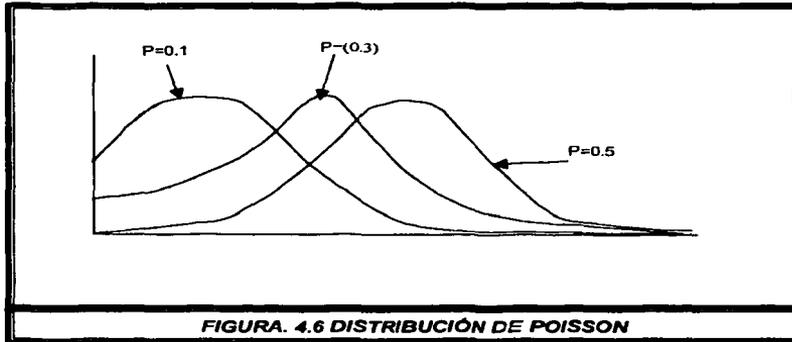
Donde:

n = número de pruebas
 p = probabilidad de ocurrencia
 r = número de ocurrencias

La distribución de Poisson, figura 4.6, es útil en el campo de las probabilidades asociadas con los procedimientos de muestreo

La distribución de Poisson es una aproximación a distribuciones más exactas y se aplican cuando el tamaño de la muestra es al menos 16, cuando el tamaño de la muestra es al menos 10 veces el tamaño de la muestra y la probabilidad de ocurrencia de p en cada prueba es menor que 0.1. Estas condiciones se cumplen a menudo.

La distribución de Poisson no es solo una aproximación sino que se puede usar como una distribución exacta en casos en los que el evento tiene muchas oportunidades de ocurrir, pero donde la probabilidad de ocurrencia de una de esas oportunidades es muy bajo.

**FIGURA. 4.6 DISTRIBUCIÓN DE POISSON**

4.2.1.5 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BINOMIAL

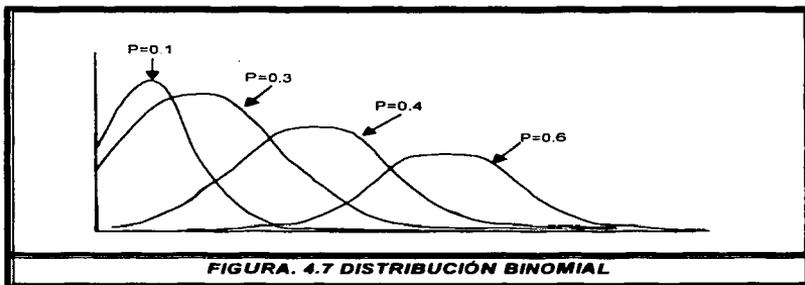
Si las condiciones de la distribución de Poisson no se cumplen, se puede aplicar la distribución binomial, figura 4.7, si la probabilidad de ocurrencia p de un evento es constante en las n pruebas independientes del evento, entonces la probabilidad de r ocurrencias en n pruebas es:

$$P(x) = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r q^{n-r}$$

Donde:

$$p+q = 1$$

En la práctica, la suposición de una probabilidad constante de ocurrencia se considera razonable cuando el tamaño de la población es al menos 10 veces el tamaño de la muestra.



A continuación se muestra una tabla con las principales características de los modelos matemáticos.

TABLA.4.1- DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD MÁS COMUNES²⁰.

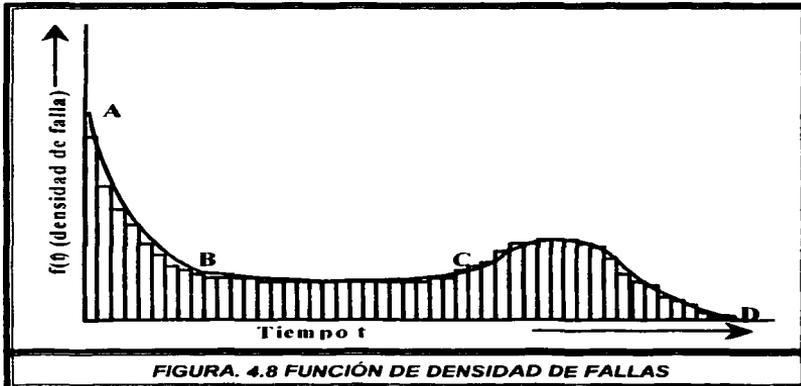
DISTRIBUCIÓN	FUNCIÓN DE PROBABILIDAD	COMENTARIOS SOBRE APLICACIONES
Normal	$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ <p>μ = Media σ = Desviación estándar</p>	Se aplica cuando hay una concentración de observaciones alrededor del promedio y es igualmente probable que las observaciones ocurran a la derecha o a la izquierda del promedio. La variación en las observaciones casi siempre es el resultado de muchas causas pequeñas.
Exponencial	$Y = \frac{1}{\mu} e^{-x/\mu}$ <p>μ = Desviación estándar</p>	Se aplica cuando es probable que ocurran más observaciones abajo del promedio que arriba.
Weibull	$Y = \alpha\beta(X-\gamma)^{\beta-1} e^{-\alpha(X-\gamma)\beta}$ <p>$\alpha = \eta$ = Parámetro de escala β = Parámetro de forma γ = Parámetro de localización</p>	Aplica para describir una gran variedad de patrones de variación, incluyendo patrones que no se ajustan a la normal o a la exponencial.



Binomial	$P(x) = [(n!/r!(n-r)!) * p^r q^{n-r}]$ <p>n = Número de pruebas r = Número de ocurrencias p = Prob. de ocurrencia q = 1-p</p>	Se aplica para definir la probabilidad de r ocurrencias en n pruebas de un evento que tiene una probabilidad constante de ocurrencia en cada prueba independiente.
Poisson	$P(x) = (np)^r e^{-np} / r!$ <p>n = Número de pruebas r = Número de ocurrencias p = Prob. de ocurrencias</p>	Lo mismo que la binomial pero se aplica en particular cuando existen muchas oportunidades de ocurrencia de un evento, pero una baja probabilidad (menor que 0,10) en cada prueba

El requisito esencial para el logro de la confiabilidad, es el estudio del modelo completo del comportamiento del producto.

En la figura 4.8, se muestra un modelo muy común de falla de equipo donde se indica la variación de $f(t)$, con respecto al tiempo (t). A la $r(t)$ se le denomina densidad de falla y su definición es: "El número de fallas por unidad de tiempo, representado como fracción del total original de las partes en consideración".





En la figura 4.8, se observa que el segmento AB representan las fallas anticipadas, BC las fallas durante un período de operación establecido, y CD fallas por desgaste.

Por conveniencia del análisis, el patrón de fallas se expresa generalmente como tasa de fallas $\lambda(t)$, que se define como "la probabilidad de fallo en el instante (t), a condición de que no haya habido fallos antes de t". Por tanto, podemos escribir:

$$\lambda(t)dt = \frac{F(t+dt) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)}$$

Donde: F (t) es la función acumulada de fallos o la no confiabilidad y R (t) la función de confiabilidad. Que es lo que se desea conocer a partir de $\lambda(t)$. Para ello se integran los dos miembros de la expresión anterior, con la condición inicial F (t=0)=0

Obtenemos:

$$\int_0^t \lambda(t) dt = \int_0^t \frac{dF(t)}{1 - F(t)}$$

$$\int_0^t \lambda(t) dt = \int_0^t \frac{dF(t)}{1 - F(t)} = [\ln(1 - F(t))],$$

$$- \int_0^t \lambda(t) dt = \ln [1 - F(t)]$$

$$e^{- \int_0^t \lambda(t) dt} = 1 - F(t)$$

de donde:

$$R(t) = e^{- \int_0^t \lambda(t) dt}$$

$$F(t) = 1 - e^{- \int_0^t \lambda(t) dt}$$

$$f(t) = \lambda(t)e^{- \int_0^t \lambda(t) dt}$$



Tenemos aquí las expresiones más generales que enlazan las leyes de confiabilidad y el índice instantáneo de fallas.

Cabe mencionar que se puede obtener el índice de fallas partiendo de $R(t)$. En efecto:

$$\frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda(t)e^{-\int \lambda(t) dt}}{e^{-\int \lambda(t) dt}} = \lambda(t)$$

Con base en la información anterior se puede observar que uno de los mejores métodos de distribución probabilísticas es la distribución de Weibull, por lo que será el método que se utilizará para realizar las evaluaciones que nos proporcionaran la confiabilidad del sistema de bombeo integrado al SCADA. Por lo que éste será tema a desarrollar.

4.3 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

La curva de la bañera, figura 4.2, la cual fue analizada con anterioridad tiene tres regiones distintas **AB-BC-CD**¹⁸, cada una de las cuales requiere un análisis por separado. La distribución Weibull es la forma útil para hacer este análisis, ya que ajustando sus factores puede hacerse ajustar a la forma de cualquier parte de la curva de la tasa de falla.

$$R(t) = e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \text{ Ley de Weibull}$$

Donde:

- γ = el origen de la distribución
- η = parámetro de escala
- β = la pendiente de la recta

Seleccionando convenientemente las constantes γ , η y β se puede simular cualquier sección de la curva de la bañera.

Puesto que:

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

Resulta que



$$f(t) = \frac{df(t)}{dt} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}$$
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

En las figuras: 4.9 y 4.10 se ejemplifican algunas formas de curvas de densidad de falla y tasa de falla para valores distintos de β . Se puede notar de la figura 4.10, el segmento BC, $\beta = 1$ por tanto la tasa de fallas es constante, esto es:

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

y

$$R(t) = e^{-\frac{(t-\gamma)}{\eta}}$$

(para $\gamma = 0$)

$$R(t) = e^{-\frac{t}{\eta}} = e^{-\lambda t}$$

(para $\lambda = \frac{1}{\eta}$)

Nota: Si el valor de β es diferente de 1, la fórmula se representa de la siguiente forma:

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

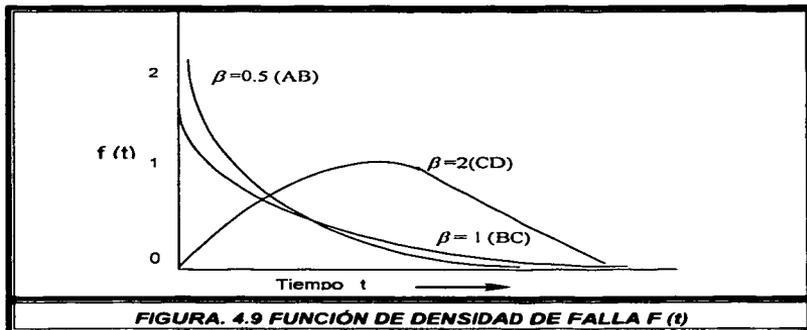


FIGURA. 4.9 FUNCIÓN DE DENSIDAD DE FALLA $F(t)$

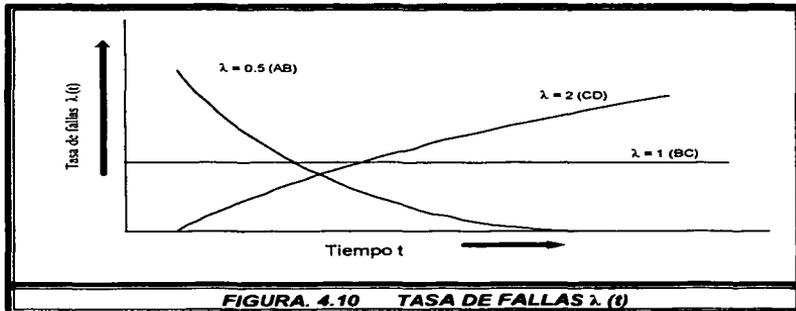


Si $t-\gamma = \eta$, la medida de confiabilidad es:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-1} = 0.368$$

Para cualquier valor de β .

Este valor $t-\gamma$ se llama la vida característica de η y se define como: "El tiempo, medido desde γ , en que se espera la supervivencia del 36.8% de las partes del producto (o donde se espera la falla del 63.2%)."



La figura 4.11, ilustra el significado de η en su relación con la curva de la función de densidad de fallas $f(t)$ donde $\beta = 2$ aproximadamente.

Uno de los problemas fundamentales es la evaluación de los parámetros (β, η, γ) de la ley de Weibull. Para ello, disponemos de dos métodos:

1. A través del cálculo, en el que intervienen ecuaciones difíciles de resolver por lo que se utiliza poco.
2. De resolución gráfica, que utiliza un papel a escala funcional llamado papel de Weibull o gráfico de Allen Plait, actualmente se cuenta con un software



"reliá Soft: s Weibull++5.0" el cual realiza la estimación de los parámetros antes mencionados, esta herramienta será utilizada para obtener los parámetros que permitan calcular la confiabilidad de los elementos del sistema. Este método es el más utilizado.

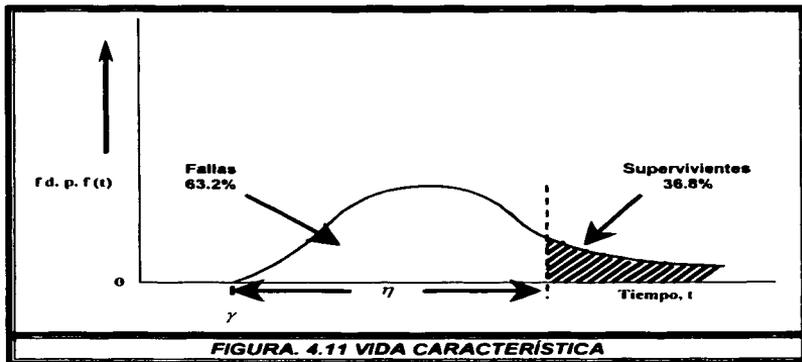


FIGURA. 4.11 VIDA CARACTERÍSTICA

Supongamos tener una serie de lecturas de fallas de equipo relacionada a su ocurrencia en una escala de tiempo (por ejemplo, de la prueba de vida de una muestra del producto inicial).

Con estas cifras necesitamos determinar la forma del patrón de fallas y obtener los factores de confiabilidad para hacer una comparación con las normas esperadas a partir de las consideraciones del diseño. Los datos de las fallas que se analizan son introducidas al software, el cual realiza el proceso de cálculo, proporcionando los parámetros de estimación que anteriormente se realizaban usando el papel de distribución de probabilidad Weibull.

El papel tiene escalas logarítmicas compiladas en forma tal que los puntos trazados en el papel en los valores correspondientes de la función de supervivencia y $(t-\gamma)$ (el tiempo desde el origen de la distribución), debe quedar en línea recta.

La pendiente de línea da el valor de β , que determina la forma de la distribución de la falla.



Si $\beta < 1$ el modelo representa fallas anticipadas (fallas no aleatorias)

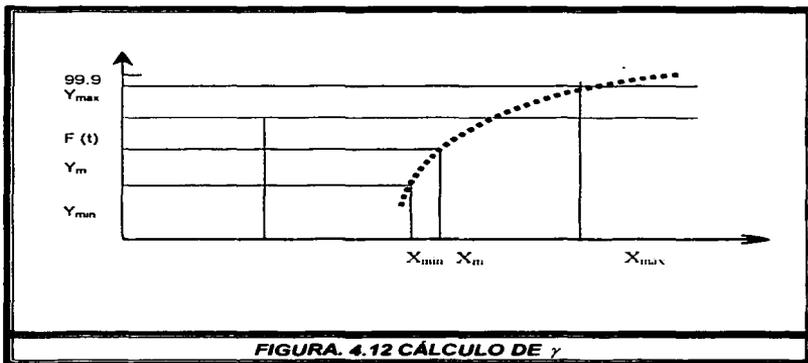
Si $\beta = 1$ la tasa de falla es constante (fallas aleatorias)

Si $\beta > 1$ el modelo representa el período de desgaste.

Si en lugar de quedar en una línea recta, los puntos trazados toman la forma de una curva, significa que γ no es cero.

El valor de γ , en este caso puede obtenerse a partir de las transformaciones funcionales del papel de Weibull, esto es:

$$\gamma = X_m - \left(\frac{(X_{\max} - X_m)(X_m - X_{\min})}{(X_{\max} - X_m) - (X_m - X_{\min})} \right)$$



Los puntos X_{\min} , X_m , X_{\max} . Se determinan de la siguiente manera ver sig. figura 4.12.

Como se mencionó anteriormente una de las formas de obtener los parámetros de la ley de Weibull es mediante el empleo del software "Relia Soft"



Weibull++5.0* ó por medio del Papel de Weibull el cual se menciona para tener una comprensión de cómo trabaja el software. La aproximación de los datos a una recta (en caso de que así sea), por medio del método de los mínimos cuadrados; para lo cual se utiliza la hipótesis de que el parámetro $\gamma=0$. de donde tenemos:

Si

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

Entonces:

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

y

$$\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right) = \ln e\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

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

$$\ln \ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right) = \beta \ln t - \beta \ln \eta$$

(Ecuación de la recta) $Y=mX+B$

Donde:

$$X = \ln t$$

$$Y = \ln \ln(1/F(t))$$

$$B = \beta \ln \eta$$

$$m = \beta$$

De aquí podemos obtener los valores de η y β :

$$\eta = e^{\left(\frac{\beta - B}{\beta}\right)}$$

$$\beta = m$$



Las consideraciones anteriores se establecen como base para realizar la evaluación del método gráfico de Weibull.

Para realizar la evaluación de los parámetros de confiabilidad es necesario conocer el tiempo de operación del equipo, por tal motivo es necesario abordar el tema de Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF).

4.4 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)

El tiempo medio entre fallas es una medida importante para valorar la confiabilidad de un sistema de componentes múltiples en el que las partes se pueden reemplazar ó ajustar, al instante de la avería. El MTBF, es el tiempo medio (o promedio) entre fallas sucesivas de un producto. Esta definición asume que el producto en cuestión puede ser reparado y colocado en operación después de cada falla "las abreviaturas pueden ser diferentes algunos manejan "TMEF=MTBF".

$$TMEF = \left(\frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}{N} \right)$$

Donde:

N = número de fallas registradas

$t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ son los intervalos entre las fallas sucesivas del sistema debidas a fallas de cualquiera de los componentes (por ejemplo t_3 es el tiempo entre la segunda y tercera falla.

Ahora bien, un incremento en un **MTBF**, no da por resultado un aumento proporcional en confiabilidad. Por ejemplo si $t = 1$ hora, la tabla siguiente muestra el tiempo medio entre fallas requerido para obtener varias confiabilidades; considerando que como se ha mencionado con anterioridad, después del periodo de inicio de servicio y hasta la proporción del desgaste (es decir el segmento BC de la curva) la función de confiabilidad será:

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

para

$$(\beta = 1, \gamma = 0)$$

Y la tasa de fallas tendrá una constante

$$\lambda = \frac{1}{\eta}$$



El tiempo medio entre fallas ($MTBF=TMEF$), que es el recíproco de la tasa de fallas) del sistema es por consiguiente.

$$\frac{1}{\lambda} = \eta = TMEF$$

MTBF	R
5	0.82
10	0.90
20	0.95
100	0.99

Un quíntuplo incremento en $MTBF$, de 20 a 100 horas es necesario para incrementar la confiabilidad en 4 puntos porcentuales comparados con un doble del $MTBF$, de 5 a 10 horas para obtener 8 puntos porcentuales de aumento en confiabilidad, mientras que la probabilidad de supervivencia ($R(t)$) para un tiempo específico t puede de el más importante indicador para el consumidor.

4.5 TEORÍA DE LA TASA DE FALLA CONSTANTE

Cuando la confiabilidad se expresa como una tasa de fallas, esto implica que la falla tiene probabilidad de ocurrir en cualquier instante durante la vida del dispositivo. Es decir si aplicamos una sola tasa de falla, a una pieza del equipo estamos presuponiendo que a tasa de falla es constante. Pero la presuposición de que un dispositivo (o componente) tiene una tasa constante de falla es válida únicamente durante una porción de su vida.

Por ejemplo, cuando se usa una pieza del equipo por un período largo de tiempo ésta se deteriora y como resultado la tasa de fallas durante este período de desgaste es mayor de lo normal.

Asimismo, se ha observado que un número extraordinariamente alto de fallas ocurre en las primeras horas de operación. Por lo mismo es normal experimentar una tasa más alta de fallas en las primeras horas de operación así como en el período de desgaste. De aquí que no podamos usar con precisión una sola tasa de fallas sobre la vida entera del equipo.

Entre los dos períodos de tasa alta de fallas (período de ajuste y período de determinación), hay una región con una tasa de falla aproximadamente constante. Esta región se llama falla aleatoria o período confiable. Este período se caracteriza por tener menos fallas en función del tiempo que las otras dos regiones.

El uso de una tasa de falla constante en el cálculo de la confiabilidad es deseable ya que simplifica los cálculos y reduce el tiempo requerido para los ensayos de vida.



La tasa de falla constante en una pieza del equipo se puede lograr por medio del "envejecimiento", es decir, permitir que el equipo opere por un período de tiempo posterior al período inicial de mortalidad infantil. Entonces la tasa de falla se nivelará y mantendrá constante. Se supone que el reemplazo se realiza durante el período de asentamiento. Cualquier falla posterior en el dispositivo es aleatorio.

Utilizando la suposición de una tasa de falla constante puede compensarse el período del tiempo del ensayo con el número de piezas bajo prueba. O sea que probar 100 piezas del equipo por 10 horas. Naturalmente la reducción del tiempo requerido para los ensayos proporciona más tiempo para traducir los resultados de los ensayos a ajustarse o mejoras del producto éste método es utilizado para evaluar las tasas de falla que son reportadas en algunos documentos especializados como: OREDA-92 ó CCPS.

4.6 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

Conforme los productos se vuelven más complejos (cuentan con más componentes) la probabilidad de que se produzca una falla también aumenta. La manera como se disponen los componentes también afecta la confiabilidad de todo el sistema.

Esta disposición puede hacerse en serie, paralelo o en combinación. En la figura 4.13.

Si los componentes están dispuestos en serie, la confiabilidad del sistema es el producto de cada uno de los componentes. En el caso de la disposición de la figura 4.13 inciso (a), procede emplear el teorema de la multiplicación, y la confiabilidad de la serie se calcula de la manera siguiente:

$$R_s = (R_A) (R_B) (R_C)$$

$$R_s = (0.95) (0.75) (0.99)$$

$$R_s = 0.71$$

Cuanto más componentes se añaden a la serie, mejor será la confiabilidad del sistema. La confiabilidad del sistema es siempre menor que la del valor más bajo. Matemáticamente se verifica la afirmación de que una cadena es tan fuerte como lo sea el más débil de sus componentes o eslabones.

En una disposición en serie de componentes, la avería de uno de ellos provoca la avería de todo el sistema. Otro es el caso cuando los componentes están en paralelo: aunque falle uno, el sistema puede seguir operando mediante el empleo de otro y así hasta que todos los componentes en paralelo hayan fallado.



En el caso de la disposición de la figura inciso (b), la confiabilidad en paralelo, R_p , se calcula de la siguiente manera:

$$R_p = 1 - (1 - R_i) (1 - R_j)$$

$$R_p = 1 - (1 - 0.75) (1 - 0.84)$$

$$R_p = 0.96$$

Al aumentar la cantidad de componentes en paralelo también aumenta la confiabilidad. De una disposición en paralelo es mayor que la confiabilidad de cada uno de los componentes, con la finalidad de implementar éste concepto en la industria se han establecido los sistemas redundantes (tener uno ó más componentes que realicen las mismas funciones en caso de que falle uno de los elementos) que es la aplicación de una distribución en paralelo, ésta disposición se realiza cuando la señal ó actividad que se monitorea es crítica, es decir, que si se presenta un descontrol en ésta actividad se presentarían problemas graves ya que la toma de decisiones no sería acertada lo cual pondrían en peligro tanto a las personas que se encuentren cercanas ó al proceso mismo.

Los productos más complicados están formados por combinaciones de componentes tanto en serie como en paralelo. Lo anterior se muestra en la figura 4.13, inciso (c), en donde la parte B fue sustituida por los componentes en paralelo, I y J. La confiabilidad de esta combinación, R_c se calcula de la siguiente manera:

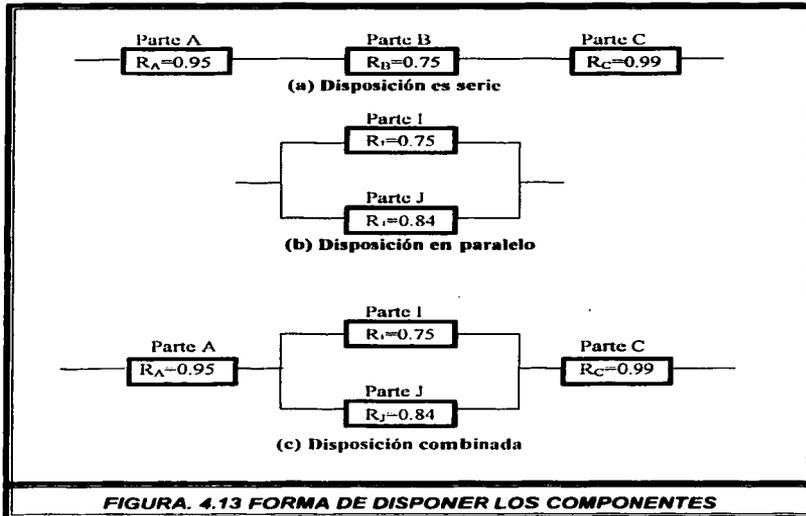
$$R_c = (R_A) (R_{I,J}) (R_C)$$

$$R_c = (0.95) (0.96) (0.99)$$

$$R_c = 0.90$$

La confiabilidad de un producto dependerá de su diseño, fabricación, instalación y mantenimiento, en los casos donde se utilizan sistemas combinados la confiabilidad del sistema dependerá de la confiabilidad de cada uno de los elementos del arreglo, aun y cuando el arreglo en paralelo es mucho más confiable no siempre es factible tener elementos redundantes ya que el costo de éste arreglo es muy alto por tanto es conveniente colocarlos solo en partes estratégicas.

El sistema más simple está constituido por un solo elemento, ó por un conjunto de elementos, como es el caso del sistema de bombeo.



4.7 DISPONIBILIDAD

Disponibilidad: La disponibilidad del producto es la capacidad de desempeñar una función requerida en cualquier punto del tiempo cuando es utilizado en condiciones establecidas, donde el tiempo considerado es tiempo operativo y tiempo de reparación activo.

La disponibilidad del equipo y servicio pueden ser muy importantes en el establecimiento y control de la confiabilidad.

Entre las consideraciones importantes en la determinación del patrón de confiabilidad para un producto está la habilidad de ese producto para ser repuesto, dentro de un período dado, al estado específico en que puede desempeñar su función esperada:



Así un producto que pueda ser reparado de forma rápida y económica, sin problemas para el usuario, puede tener un requisito de confiabilidad muy diferente a un producto sin instalaciones de reparación fácilmente accesibles o económicas, por ejemplo, un satélite de comunicaciones debe estar diseñado y fabricado con alta confiabilidad, es por éste motivo que el costo de un equipo de éstos se incrementa de forma considerable, éste tipo de inversiones se realiza cuando se sabe de antemano que de presentarse una falla proporcionar un mantenimiento correctivo sería muy difícil. Por el contrario el producto que puede ser reparado rápidamente, puede diseñarse y fabricarse con elementos de una confiabilidad menor.

En forma correspondiente, la disponibilidad cuantitativa, por definición es como sigue:

La disponibilidad cuantitativa es aquella en la cual la disponibilidad de una unidad desempeña una función requerida en cualquier punto del tiempo cuando es usada bajo condiciones establecidas, donde el tiempo considerado es tiempo operativo y tiempo de reparación activo.

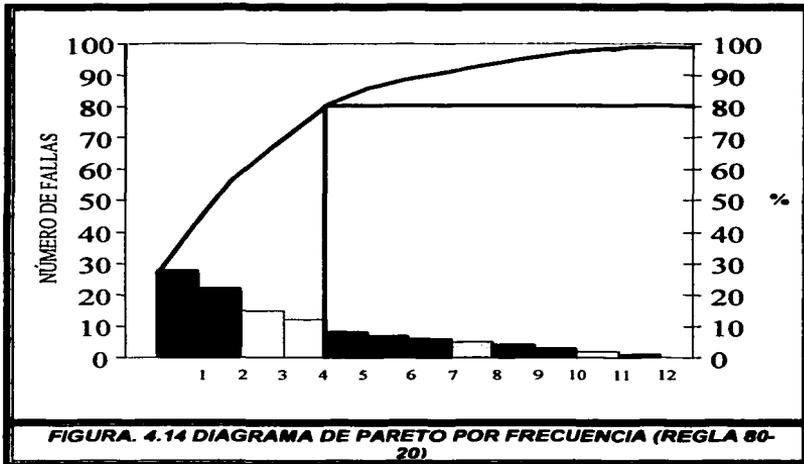
La disponibilidad puede ser representada como sigue:

$$\text{Disponibilidad} = A(t) = \left(\frac{\text{Tiempo medio entre fallas MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \right)$$

Así, si en un producto, el MTBF es grande y el MTTR es pequeño, la disponibilidad es casi 100%.

4.8 ANÁLISIS DE PARETO

El principio de Pareto en una herramienta útil para asignar prioridades a los problemas. Muchas veces se hace referencia a ella como la regla 80/20, lo que significa que por lo general el 80% de los problemas puede ser resuelto con el 20% del esfuerzo. Usar el principio de Pareto ayuda a identificar los errores (pocos triviales que se presentan con mayor frecuencia, y los muchos triviales que se presentan en menor número pero en mayor cantidad) que se presentan en el funcionamiento de un equipo figura 4.14, permitiendo enfocarse en los pocos problemas triviales que ocasionan problemas en la operación de un equipo, afectando al proceso, los esfuerzos son encaminados a un mantenimiento preventivo de los pocos triviales disminuyendo el número de errores que se presentan.



La falla en el cumplimiento de los requerimientos especificados, ya sea en términos de vida o comportamiento en sí, puede deberse a una ó dos razones (o a una combinación de ambas):

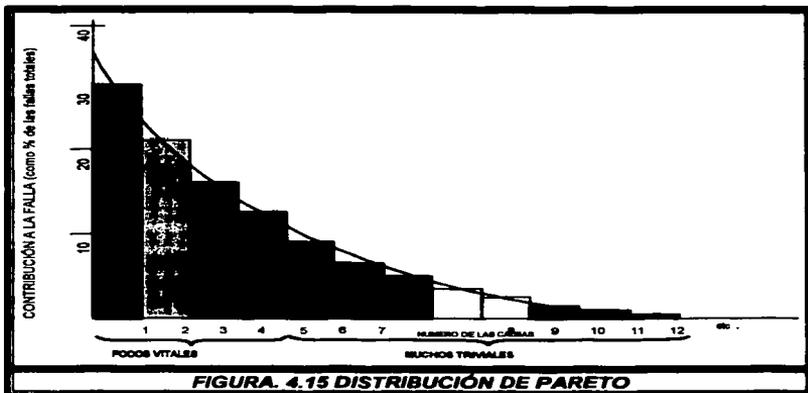
1. Que el primer diseño es inadecuado.
2. Que el método de producción existente es incapaz de cumplir con las especificaciones del diseño.

Por consiguiente deben buscarse las principales causas de la inadecuación. Los principios de la búsqueda de causas son comunes para las dos regiones sujetas a investigación: diseño y producción.

Aunque hay muchos factores posibles que pueden afectar el funcionamiento, estos se pueden dividir entre "pocos vitales" y "muchos triviales", el mantenimiento preventivo se debe enfocar a prevenir la ocurrencia de las fallas "pocos triviales".



La figura 4.15. ilustra la comparación de los efectos de un número de factores, la forma de la curva resultante se conoce como la "Distribución de Pareto". La búsqueda debe dirigirse hacia la identificación de los pocos factores que contribuyen mayormente a la falla en la satisfacción de las necesidades.



TESIS CON
DE ORIGEN



4.9 ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de confiabilidad se debe realizar con datos históricos del equipo al cual se pretende analizar, para esto es necesario establecer un período de tiempo y las características operacionales del equipo en cuestión por ejemplo; hay equipos que operan de forma continua ó por lotes "períodos operacionales establecidos dependiendo del requerimiento del proceso o de los requerimientos del mercado".

Para tener un control y calidad en los reportes de las fallas que presentan los equipos es necesario que el personal de mantenimiento sea cual sea el área en la cual labore, mantenga un registro que contenga información básica como la siguiente:

- Día , mes y año en que se presenta la falla
- Tipo de falla, ubicando el elemento que presenta el desperfecto
- Hora de inicio de la falla
- Tiempo que tarda la reparación
- Hora de inicio de funcionamiento del equipo

Este reporte se realizará en forma consecutiva conforme se presenten las fallas en la instalación, cabe mencionar que la información que lleva el reporte varía, esto depende de los requerimientos y de las políticas de la empresa.

A continuación se presenta la tabulación de datos históricos de los diferentes elementos a ser analizados, Así como los gráficos de confiabilidad para los equipos de bombeo y telecomunicaciones. La determinación de la confiabilidad para los instrumentos de la estación de bombeo se realizará con datos obtenidos de los manuales "OREDA-92 y CCPS-89"

Datos históricos (bitácora de eventos) del equipo de bombeo para la Plataforma de Perforación AKAL-J (Proyecto IMP "ESTUDIO DEL ANÁLISIS DE RIESGO DEL COMPLEJO MARINO AKAL-C Y PLATAFORMAS SATÉLITES") "turbo-bomba No. 1 y 2".

TABLA 4.2. BANCO DE DATOS PARA TURBO-BOMBA 1 Y 2.

PERIODO DE ESTUDIO DICIEMBRE DE 1994 A JUNIO DE 1997				
HISTÓRICO DE TIEMPO DE OPERACIÓN				
TIPO DE FALLA	FECHA	TURBO BOMBA No.1	TURBO- BOMBA No.2	TIEMPO DE FALLA
		(Hrs)	(Hrs)	(Hrs)
ENGRASAMIENTO	01-Dic-94	12.2	EN STANDBY	0.08
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	07-Dic-94	151.3	EN STANDBY	0.07
FUGA DE INYECTORES	19-Dic-94	282.13	EN STANDBY	3.12
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	20-Dic-94	8.09	EN STANDBY	0.08



BAJA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	30-Dic-94	246.68	EN STANDBY	0.04
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	30-Dic-94	2.56	EN STANDBY	0.08
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	01-Feb-95	778.3	EN STANDBY	0.05
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	02-Feb-95	4.42	EN STANDBY	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	02-Feb-95	2.28	EN STANDBY	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	05-Feb-95	76.3	EN STANDBY	3.37
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	08-Feb-95	71.2	EN STANDBY	0.03
ALTA PRESIÓN DE DESCARGA ENGRASAMIENTO	18-Feb-95	246.09	EN STANDBY	0.1
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	22-Feb-95	80.07	EN STANDBY	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	23-Feb-95	28.5	EN STANDBY	0.05
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	25-Feb-95	40.52	EN STANDBY	0.06
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	26-Feb-95	25.02	EN STANDBY	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN ENGRASAMIENTO	27-Feb-95	24.08	EN STANDBY	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	02-Mar-95	73.53	EN STANDBY	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	04-Mar-95	50.45	EN STANDBY	0.04
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	11-Mar-95	160.54	EN STANDBY	1.15
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	14-Mar-95	70.26	EN STANDBY	6.09
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	14-Mar-95	32.35	EN STANDBY	0.14
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	24-Mar-95	233.19	EN STANDBY	0.04
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	25-Mar-95	30.12	EN STANDBY	0.04
ALTA TEMPERATURA DE TURBINA	30-Mar-95	119.47	EN STANDBY	0.1
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	31-Mar-95	25.17	EN STANDBY	0.13
ALTA TEMPERATURA DE TURBINA	03-Abr-95	64.35	EN STANDBY	0.05
ALTA TEMPERATURA DE TURBINA	03-Abr-95	24.4	EN STANDBY	0.06
ALTA TEMPERATURA DE TURBINA	03-Abr-95	32.28	EN STANDBY	0.35
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	11-Abr-95	190.21	EN STANDBY	0.37
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	12-Abr-95	21.23	EN STANDBY	0.39
PRESIÓN BAJA DE ACEITE P/P LUBRICACIÓN	12-Abr-95	4.39	EN STANDBY	0.05
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	14-Abr-95	1.36	EN STANDBY	0.07
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	14-Abr-95	2.54	EN STANDBY	0.1
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	15-Abr-95	3.22	EN STANDBY	0.08
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	15-Abr-95	10.33	EN STANDBY	0.2
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	15-Abr-95	0.14	EN STANDBY	0.46
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	15-Abr-95	0.14	EN STANDBY	0.35
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	19-Abr-95	88.3	EN STANDBY	0.35
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	20-Abr-95	29	EN STANDBY	0.15



TURBINA				
FUGA DE ACEITE LUBRICANTE	21-Abr-95	24.27	EN STANDBY	0.03
FUGA EN VÁLVULA DE PURGADO "DREN"	21-Abr-95	0.1	EN STANDBY	0.38
FUGA EN VÁLVULA DE PURGADO "DREN"	27-Abr-95	131.27	EN STANDBY	0.22
FALLA DE AIRE	21-May-95	EN STANDBY	580.03	0.1
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	20-Jun-95	EN STANDBY	722.5	0.05
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	20-Jun-95	1.35	EN STANDBY	0.05
ALTA TEMPERATURA EN LA TURBINA	20-Jun-95	0.15	EN STANDBY	0.05
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	24-Jun-95	93.35	EN STANDBY	0.05
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	24-Jun-95	0.02	EN STANDBY	0.01
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	24-Jun-95	0.07	EN STANDBY	0.05
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	09-Jul-95	357.49	EN STANDBY	11.1
VELOCIDAD BAJA EN T.P.	19-Jul-95	234.5	EN STANDBY	0.03
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	21-Jul-95	44.22	EN STANDBY	0.09
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	21-Jul-95	1.31	EN STANDBY	0.08
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	21-Jul-95	0.07	EN STANDBY	0.03
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	21-Jul-95	1.17	EN STANDBY	0.09
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	30-Jul-95	EN STANDBY	209.41	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	30-Jul-95	EN STANDBY	1.42	0.2
ALTA TEMPERATURA TURBINA	12-Ago-95	EN STANDBY	304.25	0.02
ALTA TEMPERATURA TURBINA	14-Ago-95	EN STANDBY	49.53	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	17-Ago-95	EN STANDBY	71.58	0.06
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	17-Ago-95	EN STANDBY	6.12	0.06
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	18-Ago-95	EN STANDBY	32.11	0.03
ALTA TEMPERATURA TURBINA	20-Ago-95	EN STANDBY	34.53	0.08
ALTA TEMPERATURA TURBINA	23-Ago-95	EN STANDBY	72.22	0.5
ALTA TEMPERATURA TURBINA	27-Ago-95	98	EN STANDBY	0.5
ALTA TEMPERATURA TURBINA	06-Sep-95	240.38	EN STANDBY	0.05
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	07-Sep-95	21.04	EN STANDBY	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	08-Sep-95	31.03	EN STANDBY	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	10-Sep-95	37.1	EN STANDBY	0.02
ALTA TEMPERATURA TURBINA	10-Sep-95	11.05	EN STANDBY	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	14-Oct-95	816.16	EN STANDBY	0.08
ALTA TEMPERATURA DE TURBINA	26-Nov-95	EN STANDBY	1000.8	0.45
ALTA TEMPERATURA DE TURBINA	26-Nov-95	EN STANDBY	0.52	0.2
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	07-Dic-95	264.11	EN STANDBY	6.39
ALTA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	10-Dic-95	70.11	EN STANDBY	0.17
ALTA TEMPERATURA EN ENCABINADO	10-Dic-95	0.02	EN STANDBY	0.05
VELOCIDAD EXCESIVA	01-Ene-96	509.01	EN STANDBY	0.07



TURBINA DE POTENCIA BAJA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	13-Ene-96	EN STANDBY	346.59	0.1
ALTA TEMPERATURA TURBINA	31-Ene-96	EN STANDBY	432.1	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	05-Mar-96	816.14	EN STANDBY	0.05
VELOCIDAD EXCESIVA TURBINA DE POTENCIA	07-Abr-96	EN STANDBY	732.68	0.08
BAJA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	04-May-96	828.65	EN STANDBY	0.07
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	13-Jun-96	EN STANDBY	954.94	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	13-Jun-96	0.55	EN STANDBY	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	16-Jun-96	70.49	EN STANDBY	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	16-Jun-96	2.08	EN STANDBY	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	16-Jun-96	6.12	EN STANDBY	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	17-Jun-96	8	EN STANDBY	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	19-Jun-96	48.34	EN STANDBY	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	20-Jun-96	33.01	EN STANDBY	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	24-Jun-96	90.59	EN STANDBY	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	12-Jul-96	439.19	EN STANDBY	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	14-Jul-96	36.41	EN STANDBY	9.2
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	14-Jul-96	9.57	EN STANDBY	0.12
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	26-Jul-96	EN STANDBY	292.3	0.05
ALTA PRESIÓN DE DESCARGA	19-Ago-96	EN STANDBY	569.13	0.02
FUGA DE GAS EN TUERCAUNIÓN	05-Sep-96	400.49	EN STANDBY	0.07
TUBING DE VÁLVULA DE SANGRADO "ROTO"	05-Sep-96	7.25	EN STANDBY	0.19
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	16-Sep-96	252	EN STANDBY	0.03
ALTA PRESIÓN DE DESCARGA	29-Sep-96	EN STANDBY	311.57	0.05
ALTA TEMPERATURA EN TURBINA	24-Oct-96	EN STANDBY	609.5	0.07
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	28-Oct-96	93.13	EN STANDBY	0.4
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	28-Oct-96	0.44	EN STANDBY	2.56
BAJA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	28-Oct-96	1.4	EN STANDBY	0.15
BAJA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	09-Nov-96	287.41	EN STANDBY	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	10-Nov-96	10.27	EN STANDBY	0.1
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	09-Dic-96	704.24	EN STANDBY	0.04
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	06-Ene-97	EN STANDBY	664.12	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	18-Ene-97	EN STANDBY	294.48	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	23-Ene-97	133.13	EN STANDBY	0.1
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	24-Ene-97	18.68	EN STANDBY	0.07
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	27-Ene-97	75.5	EN STANDBY	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	29-Ene-97	45.06	EN STANDBY	0.07
ALTA TEMPERATURA EN TURBINA	10-Feb-97	280.15	EN STANDBY	0.05
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	24-Feb-97	331.5	EN STANDBY	0.17
ALTA TEMPERATURA EN TURBINA	26-Feb-97	EN STANDBY	47.18	0.04
FUGA DE GAS EN TUBING DE ANTORCHA	09-Mar-97	EN STANDBY	250.56	0.15
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	25-Mar-97	EN STANDBY	379.15	0.02



BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	11-Abr-97	EN STANDBY	403.18	0.53
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	18-Abr-97	EN STANDBY	171.2	0.05
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	21-Abr-97	EN STANDBY	60.21	0.08
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	21-Abr-97	EN STANDBY	7.25	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	22-Abr-97	EN STANDBY	19.08	0.07
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	13-May-97	EN STANDBY	512.48	0.1
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	13-May-97	EN STANDBY	1.25	0.05
ALTA TEMPERATURA EN TURBINA	14-May-97	EN STANDBY	22.01	0.03
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	16-May-97	EN STANDBY	41.11	0.05
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	16-May-97	EN STANDBY	0.11	0.03
BAJA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	17-May-97	EN STANDBY	25.44	0.04
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	18-May-97	EN STANDBY	21.27	0.11
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	21-May-97	EN STANDBY	79.39	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	21-May-97	EN STANDBY	3.01	0.02
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	06-Jun-97	EN STANDBY	371.38	0.02
TERMINO DEL LAPSO DE ESTUDIO	30-Jun-97	EN STANDBY	612.04	0.17
SUMATORIA TIEMPO DE OPERACIÓN Y REPARACIÓN			10637.18	12079.1
				76

A continuación se presenta la evaluación del **TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS** de la turbo-bomba No.1, esta evaluación se realizará con ayuda del software "Realia Soft's Weibull ++5.0", esto con la finalidad de obtener los parámetros " η, β " necesarios para el cálculo de la confiabilidad del equipo.

4.9.1 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONFIABILIDAD PARA LA TURBO-BOMBA 1

Número de fallas y tiempo medio para falla, *turbo-bomba No.1*

TABLA 4.3. BANCO DE DATOS PARA TURBO-BOMBA 1.

PERIODO DE ESTUDIO DICIEMBRE DE 1994 A JUNIO DE 1997			
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA PARA TURBO-BOMBA No.1			
Σ FALLAS	Σ TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO PARA CORREGIR LA FALLA	
No.	(Hrs)	(Hrs)	
1	12.2	0.08	
2	163.5	0.07	
3	446.03	3.12	
4	454.12	0.08	
5	701.2	0.04	
6	704.16	0.08	



7	708.58	0.03
8	711.26	0.03
9	787.56	3.37
10	859.16	0.03
11	1105.25	0.1
12	1185.32	0.03
13	1214.22	0.05
14	1255.14	0.06
15	1280.1	0.02
16	1304.24	0.02
17	1378.17	0.02
18	1429.12	0.04
19	1461.4	0.35
20	1652.01	0.37
21	1673.24	0.33
22	1678.03	0.05
23	1679.39	0.07
24	1682.33	0.1
25	1685.55	0.08
26	1696.28	0.2
27	1696.42	0.46
28	1696.56	0.35
29	1785.26	0.35
30	1814.26	0.15
31	1838.53	0.03
32	1839.13	0.38
33	1970.4	0.22
34	1972.15	0.05
35	1972.3	0.05
36	2066.05	0.05
37	2066.07	0.01
38	2066.14	0.05
39	2424.03	11.1
40	2658.53	0.03
41	2703.15	0.09
42	2704.46	0.08
43	2704.53	0.03
44	2706.1	0.09
45	2804.1	0.5
46	3044.48	0.05
47	3065.52	0.02
48	3096.55	0.02
49	3134.05	0.02
50	3145.1	0.02

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



51	3961.26	0.08
52	4225.37	6.39
53	4295.48	0.17
54	4295.5	0.05
55	4804.51	0.07
56	5621.05	0.05
57	6450.1	0.07
58	6451.05	0.03
59	6521.54	0.03
60	6524.02	0.03
61	6530.14	0.02
62	6538.14	0.03
63	6586.48	0.03
64	6619.49	0.02
65	6711.48	0.03
66	7151.07	0.03
67	7187.48	9.2
68	7198.45	0.12
69	7599.34	0.07
70	7606.59	0.19
71	7858.59	0.03
72	7952.12	0.4
73	7952.56	2.56
74	7954.36	0.15
75	8242.17	0.02
76	8252.44	0.1
77	8957.08	0.04
78	9090.21	0.1
79	9109.39	0.07
80	9185.39	0.02
81	9230.45	0.07
82	9511	0.05
83	9842.5	0.17
84	10014.1	0.05
85	10074.31	0.06
86	10081.56	0.02
87	10101.04	0.07
88	10615.52	0.1
89	10615.17	0.05
90	10637.18	0.03
TOTAL DE FALLAS: 90		56.29

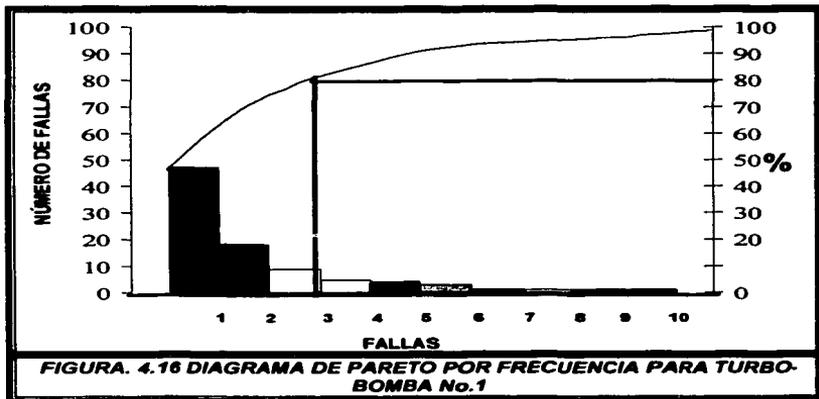


Aplicando el análisis de Pareto, podemos identificar las pocas fallas vitales, a las cuales se debe prestar una mayor atención, con la finalidad de corregir y reducir la frecuencia de ocurrencia, y con esto reducir el tiempo total de fallas del equipo.

Para la turbo-bomba No.1, se contabilizaron un total de 90 fallas las cuales están agrupadas dependiendo del tipo de falla, presentándose un total de 10 tipos de fallas que se presentan de forma continua, como se pueden observar en la siguiente tabla.

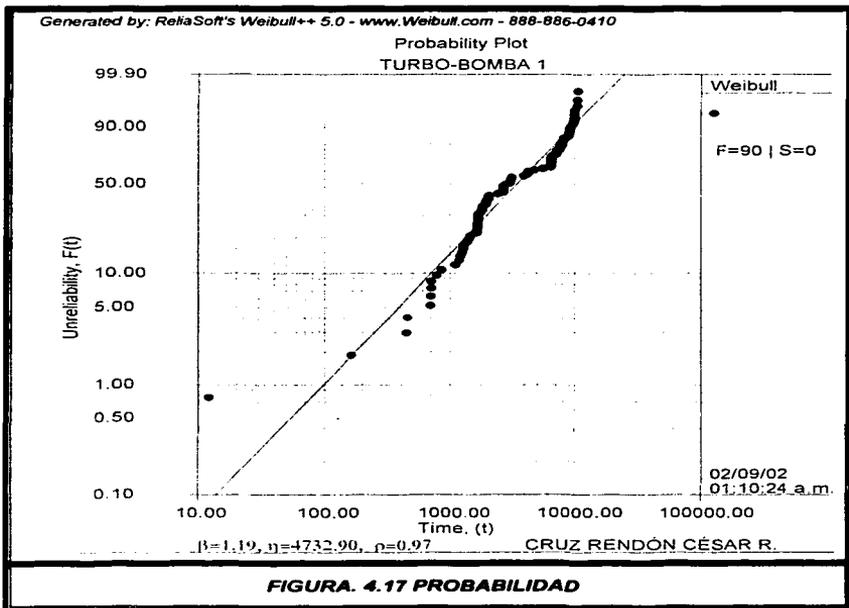
TABLA 4.4. TOTAL DE FALLAS POR EVENTO.

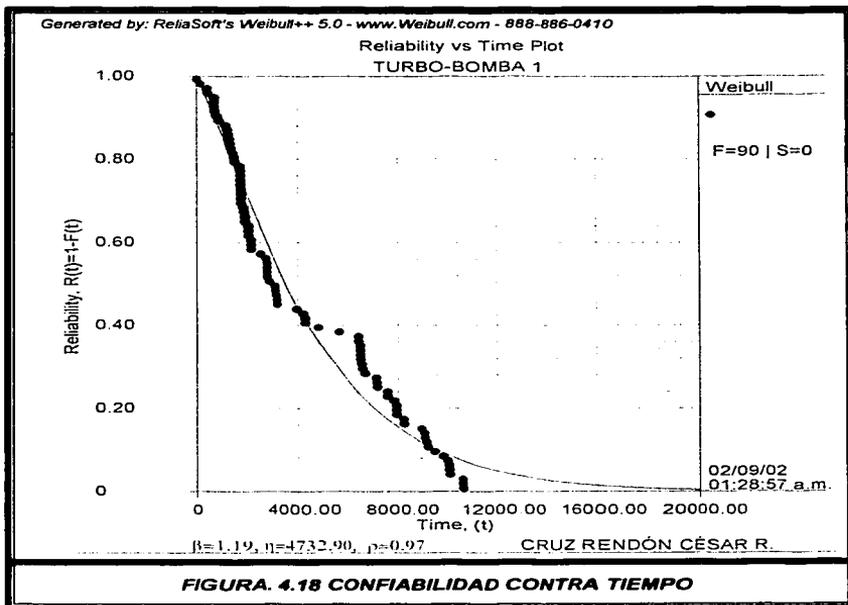
TIPO DE FALLA	NÚMERO DE FALLAS
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	47
ALTA TEMPERATURA EN TURBINA	18
VELOCIDAD EXCESIVA EN TURBINA DE POTENCIA	9
BAJA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	5
BAJA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	4
ENGRASAMIENTO	3
FUGA DE INYECTORES	1
BAJA VELOCIDAD EN TURBINA DE POTENCIA	1
FUGA EN TUERCA UNIÓN	1
RUPTURA EN TUBING DE VÁLVULA DE SANGRADO	1



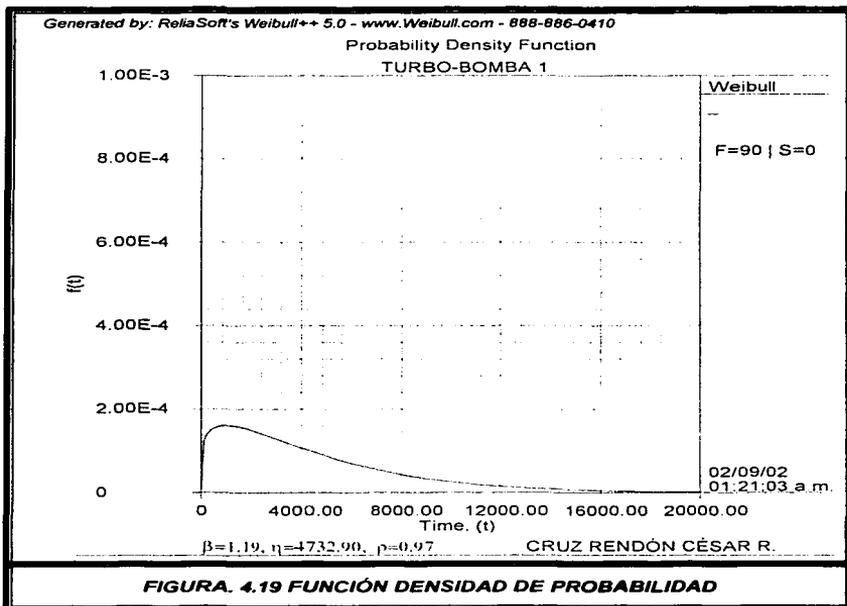


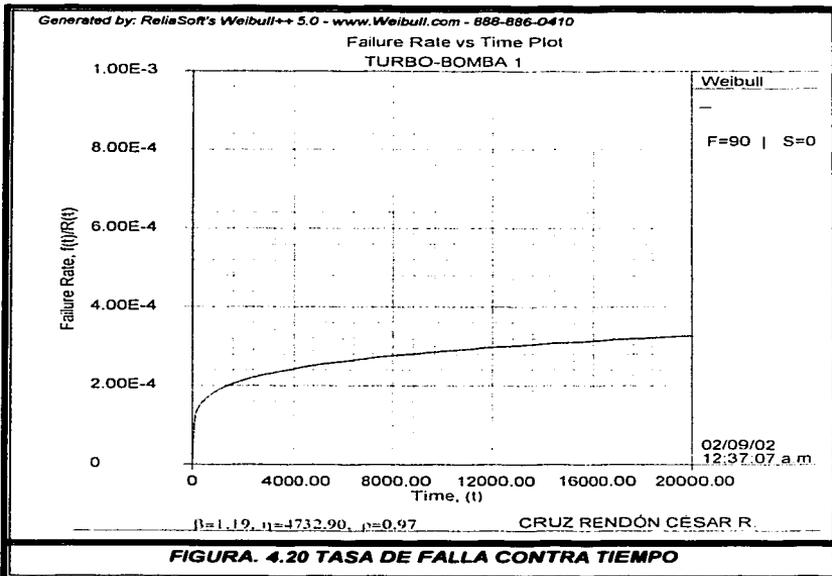
El diagrama de Pareto nos muestra que las fallas que deben ser atendidas para evitar el problemas operaciones son los tres primeros grupos de fallas que corresponden a las fallas por baja presión de succión, alta temperatura en turbina y velocidad excesiva en turbina de potencia. Las cuales son catalogadas como las pocas fallas vitales.





TESIS CON
TALLA DE ORIGEN







4.9.1.1 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL MTTF PARA LA TURBO-BOMBA N.1

$$\beta=1.19$$

$$\eta=4732.90$$

$$\text{Ajuste de la recta}=0.97$$

Observando la figura 4.17, "los parámetros estimados $\beta=1.19$ de acuerdo con los rangos establecidos en el punto 4.3.1 donde se establece que para valores de $\beta>1$ el elemento se encuentra en el periodo de desgaste, lo que se corrobora con las gráficas 4.19 y 4.20, que indican el comportamiento de las fallas durante el periodo de desgaste con base a lo establecido en las figuras 4.9 y 4.10, punto 4.3 del presente capítulo.

Una vez realizada la distribución de Weibull y determinar que los datos nos ubican en el periodo de desgaste para el equipo, podemos obtener también otro parámetro de confiabilidad:

- Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)

$$(\text{MTBF})=[\sum \text{Tiempo entre fallas hrs.}/\text{Número de fallas}] = [10637.18/90] = 118.1909 \text{ hrs}$$

$$(\text{MTTR})=[\sum \text{Tiempo de reparación de cada falla}/\text{Número de fallas}] = [59.29/90] = 0.581 \text{ hrs}$$

Conociendo los parámetros MTBF y MTTR se puede obtener la disponibilidad del equipo.

$$A(t)=[\text{MTBF}/(\text{MTBF} + \text{MTTR})] = 0.9951 = 99.51\%$$

Lo cual nos indica que la máquina en dicho periodo estuvo en disponibilidad de ser ocupada sin tener ninguna clase de falla un 99.51% del tiempo evaluado.

De la teoría de la distribución de Weibull, punto 4.3, se evalúa la confiabilidad:

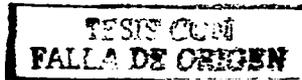
$$R(t) = e^{-(t/\eta)^\beta}$$

η = Parámetro de escala de la ley de Weibull

β = Parámetro de forma de la ley de Weibull

Confiabilidad para la turbo-bomba No. 1 $R(t) = 88.9584\%$

La evaluación de confiabilidad se realiza para periodos operacionales de 780 hrs, que son las especificadas para el tiempo promedio de operación de cada una de las dos turbo-bombas. Esto indica que podemos esperar el buen funcionamiento de la turbo-bomba en un 88.9584%, durante un periodo de 10637.18 hrs. de funcionamiento del equipo





4.9.2 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONFIABILIDAD PARA LA TURBO-BOMBA 2

TABLA. 4.5 BANCO DE DATOS PARA TURBO-BOMBA 2.

PERÍODO DE ESTUDIO DICIEMBRE DE 1994 A JUNIO DE 1997		
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA PARA TURBO-BOMBA No 2		
Σ FALLAS	Σ TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO PARA CORREGIR LA FALLA
No.	(Hrs)	(Hrs)
1	778.3	0.05
2	939.24	1.15
3	1009.5	6.09
4	1042.25	0.14
5	1275.44	0.04
6	1305.56	0.04
7	1426.43	0.1
8	1452	0.13
9	1516.35	0.05
10	1541.15	0.06
11	2121.18	0.1
12	2844.18	0.05
13	3053.59	0.03
14	3056.41	0.2
15	3361.06	0.02
16	3410.59	0.02
17	3483.57	0.02
18	3490.09	0.08
19	3522.2	0.03
20	3557.13	0.08
21	3629.35	0.5
22	4630.15	0.45
23	4631.07	0.2
24	4978.06	0.1
25	5410.16	0.03
26	6143.24	0.08
27	7099.58	0.03
28	7392.28	0.05
29	7961.41	0.02
30	8273.38	0.05
31	8883.28	0.07
32	9547.4	0.02
33	9842.28	0.03
34	9889.46	0.04
35	10141.42	0.15



36	10520.57	0.02
37	10924.15	0.53
38	10965.26	0.05
39	10965.37	0.03
40	10991.21	0.04
41	11012.48	0.11
42	11092.27	0.02
43	11095.28	0.02
44	11467.06	0.02
45	12079.1	0.17
TOTAL DE FALLAS: 45	12079.1	17.11

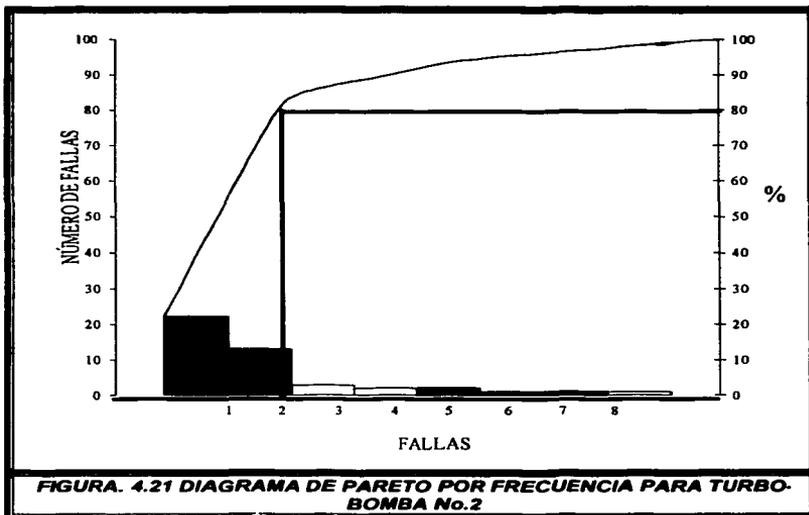
Para la turbo-bomba No.2, se aplica también el análisis de Pareto, con el cual podremos identificar las pocas fallas vitales a las cuales se les debe prestar una mayor atención, con la finalidad de corregir y reducir la frecuencia de errores, y con esto reducir el tiempo total de fallas del equipo, lo cual permite aumentar el tiempo de operación incrementándose la disponibilidad y la confiabilidad de forma directa.

Para la turbo-bomba No.2, se contabilizaron un total de 45 fallas las cuales están agrupadas dependiendo del tipo de falla, presentándose un total de 8 tipos de fallas que se presentan de forma continua, como se pueden observar en la siguiente tabla.

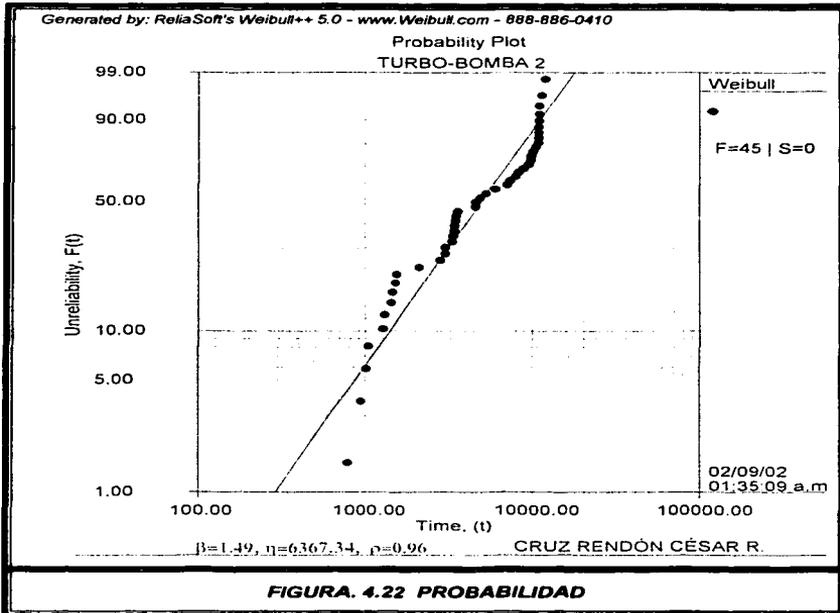
TABLA. 4.6 TOTAL DE FALLAS POR EVENTO.

TIPO DE FALLA	NÚMERO DE FALLAS
BAJA PRESIÓN DE SUCCIÓN	47
ALTA TEMPERATURA EN TURBINA	18
VELOCIDAD EXCESIVA EN TURBINA DE POTENCIA	9
BAJA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	5
BAJA PRESIÓN DE GAS COMBUSTIBLE	4
ENGRASAMIENTO	3
FUGA DE INYECTORES	1
BAJA VELOCIDAD EN TURBINA DE POTENCIA	1
FUGA EN TUERCA UNIÓN	1
RUPTURA EN TUBING DE VALVULA DE SANGRADO	1

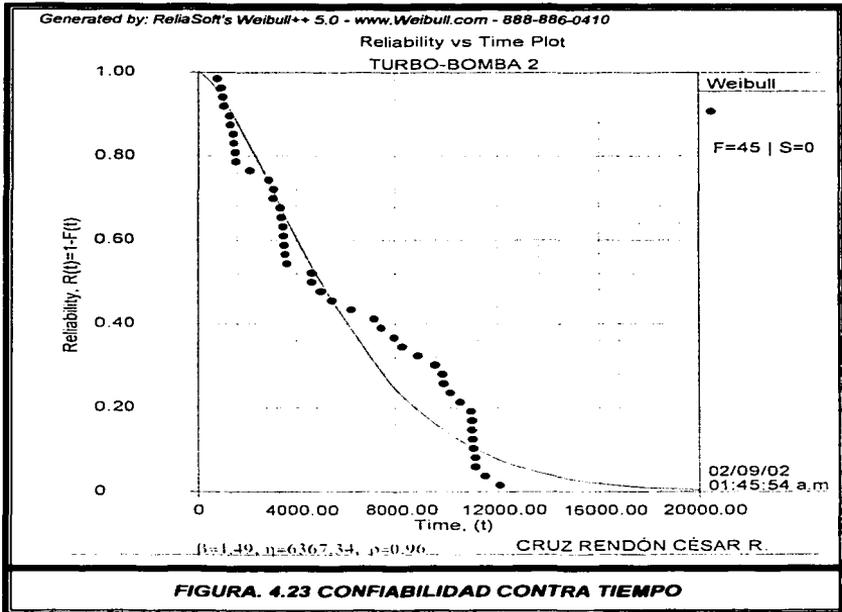
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

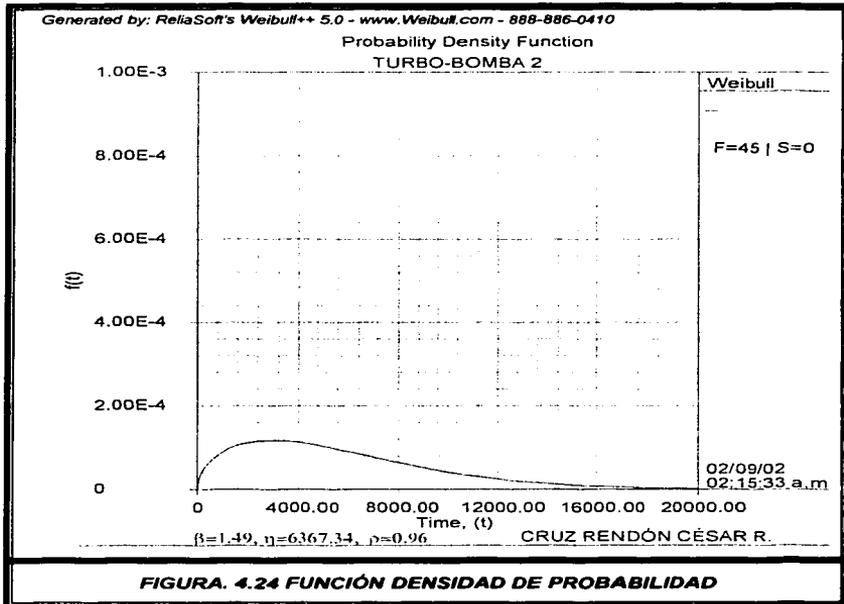


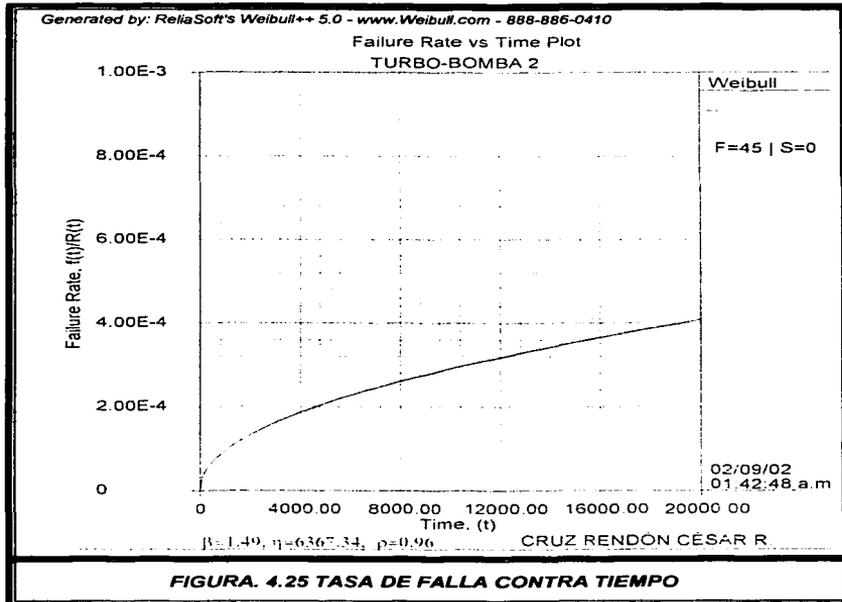
El diagrama de Pareto nos muestra que las fallas que deben ser atendidas para evitar el problemas operaciones son los tres primeros grupos de fallas que corresponden a las fallas por: baja presión de succión y alta temperatura en turbina de potencia. Las cuales son catalogadas como las pocas fallas vitales.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN









4.9.2.1 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL MTTF PARA LA TURBO-BOMBA N.2

$$\beta=1.49$$

$$\eta=6367.34$$

Ajuste de la recta=0.96

Observando la Fig.4.22, "los parámetros estimados $\beta=1.49$ de acuerdo con los rangos establecidos en el punto 4.3.1 donde se establece que para valores de $\beta>1$ el elemento se encuentra en el período de desgaste, lo que se corrobora con las gráficas 4.24 y 4.25, que indican el comportamiento de las fallas durante el período de desgaste con base a lo establecido en las figuras 4.9 y 4.10, punto 4.3, del presente capítulo.

Una vez realizada la distribución de Weibull y determinar que los datos nos ubican en el período de desgaste para el equipo, podemos obtener también otro parámetro de confiabilidad:

$$(MTBF)=[\sum \text{Tiempo entre fallas hrs.}/\text{Número de fallas}] = [12079.1/45] = 268.4244 \text{ hrs}$$

$$(MTTR)=[\sum \text{Tiempo de reparación de cada falla}/\text{Número de fallas}] = [17.11/45] = 0.3802 \text{ hrs}$$

Conociendo los parámetros MTBF y MTTR se puede obtener la disponibilidad del equipo.

$$A(t)=[MTBF/(MTBF+MTTR)] = 0.9958 = 99.58\%$$

Lo cual nos indica que la máquina en dicho período estuvo en disponibilidad de ser ocupada sin tener ninguna clase de falla un 99.58% del tiempo evaluado.

De la teoría de la distribución de Weibull, punto 4.3, se evalúa la confiabilidad:

$$R(t) = e^{-(t/\eta)^\beta}$$

η = Parámetro de escala de la ley de Weibull

β Parámetro de forma de la ley de Weibull

Confiabilidad para la turbo-bomba No.2 $R(t) = 95.7159\%$

La evaluación de confiabilidad se realiza para periodos operacionales de 780 hrs, que son las especificadas para el tiempo promedio de operación de cada una de las dos turbo-bombas. Esto indica que podemos esperar el buen



funcionamiento de la turbo-bomba en un **95.7156%**, de un tiempo de 12079.1 hrs. De funcionamiento del equipo.

4.9.3 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE CONFIABILIDAD PARA LA INSTRUMENTACIÓN Y ELEMENTOS INCORPORADOS AL SISTEMA SCADA

Para los elementos e instrumentos que no se cuenta con un registro histórico de fallas, se determinará la confiabilidad con los datos de tasa de fallas, obtenida de la publicación **OREDA-92** y **CCPS-89** el cual realiza estimaciones de diversos elementos y equipos que se requieren en procesos de la industria. Esto valores tienen un 90% de certidumbre, los datos son evaluados considerando el tiempo de vida operacional del equipo.

Para evaluar la confiabilidad de los instrumentos de medición y el PLC de la estación de bombeo se utilizará la fórmula sig.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Para $\lambda = 1/\eta$

$$R(t) = e^{-t/\eta}$$

Para la estimación de la falla constante del PLC, se realiza de la siguiente forma: El tiempo de vida de este equipo es de 32.16444 años período durante el cual presenta un total de 32 fallas, el lapso de tiempo establecido para la estación de bombeo es de 943 días, en el cual se presenta un total de 2.653 fallas aplicando la fórmula de tasa de falla constante

$$\lambda = \text{Número de fallas} / \text{Tiempo de vida ó servicio "Hrs"}$$

TABLA. 4.7 CONFIABILIDAD PARA INSTRUMENTACIÓN INCORPORADA AL SCADA.

EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD CON DATOS OBTENIDOS DEL MANUAL OREDA-92					
ELEMENTO	INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN Y ELEMENTOS FINALES DE OPERACIÓN CONTROLADO Y MONITOREADO POR EL SISTEMA SCADA				
	TURBO-BOMBA NO.1				
	NO. DE FALLAS	TIEMPO DE VIDA DEL EQUIPO EN AÑOS	NÚMERO DE FALLAS PARA EL TIEMPO DE OPERACIÓN	TASA DE FALLA	% CONFIABILIDAD
Sensor de presión	539	631.735	1.1765	0.2126E-6	99.7435

TESIS CON
LA DE ORIGEN



Sensor de temperatura	88	1331.9069	0.0911	7.8084E-9	99.9905
Sensor de flujo	6	38.43607	0.215249	0.6393E-6	99.2308
PLC	32	32.16444	1.208082	4.4252E-6	94.79

TABLA. 4.8 CONFIABILIDAD PARA INSTRUMENTOS INCORPORADOS AL SCADA.

EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD CON DATOS OBTENIDOS DEL MANUAL OREDA-92					
ELEMENTO	INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN Y ELEMENTOS FINALES DE OPERACIÓN CONTROLADO Y MONITOREADO POR EL SISTEMA SCADA				
	TURBO-BOMBA NO.2				
	NO. DE FALLAS	TIEMPO DE VIDA DEL EQUIPO EN AÑOS	NÚMERO DE FALLAS PARA EL TIEMPO DE OPERACIÓN	TASA DE FALLA	% CONFIABILIDAD
Sensor de presión	539	631.735	1.0360	0.1872E-6	99.801
Sensor de temperatura	88	1331.9069	0.0802	6.8763E-9	99.9926
Sensor de flujo	6	38.43607	0.1895	0.562977 E-6	99.4029
PLC	32	32.16444	1.208082	4.4252E-6	95.402

Las válvulas de la estación de bombeo que son monitoreadas y controladas por el sistema SCADA, son de actuadores eléctricos como ya se había establecido en el Capítulo 2, por tal motivo se trabajará con tasa de falla de una válvula que opera con motor eléctrico la cual se tabula más adelante, así mismo se requiere de la tasa de falla para un sensor/interruptor eléctrico, para flujo líquido. Para la siguiente evaluación el parámetro de tiempo será de 943 días=22632 horas de operación.

Los datos fueron obtenidos de dos fuentes diferentes; OREDA-92 y CCPS Guidelines for Process Equipment Reliability Data, AIChE, New York; 1989. Por tal motivo difieren en la presentación de los datos.

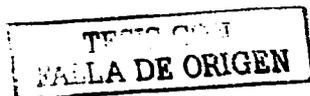




TABLA. 4.9 ELEMENTOS FINALES DE CONTROL Y SENSOR DE FLUJO, ESTABLECIDOS PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA.

EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD CON DATOS OBTENIDOS DEL MANUAL CCPS-89		
ELEMENTO	INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN Y ELEMENTOS FINALES DE OPERACIÓN CONTROLADO Y MONITOREADO POR EL SISTEMA SCADA	
	TASA DE FALLA	% CONFIABILIDAD
Válvula operada con motor	3.59E-6	92.1964
Sensor / interruptor eléctrico, para flujo líquido	7.5E-6	84.3884

4.9.4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE RTU Y SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES

Para el cálculo de la confiabilidad del sistema de telecomunicaciones del sector Cd. Mendoza manejaremos un dato que es proporcionado por los proveedores del equipo, **MTTF**, el dato que el fabricante da como Tiempo Medio Entre Falla (**MTBF**) es en realidad un promedio de tiempo para que el equipo falle, es decir es el Tiempo Medio Para Falla (**MTTF**), es decir es el tiempo de operación hasta que se presenta la primera falla. Generalmente el fabricante utiliza el término (**MTBF**) pero éste factor se calcula con el **MTTF** y el **MTTR**, éste último se determina cuando el equipo está en funcionamiento.

De acuerdo con la información proporcionada por el proveedor este dato está proporcionado en función de que no exista antes del tiempo a la falla una descarga eléctrica que dañe el equipo.

A continuación se presenta una tabla con la información proporcionada por los distribuidores de equipo de telecomunicaciones (**MTTF**), el cual será utilizada para el cálculo de confiabilidad.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TABLA. 4.10 DATOS DEL MTTF, PROPORCIONADO POR EL FABRICANTE.**

TIEMPO A LA FALLA PARA EQUIPOS DEL SISTEMA TELECOMUNICACIONES PROPORCIONADO POR PROVEEDORES	
EQUIPO	MTTF
Radio Remoto MDS 4310	80,000HRS
Radio Maestro Redundante MDS 4100 A	240,466HRS
Radio Maestro no Redundante	80,000HRS
Hughes Network Systems	55,000HRS
Multiplexor DVM 6062	316,726/63,345.2HRS
Multiplexor DVX 6067	431,034HRS
RS-485 Converter (485LPCOR)	1,200,000HRS
RSD-M(Splitter)	175,000HRS
SRM-8, SRM-8V (Modem)	107,917.4HRS
EK-1	107,917.4HRS
Protector de línea (SP 360 A)	50,000HRS
ETR	100,000HRS

TABLA.4.11 DATOS DEL MTTF, PROPORCIONADA POR EL FABRICANTE.

ESTACIONES REMOTAS DEL SECTOR CD. MENDOZA	
MODO DE FALLA	MTTF
Radio Remoto tx/rx	80000HRS
Modem	107917.4 HRS
Multiplexor	63345 HRS
Splitter	175000 HRS
Radio Maestro Redundante	240466 HRS
Radio Maestro no Redundante	80000 HRS
EK1	107917 HRS

El período de tiempo establecido para el análisis de confiabilidad de equipos del sistema de telecomunicaciones es de un año (8760 hrs).

A continuación se muestran los datos de confiabilidad obtenidos para los elemento de sistema de telecomunicaciones y estación remota del sector Cd. Mendoza.

**TABLA. 4.12 CONFIABILIDAD DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES DEL SECTOR MENDOZA.**

EQUIPO DE TELECOMUNICACIONES	IDENTIFICACIÓN	TIEMPO REPARACIÓN	MTR (HRS.)	MTTF (HRS.)	MTBF (HRS.)	TASA DE FALLAS	CONFIABILIDAD DEL EQUIPO R(S)	OBSERVACIONES EN EL CAPITULO 5
RADIO REMOTO	CM-001	1045	19 416667	80000	80019 417	1 2497E-05	0.896305979	Nota 1
MODEN	CM-003	1000	18 666667	107917	107935 67	9 2648E-06	0.922046654	Nota 7
SPLITTER	MC-004	1045	19 416667	175000	175019 42	5 7137E-06	0.951180352	Nota 6
SPLITTER	CM-005	1045	19 416667	175000	175019 42	5 7137E-06	0.951180352	Nota 6
RADIO REMOTO	CM-006	1015	18 916667	80000	80018 917	1 2497E-05	0.896305366	Nota 1
MODEN	MC-006	1015	18 916667	107917	107935 92	9 2648E-06	0.922046827	Nota 7
RADIO REMOTO	CM-007	1010	18 833333	80000	80018 833	1 2497E-05	0.896305264	Nota 1
RADIO REMOTO	CM-008	1070	19 833333	80000	80019 833	1 2497E-05	0.89630649	Nota 1
NO DISPONIBLE	CM-18							
MODEN	CM-019	990	18 5	107917	107935 5	9 2648E-06	0.922046538	Nota 7
MODEN	CM-20	1010	18 833333	107917	107935 83	9 2648E-06	0.922046769	Nota 7
SPLITTER	CML-001	1070	19 833333	175000	175019 83	5 7136E-06	0.955118047	Nota 6
RADIO REMOTO	CML-002	1045	19 416667	80000	80019 417	1 2497E-05	0.896305979	Nota 1
RADIO REMOTO	CML-003	1040	19 333333	80000	80019 333	1 2497E-05	0.896305877	Nota 1
RADIO REMOTO	CML-004	1015	18 916667	80000	80018 917	1 2497E-05	0.896305366	Nota 1
RADIO REMOTO	CML-005	1045	19 416667	80000	80019 417	1 2497E-05	0.896305979	Nota 1
RADIO REMOTO	CML-006	1045	19 416667	80000	80019 417	1 2497E-05	0.896305979	Nota 1
RADIO REMOTO	CML-007	1040	19 333333	80000	80019 333	1 25E-05	0.89305877	Nota 1
NO DISPONIBLE	CML-008							
MODEN	CML-009	990	18 5	100000	100018 5	1 00E-05	0.916142098	
MODEN	CML-010	1015	18 916667	107917	107935 92	9 26E-06	0.922046827	Nota 7
RADIO MAESTRO PROTEGIDO	XT-014	1045	19 416667	240466	240485 42	4 16E-06	0.964229131	Nota 2
TARJETA DE MULTIPLEXOR V.28	XT-014	1045	19 416667	63345 2	63364 617	1 58E-05	0.870883119	Nota 4
SPLITTER	XT-014	1045	19 416667	175000	175019 42	5 71E-06	0.951180352	Nota 6
TARJETA DE MULTIPLEXOR V.28	XT-036	1045	19 416667	63345 2	63364 617	1 58E-05	0.870883119	Nota 4
SPLITTER	XT-036	1045	19 416667	175000	175019 42	5 71E-06	0.951180352	Nota 6
RADIO MAESTRO PROTEGIDO	XT-036	1045	19 416667	240466	240485 42	4 16E-06	0.964229131	Nota 2
TARJETA DE MULTIPLEXOR V.28	XT-046	1025	19 083333	240466	24085 08	4 16E-06	0.964229082	Nota 4

TESIS CON
 FALTA DE ORIG...



SPLITER	XT-046	1025	19.083333	175000	175019.08	5.71E-06	0.951180262	Nota 6
TARJETA DE MULTIPLEXOR V.28	XT-048	1025	19.083333	63345.2	63364.283	1.58E-05	0.870882486	Nota 4
SPLITER	XT-048	1025	19.083333	175000	175019.08	5.71E-06	0.951180262	Nota 6
RADIO MAESTRO PROTEGIDO	XT-048	1025	19.083333	240466	240485.08	4.16E-06	0.964229082	Nota 2
TARJETA DE MULTIPLEXOR V.28	XT-050	990	18.5	63345.2	63363.7	1.58E-05	0.870881378	Nota 4
SPLITER	XT-050	990	18.5	175000	175018.5	5.71E-06	0.951180103	Nota 6
MODEN	XT-050	990	18.5	107917.4	107935.9	9.26E-06	0.922046816	Nota 7
GENERADOR DE COMUNICACIÓN EN LÍNEA(EK1)	XT-050	990	18.5	107917	107935.5	9.26E-06	0.922046538	Nota 8
TARJETA DE MULTIPLEXOR V.28	XT-051	1075	19.916667	63345.2	63365.117	1.58E-05	0.870884069	Nota 4
SPLITER	XT-051	1075	19.916667	175000	175019.92	5.17E-06	0.951180488	Nota 6
RADIO MESTRO NO PROTEGIDO	XT-051	1075	19.916667	80000	80019.917	1.25E-05	0.896306592	Nota 3
RADIO MESTRO NO PROTEGIDO	XT-232	1040	19.333333	80000	80019.333	1.25E-05	0.896305877	Nota 3
SPLITER	XT-232	1040	19.333333	175000	175019.33	5.71E-06	0.95118033	Nota 6
MODEN	XT-232	1040	19.333333	107917.4	107936.73	9.26E-06	0.922047393	Nota 7
TARJETA DE MULTIPLEXOR V.28	XT-232	1040	19.333333	63345.2	63364.533	1.58E-05	0.870882961	Nota 4
MODEN	XT-235	1015	18.916667	107917.4	107936.32	9.26E-06	0.922047104	Nota 7
TARJETA DE MULTIPLEXOR V.28	XT-235	1015	18.916667	63345.2	63364.117	1.58E-06	0.870882169	Nota 4

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



El cálculo de confiabilidad para el Sistema de Telecomunicaciones y Estación Remota se realizó utilizando el método gráfico diagrama de bloques, esto debido a la gran cantidad de elementos con que cuenta la infraestructura de telecomunicaciones del sector Mendoza, ya que la presentación de un documento que contenga esta información requiere de dimensiones especiales, éste se realizó en plano, el cual se puede apreciar en el Anexo de éste documento. Para fines prácticos se presentarán en forma tabulada los resultados del cálculo de confiabilidad.

TABLA. 4.13 CÁLCULO DE CONFIABILIDAD PARA EL SECTOR CD. MENDOZA.

CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES Y ESTACIONES REMOTAS DEL SECTOR CD. MENDOZA				
ECUACIONES DE CONFIABILIDAD MÉTODO "DIAGRAMA DE BLOQUES"	% CONFIABILIDAD	NO CONFIABILIDAD	No. DE ESTACIONES	GRADO DE CONFIABILIDAD
$R_{CM1} = M_{XT-235} * M_{CM-010}$	0.850168	0.149832	1	NORMAL
$R_{CM2} = M_{XT-235} * M_{CM-010}$	0.850168	0.149832	1*	CRÍTICO
$R_{CM3} = 1 - ((1 - R_{CM1}) * (1 - R_{CM2}))$	0.977550	0.02245	2*	BUENO
$R_{CM4} = V_{XT-050} * V_{XT-235} * R_{CM3}$	0.758435	0.241565	2*	CRÍTICO
$R_{CM5} = M_{XT-050} * M_{CM-002}$	0.850168	0.149832	1	NORMAL
$R_{CM6} = K_{XT-050}$	0.896305	0.103695	1*	CRÍTICO
$R_{CM7} = 1 - ((1 - R_{CM4}) * (1 - R_{CM5}) * (1 - R_{CM6}))$	0.996246	0.003754	4*	BUENO
$R_{CM8} = V_{XT-051} * V_{XT-050} * S_{XT-050} * R_{CM7}$	0.718698	0.281302	4*	MUY CRÍTICO
$R_{CM9} = V_{XT-048} * V_{XT-048} * S_{XT-048}$	0.884347	0.115653	2*	CRÍTICO
$R_{CM10} = P_{XT-048} * T_{CM-007}$	0.864243	0.135757	1	NORMAL
$R_{CM11} = 1 - ((1 - R_{CM9}) * (1 - R_{CM10}))$	0.884347	0.115653	3*	CRÍTICO
$R_{CM12} = T_{CM-008} * M_{CM-008} * M_{CM-008}$	0.762010	0.23799	1	CRÍTICO
$R_{CM13} = T_{CM-007}$	0.896305	0.103695	1*	CRÍTICO
$R_{CM14} = 1 - ((1 - R_{CM12}) * (1 - R_{CM13}))$	0.975321	0.024679	2*	BUENO
$R_{CM15} = N_{XT-232} * R_{CM14}$	0.864243	0.135757	2*	CRÍTICO
$R_{CM16} = M_{XT-232} * M_{CM-020}$	0.850168	0.149832	1	NORMAL
$R_{CM17} = 1 - ((1 - R_{CM15}) * (1 - R_{CM16}))$	0.979659	0.020341	3*	BUENO
$R_{CM18} = V_{XT-232} * S_{XT-232} * R_{CM17}$	0.835205	0.164795	3*	MUY CRÍTICO
$R_{CM19} = 1 - ((1 - T_{CM-001}) * (1 - T_{CM-001}) * (1 - T_{CM-001}))$	0.998885	0.001115	3	BUENO
$R_{CM20} = T_{CM-005} * S_{CM-005}$	0.852547	0.147453	2	NORMAL
$R_{CM21} = 1 - ((1 - R_{CM219}) * (1 - R_{CM20}))$	0.999835	0.000165	5	BUENO
$R_{CM22} = V_{XT-038} * R_{CM21}$	0.964069	0.035931	5	BUENO
$R_{CM23} = V_{CM-009}$	0.922046	0.077954	1	BUENO
$R_{CM24} = V_{CM-009} * S_{CM-002}$	0.852547	0.147453	2	NORMAL
$R_{CM25} = 1 - ((1 - R_{CM23}) * (1 - R_{CM24}))$	0.988505	0.011495	3	BUENO
$R_{CM26} = P_{XT-014} * R_{CM25}$	0.953145	0.046855	3	BUENO



$RCM27 = V_{XT-014} * V_{XT-029} * S_{XT-029} * P_{XT}$	0.680960	0.31904	2	MUY CRÍTICO
$029 * T_{CML-001} * S_{CML-001}$				
$RCM28 = 1 - ((1 - R_{CM2}) * (1 - R_{CM21}))$	0.985051	0.014949	5	BUENO
$RCM29 = V_{XT-036} * V_{XT-014} * S_{XT-014} * R_{CM29}$	0.710625	0.289375	5	MUY CRÍTICO
$RCM30 = 1 - ((1 - R_{CM22}) * (1 - R_{CM29}))$	0.989602	0.010398	10	BUENO
$RCM31 = V_{XT-036} * S_{XT-029} * R_{CM29}$	0.861827	0.138173	10	NORMAL
$RCM32 = V_{XT-048} * V_{XT-036} * ((1 - R_{CM18}) * (1 - R_{CM31}))$	0.977229	0.022771	13*	BUENO
$RCM33 = 1 - ((1 - R_{CM11}) * (1 - R_{CM32}))$	0.997366	0.002634	16*	BUENO
$RCM34 = V_{XT-051} * V_{XT-048} * S_{XT-048} * R_{CM33}$	0.719508	0.280492	16*	MUY CRÍTICO
$RCM35 = 1 - ((1 - R_{CM7}) * (1 - R_{CM34}))$	0.921097	0.078903	20*	CRÍTICO
$RCM00 = V_{XT-051} * S_{XT-051} * R_{CM35}$	0.802168	0.197832	20*	MUY CRÍTICO

* Indica que los grados de confiabilidad involucran una ó más estaciones de Compresión o Bombeo lo cual constituye alta prioridad dentro de la red de ducto.

Simbología:

- Rxx-xxx = Confiabilidad del Arreglo
- Txx-xxx = Radio remoto
- Vxx-xxx = Interfaz V.28 del Multiplexor
- Pxx-xxx = Radio Maestro Protegido
- Sxx-xxx = Splitter
- Mxx-xxx = Modem
- Nxx-xxx = Radio Maestro no Protegido
- Kxx-xxx = EK-1
- ETRxx-xxx = Estación Terrena Satelital
- SATxx-xxx = Satélite
- XT = Estación de Telecomunicaciones

La confiabilidad para el sistema de telecomunicaciones del sector es de **0.802168**, lo cual constituye un grado de confiabilidad **muy crítico**, ya que es precisamente en este sector donde se encuentran ubicadas cuatro de las cinco estaciones de bombeo además de las estaciones de compresión, las cuales tienen alta prioridad para PEMEX.

Los niveles de criticidad para el sistema de telecomunicaciones son establecidos bajo los planteamientos de PEMEX-PGPB, en base a la operabilidad de sistema de ductos.

TABLA. 4.14 ESCENARIOS DE CONFIABILIDAD ESTABLECIDOS POR PGPB.

GRADO DE CONFIABILIDAD	ESCENARIOS DE CONFIABILIDAD
Bueno	• Si, el valor de confiabilidad del arreglo es de 0.95 o superior. Si, el valor de confiabilidad es de 0.9 o superior y se tienen 10 estaciones remotas o menos involucradas en el arreglo, de la cuales ninguna de ellas es de Compresión o Bombeo.



Normal	<ul style="list-style-type: none"> • Si, el valor de la confiabilidad esta entre 0.9 y 0.95; y se tienen más de 10 estaciones remotas involucradas en el arreglo, de las cuales ninguna de ellas es de Compresión o Bombeo. • Si, el valor de la confiabilidad está entre 0.8 y 0.9; y se tienen 10 o menos estaciones remotas involucradas en el arreglo, de las cuales ninguna de ellas es de Compresión o Bombeo.
Crítico	<ul style="list-style-type: none"> • Si, el valor de la confiabilidad esta entre 0.8 y 0.9, y se tiene más de 10 estaciones remotas involucradas en el arreglo, de las cuales ninguna de ellas es de Compresión o Bombeo. • Si, el valor de la confiabilidad esta entre 0.75 y 0.8, y se tiene 10 o menos estaciones remotas involucradas en el arreglo, de las cuales ninguna es de Compresión o Bombeo. • Si el valor de confiabilidad esta entre 0.85 y 0.95, y al menos una estación es de Compresión o Bombeo.
Muy crítico	<ul style="list-style-type: none"> • Si, el valor de confiabilidad del arreglo está entre 0.75 y 0.0. • Si, el valor de confiabilidad está entre 0.75 y 0.9, y se tiene más de 10 estaciones de remotas involucradas en el arreglo. • Si el valor de confiabilidad está entre 0.8 y 0.0, y al menos una estación de Compresión o Bombeo.

Para efectos de cálculo de confiabilidad del sistema SCADA, es necesario manejar solo los datos que corresponden al sistema de telecomunicaciones de la estación de bombeo Zapoapita, los cuales se presentan a continuación.

TABLA. 4.15 CONFIABILIDAD DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES.

EQUIPO TELECOMUNICACIONES	IDENTIFICACIÓN	CONFIABILIDAD DEL EQUIPO
SPLITTER	XT-046	0.9511
MUX	XT-048	0.9642
MUX	XT-048	0.8706
SPLITTER	XT-051	0.9511
MUX	XT-048	0.8706
MUX	XT-051	0.8706
SPLITTER	XT-051	0.9511
MUX	XT-051	0.8706

El cálculo de la confiabilidad se realizará utilizando el método diagrama de bloques de confiabilidad, el documento correspondiente se presenta en los planos los cuales están contenidos en el "Anexo V". La confiabilidad obtenida para el sistema de telecomunicaciones es de: 0.4149911 esto indica que podemos esperar un funcionamiento correcto del **41.49911%**, durante un periodo de 6216 hrs. de funcionamiento continuo; mientras que para la estación el equipo de



bombeo se estableció un período de **2.59** años, con lapsos operativos de 760 hrs. funcionamiento aproximadamente.

El resultado de cálculo de confiabilidad nos indica un funcionamiento muy crítico, de acuerdo con los escenarios de confiabilidad establecidos por PGPB, tabla 4.14, este comportamiento lo cual podemos corroborar con la curva de datos de operación para el sector Cd. Mendoza.

TABLA. 4.16 TIEMPOS OPERACIONALES DE LAS DIFERENTES INSTALACIONES DEL SECTOR CD. MENDOZA.

RELACIÓN DE ESTACIONES Y TIEMPOS DE OPERACIÓN	
NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TIEMPOS DE OPERACIÓN
CM-001 TIERRA BLANCA	4873.66
CM-003 CD. MENDOZA	4635.84
MC-004 ENTRONQUE TIERRA BLANCA	4823.57
CM-005 LOMA BONITA	2272.45
CM-006 OMEALCA	5485.65
CM-007 IXTACZOQUITLÁN	3238.49
CM-008 MATALIMONES	4613.56
CM-18 EST. BOMBEO No 4 OLEO	1788.73
CM-019 EST. BOMBEO No 5 OLEO	4967.9
CM-20 ARROYO MORENO	4843.18
CML-001 MATALIMONES	4633.76
CML-002 LOMA BONITA	2647.23
CML-003 MDR PAPALOAPAN	4808.6
CML-004 LOS NARANJOS	2357.87
CML-005 TERM. TIERRA BLANCA	5019.15
CML-006 TIERRA BLANCA	3022.84
CML-007 EB ARROYO MORENO	1020.3
CML-008 EB ZAPOAPITA	976.71
CML-009 EB CD. MENDOZA	4888.02
CML-010 EB MALTRATA	4479.62

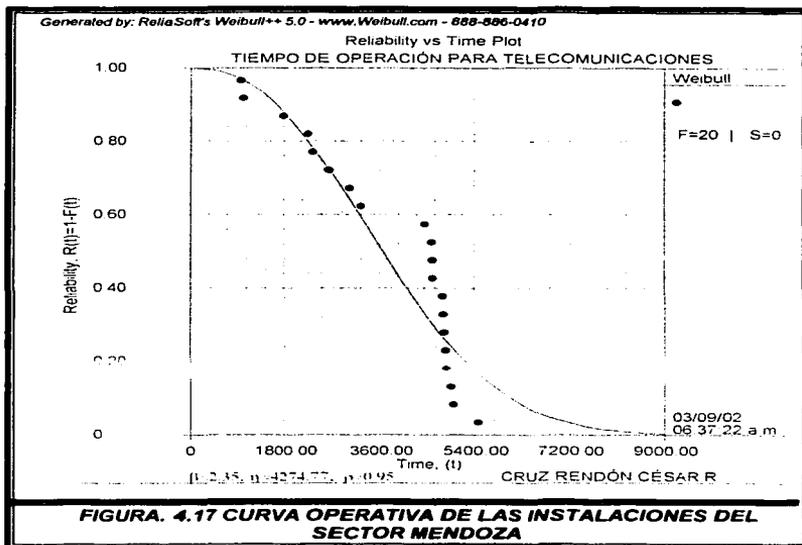
Como podemos observar de los tiempos de operación para la estación de No. 4 Zapoapita, es la estación que reporta el tiempo de operación más bajo de todas las estaciones de los sistemas de telecomunicaciones, lo cual justifica los datos que se obtuvieron de la gráfica de confiabilidad para las estaciones que son operadas por PEMEX-PGPB, cabe mencionar que el tiempo evaluado para el sistema de bombeo es de 23316.28 hrs., mientras que el tiempo de operación evaluado para el sistema de telecomunicaciones es de 6216 hrs.

NOTA: Es de vital importancia señalar que los datos para la evaluación de la estación de monitoreo ó CCP y su respectiva redundancia CCC, el último de los cuatro subsistemas del sistema SCADA, no fue posible obtenerlos en ninguna de las formas en las que se trabajó en este análisis de confiabilidad (históricos,



documentos especializados ó proporcionados por el fabricante) limitando la evaluación y el análisis global , del sistema SCADA.

Realizando el cálculo de la confiabilidad , con los datos obtenidos para el sistema SCADA, se procede a realizar el cálculo para obtener la confiabilidad del sistema, el cual se realizará utilizando el método "diagrama de bloques" el cual está representado en el plano No.6: diagrama de bloques de confiabilidad del sistema SCADA, "anexo V". La confiabilidad obtenida del cálculo es de 0.413498464, lo cual equivale a un 41.3498464% de posibilidades que el sistema opere de forma correcta durante los periodos de tiempo establecidos para el presente análisis.





CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

00.11-10

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante la realización de este trabajo se realizó la búsqueda de información concerniente al reporte de operación de los equipos e instrumentos de la Estación de Bombeo Zapoapita, mismos que no fue posible obtener, sin embargo se obtuvieron los datos proporcionados para los elementos de telecomunicaciones, proporcionados por los distribuidores, con la finalidad de realizar el análisis de confiabilidad se utilizaron datos de diferentes fuentes, las cuales son de tres tipos:

Datos de diseño, los cuales son proporcionados por los fabricantes ó distribuidores.

Datos obtenidos de manuales especializados en el estudio de confiabilidad como el OREDA-92 y el CCPS-89, los cuales realizan estimaciones de los diversos elementos y equipos que son más comunes en la industria.

Así mismo se utilizó un banco de datos (registro histórico) de una turbo-bomba utilizada para el manejo de petróleo, se trabajo con esta información por dos aspectos fundamentales, la primera de ellas las características del equipo son similares al utilizado en la Estación de Bombeo Zapoapita, y el segundo y más importante fue, mostrar el manejo de datos históricos que nos permita, una vez realizados los cálculos, interpretar los resultados a partir de los parámetros estadísticos y de las gráficas obtenidas.

Cabe mencionar que el manejo de estos datos nos permitió trabajar de dos formas para obtener la confiabilidad del sistema, la primera se realizó a partir de los datos obtenidos de los manuales especializados aplicando la fórmula de confiabilidad $R(t) = e^{-\lambda t}$, y el segundo por medio de la bitácora de eventos del equipo en el cual se reportan las fallas durante la operación.

Es importante establecer que con los procedimientos para el cálculo de la confiabilidad aquí establecidos, es posible aplicarlos para realizar cálculos a cualquiera de los equipos que se utilizan en la industria. La información que un estudio de confiabilidad nos proporciona ayuda a establecer estrategias que permita predecir futuras fallas del equipo, enfocando el mantenimiento preventivo a la prevención de las pocas fallas vitales (proporcionadas por el análisis de Pareto) que afectan en mayor grado el funcionamiento de equipo.

Los resultados del análisis de confiabilidad obtenidos en el capítulo 4, indican que las turbo bombas se encuentran en las etapas o periodo de desgaste. Esto nos lleva a considerar todos los aspectos del mantenimiento "nivel preventivo". Es importante destacar que aunque la disponibilidad es cercana al 100% el periodo de vida de la máquina se encuentra en la fase de desgaste, a



primera vista esto parece contradictorio pero la causa por la cual la disponibilidad es alta es debido a que las fallas son corregidas de forma rápida

Al realizar la evaluación de la confiabilidad para las turbo-bombas la No.1 resulta con una confiabilidad menor con respecto a la turbo-bomba No.2, esto es debido a que el tiempo de operación de éste fue mayor. Una de las ventajas que tienen este tipo de equipos es la operación con relevos lo cual disminuye el tiempo de operación de cualquier equipo prolongando un funcionamiento estable, ya que los elementos no se desgastan de la misma forma que los equipos de uso continuo.

Aún con esta ventaja el desgaste es inevitable lo cual vemos reflejado en el parámetro beta aun cuando los equipos se encuentren en la fase de desgaste son capaces de dar un servicio relativamente bueno, solo que a mediano plazo será necesario un mantenimiento mayor, por la importancia que tiene estos equipos es recomendable se implemente el mantenimiento preventivo de la unidad contemplando los tres tipos de mantenimiento citados en el capítulo 3.

- A. Mantenimiento operacional.
- B. Mantenimiento intermedio.
- C. Mantenimiento mayor.

Esto con la finalidad de prevenir desperfectos futuros que se pudieran afectar la distribución del LPG.

Con respecto a los resultados obtenidos para la turbo-bomba No.1, se observo en el análisis de Pareto figura 4.16, que las pocas fallas vitales del equipo se encuentran distribuidas en los primeros tres grupos de fallas:

- Baja presión de succión (47).
- Alta temperatura en turbina de potencia (18).
- Velocidad excesiva en turbina de potencia (9).

Por lo tanto, los esfuerzos para corregir la ocurrencia de fallas se deberán enfocar a corregir estos tres grupos de fallas, es importante observar que las fallas que se presentaron durante el período establecido, son de índole operacional más que de fallas mecánicas por descomposturas de algún elemento del equipo por lo cual podemos inferir que las revisiones establecidas para el equipo, capítulo 3, son aplicadas lo cual se puede corroborar observando la cantidad de fallas mecánicas que se presentan durante la operación.

Las fallas que se presentan durante el período de funcionamiento, y que podemos observar en la figura 4.20 tasa de falla contra tiempo, indica que las fallas que se presenta el equipo seguirán presentándose cada vez con mayor frecuencia esto debido a que el equipo se encuentra en el período de desgaste establecido por el parámetro $\beta = 1.19$, en la curva de la bañera figura 4.2 puede observarse que cuando el equipo se encuentra en un período de desgaste CD la



frecuencia de fallas se incrementan de manera gradual, requiriendo mantenimiento correctivo de forma cada vez más frecuente.

Aunque la confiabilidad del equipo es buena, 88.9584%, y la disponibilidad muy buena, 99.51%, es necesario observar que la no confiabilidad también es considerable, 11.0416%, por lo cual es recomendable mantener disponible la turbo-bomba No.2, proporcionándole el mantenimiento preventivo cada vez que la turbo-bomba No.1 entre en operación.

Con lo que respecta a la turbo-bomba No. 2. Los datos obtenidos de cálculo de confiabilidad se concluyen los siguientes puntos:

En primer lugar es importante señalar que este equipo tuvo un menor número de fallas durante el período de tiempo establecido, aun y cuando el tiempo de operación es mayor al de la turbo-bomba No.1. Sin embargo al realizar el análisis de Pareto se guarda una similitud con el tipo de fallas que se presentan durante el período de estudio de la turbo-bomba No.1. El análisis de Pareto nos ubica las pocas fallas vitales de la turbo-bomba No. 2, las cuales son:

- ◆ Baja presión de succión (22)
- ◆ Alta temperatura en turbina de potencia (13)

Nuevamente la mayoría de las fallas son de tipo operacional para saber si realmente se tiene un control de las variables de proceso es necesario revisar el banco de datos, para ver el tiempo aproximado que tarda en corregir las fallas antes citadas, el tiempo aproximado para corregir las fallas es de 3 a 6 minutos, como se puede observar la mayoría de las fallas, baja presión de succión, no dependen de la Estación de Bombeo Zapoapita, ya que antes de ésta se encuentra la Estación No.3 Arroyo Moreno. Es preciso señalar que el Operador del CCP solo puede controlar las siguientes válvulas: a la entrada de la estación, a la salida de la estación, a la descarga de la bomba y la del quemador, los demás instrumentos solo son monitoreados, por tal motivo se recomienda que exista una estrecha comunicación entre el Operador de las estaciones de bombeo y el Operador del CCP, lo cual permitirá tener un mayor control de las variables del proceso evitando con esto la mayoría de las fallas que se presentan en las turbo-bombas.

Con lo que respecta a la confiabilidad, este equipo presenta un porcentaje muy bueno lo cual podemos observar en el cálculo que se le realizó, punto 4.9.2.1 y en la figura 4.23, ya que el número de fallas ($F=45$) es mucho menor al de la turbo-bomba No.1, se puede observar que la disponibilidad es de igual forma muy buena esto debido a que el tiempo de corrección de las fallas es relativamente rápido.

En lo que concierne a estos equipos no existe mucho problema con la confiabilidad ya que además de contar con un alto porcentaje, por equipo, también se cuenta con el equipo de relevo lo cual incrementa la confiabilidad esto por el



tipo de arreglo, como se observa en la figura 4.13. Aun y cuando se cuente con un nivel muy aceptable, se recomienda el mantenimiento preventivo, revisando cuidadosamente el estado que guarda el equipo una vez que ha terminado su periodo operativo.

Para disminuir las fallas que se presentan durante la operación de las turbo-bombas 1 y 2, se hacen las siguientes recomendaciones:

Baja presión de succión: se recomienda mantener una estrecha comunicación por parte del Operador del Centro de Control Principal con el Operador de las Estación de Bombeo No.3, ésta comunicación debe existir ya que entre las funciones que se puede controlar desde el CCP no se encuentra el de controlar la cabeza de descarga de la turbo-bomba, como se puede leer en el Procedimiento Operativo del Sistema de Control y Supervisión Local de las Estaciones de Bombeo, punto II-5, Anexo II.

Alta temperatura en turbina de potencia: se recomienda revisar la entrada de aire de enfriamiento de la Turbina, revisando el compresor en la parte del difusor ó cuando se realice el mantenimiento mayor del equipo revisando los conductos por donde pasa el flujo de aire por medio de la técnica de un endoscopio. Otro aspecto importante de revisar son las bombas de aceite lubricante verificar que el funcionamiento sea el adecuado, como la presión de descarga y el flujo, si éstas están dentro de los parámetros establecidos por el proceso entonces se deberá revisar sus propiedades físicas, analizando una muestra para verificar la viscosidad, el índice de acidez ó la posible presencia de agua. Si las condiciones del aceite no son las adecuadas se deberá reemplazar.

Velocidad excesiva en turbina de potencia: ésta función es realizada en forma manual por el Operador de la estación. Se recomienda mantener los rangos de velocidad requeridos por el proceso ya que operar con una velocidad excesiva durante periodos prolongados genera vibración en el equipo, provocando desajustes del equipo.

Baja presión de succión de gas combustible: verificar que todas las válvulas de suministro de gas combustible estén funcionando de forma correcta, así mismo se debe realizar las siguientes actividades: limpiar las trampas en las tuberías de suministro del sistema de gas combustible y la inspección de los componentes del sistema de combustible y verificar su funcionamiento.

Engrasamiento: se recomienda revisar que el sistema de lubricación suministre de forma correcta el suministro de aceite a la siguientes partes de la tubo-bomba: a la turbina de gas y a los cojinetes de la unidad de engrasamiento, al actuador de control de los álabes variables y a la unidad de impulsión de accesorios. Además se recomienda una revisión de los siguientes elementos del sistema de lubricación:

- Tanque de aceite.



- ◆ Bomba principal de aceite lubricante impulsado por la turbina.
- ◆ Bomba de aceite de pre/pos lubricación impulsada por un motor eléctrico.
- ◆ Filtro doble de aceite.

Es importante señalar que se requiere que el aceite lubricador reúna la características requeridas para el equipo. Una vez transcurrido el tiempo de vida del aceite, 90 días aproximadamente, se recomienda realizar el cambio de éste.

Alta presión de descarga: se recomienda verificar la velocidad de la turbina de potencia, controlando la velocidad de la turbina por parte del operador de la estación de bombeo, cabe mencionar que se debe corregir esta anomalía de forma rápida ya que una de las causas para el paro de la turbo-bomba es la alta presión a la descarga, como está establecido en el Procedimiento Operativo del Sistema de Control y Supervisión Local de Estación de Bombeo.

Fuga de inyectores: para esta falla en el elemento de la turbina se requiere de una inspección detallada que permita verificar la integridad mecánica de éste, se recomienda el cierre de las válvulas de suministro de combustible mientras se realiza la inspección y corrección de esta falla.

Velocidad baja en turbina de potencia: se recomienda el constante monitoreo de las condiciones operativas del equipo, por parte del Operador, ya que la forma de operar la velocidad del equipo es de forma manual en la perilla de control de velocidad, una causa para el paro de la estación es precisamente la baja velocidad en la turbina.

Para las siguientes fallas: fuga en tuerca unión, tubing de válvula de desangrado "dren" y fuga de gas en tubing de antorcha. Se recomienda una revisión de la integridad mecánica de los elementos de gas combustible de la turbina ya que éstos son de gran importancia tanto para el funcionamiento y seguridad del equipo de bombeo.

Con lo que respecta a la instrumentación de campo y los elementos finales de control incorporados al sistema SCADA, en general se cuenta con una confiabilidad muy buena para los instrumentos de medición: sensor de presión, sensor de temperatura, sensor de flujo y las válvulas operadas por un motor eléctrico, éstas últimas controladas y monitoreadas. En el elemento que se tiene problemas de confiabilidad es el interruptor electrónico, de flujo líquido con una confiabilidad baja, considerando que es un instrumento importante para la adquisición de datos del proceso de transporte y toma de decisiones por parte del Operador del CCP, se considera como un elemento crítico ya que de presentarse una falla en este elemento ocasionaría problemas para el funcionamiento de la estación de bombeo, por tal motivo se recomienda implementar un sensor redundante en arreglo paralelo ya que esto incrementará la confiabilidad del arreglo. Si no es posible realizar el arreglo en paralelo se recomienda hacer más frecuentes los periodos de mantenimiento preventivo que permita calibrar el



sensor, además de tener un equipo de repuesto en caso de presentarse una falla que desabilite permanentemente el sensor, esta última recomendación se aplica para todos los instrumentos incorporados al sistema SCADA.

Cabe mencionar que de presentarse una falla en el monitoreo de las condiciones del proceso existe la posibilidad de corroborar los datos observados por el Operador del CCP, vía radio comunicación o telefónica, con el Operador de la instalación de bombeo.

PARA TELECOMUNICACIONES SE OBSERVO LO SIGUIENTE.

Para el área de telecomunicaciones se observa, según los datos de confiabilidad que existen problemas operacionales, ya que la probabilidad de que funcione en forma óptima es muy baja, ubicándonos en la parte crítica de los parámetros establecidos por PEMEX-PGPB. Ya que el sistema de telecomunicaciones conforma la columna vertebral del sistema SCADA es importante proporcionar en mantenimiento preventivo a los elementos del sistema, con la finalidad de prolongar su disponibilidad y confiabilidad. Tomando en cuenta que este sector conforma la columna vertebral del sistema de bombeo del LPG-ducto. Por lo cual es importante realizar mejoras en los siguientes aspectos:

- Optimizar los tiempos de reparación de fallas reportadas para los equipos de Telecomunicaciones, para aumentar la disponibilidad.
- Analizar la posibilidad de mejorar los arreglos dispuestos para la arquitectura de Telecomunicaciones e implementar dispositivos y equipos que mejoren la confiabilidad por cada elemento.
- Considerar un medio alternativo de comunicación para la estación de Bombeo Zapoapita cuya clasificación es considerada como crítica dentro del LPG-ducto.

NOTAS:

1. **Radio Remoto** Según el nivel de confiabilidad de estos equipos se recomienda establecer programas de mantenimiento preventivo de por lo menos cada tres meses, así como contar con el refaccionamiento necesario para cada estación. Esta recomendación se debe principalmente a que el promedio de confiabilidad de los radios remotos es el más bajo, son los más distantes y por lo tanto el tiempo de atención a falla es mayor, además se recomienda contar con el refaccionamiento necesario para cada estación.
2. **Radio Maestro Redundante** Este dispositivo en general no afecta el grado de confiabilidad del sistema ya que como es redundante su nivel de confiabilidad es bueno, aunque en algunos casos es afectado de manera no muy significativa por el tiempo de atención a fallas. Se recomienda establecer programas de mantenimiento preventivo de por lo menos cada tres meses así como tener el refaccionamiento necesario para cada estación.



3. **Radio Maestro No Redundante** El nivel de confiabilidad para este dispositivo en comparación con otros componentes es uno de los mas bajos, se recomienda contar con redundancia en estos equipos debido a la importancia del arreglo y en donde es afectado el grado de confiabilidad, también se recomienda establecer programas de mantenimiento preventivo de por lo menos cada tres meses así como tener el refaccionamiento necesario para cada estación.
4. **Splitter** Este dispositivo, por si solo tiene una confiabilidad alta pero en **algunos arreglos (series y/o paralelos) es determinante**, debido a que influye de manera directa para obtener valores de confiabilidad bajo. Se recomienda cambiar este dispositivo por uno de mayor confiabilidad, así como programa de mantenimiento preventivo de por lo menos cada tres meses así como tener el refaccionamiento necesario para cada estación.
5. **Modem** Su confiabilidad en forma individual es alta, por otro lado este dispositivo es muy empleado en las estaciones de Compresión y Bombeo (**clasificadas por PGPB como críticas**), por lo que se recomienda contar con un medio de comunicación alterno.
6. **Ek-1** Aunque este dispositivo tiene un buen nivel de confiabilidad, por otro lado al ser utilizado en la estación de Bombeo CML-009 (**clasificada por PGPB como crítica**), por lo que se recomienda contar con un medio de comunicación alterno.
7. **Estación Terrena ETR** Este elemento resulta ser uno de los mas confiables del sistema, por lo que se recomienda sea utilizado como medio de comunicación alterno en las estaciones de Compresión y Bombeo (**clasificadas por PGPB como críticas**), para garantizar que en ningún momento se pierda la comunicación, así como también para sustituir enlaces (de arreglos que tienen bajo grado de confiabilidad).
8. **Multiplexor por frecuencia.** Aunque este dispositivo tiene un buen nivel de confiabilidad se tiene problemas para el funcionamiento, presentado dos grandes inconvenientes. El primero es que tiene que utilizarse mucho más ancho de banda del disponible, para evitar que canales adyacentes se interfieran. El segundo es que si los usuarios no transmiten de forma constante hay mucho ancho de banda desperdicia en canales desocupados. Se recomienda utilizar un multiplexor por división temporal, ya que se divide en intervalos temporales que los usuarios van utilizando, la capacidad del canal está preasignado a los usuarios, aprovechando que se transmite de forma regular. De no ser posible el cambio de este elemento, es recomendado tener un sistema de redundancia ó repuestos disponibles, en caso de ser necesario.

Implementar estas recomendaciones a los equipos en donde se presentan las fallas incrementará la confiabilidad del sistema otorgando una mayor confiabilidad y disponibilidad de sistema de SCADA.



ANEXO I

PROPIEDADES DEL LPG

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

111-A

**PROPIEDADES DEL LPG**

Quando se esta manejando substancias en grandes o pequeñas cantidades una de las prioridades para su manejo es conocer las propiedades físicas, químicas, y toxicológicas, ésto con la finalidad de saber las medidas de seguridad que se adoptaran para evitar riesgos, en caso de presentarse una fuga, intoxicación, incendio, etc.. Por tal motivo se presentan la propiedades para el LPG.

Hoja de Datos de Seguridad para LPG N° 1075**TABLA I.1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO**

Hoja de Datos de Seguridad para Sustancias Químicas N°1075	HDSSQ-LPG
Nombre del Producto	Gas licuado comercial, odorizado
Nombre Químico	Mezcla Propano-Butano
Familia Química	Hidrocarburos del Petróleo
Fórmula	$C_3H_8 + C_4H_{10}$
Sinónimos	Gas LP, LPG, gas licuado del petróleo, Liquefield Petroleum Gas (LPG)

**TABLA I.2: COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS
INGREDIENTES**

MATERIAL	%	LEP (Limite de Explosión Permisible)
Propano	60.0	1000ppm
n-Butano	40.0	800ppm
Etil Mercaptano (odorizante)	0.0017-0.0028	50ppm

1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

HR: 3 = (HR = Clasificación de Riesgo, 1= Bajo, 2= Medio, 3= Alto).

El gas licuado tiene uno de los peores niveles de riesgo, bien usado genera múltiples beneficios, sin embargo, mal usado es un auténtico productor de riesgos, sufrimientos y desastres (LC₅₀ – concentración letal cincuenta debajo de 1000 ppm, para el caso de LPG la consideración de la LC₅₀ se debe a su inflamabilidad y explosividad, antes que a su toxicidad por inhalación).



➤ SITUACIÓN DE EMERGENCIA

El gas licuado a presión, se vaporiza rápidamente al fugar a la atmósfera. Manténgalo alejado de fuentes de ignición; evite chispas, flama y calor. El múltiple de escape de un motor de combustión interna (que opere a más de 435 °C) y una nube de vapores de gas licuado, provocaran una explosión. Las conexiones eléctricas domésticas o sin clasificación son las fuentes de ignición más comunes.

Utilícese exclusivamente en lugares donde se tengan óptimas condiciones de ventilación, ya que en áreas cerradas las fugas de LPG se mezclan inmediatamente con el aire formado de nubes de vapores explosivos, éstas desplazan y enrarece el oxígeno disponible para respirar. Su olor característico no siempre puede advertirnos en forma certera de la presencia de concentraciones potencialmente peligrosas. Los vapores del gas licuado son más pesados que el aire (su densidad relativa es 2.01; aire = 1). Puede provocarnos quemaduras frías si permitimos que el líquido haga contacto con los ojos o piel.

➤ EFECTOS POTENCIALES PARA LA SALUD

ASHA PEL: TW100 ppm (Límite de explosividad permisible, administración de seguridad y salud ocupacional).

NIOSH REL: TWA 350 mg/m³;cl 1800mg/m³/ 15 minutos (Exposición a esta concentración promedio durante una jornada de ocho horas).

ACGIH TLV: TWA 1000 ppm (Concentración promedio segura, debajo de la cual se cree que casi todos los trabajadores se pueden exponer día tras día sin efectos adversos).

Ojos: La salpicadura de una fuga de gas licuado nos provocará congelamiento momentáneo, seguido de hinchazón y daño ocular.

Piel: El contacto con este líquido vaporizante provocará quemaduras frías. Inhalación: Debe advertirse que en altas concentraciones (más de 1000 ppm), el gas licuado es un asfixiante simple, debido a que diluye el oxígeno disponible para respirar. Los efectos de una exposición prolongada puede incluir: dolor de cabeza, náuseas, vómito, tos, signos de depresión en el sistema nervioso central, dificultad al respirar, mareos, somnolencia y desorientación. En casos extremos pueden presentarse convulsiones, inconsistencia e incluso la muerte como resultado de la asfixia.

Quemaduras a la superficie corporal por calor de incendio o explosión: Dentro de la zona explosiva (de 1.8% a 9.3% de gas licuado en el aire) y en presencia de una fuente de ignición, ocurrirá un incendio o explosión, lastimando a las personas cercanas y causando daño a las propiedad.



Ingestión: En condiciones de uso normal, no es de esperarse. En fase líquida puede ocasionar quemaduras por congelamiento.

2. PRIMEROS AUXILIOS

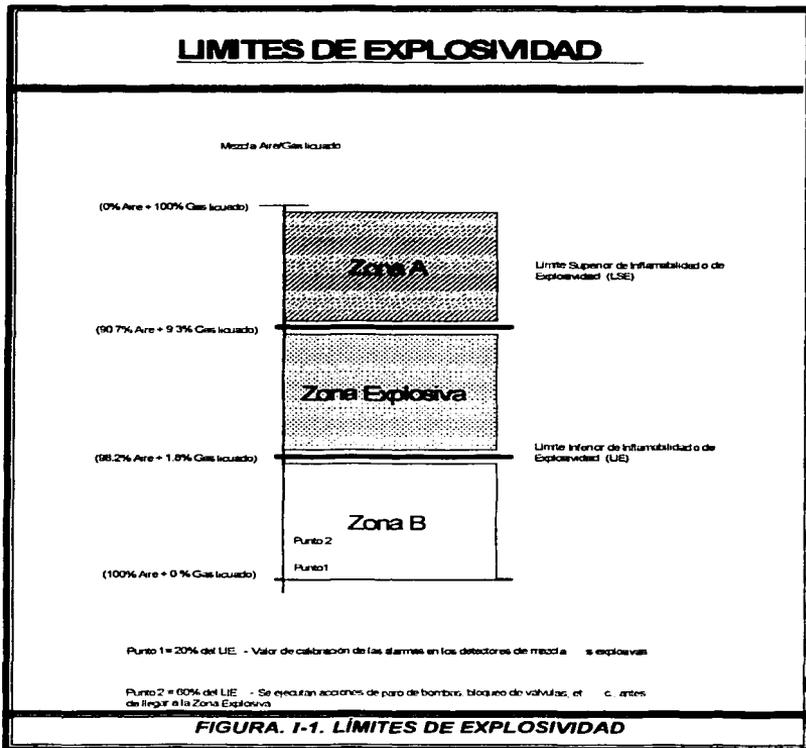
- **Ojos:** La salpicadura de este líquido provoca congelamiento del tejido. Aplique sin demora pero con cuidado, agua tibia en el ojo afectado. Solicite atención médica.
- **Piel:** El contacto con el líquido provoca quemaduras por frío, similares al congelamiento. Sumergir el área afectada en agua tibia a irrigar con agua corriente. No use agua caliente. Quítese la ropa y los zapatos impregnados. Solicite atención médica.
- **Inhalación:** Si se detecta presencia de gas en la atmósfera, retire a la víctima, lejos de la fuente de explosión, donde pueda respirar aire fresco. Si la víctima no respira debe administrarse oxígeno medicinal por personal calificado. Solicite atención médica inmediata.
- **Ingestión:** La ingestión de este producto no se considera como una vía potencial de ingestión.

3. PELIGROS DE EXPLOSIÓN E INCENDIO

TABLA I.3: PELIGROS DE EXPLOSIÓN E INCENDIO

PROPIEDAD	RANGO	CONSECUENCIAS
Punto de flash	-98.0 °C	Punto de Flash: Una sustancia con 38 ° C o menor se considera peligrosa; mayor a 93 ° C, moderadamente inflamable; mayor a 93 ° C la inflamabilidad es baja (combustible). El punto de flash del LPG (-98 ° C) lo hace un compuesto sumamente peligroso.
Temperatura de Ebullición	-32.5 °C	
Temperatura de Auto ignición	435.0 °C	
Límites de Explosividad figura. I.1	[1,8 9,3%]	Zonas A y B: En condiciones ideales de homogeneidad, las mezclas de aire con menos de 1,8% y más de 9,3% de gas licuado no explotarán, aún en presencia de una fuente de ignición, sin embargo, a nivel práctico deberá desconfiarse de las mezclas cuyo contenido se acerque a la zona explosiva. En la Zona Explosiva solo se necesita una fuente de ignición para desencadenarse una explosión.

Medios de Extinción: Polvo químico seco (púrpura K = bicarbonato de potasio, bicarbonato de sodio, fosfato monoamónico) bióxido de carbono para las áreas circundantes. Apague el fuego, solamente después de haber bloqueado la fuente de fuga.





a) Fuga a la atmósfera de gas licuado, sin incendio:

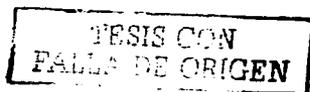
Esta es una condición realmente grave, ya que el gas licuado al ponerse en contacto con la atmósfera se vaporiza de inmediato, se mezcla rápidamente con el aire ambiente y produce nubes de vapor con gran potencial para explotar y explotará violentamente al encontrar una fuente de ignición.

Algunas recomendaciones para evitar este supuesto escenario, son:

- Asegurar anticipadamente que la integridad mecánica y eléctrica de las instalaciones estén en óptimas condiciones (diseño, construcción y mantenimiento).
- Si aún así llegara a fallar algo, deberán instalarse precautoriamente:
 - Detectores de mezclas explosivas, calor y humo con alarmas sonoras y visuales.
 - Válvulas de operación remota para aislar grandes inventarios, entradas, salidas, en prevención a la rotura de mangueras, etc., para atacarlas localmente o desde un refugio confiable (cuarto de control de instrumentos).
 - Redes de agua contra incendio permanentemente presionadas, son los sistemas de aspersión, hidrantes y monitores disponibles, con revisiones y pruebas frecuentes.
 - Extintores portátiles.
 - Personal de operación, mantenimiento, seguridad y contraincendio altamente entrenado y equipado para atacar incendios o emergencias.
 - Simulacros operacionales (fallas eléctricas, falla de aire de instrumentos, falla de agua de enfriamiento, rotura de manguera, rotura de ducto de transporte, etc.) y contraincendio.

b) Explosión de una nube de vapores no confinada, con incendio.

- Evacue al personal del área y ponga en acción el Plan de Emergencia.
- Proceda a bloquear las válvulas que alimentan gas a la fuga y ejecute los movimientos operacionales o desfuegos al quemador, mientras enfría con agua, tuberías y recipientes expuestos al calor (el fuego, incendio sobre tuberías y equipos, provoca presiones excesivas). No intente apagar el incendio sin antes bloquear la fuga, ya que si se apaga y sigue escapando el gas, se forma una nube de vapores con gran potencial explosivo, lastimando al personal involucrado en las maniobras de ataque a la emergencia. Han ocurrido fugas de gas licuado que al no encontrar una fuente de ignición (fuego, calor, arco eléctrico) han pasado a las estadísticas como cuasi-accidentes, ya que no provocan ningún daño.





5. RESPUESTA EN CASO DE FUGA

En caso de fuga: Se deberá evacuar el área inmediatamente, bloqueará las fuentes de ignición y disipar la nube de vapores con agua esperada o mejor aún, con vapor de agua.

6. PRECAUCIONES PARA EL MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Almacene los recipientes en lugares autorizados, (NOM-0.56-SCFI-1994, "Bodegas de Distribución de Recipientes Portátiles para Gas LP"), lejos de fuentes de ignición y de calor. Disponga precautoriamente de lugares separados para almacenar diferentes gases comprimidos o inflamables, de acuerdo a las normas aplicables. Almacene invariablemente todos los cilindros de gas licuado, vacíos y llenos, en posición vertical, (con esto permite que la válvula de alivio del recipiente siempre este en contacto con el LPG en fase vapor contenida en el interior del cilindro). No deje caer o maltrate los cilindros. Mantenga los recipientes con las válvulas cerradas, con taponos o capuchones de protección de acuerdo a las normas aplicables cuando no se encuentren en servicio. Los cilindros vacíos conservan ciertos residuos, por lo que deben tratarse como si estuvieran llenos (NFPA-58, "Estándar para el Almacenamiento y Manejo de Gases Licuados del Petróleo").

Precauciones en el Manejo: Los vapores de gas licuado son más pesados que el aire y se pueden encontrar en lugares bajos, donde no existe una buena ventilación para disiparlos. Nunca busque fugas con flamas o cerillos. Utilice agua jabonosa o un detector electrónico de fugas. Asegúrese que la válvula del contenedor esté cerrada cuando se conecta o se desconecta un cilindro.

7. CONTROLES CONTRA EXPLOSIONES / PROTECCIÓN PERSONAL

Utilice sistemas de ventilación en áreas confinadas, donde existan posibilidades de que se acumulen mezclas inflamables. Acate las especificaciones de las normas eléctricas aplicables para este tipo de instalaciones (NFPA-70, "Código Eléctrico Nacional").

- **Protección Respiratoria:** Utilizar solo las de uso industrial para ataque a emergencias o escape: Cabezales de aire comprimido para respiración o aparatos autocontenidos para respiración (SCBA ó aqualung de 30 ó 60 minutos de escape 10 ó 15 minutos), en tales casos, la atmósfera será inflamable/explosiva, requiriéndose tomar precauciones adicionales.
- **Ropa de Protección:** Evite el contacto de la piel con el gas licuado debido a las posibilidades de quemaduras frías. Utilice guantes y ropa de protección, impermeable al gas licuado, durante todo el tiempo esperado de exposición.
- **Protección de Ojos:** Se recomienda utilizar lente de seguridad reglamentarios y, encima de éstos, protectores faciales cuando se efectúen operaciones de



llenado y manejo de gas licuado en cilindros y/o conexión y desconexión de mangueras de llenado.

- **Otros Equipos de Protección:** Se sugiere utilizar zapatos de seguridad con suela antiderrapante y casquillo de acero.

TABLA I.4: PROPIEDADES FÍSICAS / QUÍMICAS

GAS L. P.	
Peso Molecular	49.7
Temperatura de Ebullición @ 1 atm	-32.5°C
Temperatura de Fusión	-167.9°C
Densidad de los Vapores (Aire=1) @ 15.5°C	2.01 (Dos veces más pesado que el aire)
Densidad de los Líquidos (Agua=1) @15.5°C	0.540
Presión de vapor @ 21.1°C	4500 mm Hg
Relación de Expansión (Líquido a Gas @ 1 atm.)	1 a 242 (Un litro de gas líquido se convierte en 242 litros en fase vapor, formando con el aire una mezcla explosiva de 11,000 litros aproximadamente).
Solubilidad en Agua @ 20 °C	0.0079% en peso (Insignificante; menos del 0.1%).
Apariencia y Calor	Gas incoloro e insípido a temperatura y presión ambiente. Tiene un odorizante que le proporciona un olor característico, fuerte y desagradable para detectar las fugas.

8. ESTABILIDAD Y RECTIVIDAD

Estabilidad Química: Estable en condiciones normales de almacenamiento y manejo.

Condiciones a Evitar: Manténgalo alejado de fuentes de ignición y calor intenso, así como de oxidantes fuertes.

Productos Peligrosos de Descomposición: Los gases o humos. Productos normales de la combustión son: bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua. La combustión incompleta puede formar monóxido de carbono (gas tóxico), ya sea que provenga de un motor de combustión o por uso doméstico. También puede producir aldehídos (irritante de nariz y ojos) por la combustión incompleta.

Peligros de Polimerización: No polimeriza.



9. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

El gas licuado no es tóxico; es un asfixiante simple que, sin embargo, tiene propiedades ligeramente anestésicas y que en altas concentraciones produce mareos.

No se cuenta con información definitiva sobre características carcinogénicas, mutagénicas, órganos que afecte en particular, o que desarrolle algún efecto tóxico.

10. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

El efecto de una fuga de LPG es local e instantáneo sobre la formación de oxidantes fotoquímicos en la atmósfera. No contiene ingredientes que destruyan la capa de ozono (40 CFR Parte 82). No está en la lista de contaminantes marinos DOT (49 CFR Parte 1710).

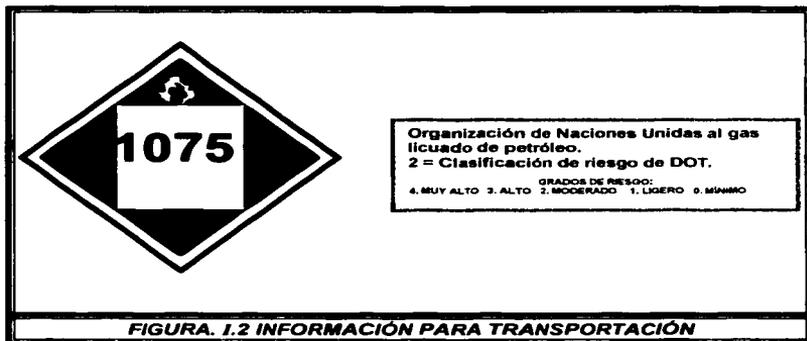
11. CONSIDERACIONES PARA DISPONER DE SUS DESECHOS

Disposiciones de Desechos: No intente eliminar el producto no utilizado o sus residuos. En todo caso regréselo al proveedor para que lo elimine apropiadamente.

Los recipientes vacíos deben manejarse con cuidado por los residuos que contiene. El producto residual puede incinerarse bajo control si se dispone de un sistema adecuado de quemado. Esta operación debe efectuarse de acuerdo a las normas mexicanas aplicables.

TABLA: I.5. TRANSPORTACIÓN

INFORMACIÓN REQUERIDA PARA TRANSPORTAR	
Nombre comercial	Gas Licuado de Petróleo
Identificación DOT	UN 1075(UN: Naciones Unidas)
Clasificación de riesgo DOT	Clase 2 ; División 2.1
Etiqueta de embarque	GAS INFLAMABLE
Identificación figura I.2	Cartel cuadrangular en forma de rombo de 273 mm x 273mm (10 3/4 x10 3/4), con el número de Naciones Unidas en el centro y la Clase de riesgo DOT en la esquina inferior.



12. REGULACIONES

Leyes, Reglamentos y Normas: La cantidad de reporte de LPG, por inventario o almacenamiento, es de 50,000 Kg., de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

El transporte de Gas L. P. está regido por el "Reglamento para el Transporte Terrestre de Materias y Residuos Peligrosos" y por las siguientes normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes:

- Registro y permiso vigente para transporte de materiales peligrosos
- El operador deberá contar con registro vigente para conductores de materiales peligrosos.
- La unidad deberá estar identificada de acuerdo a la NOM-004-SCT-2-1994.
- Contar con información para emergencias durante la transportación de acuerdo a la NOM-005-DCT-2-1994.
- Revisión diaria de la unidad de acuerdo con la NOM-006-SCT-2-1994.
- Revisión periódica del autotanque de acuerdo a la NOM-X59-SCFI-1992.
- Revisión periódica de semirremolques de acuerdo a la NOM-X60-SCFI-1992.

0



ANEXO II

**PROCEDIMIENTO OPERATIVO DEL
SISTEMA DE CONTROL Y
SUPERVISIÓN LOCAL DE LAS
ESTACIONES DE BOMBEO**

A-120-A

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN LOCAL DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

Una estación de bombeo es un centro transformador de energía el cual convierte energía mecánica, procedente de una turbina de combustión interna, en energía cinética de fluido mediante una bomba centrífuga la cual está integrada a la turbina de potencia. Para su operación continua cuenta con: dos turbo-bombas, tuberías para succión y descarga de producto, filtros en la succión, válvulas para la recirculación de flujo, válvulas de alivio de presión en la descarga y sistema de medición de flujo.

A continuación se describe la filosofía de operación del Sistema de Control y Supervisión. Dicha filosofía aplica a cada una de las estaciones de bombeo.

II-1 CONTROL DEL ARRANQUE, ACELERACIÓN, DESACELERACIÓN Y PARO DE LA TURBO-BOMBA

El control del arranque, aceleración, desaceleración, indicación de fallas y paro de la turbo-bomba serán realizadas por las unidades de control 01 y 02, las cuales serán operadas de la siguiente forma:

- 1) Control Remoto
 - **Modo Manual de Operación:** Este modo de operación se realizará desde la consola de operación, la cual está ubicada en cada una de las cinco Estaciones de Bombeo, utilizando el teclado de operación, teclado de ingeniería o desde los gráficos desplegados en el Software de Interfase hombre-máquina.
 - **Modo Automático de Operación:** Este modo de operación se realizará con base en la programación establecida para la operación de la estación de bombeo, contenida en el PLC.
- 2) Control Local
 - **Modo Manual de Operación:** Este es realizado desde el panel local de control asignado a cada turbo-bomba, utilizando botones que permitan ejecutar las secuencias de control: aceleración, desaceleración y paro de los equipos.

Cada unidad de control 01 y 02 tendrá un papel local de control mismo que será el medio a través del cual el Operador podrá controlar la operación de la



turbina con las que cuentan cada una de las estaciones de bombeo, en caso de falla parcial o total de la consola de operación.

Las unidades de control 01 y 02 desarrollarán las siguientes funciones principales:

- 1.- Adquisición de las señales de la instrumentación instalada en la turbina y en la bomba, durante la aceleración, desaceleración y durante las secuencias de arranque y paro de dichos equipos además de efectuar automáticamente las secuencias y tiempos requeridos para el control de la máquina.
- 2.- Control Manual de la velocidad del generador de gases y de la turbina de potencia durante la marcha normal de la máquina.
- 3.- Monitoreo del ciclo de temperatura de la turbina.
- 4.- Adquisición de la información de los instrumentos medidores de vibración, para el monitoreo de cada turbo-bomba durante su operación proporcionando una señal a la unidad de control respectiva para ordenar el paro de la estación cuando la vibración sobrepase el límite establecido.
- 5.- Generación de señales audibles y visuales en la consola de operación, para la indicación de alarmas y condiciones de paro.
- 6.- Paro de emergencia de turbo-bomba.
- 7.- Detección de flama de cámaras de combustión de la turbina.
- 8.-Cálculo del flujo instantáneo, volumen acumulado de 24 horas y volumen acumulado de un mes calendario, del gas combustible consumido por cada turbina.

II-2 SECUENCIA DE ARRANQUE DE LA TURBINA

Es la secuencia de acciones y condiciones temporizadas, que permiten llevar a la turbina a un estado estable de funcionamiento.

La secuencia de arranque será pesada por medio de las teclas de función indicadas, asignadas una por turbina, mismas que se localizarán en el teclado de operación de la consola (control remoto "modo manual"). Además se tendrán teclas de función dedicadas, asignadas por una turbina, para el reset (reposicionado) involucrado en la secuencia.

Adicionalmente esta secuencia deberá ser operada desde los paneles locales de control 01 y 02 (control local), a través de los botones de secuencia de



arranque asignados para éste caso, en caso de falla parcial o total de la consola de operación.

Durante la secuencia de arranque y marcha normal de la turbina, la acción de oprimir la tecla de reset bajo cualquier condición de paro, deberá permitir que la turbina siga operando, a excepción de la condición de alta temperatura, bajo la cual la turbina deberá detener su operación no importando si la fecha de reset es oprimida.

Al instante que sea accionada cualquiera de las teclas de secuencia de arranque del teclado de operación "control remoto, modo manual", se desplegará un mensaje en la consola para la confirmación de dicha acción, mismo que se utilizará como protección. Simultáneamente se desplegará automáticamente en la consola de operación el gráfico de tacómetros de velocidades y de temperatura de operación de la turbina que se este operando.

En caso de falla de esta secuencia se desplegará un mensaje en la consola de operación para alertar al operador.

II-3 SECUENCIA DE PARADA NORMAL DE LA TURBINA

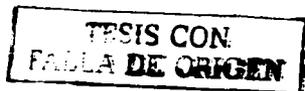
La secuencia de parada normal involucra acciones y condiciones temporizadas, de menor complejidad que la secuencia de arranque que permitirá detener la operación de la turbina de una manera pausada.

Adicionalmente las unidades de control 01 y 02 deberán contar con un sistema independiente de protección, el cual desarrollará la función de parar normalmente la turbina de manera segura, para cuando ocurra una falla terminal en su microprocesador y/o en cualquier módulo de hardware. Esta condición será desplegada en la consola de operación, a través de mensajes y señales audibles para alertar al operador.

Esta secuencia deberá ser operada a través de teclas de función dedicadas, asignadas una por turbina, mismas que se localizarán en el teclado de operación de la consola (control remoto - modo manual).

Adicionalmente esta secuencia podrá ser operada desde los paneles locales de control 01 y 02 (control local) a través de los botones de parada normal asignados para tal fin, en caso de falla parcial o total de la consola de operación.

Al instante que sea accionada cualquiera de las teclas de parada normal del teclado de operación, se desplegará un mensaje en la consola para la confirmación de dicha acción, mismo que se utilizará como protección. En caso de falla de ésta secuencia se desplegará un mensaje en la consola de operación para alertar al operador de ésta condición.





II-4 SECUENCIA DE PARADA DE EMERGENCIA DE LA TURBINA

Esta secuencia será indicada por cualquiera de las siguientes causas:

- Sobrevelocidad de la turbina
- Falla de suministro de corriente directa (CD)
- Accionamiento del botón de función de parada de emergencia.

Esta secuencia de paro de emergencia a diferencia de la secuencia de paro normal realizará un paro súbito de la turbina.

La parada de emergencia deberá ser operada a través de botones tipo hongo, asignados uno por turbina, los cuales estarán localizados en el gabinete el cual alojará la consola de operación (control remoto modo manual)

Adicionalmente esta secuencia se podrá operar desde los paneles locales de control 01 y 02 (control local), a través de los botones de parada de emergencia asignados para tal fin, en caso de falla parcial o total de la consola de operación.

En caso de falla de esta secuencia, se desplegará un mensaje en la consola de operación para alertar al operador de dicha condición.

II-5 CONTROL DE VELOCIDAD DE LA TURBINA

El control de la velocidad del eje de salida de la turbina deberá realizarse manualmente mediante las fechas de incremento / disminución de velocidad.

La secuencia, será operado a través de teclas de función dedicadas, asignadas una por turbina para el incremento de la velocidad y otras teclas de función dedicadas asignadas una por turbina para la disminución de la velocidad; mismas que se localizarán en el teclado de operación de la consola (control remoto - modo manual)

Adicionalmente ésta secuencia podrá ser operada desde los paneles locales de control 01 y 02 (control local), a través de los botones de aumento / disminución de velocidad asignados para tal fin, en caso de falla parcial o total de la consola de operación.

Al instante que sea accionada cualquiera de las teclas de aumento / disminución de velocidad del teclado de operación, se desplegará automáticamente en la consola, el gráfico de tacómetros de velocidades y temperatura correspondiente a la turbina que se esté operando.





Durante la marcha normal de la turbina para ambos modos de operación (control remoto, modo manual y control local), se tendrán las siguientes restricciones:

- a) El incremento de velocidad máximo que se podrá operar a través de la tecla asignada para este fin, será hasta del 119% de la velocidad del generador de gases, valores superiores a este dato no podrán ser conseguidos.
- b) El incremento de velocidad mínimo que se podrá operar a través de la tecla asignada para este fin, será hasta del 50% de la velocidad de la turbina de potencia, valores inferiores a este dato no podrán ser conseguidos.

En caso de falla de esta secuencia, se desplegará un mensaje en la consola de operación para alertar al operador de esta situación.

II-6 CIRCUITOS AUXILIARES

Las unidades de control 01 y 02 operarán las bombas de emergencia de aceite lubricante.

En caso de falla del circuito auxiliar se desplegará un mensaje en la consola de operación para alertar al operador.

II-7 FALLA DE FLAMA EN CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE LA TURBINA

Se refiere a la detección de flama en las cámaras de combustión de las turbinas.

La detección de flama en las cuatro cámaras de combustión de cada turbina (encendidas / apagadas), se indicará en la consola de operación a través de gráficos dinámicos creados para tal fin (control remoto), y en las lámparas de los paneles locales de control 01 y 02 (control local). Cuando cualquiera de las flamas se apague durante la marcha normal de las turbinas se generarán alarmas visuales y audibles en la consola de operación para alertar al operador de esta condición.

II-8 CICLOS DE TEMPERATURAS DE LA TURBINA

Es la protección de la turbina contra daños por temperatura del gas de escape, excesivamente alta. El sistema deberá monitorear la temperatura de los gases de escape y proteger contra una alta temperatura de operación, alta temperatura en la salida de la turbina motriz y una variación excesiva en la temperatura de salida. Será posible observar en la consola de operación, las



temperaturas individuales, promedio, de operación y de desuración del circuito, de termopares de cada turbina a través de un gráfico creado para tal fin.

II-9 PROTECCIÓN CONTRA VIBRACIÓN EN LA TURBO-BOMBA

Se refiere a la protección contra vibración excesiva de la turbina y de la bomba, por medio de transmisor de vibración integrado a dichos equipo. Las unidades de control 01 y 02 deberán contar con secuencias de paro (protección), para cuando los niveles de vibración excesiva de la turbina y bomba sean alcanzados.

Las señales de alarma y paro por alta vibración se inhibirán hasta que la turbo-bomba alcance una velocidad del 45% a partir de este porcentaje y durante la marcha normal de dicho equipo, cuando los rangos de vibración excesivas sean alcanzados, las señales de alarmas y paro operarán normalmente de acuerdo a los límites.

Los niveles de vibración de cada una de las turbinas se mostrarán en la consola de operación a través de gráficos dinámicos creados para tal fin.

- Transmisor tipo sísmico, vibración generador de gas.
- Transmisor tipo sísmico turbina de potencia.

◆ BOMBA RUSTON

- Transmisor tipo sísmico, vibración radial (horizontal) lado cople.
- Transmisor tipo sísmico, vibración radial (vertical) lado cople.
- Transmisor tipo sísmico, vibración radial (horizontal) lado libre.
- Transmisor tipo sísmico, vibración axial flecha lado libre.

II-10 INDICACIONES DE ALARMAS

Se refiere a la generación de mensajes y señales audibles y su registro en el sumario de alarmas / eventos de la consola de operación para alarmas, fallas no críticas y señales de paro en caso de algún problema crítico el despliegado de estos mensajes se realizará con gráficos dinámicos.

Se consideran las siguientes protecciones para la generación de señales de alarma y paro en la turbo-bomba.

Alarmas:

- Interruptor alta presión diferencial en filtros de aire.
- Interruptor alta temperatura aceite lubricantes de turbina.



- Interruptor alta desuración de temperatura
- Interruptor alta temperatura de operación de la turbina
- Interruptor baja presión del gas combustible.

Paros:

- Interruptor alta presión diferencia en filtros de aire
- Interruptor alta temperatura chumacera central
- Interruptor alta temperatura chumacera axial
- Interruptor alta temperatura chumacera radial (lado cople y libre)
- Interruptor alta temperatura cuerpo de bomba
- Interruptor alta temperatura aceite lubricante de turbina
- Interruptor baja presión aceite de bomba
- Interruptor baja presión aceite lubricante de turbina
- Interruptor baja presión de succión en bomba
- Interruptor alta presión de descarga en bomba
- Interruptor alta temperatura de operación de la turbina.

Protecciones en cabezales de estación

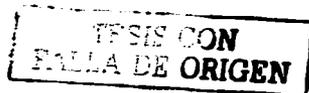
Se refiere a las protecciones instaladas en los cabezales de succión y de descarga de cada estación de rebombeo (interruptores de presión), que invariablemente ordenarán el paro de las turbo-bomba que se esté operando para cuando la calibración de dichos instrumentos sea alcanzada.

Antes de ordenar el paro de las turbo-bombas, se comparará internamente en la unidad de control respectiva, el valor de disparo del interruptor de baja presión de succión de estación a altas presión de descarga de estación, según sea el caso, con respecto al valor instantáneo registrado por el transmisor de presión asociado (succión o descarga). Si estos valoran son iguales o existe un margen diferencial de $\pm 5\%$. Se ordenará el paro de las turbo-bombas, continuarán operando y se desplegará un mensaje en la consola de operación para alertar al operador de esta condición.

Paros

- Baja presión de succión de estación
- Alta presión de descarga de estación

Los rangos de cada una de las señales de alarma y paro, arriba mencionadas tanto para las protecciones en turbo-bombas como en cabezales de estación, se especifican en las bases de datos de cada una de las estaciones de rebombeo de la presente especificación.





Para el reconocimiento de alarmas por parte del operador, el teclado de operación de la consola contará con una tecla de función dedicada para el reconocimiento/silenciamiento de la alarma visual y audible (bocina), la cual se localizará en la Consola de Operación.

Adicionalmente un icono se desplegará en la pantalla del monitor de la consola de operación, que de igual forma permitirá realizar el reconocimiento/silenciamiento de alarmas visuales y audibles a través de su selección con D1 dispositivo de control de cursor.

II-11 TECLADO DE OPERACIÓN Y TECLADO DE INGENIERÍA

La consola de operación de cada estación de rebombeo, contará con dos teclados:

- Un teclado de operación alfanumérico tipo industrial, o teclas de función dedicadas para uso de los operadores de las estaciones de bombeo.
- Un teclado tipo QWERTY, para uso exclusivo del personal de mantenimiento y encargados de estación (Ingenieros)

Los teclados estarán conectados a un multiplexor que contendrá una llave física, misma que permitirá seleccionar y habilitar uno de los dos teclados. La llave será utilizada exclusivamente por el personal de ingeniería.

El teclado de operación de cada estación de bombeo, contará como mínimo con las siguientes teclas de función dedicadas:

- Teclas de secuencia de arranque por turbina.
- Teclas de secuencia de paro normal por turbina.
- Botón de paro de emergencia por turbina.

Estos botones serán del tipo hongo y se localizarán en el gabinete que alojará la consola de operación de cada estación. Dichos botones deberán contar con una protección que constituirá de una tapa abatible para no permitir su fácil acceso.

- Tecla de aumento de velocidad por turbina.
- Tecla de disminución de velocidad por turbina.
- Tecla de reset o reposicionado por turbina.
- Tecla de reconocimiento/silenciamiento de alarmas para todo el sistema.
- Tecla de apertura válvula de succión, una por estación.
- Tecla de apertura válvula de succión, una por estación.
- Tecla de apertura válvula de succión bomba 01; una por estación.
- Tecla de apertura válvula de descarga bomba 01; una por estación.
- Tecla de apertura válvula de desfogue succión bomba 01, una por estación.



- Tecla de apertura válvula de succión bomba 02, una por estación.
- Tecla de apertura válvula descarga bomba 02, una por estación.
- Tecla de apertura válvula desfogue succión bomba 02, una por estación.
- Tecla de apertura válvula de descarga de estación, una por estación.
- Tecla de cerrado válvula succión de estación, una por estación.
- Tecla de cerrado válvula succión bomba 01, una por estación.
- Tecla de cerrado válvula succión desfogue succión bomba 01, una por estación.
- Tecla de cerrado válvula succión bomba 02, una por estación.
- Tecla de cerrado válvula descarga bomba 02, una por estación.
- Tecla de cerrado válvula desfogue succión bomba 02, una por estación.
- Tecla de cerrado válvula de descarga de estación una por estación.
- Tecla de recirculación de unidad, una por turbina.
- Tecla de cancelación de apertura / cierre válvula de succión de estación, una por estación.
- Tecla de cancelación de apertura / cierre válvula de descarga bomba 01, una por estación.
- Tecla de cancelación de apertura / cierre válvula de desfogue succión bomba 01, una por estación.
- Tecla de cancelación de apertura / cierre válvula de descarga bomba 02, una por estación.
- Tecla de cancelación de apertura / cierre válvula desfogue succión bomba 02, una por estación.
- Tecla de cancelación de apertura / cierre válvula de descarga de estación, una por estación.

a) Cálculo de Flujo

El cálculo de flujo concierne a los programas "Software" que estarán habilitados en la unidad de control 01, Unidad de Control 02 y en la unidad de control de estación de cada estación de bombeo, los cuales permitirán realizar los siguientes cálculos:

- Flujo Instantáneo.
- Volumen acumulado de 24 horas a partir de las 5:00 horas cada día.
- Volumen acumulado por mes calendario.

Estas mediciones serán para el gas LP bombeado por cada estación, así como también para el gas combustible consumido por cada una de las turbinas instaladas en las estaciones de bombeo.



Tabla; II.1 La unidad de Control 01 de cada estación de bombeo deberá realizar los siguientes cálculos:

GAS CONSUMIDO POR LA TURBINA 01	
Medida	Unidades de Ingeniería
Flujo instantáneo	Pies cúbicos por hora (PCH)
Volumen acumulado 24 hrs. Contabilizado a partir de las 5: de cada día	Pies cúbicos por día (PCD)
Volumen acumulado por Mes calendario	Pies cúbicos por mes (pm.)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla; II.2 La unidad de control 02 de cada estación de bombeo deberá realizar los siguientes cálculos:

MEDIDA	UNIDADES DE INGENIERÍA
Gas consumido por la Turbina 02 Medida	Unidades de Ingeniería
Flujo instantáneo	Pies cúbicos por hora (PCH)
Volumen acumulado 24 hrs. Contabilizado A partir de las 5:00 hrs. por cada día	Pies cúbicos por mes (PCD)
Volumen acumulado Por mes calendario	Pies cúbicos por mes (PCM)

Tabla; II.3. La unidad de control de estación de cada instalación deberá realizar los siguientes cálculos:

GAS LP BOMBEADO POR LA ESTACIÓN DE BOMBEO	
Medida	Unidades de Ingeniería
Flujo instantáneo	Barriles por hora (BPH)
Volumen acumulado 24 hrs. Contabilizado a partir de las 5:00 hrs. De cada día.	Barriles por día (BPD)
Volumen acumulado por Mes calendario.	Barriles por mes (BPM)

Para la realización de los cálculos de flujo, de aquellos que no sean proporcionados por el sistema de control y supervisión deberán ser accedados por el operador a través del teclado de operación de la consola.

b) Control de las válvulas operadas eléctricamente

Las válvulas operadas eléctricamente (VOE's) que están instaladas en la estación de bombeo se localizan en las siguientes áreas:



Succión de Estación	Una
Succión de Bomba BC-01	Una
Descarga de Bomba BC-01	Una
Desfogue de succión Bomba BC-01	Una
Succión de Bomba BC-02	Una
Descarga de Bomba BC-02	Una
Desfogue de Succión Bomba BC-02	Una
Descarga de estación	Una

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La unidad de control de estación de cada una es la estación de bombeo operará las válvulas de dos modos diferentes:

1) Control Remoto

Modo manual de Operación- Será realizado desde la consola de operación, a través de teclas de función dedicadas, localizadas en el teclado de operación de la consola o seleccionando la válvula respectiva con el dispositivo manejador de cursor sobre cualquier gráfico en donde estas aparezcan en el Software de Interface hombre-máquina.

2) Modo Local

Modo Manual de Operación. Será realizado desde el panel de control local (ya existente en cada una de las estaciones de bombeo) a través de botones asignados para la apertura cierre y cancelación de apertura/cierre de dichas válvulas. Este panel de control se desempeñará como respaldo, en caso de falla de la Unidad de Control y/o de la consola de operación.

Cada válvula se podrá operar de las siguientes formas:

Modo manual. Se utilizará para recibir las siguientes acciones:

- Abrir
- Cerrar
- Cancelar la acción de apertura de cierre.

La transferencia del modo de operación para controlar las válvulas, se realizará de la siguiente forma:

En el gabinete donde se instalará el control de operación y en la misma área donde se alojará el sector para transferir el modo de operación de las turbinas (control remoto – control local), se ubicará otro selector de uso rudo el cual transferirá el modo automático o modo manual a control local modo manual y viceversa.



Para operar cada una de las válvulas (VOE'S) desde la consola de operación, se tendrán teclas perfectamente bien identificadas, una para la acción de apertura, para la cancelación de apertura / cierre, mismas que se localizarán en el teclado de operación (control remoto modo manual de operación).

En caso de falla en cualquiera de las válvulas operadas eléctricamente, se desplegará un mensaje en la consola de operación para alertar al operador de dicha condición.

Todos los eventos involucrados durante la operación de las válvulas operadas eléctricamente, así como las alarmas que se generen serán registradas en el sumario de alarmas / eventos de la consola de operación.

A continuación se describe el procedimiento operativo para estas válvulas.

- a) Estado de válvulas operadas eléctricamente (control remoto – modo manual) en secuencia de arranque de turbo-bombas (control remoto modo manual).

Para el arranque de las turbo-bombas será necesario que la turbina esté disponible y que los estados de las válvulas sean las siguientes:

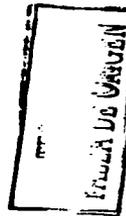
• Válvula de Succión de bomba	Abierta
• Válvula de recirculación YARWAY	Abierta
• Válvula de descarga de bomba	Abierta
• Válvula entrada de estación	Abierta
• Válvula de salida de estación	Abierta

Si estas condiciones no se cumplen, el arranque de la turbina no será permitido.

- b) Estado de válvulas operadas eléctricamente (control remoto - modo automático) en paro de emergencia de turbina (control remoto – modo manual).

Cuando el botón de paro de emergencia de la turbina sea accionado, simultáneamente el paro de la turbina ordenará el cierre de las siguientes válvulas de la estación de rebombeo correspondiente:

- Válvula de succión de estación.
- Válvula de descarga de estación.
- Válvula de succión de bomba 01.
- Válvula de descarga de bomba 01.
- Válvula de succión de bomba 02.
- Válvula de descarga de bomba 02.





c) Recirculación de Unidad

Se refiere a la disminución de la velocidad de la turbina de potencia al 50% de esta manera la válvula YARWAY desviarán automáticamente el gas LP hacia la recirculación debido a una baja presión de descarga. Esta operación será realizada manualmente por el operador a través de la tecla de función dedicada, correspondiente a la disminución de la velocidad turbina (control remoto – modo manual) o automáticamente (control remoto – modo automático) a través de la tecla de función dedicada, una por turbina, denominada recirculación de unidad.

La cual se localizará en el teclado de operación de la consola. Adicionalmente se desplegará automáticamente en la consola de operación el gráfico de tacómetros de velocidades y temperaturas de la unidad que se esté operando.

d) Paro en Estaciones de Bombeo

Cuando ocurra un paro en cualquiera de las estaciones de bombeo, las cuatro restantes disminuirán la velocidad de la turbina de potencia al 50%, para disminuir la presión de descarga. De esta manera la válvula YARWAY desviarán automáticamente el gas LP hacia la recirculación por baja presión de descarga. Esta operación se realizará de forma manual por el operador de cada estación, a través de la tecla de función dedicada correspondiente a la disminución de velocidad de la turbina (control remoto – modo manual) o automáticamente (control remoto – modo automático) a través de la tecla de función dedicada correspondiente a la recirculación de unidad.

e) Detección de Mezclas Explosivas

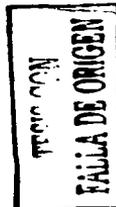
Cuando se detecte un mínimo de mezcla explosiva en cualquiera de los sellos de las bombas, en la consola de operación se desplegará un mensaje y se generará una señal audible para alertar al operador de dicha condición.

El operador realizará manualmente las operaciones pertinentes sobre las válvulas operadas eléctricamente para retirar y/o aislar dicha situación (control remoto- modo manual).

f) Gráficos Dinámicos

La consola de operación desplegará diversos gráficos a través del Software de interfase hombre-máquina en los cuales se mostrarán las diferentes áreas que integran las estaciones de bombeo.

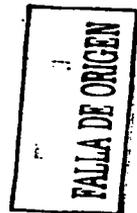
Cada gráfico desplegará diferentes variables de proceso en forma de gráficos dinámicos, además mostrará el valor de cada uno de ellos en tiempo real a través de caracteres alfa numéricos indicándose adicionalmente las unidades de ingeniería respectivas.

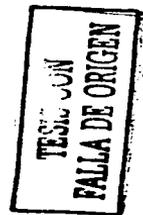




La pantalla del monitor de la consola de operación de cada estación de bombeo, tendrá diferentes áreas para desplegar información de forma simultánea, como:

- Área para el despliegado de gráfico.
- Área en la cual se desplegarán iconos, los cuales corresponderán a cada uno de los diferentes gráficos solicitados. Para la selección de un gráfico en particular, solo bastará oprimir el icono correspondiente.
- Área para el despliegado de mensajes de alarma, debiéndose desplegar las últimas cuatro alarmas generadas por el sistema. La información que incluirá como mínimo cada mensaje de alarma será:
 - Identificación del sitio dentro de la instalación.
 - Descripción de variable.
 - Tipo de alarma (descripción).
 - Límite de alarma con unidades de Ingeniería.
 - Fecha y hora en que ocurrió, en el entendido que se reporte la hora del evento en proceso.
- Área para despliegado de iconos que desarrollarán las siguientes funciones.
- Icono para el reconocimiento/silenciamiento de alarmas.
- Icono para la impresión de reportes. Este icono desplegará a su vez un menú en el cual mostrará diferentes tipos de reportes, teniéndose la posibilidad de seleccionar cualquiera de ellos.
- Icono para desplegar tendencias.
- Icono para desplegar históricos.





ANEXO III

**INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS
EQUIPOS DE LA ESTACIÓN DE
BOMBEO ZAPOAPITA**

A-134-A



INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA

La estación de bombeo cuenta con equipos e instrumentos que requieren de un mantenimiento preventivo para su buen funcionamiento, por tal motivo es necesario conocer las características de diseño como se observan en las siguientes tablas que se muestran a continuación:

TABLA. III-1 TURBINA DE PORTENCIA

TURBINA RUSTON TB-6000	
ESPECIFICACIONES	DATOS
Tipo	Turbina de Gas
Rpm	10,000
Max. temp. funcionamiento continuo	487°C
Temp. de alarma	495°C
Temp de paro	505oC
Max. temp. Lubricante	66°C

TABLA. III-2 BOMBA CENTRÍFUGA

BOMBA CENTRIFUGA "BYRON JACKSON	
ESPECIFICACIONES	DATOS
Capacidad	220,000 BPD
Flujo manejado	180,000 a 220,000 BPD
Diam. succion	13"
Diam. descarga	10"
Diam. impulsor	12 9/16"
Tipo de carcaza	Bipartida
sp. gr.	0.54
Head	1888 pies

TABLA. III-3 MOTOR ELÉCTRICO DEL ENFRIADOR DE ACEITE

MOTOR ELÉCTRICO DEL ENFRIADOR DE ACEITE (UBICACIÓN: SOLOAIRE)	
ESPECIFICACIONES	DATOS
HP	7.5
RPM	1730
Voltaje	230-460 C.A.
Amperaje	19.8-9.9 A
Hertz	60
Temperatura	40°C

RECIBIDO
1
FALLA DE ORIGEN

**TABLA. III-4 MOTORES ELÉCTRICOS DE BOMBAS DE LUBRICACIÓN**

MOTORES ELÉCTRICOS DE BOMBAS DE LUBRICACIÓN PRE-EMERGENCIA	
ESPECIFICACIONES	DATOS
Tipo	DB6 ½
HP	½
RPM	1420
Voltaje	24 C.D.
Amperaje	2,2

TABLA. III-5 MOTORES ELÉCTRICOS DE BOMBAS DE LUBRICACIÓN

MOTORES ELÉCTRICOS DE BOMBAS DE LUBRICACIÓN (TURBOBOMBAS)	
ESPECIFICACIONES	DATOS
RPM	1750
IP	55
IM	3031
Rendimiento	15 KW
Voltaje	440
Amperaje	26
Hertz	60
Pot salida	15KW
Mass	146Kg

TABLA. III-6 ACTUADORES ELÉCTRICOS

ACTUADORES ELÉCTRICOS (VÁLVULAS DE SUCCIÓN BOMBAS BC-01 Y BC-02)	
ESPECIFICACIONES	DATOS
Máximo torque	475 Lbf.ft
HP	7.8-15 min
RPM	173
Voltaje	250 A.C.-30D.C.
Amperaje	25*
Motor supply	460-3-60
Lubricante	SAE80EP

TABLA. III-7 ACTUADORES ELÉCTRICOS

ACTUADORES ELÉCTRICOS (VÁLVULAS DE DESCARGA EN BOMBAS BC-01 Y BC-02)	
ESPECIFICACIONES	DATOS
Máximo torque	300 Lbf.ft
HP	5.9-15 min
RPM	173
Voltaje	250 A.C-30 D.C

PROY.
CALLES DE GUAYAMA



Amperaje	16.5 A
Motor supply	460-3-60
Lubricante	SAE80EP

TABLA. III-8 ACTUADORES ELÉCTRICOS

ACTUADORES ELÉCTRICOS (VÁLVULAS DE DESFOGUE EN BOMBAS BC-01 Y BC-02)	
ESPECIFICACIONES	DATOS
Máximo torque	300Lb.ft
Motor Rating	0.61 KW
RPM	15-16
Voltaje	240 A.C.-110 D.C.
Amperaje	1.65 (rango actual)
Power supply	460-3-60
Lubricante	TEXACO09330

TABLA. III-9 ACTUADORES ELÉCTRICOS

ACTUADOR ELÉCTRICO (VÁLVULA DE SUCCIÓN DE ESTACIÓN)	
ESPECIFICACIONES	DATOS
Máximo torque	475 Lbf.ft
HP	7.8-15 min
RPM	173
Voltaje	250 A.C.-30 D.C.
Amperaje	16 A
Motor supli	460-3-60
Lubricante	SAE80EP

TABLA. III-10 ACTUADORES ELÉCTRICOS

ACTUADORES ELÉCTRICOS (VÁLVULAS DE DESCARGA DE ESTACIÓN)	
Especificaciones	Datos
Máximo torque	1000 Lbf.ft
HP	21 HP-15 min
RPM	173
Voltaje	250 A.C.-30D.C.
Amperaje	28.5 A
Motor supply	460-3-60
Lubricante	SAE80EP





ANEXO IV
INSTRUMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN
DE BOMBEO ZAPOAPITA

A137-A

COPIA CON
SELLO DE ORIGEN

**INSTRUMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA**

A continuación se muestra una relación de los instrumentos de la estación de bombeo los instrumentos sombreados son aquellos que están siendo monitoreados por el sistema SCADA

TABLA. IV-1 INSTRUMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA.

LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
INSTRUMENTO	ALARMA Y/O PARO	PUNTO DE AJUSTE
PT-102 A la succión de la estación	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por BP. Alarma por fs. SSDL por muy BP. 	<20 Kg/cm ² <2 o > 22 mA 14 Kg/cm ²
PT-105 A la salida de filtros	<ul style="list-style-type: none"> No tiene configuradas alarmas y disparos solo monitores. 	
PDT(102-105) En los filtros de estación	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AP Diferencial. SSDL por muy AP Diferencial. 	>2 Kg/cm ² >3 Kg/cm ²
TE-101 Temperatura de succión de la bomba	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AT. Alarma por FS. SSDL muy AT. 	>28 °C <-30 o >0425 °C >42.0 °C
TE-130/132 Temperatura de succión de la bomba	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AT. Alarma por FS. USDL por muy AT. 	>70 <-30 o >425 °C >100
PT-107/110 A la succión de la bomba	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por BP. Alarma por FS. USDL por muy BP. 	14 Kg/cm ² <-2 o >22 mA 13 Kg/cm ²
VE-101A/102A Vibración Chumacera de Bomba # 1 Desplazamiento x	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AV en chumacera de bomba # 1 desplazamiento X. Alarma de inhibición activada del MMI. Alarma por FS en chumacera de bomba # 1 desplazamiento X. USDL por muy AV en chumacera de bomba # 1 desplazamiento X. 	>3.5 m/s <2 o > 22 mA
VE-101B/102B Vibración Chumacera de Bomba # 2 Desplazamiento X	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AV en chumacera de bomba # 1 desplazamiento Y. Alarma de inhibición activada del MMI. Alarma por FS en chumacera de bomba # 1 desplazamiento Y. USDL por muy AV en chumacera de bomba # 1 desplazamiento Y. 	>4.5 m/s. >3.5 m/s <2 o > 22 Ma
VE-101C/102C Vibración Chumacera de Bomba # 2 Desplazamiento X	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AV en chumacera de bomba # 2 desplazamiento X. Alarma de inhibición activada del MMI. Alarma por FS en chumacera de bomba # 2 desplazamiento X. USDL por muy AV en chumacera de bomba # 2 desplazamiento X. 	>4.5 m/s >3.5 m/s <2 o > 22 Ma
VE-101D/102D Vibración Chumacera de Bomba # 2 Desplazamiento Y	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AV en chumacera de bomba # 2 desplazamiento Y. Alarma de inhibición activada del MMI. Alarma por FS en chumacera de bomba # 2 	>4.5 m/s >3.5 m/s



	<ul style="list-style-type: none">• Desplazamiento Y.• USDL por muy AV en chumacera de bomba # 2 desplazamiento Y.	<ul style="list-style-type: none">• <2 o > 22 Ma• >4.5 mils• >10 mils
VE-101E/102E Vibración Flecha de Bomba Alta Posición Axial # 1	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AV en chumacera de bomba # 1 desplazamiento axial.• Alarma de inhibición activada del MMI.• Alarma por FS en chumacera de bomba # 1 desplazamiento axial.• USDL por muy AV en chumacera de bomba # 1 desplazamiento axial.	<ul style="list-style-type: none">• <2 o >22 mA• >15 mils.• >10 mils
VE-101F/102F Vibración Flecha de Bomba alta posición Axial # 2	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AV en chumacera de bomba # 2 desplazamiento axial.• Alarma de inhibición activada del MMI.• Alarma por FS en chumacera de bomba # 2 desplazamiento axial.• USDL por muy AV en chumacera de bomba # 2 desplazamiento axial.	<ul style="list-style-type: none">• <2 o >22 mA• >15 mils.• >10 mils
PT-120/121 De aceite de lubricación de la Chumacera de Bomba	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por BP.	<ul style="list-style-type: none">• < 8paI
TE-117/121 En chumacera lado cople # 1 de la bomba	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AT.• Alarma por FS RTD.• USDL por muy AT.	<ul style="list-style-type: none">• >70• <-30 o >425 ° C• >80 ° C
TE-118/122 En chumacera lado libre # 2 de la bomba	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AT.• Alarma por FS RTD.• USDL por muy AT.	<ul style="list-style-type: none">• >70• <-30 o >425 ° C• >72 ° C
TE-119/123 En chumacera de empuje # 3 de la bomba	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AT.• Alarma por FS RTD.• USDL por muy AT.	<ul style="list-style-type: none">• >70• <-30 o >425 ° C• >72 ° C
TE-120/124 En chumacera cuerpo de bomba # 4	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AT.• Alarma por FS RTD.• USDL por muy AT.	<ul style="list-style-type: none">• >58• <-30 o >425 ° C• >66 ° C
PDT-160 Presión diferencial de flujo de desempeño		
TE-160 Temperatura de compensación.		
PDT-126/129 En filtro de aire turbina	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AP diferencial.• Alarma por FS.• USDL por muy AP.	<ul style="list-style-type: none">• >4 *H2O• <2 o > 22 mA• >6 *H2O
TE-104A/110* En filtro de aire #1)	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AT.• Alarma por FS.• USDL por falta de ambos TCs	<ul style="list-style-type: none">• <35• <-30 o >1550 ° C
TE-104B/110B En filtro de aire #2)	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AT.• Alarma por FS.• USDL por falta de ambos TCs	<ul style="list-style-type: none">• <35• <-30 o >1550 ° C
PT-127/132 De gas combustible de turbina	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por BP de gas.• Alarma por AP de gas.• Alarma por FS.• USDL por muy AP.• USDL por muy BP.	<ul style="list-style-type: none">• <7 Kg/cm2• >20 Kg/ cm2• <2 o >22 mA• <5 Kg/cm2• >28 Kg/cm2
PT-128/133 De gas de arranque de la turbina	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por BP.• Alarma por AP.• Alarma por FS.• USDL por muy AP.• USDL por muy BP.	<ul style="list-style-type: none">• <8 Kg/cm2• >20Kg/cm2• <2 o >22 mA• >25 Kg/cm2• <8 Kg/cm2
PT-134/135 Gas combustible en cabezal de la turbina	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AP.• Alarma por FS.• USDL por muy AP.	<ul style="list-style-type: none">• >5.625Kg/cm2• <2 o >22 mA• >6.328 Kg/cm2
PT-134/135 En Manifold de gas combustible en turbina	<ul style="list-style-type: none">• Alarma por AP.• Alarma por FS.• USDL por muy AP.	<ul style="list-style-type: none">• >5.625Kg/cm2• <2 o >22 mA• >6.328 Kg/cm2



PT-125/130 En la descarga del compresor axial en turbina	<ul style="list-style-type: none">● Alarma por AP.● Alarma por FS.● USDL por muy AP.	>80 psi <2 o > 22 mA >90 psi
ST-101/103 Sensor de velocidad en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma de prueba de sobrevelocidad seleccionada en el MMI.● Alarma de falta de señal de indicador de velocidad PT del CCP.● USDL por FS de velocidad.● USDL PT baja velocidad.● USDL PT sobrevelocidad.	350-8000 RPM
ST-102/104 Sensor de velocidad del Generador de Gases	<ul style="list-style-type: none">● Alarma de falta de sensor de velocidad GG.● USDL GG FS de velocidad.● USDL baja aceleración GG.● USDL sobrevelocidad.● USDL muy baja velocidad de arrancador.	350-8000RPM
TE-103A/109A Sensor de temperatura #1 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por falla del termopar.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103B/109B Sensor de temperatura #2 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por falla del termopar.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103C/109C Sensor de temperatura #3 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por falla del termopar.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103D/109D Sensor de temperatura #4 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por falla del termopar.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103E/109E Sensor de temperatura #5 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por falla del termopar.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103F/109F Sensor de temperatura #6 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por falla del termopar.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103G/109G Sensor de temperatura #7 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por falla del termopar.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103H/109H Sensor de temperatura #8 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por falla del termopar.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103I/109I Sensor de temperatura #9 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103J/109J Sensor de temperatura #10 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103K/109K Sensor de temperatura #11 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103L/109L Sensor de temperatura #12 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103M/109M Sensor de temperatura #13 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103N/109N Sensor de temperatura #14 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none">● Alarma termopar de salida fuera de promedio.● Alarma por FS.	<-60> + 60, <-30> 1550 °C



TE-1030/1090 Sensor de temperatura # 15 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none"> Alarma termopar de salida fuera de promedio. Alarma por FS. 	<-60> + 60, <-30> 1550 °C
TE-103P/109P Sensor de temperatura #16 en turbina de potencia	<ul style="list-style-type: none"> Alarma termopar de salida fuera de promedio. Alarma por FS. 	<-60> + 60, <-30 > 1550 °C
Para TE-103 A-P/109 A-P	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AT de operación. Alarma por AT promedio de salida. Alarma por alta desviación de temperatura de termopares de salida. USDL falta de dos termopares adyacentes de salida de PT. USDL por muy alta desviación de T en termopares de salida. USDL muy alta temperatura promedio de salida de PT. USDL por muy AT de operación de turbina 	>480 °C >100, °C >600 °D >510 °C
VE-103A/104A Sensor de vibración en el generador de gases (sísmico 1)	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AV. Alarma por FS. Otras alarmas. USDL por muy AV. 	>0.65 IN/SEG <2 o >22 Ma >4.5 In/seg.
VE-103B/104B Sensor de vibración en la turbina de potencia (sísmico 2)	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AV. Alarma por FS. Otras alarmas. USDL por muy AV. 	>0.66 In/seg. <2 o >22 mA >4.5 In/seg.
PT-140/141 Del gas de escape	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por FS EGT. 	<2 o >22 mA
TE-103Q/109Q EGT sensor #1 fuera de promedio	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por fuera de promedio. Alarma por FS. 	<EGT, -60, <-30, >1550 <-30 O >1550 °C
TE-103R/109R EGT sensor #2 fuera de promedio	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por fuera de promedio. Alarma por FS. 	<EGT -60, <-30, >1550 <-30 O >1550 °C
TE-103Q-R/109Q-R Para	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por alta desviación de temperatura en termopares de salida. USDL ambos termopares fallaron (EGT). 	>50 °C
PT-136/137 En la alimentación de aceite de lubricación de la chumacera fría en la PT	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por BP. Alarma por FS. USDL por muy BP. 	<40 psi <2 o >22 mA <35 psi
PT-124/131 De aceite de lubricación de la fuente principal de GG de turbina.	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por BP. Alarma por FS. USDL por muy BP. 	<42 psi <2 o >22 mA <35 psi
PT-114 Del cabezal de descarga de LPG de la estación.	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AP de descarga. Alarma por FS. SSTL por muy AP. 	>58 Kg/cm2 <2 o >22 mA >64 Kg/cm2
TE-102 Para la compensación de flujo de estación	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AT. Alarma por FS. 	>28 °C <-30 o > 425 °C
DT-101 De LPG de estación.	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por FS. 	<2 o >22 mA
PDT-103 Para compensación de flujo	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por FS. 	<2 o >22 mA
PT-112 De descarga de la estación	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AP. Alarma por FS. SSTL por muy AP. 	>58.5 Kg/cm2 <2 o >22 mA >61.5 Kg/cm2
PT-109/112 En la descarga de la bomba	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AP. Alarma por FS. SSTL por muy AP. 	>61 Kg/cm2 <2 o >22 mA >63 Kg/cm2
TE-131/133 En descarga de bomba (solo monitora)	<ul style="list-style-type: none"> Alarma por AT. Alarma por FS RTD. USDL por muy AP. 	80 <-30 o >425 °C >90 °C



ANEXO V

**PLANOS Y DIAGRAMAS DE LA
ESTACIÓN DE BOMBEO ZAPOAPITA**

FALLA DE ORIGEN

141-A

TDR

RECIBIDOR DE DIABLOS
DIMENSIONES: 26" x 24 600H

F-01/02

FILTRO PARA GAS L.P.
TIPO: CANASTA
CAPACIDAD: 165 A 220 MBPD
MALLA: 5/52

BC-41/42

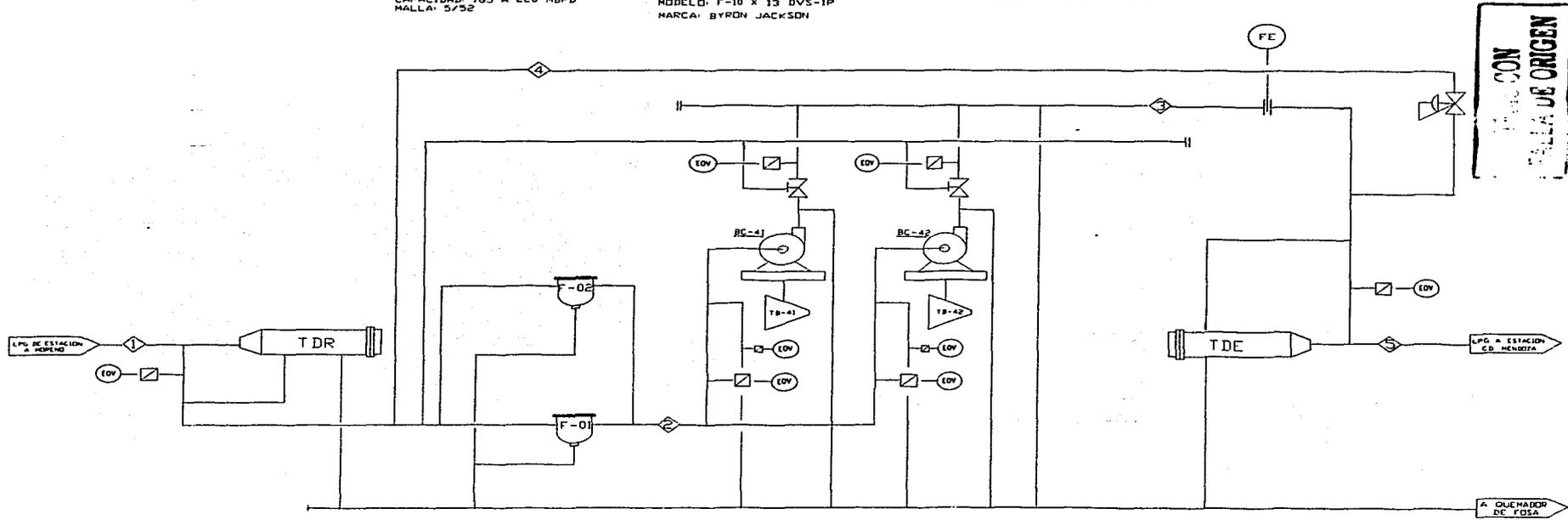
BOMBA CENTRIFUGA PARA
BOMBEO DE LPG
MODELO: F-10 X 13 DVS-1P
MARCA: BYRON JACKSON

TB-41/42

TURBINAS ACCIONADORES
DE BC-41/42
MARCA/MODELO: RUSTON/TB-5000

TDE

LANZADOR DE DIABLOS
DIMENSIONES: 26" x 24 600H



ESTACION DE BOMBEO ZAPOPITA					
CORRIENTE	1	2	3	4	5
FLUJO INSTANTANEO BLS/H	8472	8472	8472	8472	8472
Presión Kg/cm ²	16.9	16.7	---	---	---
Pdescarga Kg/cm ²	---	---	49.35	---	49.35
TEMPERATURA °C	27.2	27.2	29.7	29.7	29.7
DENSIDAD Kg/m ³	519.5	519.5	519.5	519.5	519.5

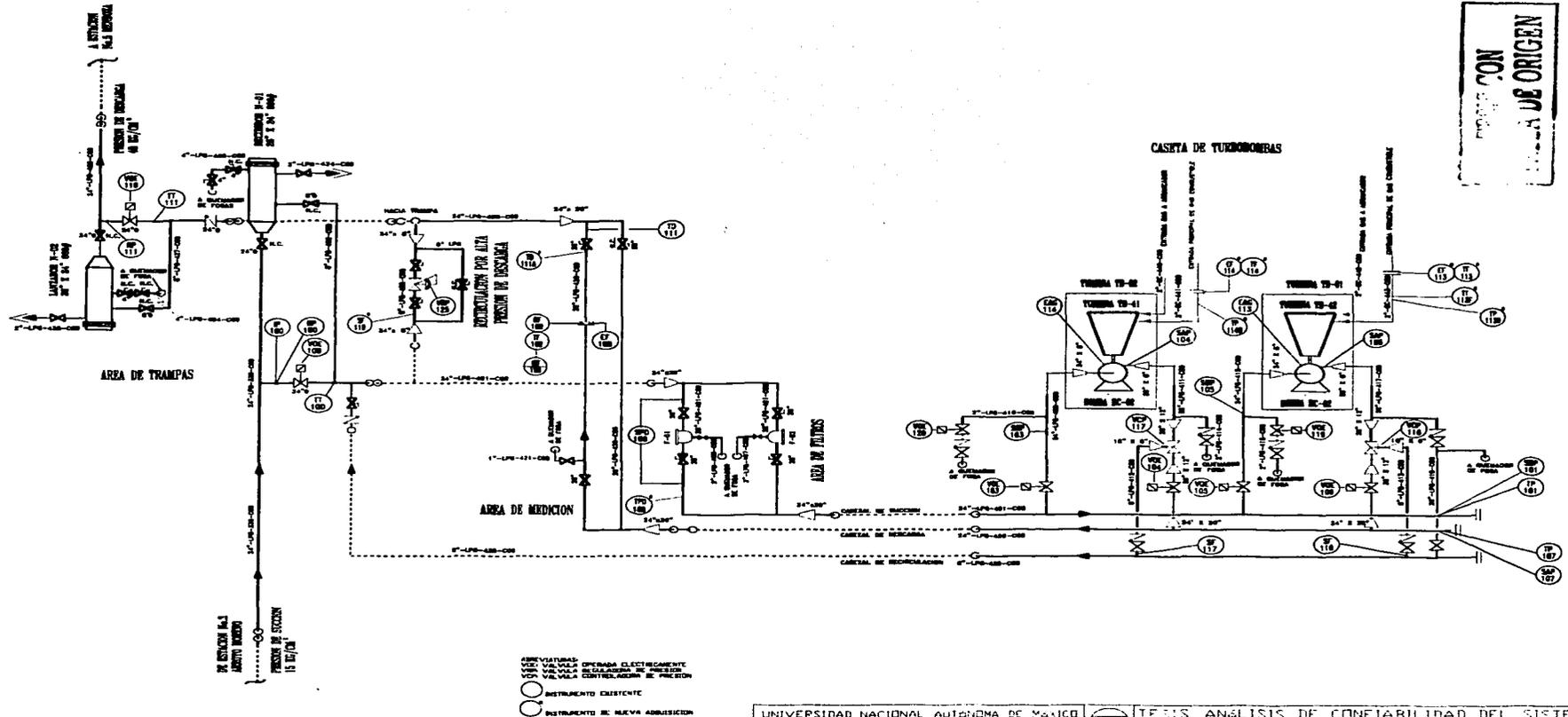
NOTA

LAS CONDICIONES DE OPERACION DE LA ESTACION FUERON TOMADAS DIRECTAMENTE DE LA CONSOLA DE OPERACION DEL DIA 25 DE SEP. DEL 2001

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO	
DIAGRAMA No.2	
Acot SIN	Esc SIN



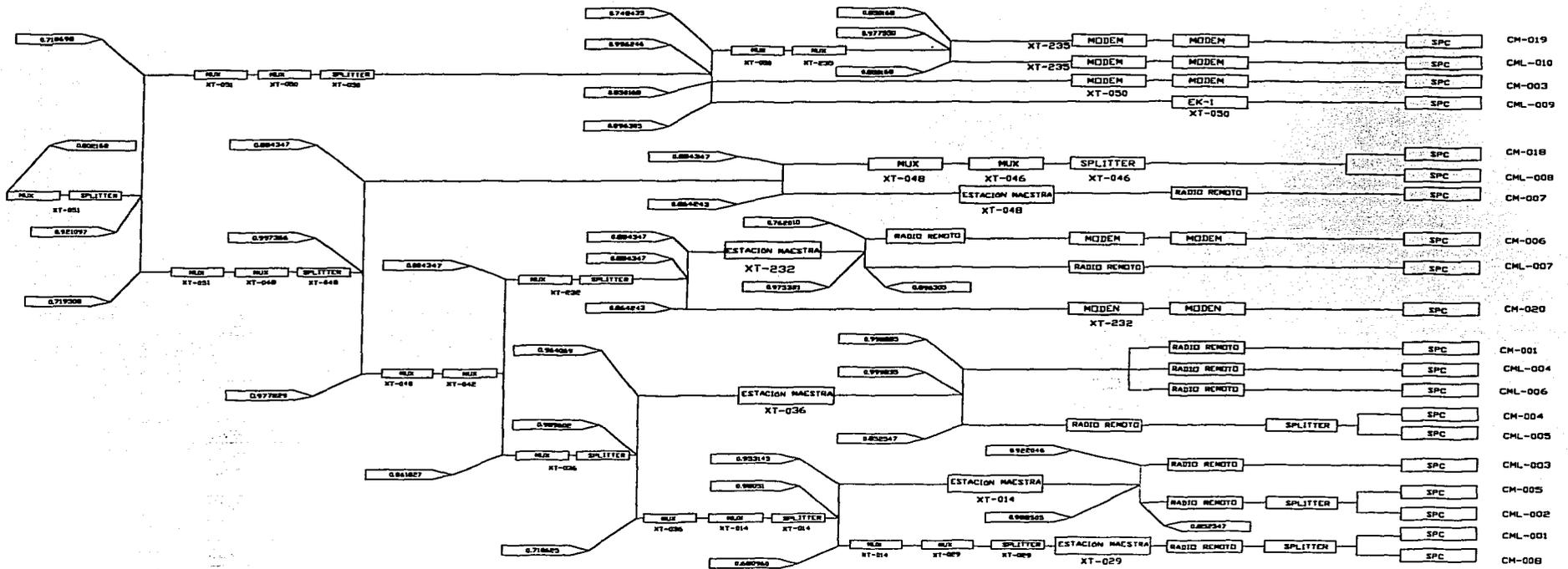
TESIS ANALISIS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA SCADA DE UNA ESTACION DE BOMBEO PARA EL GAS LP
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ESTACION DE BOMBEO ZAPOPITA



PROYECTO CON
ORIGEN

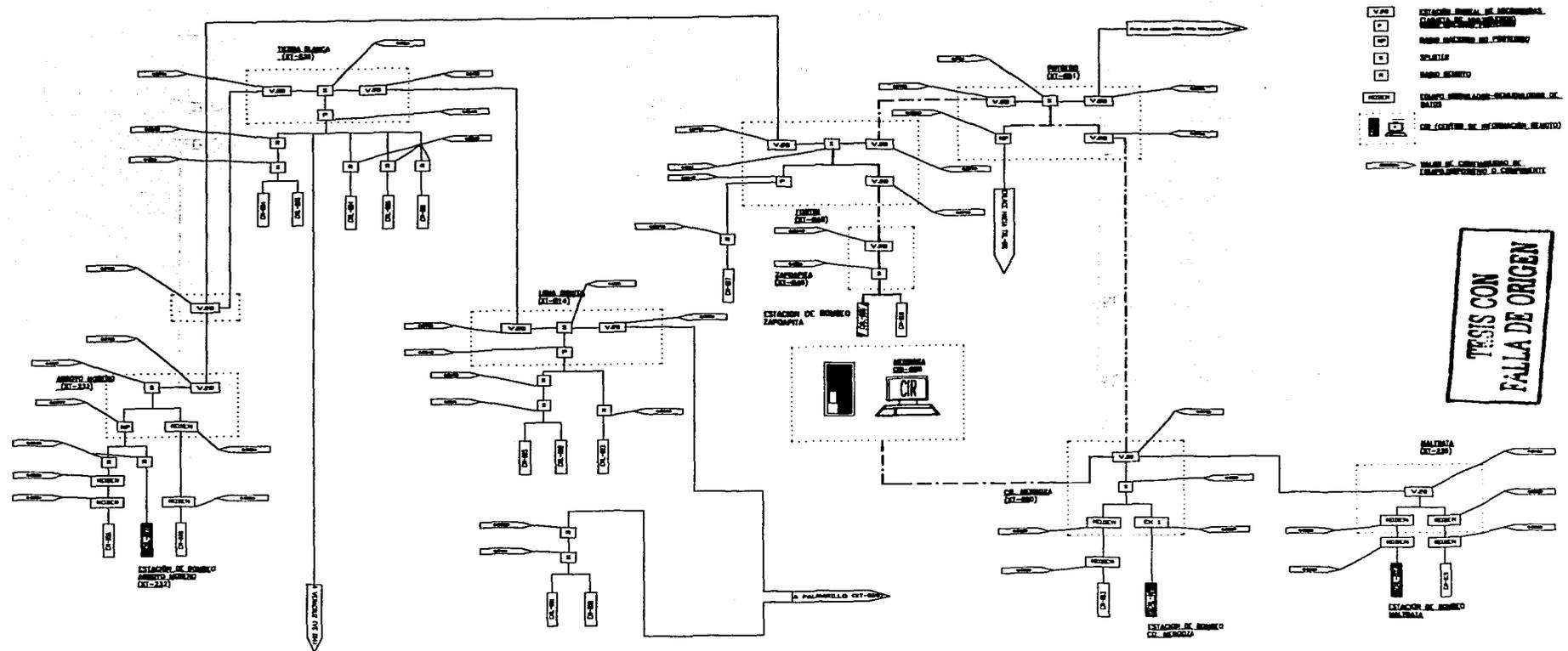
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			TESIS ANALISIS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA SCADA DE UNA ESTACION DE BOMBEO PARA EL GAS LP DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DE LA ESTACION DE BOMBEO "ZARAPARITA"
Acot-SIN	ESB-SIN		

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 DIAGRAMA No 4
 Acot. SIN Esc. SIN

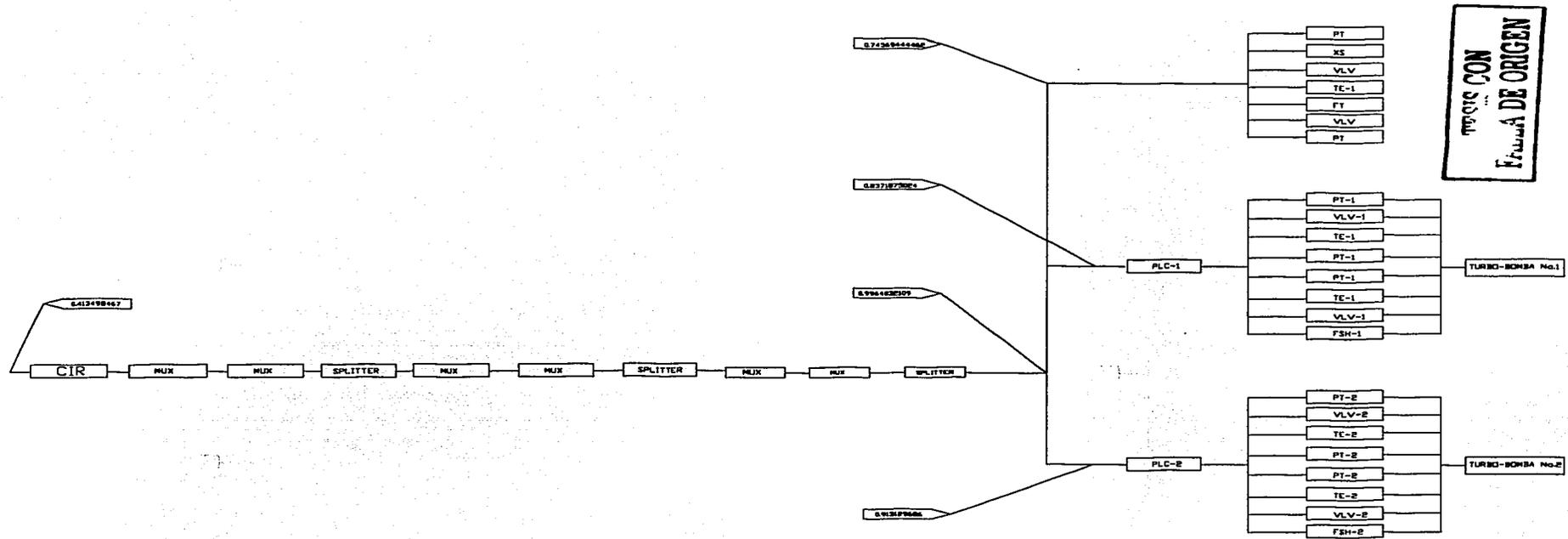
TESIS ANALISIS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA SCARA
 DE UNA ESTACION DE BOMBEO PARA EL GAS LP
 DIAGRAMA DE BLOQUES DE CONFIABILIDAD PARA EL
 SPC CHL-019 MENDOZA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 DIAGRAMA NO.5
 Acat. SIN Esc. SIN



TESIS ANALISIS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE BOMBO DE LA ESTACION DE BOMBO DE CASA EL GAS LE
 DIAGRAMA GENERAL DE ESTRUCTURA DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES DE LA ESTACION DE BOMBO DE CASA EL GAS LE



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 DIAGRAMA No. 6
 Acc: SIN E: SIN



TECNOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA SCADA
 DE UNA ESTACIÓN DE BOMBEO PARA EL GAS LP
 DIAGRAMA DE BLOQUES DE CONFIABILIDAD DEL
 SISTEMA SCADA "ZAPAPALTA"



BLOGRAFÍA

1. AICHE, FUENTE "CCPS GUIDELINES FOR PROCESS EQUIPMENT RELIABILITY DATA, NEW YORK 1989.
2. BOYER, STUART A.. SCADA SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION. 1993 ED. ISA.
3. CARLOS A. SMITH Y ARMANDO B. CORRIPIO. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS "TEORÍA Y PRACTICA" ED.LIMUSA NORIEGA EDITORAS 1997.
4. IGOR J. KARASSIK Y ROY CARTER. BOMBAS CENTRÍFUGAS. SELECCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. ED. COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A. 5^{ER}-1997
5. J. P. DEN HARTOG. MECÁNICA DE LAS VIBRACIONES COMPAÑÍA EDITORIAL. CONTINENTAL S.A. MÉXICO 22 D.F.
6. MICHAEL R. BEAUREGARD RAYMOND J. MIKALAK, ROBIN E. Mc DERMDT, FUNDAMENTOS DE PREVENCIÓN DE ERRORES EN PRECESO RECURSOS PARA LA CALIDAD. EDICIÓN PANORAMA.
7. NAROLD E. SOISSON. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL. ED. LIMUSA MÉXICO 1980 1^{ER}
8. ON SITE TRAINING GUIDE RELIA SOFT'S WEIBULL++5.0, ALL THE TOOLS YOU WILL EVER NEED FOR LIFE DATE ANALYSES AND MORE.
9. REDES COMPUTACIONALES PROT DWLOS, NORMAS E INTERLACES EDICION ALFAOMEGA-RAMA 2^{ER} 1997
10. R. I. WILLIAMS. HANDBOOK OF SCADA SYSTEMS FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY 1^{ER} EDITION. ED. ELSEVIER ADVANCED TECNOLOGY.
11. S. TIMOSHENKO Y D. YOUNG. PROBLEMAS DE VIBRACIÓN DE INGENIERÍA. ED. COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL. S. A.





12. R. RAMAKUMAR. ENGINEERING RELIABILITY, FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS. ED. PRENTICE HALL UPPER SADDLE RIVER, NJ 07458. 1993.
13. RUSTON INSTRUCTION MANUAL "TB500 GAS TURBINE". RUSTON GAS TURBINES LIMITED. ENGLAND
14. SCHEAFFER MC CLAVE. PROBABILIDAD Y ESTADISTICA PARA INGENIERIA. ED. GRUPO EDITORIAL IBEROAMERICA S.A. DE C.V. MÉXICO 1993.
15. THEODORE BAUMERSTER, EUGENE A. AVALLONE, THEODORE BAUMEISTEC III MARKS MANUAL DE INGENIERIA MECÁNICO 8^{2B} EDICIÓN, SEGUNDA EN ESPAÑOL VOLUMEN III 2B. ED. MC GRAW-HILL.

