



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“PRONÓSTICO DE LA CONFIABILIDAD,
DISPONIBILIDAD, MANTENIBILIDAD Y SEGURIDAD,
MEDIANTE LA NORMA ISO 3977-9 PARA OPTIMIZAR
LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL ASCENSOR
DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

ALLAUCA CAISAGUANO LUIS ERNESTO

CULLAY ASHQUI EDDISON ANDRÉS

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-05-13

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ALLAUCA CAISAGUANO LUIS ERNESTO

CULLAY ASHQUI EDDISON ANDRÉS

Titulado:

**“PRONÓSTICO DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD,
MANTENIBILIDAD Y SEGURIDAD, MEDIANTE LA NORMA ISO 3977-9
PARA OPTIMIZAR LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL ASCENSOR
DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Marco Santillán Gallegos

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Eduardo Hernández Dávila

DIRECTOR

Ing. Mónica Carrión Cevallos

ASESORA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ALLAUCA CAISAGUANO LUIS ERNESTO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “PRONÒSTICO DE LA CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD, MANTENIBILIDAD Y SEGURIDAD, MEDIANTE LA NORMA ISO 3977-9 PARA OPTIMIZAR LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL ASCENSOR DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2017-27-01

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila DIRECTOR			
Ing. Mónica Alexandra Carrión Cevallos ASESORA			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CULLAY ASHQI EDDISON ANDRÉS

TRABAJO DE TITULACIÓN: “PRONÒSTICO DE LA CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD, MANTENIBILIDAD Y SEGURIDAD, MEDIANTE LA NORMA ISO 3977-9 PARA OPTIMIZAR LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL ASCENSOR DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2017-27-01

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila DIRECTOR			
Ing. Mónica Alexandra Carrión Cevallos ASESORA			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán Gallegos

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Allauca Caisaguano Luis Ernesto

Cullay Ashqui Eddison Andrés

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Allauca Caisaguano Luis Ernesto y Cullay Ashqui Eddison Andrés, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Allauca Caisaguano Luis Ernesto

Cedula de Identidad: 060412835-5

Cullay Ashqui Eddison Andrés

Cedula de Identidad: 060424395-6

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Luis y Rosa por su apoyo constante e incondicional y por ser la fuente de las metas y propósitos de mi vida, para poder llegar a ser un profesional de la Patria; y a mis queridas hermanas Diana, Gabriela y Katherine.

Allauca Caisaguano Luis Ernesto

La tesis que se la realizo con esfuerzo y sacrificio va especialmente dedicada a mis queridos padres Sergio y María y hermanos Javier y Dayana que supieron apoyarme incondicionalmente para poder salir adelante y poder culminar felizmente mi carrera. También agradecer a Yesenia mi enamorada que siempre supo apoyarme y guiarme en todo momento.

A Dios que siempre colmo de salud y bendiciones a toda mi familia para poder cumplir exitosamente que mi carrera sea una realidad.

Cullay Ashqui Eddison Andrés

AGRADECIMIENTO

Primero doy gracias a mi Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no renunciar en los problemas que se presentaban.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres que han dado todo el esfuerzo para que yo ahora esté culminando esta etapa de mi vida y darles las gracias por apoyarme incondicionalmente. Me han enseñado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño para conseguir mis objetivos.

Agradezco también a mi tutor de tesis: Ing. Eduardo Hernández y a mi asesora de tesis: Ing. Mónica Carrión.

Allauca Caisaguano Luis Ernesto.

Agradecido primeramente con Dios por siempre guiar mis pasos y darme fuerzas durante mi preparación profesional.

También un agradecimiento muy especial a mi familia quienes son una gran inspiración y de ellos aprendí valores fundamentales como el esfuerzo constante y la perseverancia para alcanzar lo que quiero y así triunfar en la vida. Les quedo eternamente agradecidos por que su sacrificio, su coraje y sus consejos ya que me sirven para ser un excelente profesional y sobre todo un excelente ser humano.

También a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo quien me brindó la oportunidad de forjarme como un profesional en las aulas, a la escuela de Ingeniería de Mantenimiento y a los Ing. Eduardo Hernández e Ing. Mónica Carrión ya que supieron guiarme con sus conocimientos para que este trabajo culmine exitosamente.

Cullay Ashqui Eddison Andrés.

RESUMEN

El pronóstico de la Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS), mediante la norma ISO 3977-9 para optimizar la operación y mantenimiento del ascensor de la Facultad de Mecánica, se realizó mediante la aplicación de la Base de datos de Fiabilidad (OREDA) para todos los componentes mecánicos, ya que se trata de una de las principales fuentes de datos de fiabilidad para la industria del petróleo y el gas y fuentes como el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) para los componentes eléctricos y electrónicos, donde estas fuentes proporcionaron datos en función del tiempo medio entre fallos, tiempo medio de reparación, la tasa de fallos y tasa de reparación, la aplicación de dichas fuentes lo realizamos al no tener datos históricos del ascensor por ser un sistema nuevo. Partiendo así del análisis de la fiabilidad con la construcción de diagramas de bloques, diagramas de árbol de fallos, para el cálculo de mantenibilidad, disponibilidad y para el cálculo de seguridad con la aplicación de un esquema de Identificación de Peligros y Riesgos (IPER). Se llegó a la deducción de tres resultados o porcentajes finales tomados semestralmente, anual y para un tercer año. Como resultados obtuvimos porcentajes elevados no menores de un 70% por ser elementos nuevos y estar en una etapa de inicial de funcionamiento; por lo que se recomienda que los resultados obtenidos del análisis de Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS) como depende especialmente de la asignación de las tasas de fallo y tasa de reparación de los componentes o equipos que conforman los sistemas del ascensor, tener especial cuidado a la hora de obtener estos datos, ya sea a través de datos históricos propios, bases de datos externas o por la opinión de expertos para un cálculo correcto de las variables.

PALABRAS CLAVE: <FIABILIDAD, DISPONIBILIDAD, MANTENIBILIDAD Y SEGURIDAD (RAMS)>, <SISTEMA EN SERIE>, < DATOS DE FIABILIDAD (OREDA)>, <INSTITUTO DE INGENIEROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (IEEE)>, <FIABILIDAD EN SISTEMA SERIE>, <DISPONIBILIDAD EN SISTEMA SERIE>, <MANTENIBILIDAD DE EQUIPOS CRÍTICOS>, <DIAGRAMA ÁRBOL DE FALLOS>.

ABSTARCT

The prognosis of Reliability, Availability, Maintainability and Safety, whose acronym in English is (RAMS) by means of the ISO rule 3977-9 to optimize the operation and maintenance of the lifter of the Faculty of Mechanics was made through the application of the Data Base of Reliability (OREDA) for all the mechanic components, since is the main source of feasibility data for the Oil Industry and the gas and sources like the (IEE <Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos>) for the electric and electronic components, where these sources provided data in function of the time between failures, failures between repairing, the failure rate and the repairing rate, the application of those sources are made since historical data does not exist. From this analysis of reliability with the construction of block diagrams, tree diagram failure for the calculus of maintainability, availability and for the calculus of safety with the application of Dangers and Risks Identification, whose acronym in Spanish is (IPER). It was figured out three results or final percentages taken semiannually, annually and for a third year. High percentages were obtained not less than 70% because of being new elements and being in an initial stage of functioning. That is why is recommended that the obtained outcomes of the analysis of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) depends on the assignation of the failure rates and the repairing rate of the components or equipment that conforms part of the lifter system, and have a special care when is necessary to obtain data since through own historical data, external data base or for the expert opinion for a correct calculus of the variables.

KEY WORDS: <RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY AND SAFETY (RAMS), <SERIES SYSTEM>, <RELIABILITY DATA (OREDA)>, <INSTITUTO DE INGENIEROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (IEEE)>, <RELIABILITY IN SERIES SYSTEM>, <AVAILABILITY IN SERIE SISTEM > <MAINTAINABILITY OF CRITICAL EQUIPMENT>, <TREE DIAGRAM OF FAILURES>.

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN.	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	<i>Objetivo general.</i>	3
1.3.2	<i>Objetivos específicos:</i>	3
2.	MARCO TEÓRICO.	
2.1	Análisis RAMS.....	4
2.1.1	<i>Etapas de un análisis RAMS.</i>	5
2.1.2	<i>Definición de los requerimientos del análisis RAMS.</i>	6
2.1.2.1	<i>Fiabilidad.</i>	6
2.1.2.2	<i>Factor de fiabilidad RF.</i>	6
2.1.2.3	<i>Fiabilidad de componentes no reparables</i>	8
2.1.2.5	<i>Tasa de fallos</i>	8
2.1.3	<i>Para esta etapa se realizan los siguientes pasos:</i>	9
2.1.3.8	<i>Variabilidad de la tasa de fallo:</i>	10
2.1.4	<i>Fiabilidad de los equipos complejos</i>	11
2.1.4.1	<i>Sistemas serie:</i>	12
2.1.4.2	<i>Sistema en paralelo</i>	12
2.1.4.3	<i>Diagrama de bloques de un sistema mixto</i>	15
2.1.5	<i>Mantenibilidad:</i>	15
2.1.6	<i>Predicción de la mantenibilidad.</i>	17
2.1.6.1	<i>Tiempo medio de reparación (MTTR):</i>	17
2.1.7	<i>Clases de mantenimiento.</i>	18
2.1.7.1	<i>Mantenimiento correctivo</i>	18
2.1.7.2	<i>Mantenimiento preventivo.</i>	18
2.1.7.3	<i>Mantenimiento basado en la condición</i>	18
2.1.8	<i>Disponibilidad.</i>	19
2.1.9	<i>Análisis de los modos de fallo, efectos y criticidad</i>	19
2.1.9.1	<i>Determinación del modo de fallo</i>	20
2.1.9.3	<i>Causas de fallo.</i>	20
2.1.9.4	<i>Efectos de falla.</i>	20
2.1.9.5	<i>Clasificación de la severidad.</i>	20
2.1.10	<i>Análisis por árbol de fallas</i>	21
2.1.10.1	<i>Estructura y descripción gráfica del árbol de fallos</i>	22
2.1.13	<i>Grupo de tracción.</i>	27
2.1.13.1	<i>Componentes del grupo de tracción</i>	27
2.1.14	<i>Grupo de maniobra o control del ascensor</i>	27
2.1.15	<i>Grupo de elevación o cabina</i>	28
2.1.16	<i>Grupo de suspensión.</i>	29
2.1.17	<i>Componentes de mando y señalización</i>	29
2.1.18	<i>Componentes de seguridad:</i>	30

3.	DESARROLLO DEL ANÁLISIS RAMS.	
3.1	Análisis de falla funcional en el sistema eléctrico.....	33
3.1.1	<i>Diagrama de bloques</i>	34
3.1.2	<i>Árbol de fallos:</i>	34
3.1.2.1	<i>Diagnóstico</i>	35
3.1.2.2	<i>Acciones a seguir.</i>	35
3.1.2.3	<i>Diagnóstico</i>	36
3.1.2.4	<i>Acciones a seguir</i>	36
4.	CÁLCULO DEL ANÁLISIS RAMS.	
4.1	Metodología.....	50
4.1.1	<i>Fiabilidad del sistema eléctrico.</i>	50
4.1.2	<i>El diagrama de bloque del sistema eléctrico.</i>	50
4.1.3	<i>Fiabilidad del sistema eléctrico.</i>	51
4.2	Fiabilidad de las líneas de alimentación.....	51
4.3	Falla de los relés.....	52
4.4	Fiabilidad de los PLC.....	52
4.4.1	<i>Fiabilidad del grupo electrónico:</i>	53
4.5	Fiabilidad en motores eléctricos.....	54
4.5.1	<i>Rodamientos</i>	54
4.5.2	<i>Fiabilidad del eje en motores eléctricos.</i>	55
4.5.3	<i>Fiabilidad del ventilador en motores eléctricos</i>	56
4.5.4	<i>Fiabilidad del rotor</i>	57
4.5.5	<i>Fiabilidad del estator</i>	58
4.5.6	<i>Fiabilidad de la carcasa</i>	59
4.5.7	<i>Fiabilidad total del sistema eléctrico</i>	60
4.5.8	<i>Diagrama de bloques de la cabina:</i>	62
4.5.9	<i>Fiabilidad de la cabina</i>	62
4.5.10	<i>Fiabilidad de la cabina</i>	62
4.6	Fiabilidad de las líneas de alimentación.....	63
4.7	Fiabilidad de los PLC.....	64
4.7.1	<i>Fiabilidad de los circuitos integrados/ comunicación bus.</i>	64
4.8	Motor eléctrico de las puertas.....	65
4.8.1	<i>Fiabilidad de las correas:</i>	66
4.9	Fiabilidad de la polea de traslación	67
4.10	Fiabilidad de tope caucho	68
4.11	Fiabilidad de chapa central	68
4.12	Fiabilidad de microruptor.....	69
4.12.1	<i>Fiabilidad total de la cabina</i>	70
4.13	Sistema mecánico:.....	72
4.14	Fiabilidad en motores eléctricos.....	72
4.14.1	<i>Rodamientos.</i>	72
4.14.2	<i>Fiabilidad del eje en motores eléctricos</i>	73
4.14.3	<i>Fiabilidad del ventilador en motores eléctricos.</i>	74
4.14.4	<i>Fiabilidad del rotor.</i>	75
4.14.5	<i>Fiabilidad del estator</i>	76
4.14.6	<i>Fiabilidad de la carcasa</i>	77
4.14.7	<i>Fiabilidad de la moto reductora</i>	78
4.14.9	<i>Fiabilidad del rotor</i>	79
4.14.10	<i>Fiabilidad del estator</i>	80

4.14.11	<i>Fiabilidad de la carcasa</i>	81
4.14.12	<i>Fiabilidad total de la moto reductora:</i>	82
4.15	Fiabilidad de los rodillos	83
4.16	Fiabilidad de la polea de traslación	84
4.17	Fiabilidad de tope caucho	85
4.18	Fiabilidad de chapa central	85
4.19	Fiabilidad del cable de tracción.....	86
4.20	Fiabilidad del perfil de rodadura	87
4.20.1	<i>Fiabilidad total del sistema mecánico</i>	87
4.21	Cálculo de la mantenibilidad	89
4.21.1	<i>Mantenibilidad del sistema eléctrico</i>	89
4.22	Mantenibilidad del sistema eléctrico	89
4.22.1	<i>Mantenibilidad del relé.</i>	89
4.23	Mantenibilidad de los circuitos integrados	89
4.24	Mantenibilidad del motor	90
4.25	Mantenibilidad del cable de alimentación.....	90
4.26	Mantenibilidad del PLC	91
4.27	Mantenibilidad de la cabina.....	92
4.27.1	<i>Mantenibilidad de la correa.</i>	92
4.28	Mantenibilidad de la comunicación bus.	93
4.29	Mantenibilidad del motor	93
4.30	Mantenibilidad del cable de alimentación.	94
4.31	Mantenibilidad de las poleas de traslación.....	94
4.32	Mantenibilidad del tope caucho.....	94
4.33	Mantenibilidad de la chapa central.....	95
4.34	Mantenibilidad del PLC	95
4.35	Mantenibilidad del microrruptor	96
4.36	Mantenibilidad del sistema mecánico	97
4.36.1	<i>Mantenibilidad del perfil de rodadura</i>	97
4.37	Mantenibilidad del cable de tracción.....	97
4.38	Mantenibilidad de los rodillos	98
4.39	Mantenibilidad del motor	98
4.40	Mantenibilidad del cable de alimentación.....	99
4.41	Mantenibilidad de las poleas de traslación.....	99
4.42	Mantenibilidad del tope caucho.....	100
4.43	Mantenibilidad de la chapa central.....	100
4.44	Mantenibilidad de los rodamientos	100
4.45	Mantenibilidad del moto reductor	101
4.46	Cálculo de la disponibilidad del sistema eléctrico	102
4.47	Disponibilidad del relé	102
4.48	Disponibilidad de los circuitos integrados	103
4.49	Disponibilidad del motor	103
4.50	Disponibilidad del cable de alimentación.....	103
4.51	Disponibilidad del PLC	103
4.52	Cálculo de la disponibilidad del sistema eléctrico	104
4.53	Cálculo de la disponibilidad de la cabina	105
4.54	Disponibilidad de la correa.....	105
4.55	Disponibilidad de la comunicación bus.....	105
4.56	Disponibilidad del motor	105
4.57	Disponibilidad del cable de alimentación.....	106

4.58	Disponibilidad de las poleas de traslación.....	106
4.59	Disponibilidad del tope caucho	106
4.60	Disponibilidad de la chapa central	106
4.61	Disponibilidad del PLC	107
4.62	Disponibilidad del microrruptor	107
4.63	Cálculo de la disponibilidad de la cabina	108
4.64	Cálculo de la disponibilidad del sistema mecánico	109
4.65	Disponibilidad del perfil de rodadura	109
4.66	Disponibilidad del cable de tracción	109
4.67	Disponibilidad de los rodillos.....	110
4.68	Disponibilidad del motor	110
4.69	Disponibilidad del cable de alimentación.....	110
4.70	Disponibilidad de las poleas de traslación.....	110
4.71	Disponibilidad del tope caucho	110
4.72	Disponibilidad de la chapa central	111
4.73	Disponibilidad de los rodamientos	111
4.74	Disponibilidad del moto reductor	111
4.75	Cálculo de la disponibilidad del sistema mecánico	112
4.76	Cálculo de la disponibilidad total del ascensor	113
4.77	Resultados estadísticos de salida de las variables	114
4.78	Calculamos la disponibilidad total del ascensor con 10 números	115
4.79	Tabla de frecuencias.	115
4.80	Realizamos el histograma de frecuencias	116
4.81	Cálculo de la disponibilidad total del ascensor aplicando el RStudio	116
4.82	Análisis de la seguridad:.....	118
4.82.1	<i>Evaluación de riesgos matriz IPER</i>	118
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
5.1	Conclusiones.....	121
5.2	Recomendaciones	121

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1. Fases constitutivas de una restauración.	17
2. Clasificación de la severidad.	21
3. Probabilidad de que ocurra el(los) incidente(s) asociado(s).	25
4. SEVERIDAD: De cuan fuerte los efectos de fallo afectan a las personas.	25
5. Evaluación y Clasificación del Riesgo	25
6. Componentes del grupo de tracción electromecánica.	27
7. Grupo de maniobra o control.	28
8. Grupo de elevación o cabina.	29
9. Grupo de suspensión.	29
10. Componentes de mando y señalización.	30
11. Componentes de seguridad.	30
12. Análisis de falla funcional en el sistema eléctrico.	33
13. Análisis de falla funcional en el sistema mecánico	39
14. Análisis de falla funcional de la cabina	46
15. Cuadro de resultados sistema eléctrico.	61
16. Cuadro de resultados de la cabina.	71
17. Cuadro de resultados de la fiabilidad del sistema mecánico.	88
18. Cuadro de resultado de la mantenibilidad del sistema eléctrico	92
19. Cuadro de resultado de la mantenibilidad de la cabina.	96
20. Cuadro de resultado de la mantenibilidad del sistema mecánico	101
21. Cuadro de resultado de la disponibilidad del sistema eléctrico.	104
22. Cuadro de resultado de la disponibilidad de la cabina.	107
23. Cuadro de resultado de la disponibilidad del sistema mecánico.	111
24. Disponibilidades mínima y máxima del ascensor	114
25. Resultados estadísticos de salida	114
26. Cálculo de la disponibilidad.	115
27. Tabla de frecuencias.	115
28. Evaluación de riesgos	119

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Relaciones confiabilidad, mantenibilidad; disponibilidad y seguridad.	5
2. Estado operativo de los elementos no reparables	8
3. Formas de variación de la tasa de fallo con el tiempo.	11
4. Curva de la bañera.	11
5. Diagramas de un sistema eléctrico en serie del ascensor.	12
6. Variación de la fiabilidad del sistema serie.	12
7. Representación esquemática de un sistema paralelo.	13
8. Variación de la fiabilidad de un sistema paralelo.	14
9. Diagrama de bloques del sistema mixto del ascensor.	15
10. Símbolos utilizados en representación del árbol de fallos.	23
11. Ascensor Facultad de Mecánica.	26
12. Diagrama de bloques, sistema eléctrico.	34
13. Motor no arranca	34
14. Motor no arranca.	35
15. Falla en el sensor de final de carrera.	36
16. Falla en el encendido del equipo.	37
17. Falla en el sistema de transmisión.	41
18. Falla en el sistema de transmisión.	42
19. Falla en el motor transportador de cabina.	43
20. Falla en el sistema de transmisión.	44
21. Falla en el sistema de transmisión.	45
22. Piso y techo en mal estado.	47
23. Falla del bastidor.	48
24. Falla en la cabina.	49
25. Diagrama de bloques del sistema eléctrico.	50
26. Diagrama de bloques de la cabina	62
27. Diagrama de bloques del sistema mecánico.	72
28. Histograma de frecuencias.	116
29. Estadística del sistema con el programa R	118

LISTA DE ANEXOS

- A. Datos técnicos del motor.
- B. Datos técnicos del reductor
- C. Datos técnicos de la polea de tracción
- D. Tablero de control
- E. Tabla de componentes de mando y control del ascensor
- F. Tabla datos técnicos del motor de puertas de cabina
- G. Tabla datos técnicos del regulador de velocidad
- H. Anexo H. Plan de Mantenimiento

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes.

Al hablar de medios de transporte, se piensa comúnmente en automóviles, trenes, barcos, aviones, etc. Sin tomar en cuenta que el ascensor constituye uno de los sistemas más utilizados en el mundo y que debido a su creciente aplicabilidad, ha evolucionado constantemente desde su aparición.

Sin embargo, en nuestro medio existe una gran cantidad de ascensores pioneros en el transporte vertical, muchos de los cuales prestan servicio diariamente, pero la falta de mantenimiento y soporte técnico ha invalidado a un sin número de ellos.

El presente trabajo de titulación, efectúa un estudio para la optimización y mantenimiento de los sistemas y componentes del ascensor, el mismo que se encuentra instalado y funcionando en el edificio de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

Este pronóstico permitirá mantener al ascensor en funcionamiento óptimo durante su ciclo de vida. Detectando y prediciendo de manera oportuna futuros fallos e inconvenientes que pueda tener e interferir en el correcto funcionamiento.

El pronóstico se lo va a realizar con valores estadísticos tomados de OREDA (Offshore and Onshore Reliability Data), ya que el equipo no cuenta con bitácoras donde podamos obtener datos de tiempos de buen funcionamiento, tiempos de reparación, o actividades de mantenimiento preventivo o correctivo que hayamos realizado o se hayan realizado por el personal de mantenimiento.

Y nos permitirá además establecer y actualizar los parámetros de Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad de los sistemas, preservando la seguridad de los usuarios que es uno de los puntos más importantes y de mayor énfasis para este estudio.

1.2 Justificación.

La ESPOCH es una entidad pública de Educación Superior con más de 18.000 estudiantes, es la institución más concurrida por los habitantes de todo el país que necesitan de sus prestaciones.

Para lo cual es necesario que este centro de Educación Superior tenga un servicio de calidad. Ya que existen muchas personas que tienen dificultades al momento de subir o bajar las escaleras o personas que trabajan a diario en el edificio generando movimientos repetitivos que a corto o largo plazo podrían ocasionar daños de tipo ergonómico, y a su vez les obliga a efectuar grandes esfuerzos físicos para realizar estas actividades.

Por ello es necesario garantizar el funcionamiento continuo de todos los sistemas concernientes del ascensor con una buena planificación de mantenimiento desde el diseño y construcción hasta el funcionamiento del mismo a través del análisis RAMS ya que mediante ello obtendremos metas como:

- Disminuir el riesgo asociado a las consecuencias de las fallas con el mayor costo-beneficio posible.
- Jerarquizar equipos o sistemas de acuerdo a su grado de criticidad e importancia de su fiabilidad dentro del funcionamiento del ascensor.
- Tener alta fiabilidad para cumplir su función de forma segura
- Ser Mantenido y reparado, bajo un esquema de tiempos de entrega establecidos necesarios para cumplir con la planificación de producción y la fiabilidad operacional requeridas.
- Tener una alta seguridad operacional, y seguridad para la salud.
- Prevenir inconvenientes antes del funcionamiento del ascensor.
- Pronosticar posibles fallos de los elementos que puedan ocurrir y afectar el buen funcionamiento de los sistemas eléctricos, mecánicos y de elementos de seguridad, evitando así paros imprevistos al momento de usar el ascensor.
- Mejora continua de planes de mantenimiento que permitan presentar innovaciones o recomendación para el buen funcionamiento

1.3 Objetivos.

1.3.1 *Objetivo general.* Pronosticar la Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad, mediante la norma ISO 3977-9, para optimizar la operación y mantenimiento del ascensor de la facultad de Mecánica.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Elaborar un análisis de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad, que permita identificar los equipos y sistemas críticos, donde se propondrá acciones de mitigación.

Reportar las mejoras que se obtengan como resultado de los análisis en la infraestructura y sistemas del ascensor.

Identificar los fallos potenciales que pueden ocurrir por medio de un árbol de fallos en cada escenario considerando la fiabilidad de los sistemas, equipos y elementos para así establecer estrategias óptimas de mantenimiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Análisis RAMS.

El análisis CDM o RAMS permite ejercer control total sobre el sistema de mantenimiento y producción, en cuanto a operación y sostenimiento eficiente de los equipos: al tiempo que se logra el uso efectivo de los recursos y productos de que dispone. (MORA, 2009).

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad, son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis y su evaluación integral y específica; es a través del CDM que se puede planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión y operación de mantenimiento. (MORA, 2012).

El análisis RAMS, acrónimo de Reliability (confiabilidad), Availability (disponibilidad), Maintainability (mantenibilidad) y Security (seguridad), permite pronosticar para un período determinado de tiempo la disponibilidad y el factor de servicio de un proceso de producción o de servicio, basado en el análisis de la condición inicial, en la fiabilidad de sus componentes y en el tipo de mantenimiento aplicado.

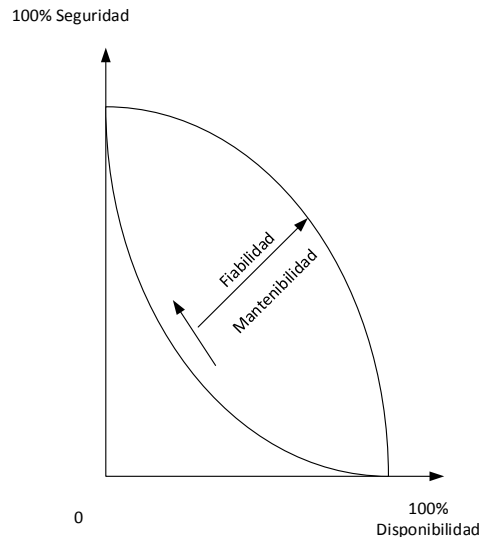
La confiabilidad y la disponibilidad hacen referencia a la probabilidad de buen funcionamiento de un sistema para operar correctamente en un periodo de tiempo determinado.

La mantenibilidad es la capacidad de un elemento o sistema de ser preservado o devuelto a un estado donde pueda realizar la función requerida.

Las características de la seguridad de funcionamiento incluyen la disponibilidad y sus factores de influencia (fiabilidad, recuperabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento), resaltando la integridad, seguridad para las personas y seguridad para el patrimonio.

Existen relaciones entre la confiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la Seguridad de funcionamiento. A mayor Seguridad, menor Disponibilidad y viceversa. Aumentando la Mantenibilidad y la Fiabilidad se consigue incrementar la Disponibilidad y la Seguridad de funcionamiento.

Figura 1. Relaciones confiabilidad, mantenibilidad; disponibilidad y seguridad.



Fuente: (ZÁRATE, 2012)

Este análisis se basa en la selección de los TMEF, TBF Y TMPR de los sistemas o equipos más importantes dentro del contexto operacional, tomando referencias de bitácoras, experiencia personal, de los operarios e investigaciones externas de manuales, libros, catálogos o de los expertos.

OREDA consta de datos estadísticos de diversos sistemas, máquinas y elementos en los cuales podemos relacionar la tasa de fallos del manual con equipos similares del ascensor para el análisis de estudio.

El análisis se sustenta en un modelo de simulación que toma en cuenta la configuración de los equipos, los fallos aleatorios, las reparaciones, las paradas parciales y totales y el mantenimiento planificado.

2.1.1 *Etapas de un análisis RAMS.* Para facilitar su estudio se ha dividido en diferentes etapas las cuales nos indican la manera más eficiente para realizar de manera correcta dicho análisis.

Análisis de la condición inicial y definición de los requerimientos de confiabilidad:

- Evaluamos el estado actual de los sistemas, subsistemas y componentes estableciendo probabilidades de buen funcionamiento en base el tipo de mantenimiento aplicado y el tiempo de trabajo del equipo.
- Identificación de los sistemas o equipos críticos: Se seleccionan aquellos sistemas o equipos que tienen, o pueden tener, una importancia crítica sobre el desempeño del proceso para posteriormente realizar los diagramas de bloques correspondientes
- Recopilación de datos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad: Se investiga, en bases de datos o a través de OREDA, información acerca de las tasas de fallo, los tiempos promedio entre fallas (TPEF) y los tiempos promedio para reparar (TPPR) de los distintos equipos.
- Desarrollo de los diagramas de bloques de disponibilidad (DBD): Se crean diagramas lógicos de bloques para cada sistema del proceso, tomando en cuenta los elementos críticos.
- Desarrollo de árboles de fallos: Se definen árboles de fallo para los distintos sistemas, con el fin de determinar las causas de los posibles fallos y sus probabilidades de ocurrencia.
- Resultados

2.1.2 *Definición de los requerimientos del análisis RAMS.*

2.1.2.1 *Fiabilidad.* Aptitud de un elemento de realizar una función requerida bajo unas condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo dado. (EN 13306, 2011).

2.1.2.2 *Factor de fiabilidad RF.* Probabilidad de que una unidad, equipo principal o componente no se encuentre en una situación de interrupción forzada en un momento dado; es decir El complemento de la relación entre el tiempo de interrupción forzada (FOH) y el tiempo total (PH): (ISO 3977-9, 1999).

El Factor de fiabilidad se lo representa mediante la fórmula 1. De acuerdo a la norma ISO 3977-9.

$$RF = 1 - \frac{FOH}{PH} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

RF: Factor de fiabilidad.

FOH=Tiempo de interrupción forzada.

PH= Tiempo total

La fiabilidad, se representa por R (t). El valor complementario de R(t) se conoce como infiabilidad, se representa por F(t) y representa la probabilidad de que el equipo falle al cabo de un tiempo t. (ZÁRATE, 2012).

La fiabilidad e Infiabilidad se describe con la siguiente fórmula:

$$R(t) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

R (t)=Fiabilidad

e=Número de Euler (2.718)

t=Periodo especificado en funcionamiento libre de fallos.

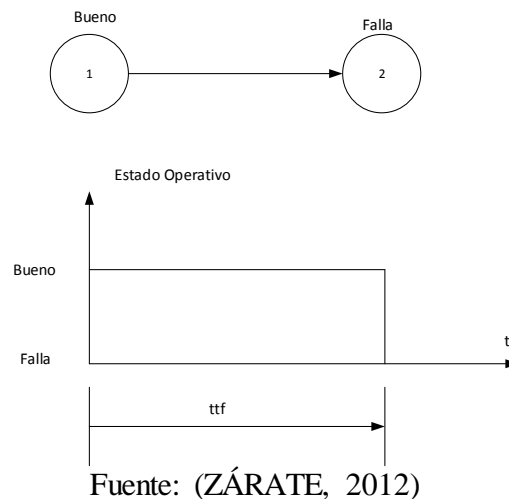
λ = Tasa de fallos.

MTBF= Tiempo medio entre fallos.

F(t): Infiabilidad.

2.1.2.3 *Fiabilidad de componentes no reparables.* La transición del estado bueno al estado fallado ocurre en un tiempo aleatorio TTF (time to failure). Este tiempo indica cuánto vive o dura el componente. Sin embargo, no es posible medir ni modelar la fiabilidad de un solo componente no reparable; para esto, se requiere una muestra representativa de tiempos para falla tomada de una población con N componentes idénticos al que interesa estudiar y en la cual n componentes falló.

Figura 2. Estado operativo de los elementos no reparables



2.1.2.4 *Componentes no reparables:* Son aquellos que operan continuamente y deben ser cambiados al fallar por primera y única vez.

2.1.2.5 *Tasa de fallos:* $\lambda(t)$, es el número de fallos que se dan en una unidad de tiempo (h.) Cuando la tasa de fallo es constante e independiente del tiempo; es decir, cuando:

$$\lambda(t) = \frac{1}{TMEF} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

TMEF: Tiempo medio entre fallos.

El ascensor de la Facultad de Mecánica al ser un activo nuevo que trabaja alrededor de un año desde su instalación no cuenta con ningún tipo de registros o bitácoras donde podamos obtener información. En vista de ese inconveniente se optó por utilizar OREDA (Offshore and Onshore Reliability Data), un manual de datos estadísticos

donde constan tasas de fallos de diversidad de máquinas y elementos basados en fallos anteriores.

2.1.3 *Para esta etapa se realizan los siguientes pasos:*

2.1.3.1 *Recopilación de Data Histórica Propia.* Muchas empresas buscando la mejora continua de sus procesos han hecho grandes esfuerzos en la recolección de información de campo sobre datos de fallo (tipo y frecuencia) y datos de reparación de sus equipos. La cantidad y calidad de este tipo de información son de gran importancia para este estudio pues reducen los valores de incertidumbre en el análisis.

2.1.3.2 *Recopilación de Opinión de Expertos.* Existen casos donde no se cuenta con suficiente información de campo, y en ausencia de ella existen metodologías que permiten la recolección de información a partir de opinión de experto.

2.1.3.3 *Búsqueda y adecuación de Información Genérica.* Con la finalidad de obtener resultados fiables, es extremadamente importante complementar la información de fallos propia del sistema, con datos de fiabilidad genéricos provenientes de reconocidas bases de datos internacionales como OREDA (Offshore Reliability Data), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers.), es vital adecuar esta información al entorno operacional bajo análisis, seleccionando de las bases de datos, solo aquellos modos de fallos que puedan realmente ocurrir en el entorno bajo estudio.

2.1.3.4 *Estimaciones.* la información proveniente de los pasos anteriores se utiliza para obtener una estimación representativa de las tasas de fallo y reparación característica del sistema o proceso. Esto se logra formulando relaciones algebraicas que permita usar distribuciones de probabilidad, para combinar la evidencia con información genérica.

2.1.3.5 *OREDA (Offshore and Onshore Reliability Data).* Un proyecto colaborativo nace a principios de los años 1980, gracias a un número de compañías petroleras que operaban en el mar Adriático y del Norte. La idea de este proyecto es la de estudiar la fiabilidad de equipos importantes bajo condiciones de operación en tiempo real. (ZAPATA, 2011).

2.1.3.6 El objetivo principal de OREDA inicialmente era recolectar datos de confiabilidad para equipos de seguridad , luego se expandió hacia diversos equipos contribuyendo a un diseño u operación segura de las plantas exportadoras de gas y petróleo , a través de la recolección y análisis de datos de mantenimiento y generando una base de datos de alta fiabilidad y el intercambio de información entre las empresas petroleras que la conforman tales como Petrobras, Shell, Exxon Mobile entre las más conocidas.

2.1.3.7 *Tiempo para llegar al fallo TPLF o Tiempo medio entre fallos TMEF (Mean operating Time Between Failures).* Media aritmética de los tiempos entre Fallos (EN 13306, 2011).

Inicia en una parada forzada, y es el promedio de horas de buen funcionamiento con respecto al número de paradas obligatorias. (ISO 3977-9, 1999).

La fórmula para el tiempo medio entre fallos para datos exponencialmente distribuidos es:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

λ = la tasa de fallos (fallos/hora).

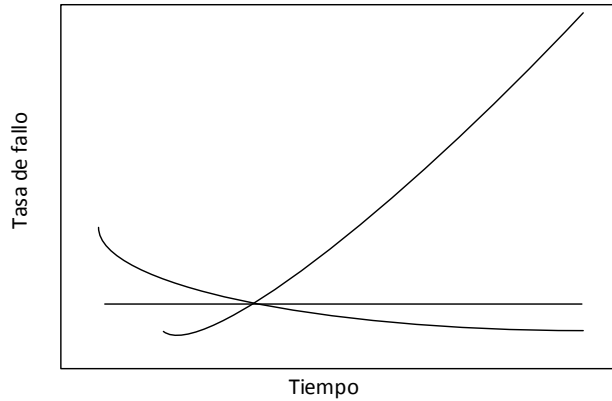
MTBF=Tiempo medio entre fallos.

2.1.3.8 *Variabilidad de la tasa de fallo:* La constancia de la tasa de fallo indica que la aparición de los fallos es fruto del azar, que los fallos se presentan de forma aleatoria y por tanto, independientemente del tiempo de funcionamiento del equipo. Esto suele ser habitual para los componentes electrónicos, pero no para la mayoría de los componentes industriales sometidos a fenómenos de desgaste, corrosión o fatiga, en los que la tasa de fallo aumenta con el tiempo de funcionamiento. (ZÁRATE, 2012).

En otras ocasiones, la tasa de fallo disminuye con el tiempo de funcionamiento del equipo; es el caso de aquellos componentes con una tensión inicial debida a una

desalineación o un ajuste inadecuado producidos durante la fase de montaje, y que puede desaparecer a lo largo del tiempo por un proceso de acomodación del componente en su alojamiento. La (Figura 3) muestra los tres casos descritos de variación de la tasa de fallo con el tiempo.

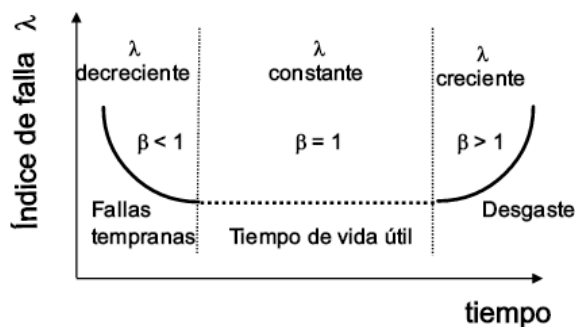
Figura 3. Formas de variación de la tasa de fallo con el tiempo.



Fuente: (ZÁRATE, 2012)

En ocasiones pueden suceder las tres configuraciones descritas anteriormente como aparece en la Figura 4, dando lugar a lo que se conoce como curva de la bañera, la cual nos indica un decrecimiento de la tasa de fallos durante el periodo de mortalidad infantil, mientras que el periodo de tasa creciente se produce durante la etapa de envejecimiento, y la etapa intermedia representa la vida útil del equipo.

Figura 4. Curva de la bañera.

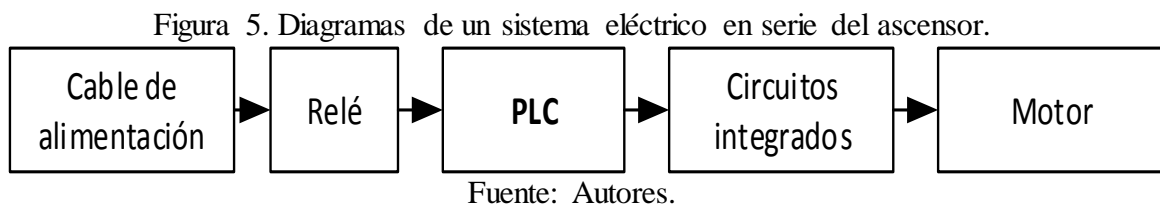


Fuente: (WIKINS, 2016)

2.1.4 *Fiabilidad de los equipos complejos.* Cuando un equipo alcanza cierta complejidad se hace difícil determinar su fiabilidad, debiendo descomponerse en equipos más simples de los cuales se conozca su fiabilidad. El diagrama resultante de esta descomposición se conoce como diagrama de bloques de fiabilidad y únicamente

está formado por aquellos equipos que influyen en la fiabilidad global del equipo más complejo. Existen dos configuraciones básicas denominadas: sistema serie y sistema paralelo, las cuales estudiaremos a continuación. (ZÁRATE, 2012).

2.1.4.1 *Sistemas serie*: Su representación básica es la que se muestra en la (Figura 5) Desde el punto de vista de la fiabilidad, un sistema serie es aquel que funciona siempre que todos los componentes funcionen. (HOYLAND, 2004).



Por tanto, la probabilidad de que un sistema serie esté en servicio exige que todos los componentes que lo forman lo estén también y por ello, deberá cumplirse que:

$$R(s) = C_{f1} * C_{f2} * C_{f3} * C_{f4} * C_{fn} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

$R(s)$ = Fiabilidad total del sistema serie

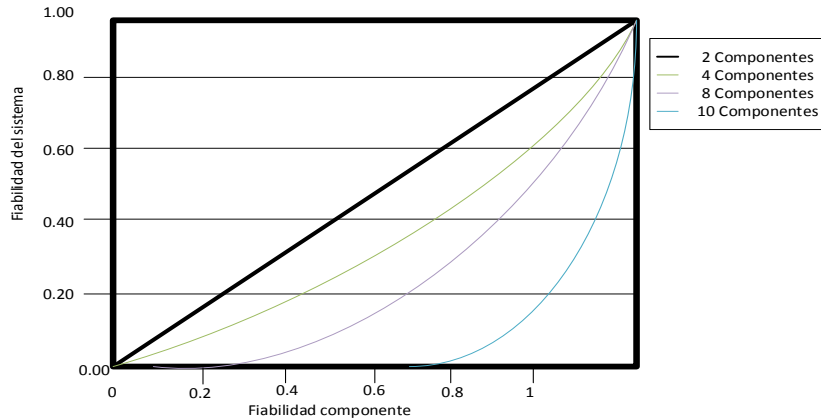
C_{f1} = Fiabilidad del sistema o elemento 1.

C_{fn} = Fiabilidad del sistema o elemento “n”

De donde se demuestra que la fiabilidad del sistema es siempre inferior a la fiabilidad del componente menos fiable y, además, dicha fiabilidad disminuye, al aumentar el número de componentes (Figura 6).

2.1.4.2 *Sistema en paralelo*. Desde el punto de vista de la fiabilidad, un sistema en paralelo es aquel que funciona si al menos uno de sus n componentes funcionan. (HOYLAND, 2004).

Figura 6. Variación de la fiabilidad del sistema serie en función de la fiabilidad de cada componente y el número de componentes del sistema.

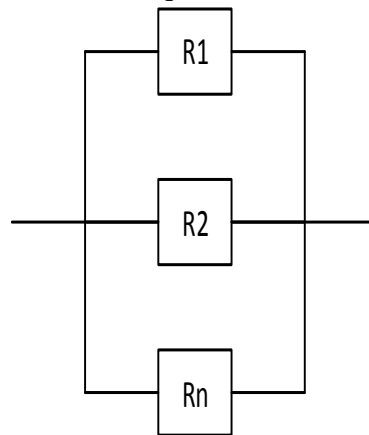


Fuente: (ZÁRATE, 2012)

La fiabilidad final de un conjunto de equipos, será obtenida por la suma de los productos de las fiabilidades de cada ítem por sus capacidades de producción, dividido por la suma de las capacidades de producción de esos ítems. (TAVARES, 2004)

Se representa como se muestra en la Figura 7, por lo que una señal que se introduzca a la izquierda de la misma, para salir por la derecha bastará que haya al menos un componente operativo; es decir, el sistema fallará únicamente cuando todos los componentes hayan fallado simultáneamente.

Figura 7. Representación esquemática de un sistema paralelo.



Fuente: Autores

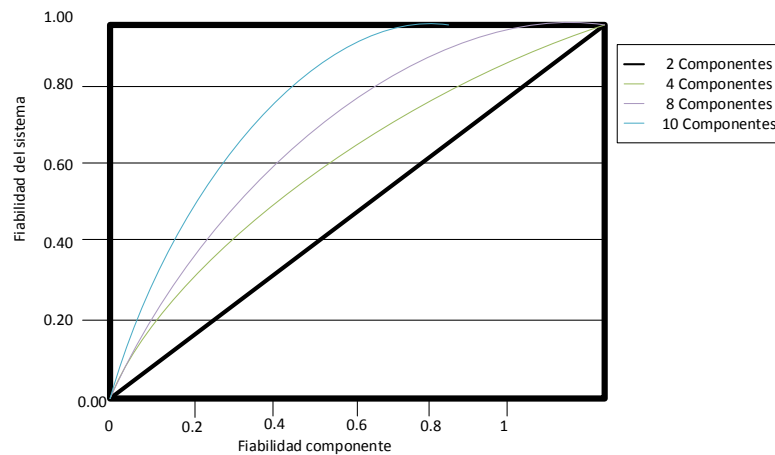
Por tanto: $MTBFS \geq MTBF_i$ de cualquiera de los componentes del sistema.

Dónde:

MTBFS= Tiempo medio entre fallos del sistema.

MTBF_i= Tiempo medio entre fallos de cada etapa o componente del sistema en paralelo.

Figura 8. Variación de la fiabilidad de un sistema paralelo en función del número de componentes y la fiabilidad de los mismos.



Fuente: (ZÁRATE, 2012).

Como es habitual, los equipos que están en paralelo son todos iguales y en el caso de que la fiabilidad siga la ley exponencial, entonces el MTTF, del sistema puede calcularse fácilmente por la fórmula:

$$MTTF_s = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

MTTF_s= Tiempo medio entre fallos sistema.

λ= Tasa de fallos.

n= Número de etapas en paralelo.

Cuando el sistema funciona únicamente con uno o varios equipos simultáneamente y el resto se ponen en servicio solo si alguno de los equipos en funcionamiento falla, estamos ante lo que se denomina redundancia pasiva.

La fórmula que da el valor del MTTF para un sistema formado por N equipos operando y n equipos pasivos es la siguiente:

$$MTTF = \frac{1+n}{N*\lambda} = \frac{1+n}{N} * MTTF_i \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

MTTF= Tiempo medio entre fallos.

N=Número de equipos operando.

n= Número de equipos pasivos.

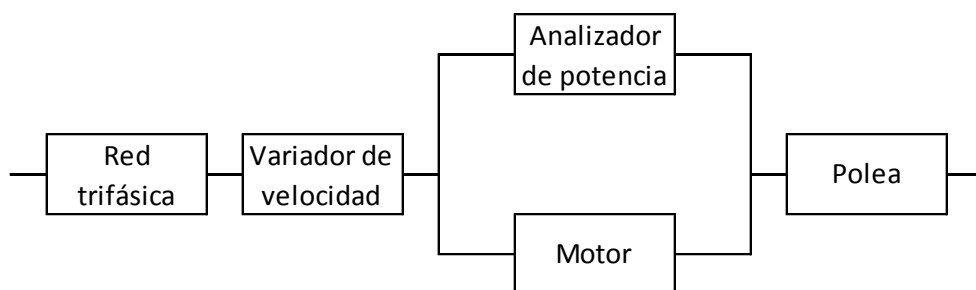
λ = Tasa de fallos

MTTF_i=Tiempo medio entre fallos de cada etapa

2.1.4.3 *Diagrama de bloques de un sistema mixto.* Comúnmente los sistemas mixtos, son los más comunes dentro de los procesos productivos y son aquellos conformados por etapas en paralelo y en serie. (WEISSMAN, 2008).

Por ende, que este tipo de sistemas son los más encontrados dentro de los procesos productivos ya que si falla una etapa no afectaría totalmente a la producción. Si no de manera parcial.

Figura 9. Diagrama de bloques del sistema mixto del ascensor.



Fuente: Autores

2.1.5 *Mantenibilidad:* Capacidad de un elemento bajo condiciones de utilización dadas, de ser preservado, o ser devuelto a un estado en el que pueda realizar una función

requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones dadas y utilizando procedimientos y recursos establecidos. (EN 13306, 2011).

Cuando se produce un fallo en un equipo, se necesita un tiempo para detectar en qué componente se ha producido y para repararlo o sustituirlo por uno nuevo a fin de dejar el equipo en condiciones de funcionamiento.

Existen diferentes estados en que puede quedar un activo (hablamos de su capacidad de cumplir con su función) después de labores preventivas o correctivas. Estos estados son:

- Tan bueno como nuevo
- Mejor que antes de fallar, pero peor que nuevo
- Mejor que nuevo
- Tan malo como antes de fallar
- Peor que antes de fallar

La mantenibilidad se representa por $M(t)$ y se expresa por la ecuación (Barrienger):

$$M_{(t)} = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t} \quad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

$M(t)$: Mantenibilidad

e : Número de Euler

μ Tasa de reparación

t : Tiempo estimado

2.1.6 *Predicción de la mantenibilidad.* La predicción de la mantenibilidad consiste en estimar la carga de trabajo asociada a cada intervención de mantenimiento al objeto de poder establecer la conformidad del diseño con los requerimientos especificados. En el caso del mantenimiento correctivo, la predicción no es una tarea fácil porque el tiempo necesario para realizar la restauración de un equipo es suma de los tiempos exigidos por cada una de las actividades que la conforman, siendo las más importantes aquéllas que se indican en la *Tabla 1*.

Además, está el hecho de que, las fases para la restauración de un determinado componente en un equipo concreto pueden estar afectadas por numerosos factores que aumentarán o disminuirán el tiempo inicialmente consignado. Tales factores pueden provenir del propio diseño del equipo, debido a su complejidad, peso y modularidad de los componentes, facilidad de acceso, intercambiabilidad, visibilidad, etc.; otros factores pueden ser debidos a aspectos organizativos, como el dimensionamiento de los grupos de trabajo, su grado de descentralización, la distribución de los almacenes, la calidad y disponibilidad de la documentación; finalmente, otros factores, como la existencia e idoneidad de los procedimientos de trabajo, de los útiles e instrumentos de medida, etc., pueden deberse a la práctica operativa de la empresa o centro de trabajo donde esté ubicado el equipo.

Tabla 1. Fases constitutivas de una restauración.

FASES	ACTIVIDADES
Diagnos de la avería	Preparación
	Localización de la avería.
Reparación	Desmontaje de los componentes con fallo.
	Suministro (o reparación) de los componentes necesarios.
	Montaje de los componentes nuevos (o reparados).
	Ajuste y calibrado.
Control de la reparación	Verificación del funcionamiento.
	Limpieza y cierre.

Fuente: (UNE-EN, 2006).

2.1.6.1 *Tiempo medio de reparación (MTTR):* Media aritmética de los tiempos de reparación. (EN 13306, 2011)

Para calcular este tiempo se usa la siguiente fórmula:

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

μ = Tasa de reparación (reparaciones/hora) y se representa mediante la ecuación 12

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{\text{Número de reparaciones}}{\text{Tiempo}} \quad \text{Ecuación 10}$$

2.1.7 *Clases de mantenimiento.* Fundamentalmente, existen tres clases de mantenimiento: el correctivo, el preventivo y el mantenimiento basado en la condición o como anteriormente se lo conocía mantenimiento predictivo.

2.1.7.1 *Mantenimiento correctivo.* Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida. (EN 13306, 2011).

2.1.7.2 *Mantenimiento preventivo.* El mantenimiento que se realiza a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios establecidos, y que está destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento. (EN 13306, 2011).

2.1.7.3 *Mantenimiento basado en la condición.* Mantenimiento basado en la condición que se realiza siguiendo una predicción obtenida del análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento. (EN 13306, 2011).

En general, el mantenimiento basado en la condición, consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlo a la evolución de fallos, para así determinar que, en un periodo de tiempo, ese fallo va a tomar una relevancia importante, y así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves.

Una de las características más importantes de este tipo de mantenimiento es que no deberá alternar el funcionamiento normal de la planta mientras se está aplicando.

2.1.8 *Disponibilidad.* Aptitud de un elemento para encontrarse en un estado en que pueda realizar su función, cuándo y cómo se requiera, bajo condiciones dadas, asumiendo que se dispone de los recursos externos necesarios. (EN 13306, 2011).

La disponibilidad se describe de la siguiente ecuación. (SEXTO, 2005).

$$D_i = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$D_o = \frac{TMEF}{TMEF + TDP} \quad \text{Ecuación 12}$$

Dónde:

D_i = Disponibilidad intrínseca

D_o = Disponibilidad operacional

TPLF o TMEF= Tiempo para llegar al fallo

TMDR= tiempo medio de reparación

TDP= tiempo de paro total

2.1.9 *Análisis de los modos de fallo, efectos y criticidad AMFEC (FMECA).* Es un procedimiento sistemático para el análisis de un sistema con el fin de identificar los modos de fallo potenciales, sus causas y efectos en el funcionamiento del sistema.

Las razones para realizar un Análisis de modos de fallo y efectos (AMFEC) o Análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (FMECA) pueden incluir lo siguiente:

- Identificar fallos potenciales
- Permitir mejoras de fiabilidad, seguridad del sistema.
- Para obtener oportunidades de mejora de los sistemas.

La aplicación del FMEA va precedida de la descomposición jerárquica del sistema en sus elementos más básicos. Es útil emplear diagramas de bloque simples para ilustrar esta descomposición. (UNE-EN, 2006).

2.1.9.1 *Determinación del modo de fallo.* En primer lugar, se debe realizar la evaluación de todos los elementos dentro de los límites del sistema al nivel más bajo proporcional a los objetivos del análisis, para identificar todos los modos de fallo potenciales, para identificar todas las posibles causas de fallo y sus efectos sobre la función del sistema y subsistemas.

2.1.9.2 *Modo de fallo.* Manera en que se produce la inaptitud de un elemento para realizar una función requerida. (EN 13306, 2011).

2.1.9.3 *Causas de fallo.* Circunstancias habidas durante la especificación, el diseño, la fabricación, la instalación, la utilización o el mantenimiento que provocan el fallo. (EN 13306, 2011).

Cuando el diseño es nuevo y sin precedente, las causas de los fallos se pueden establecer a partir de la opinión de los expertos o en manuales donde se encuentran datos estadísticos de diferentes parámetros de funcionamiento de diversas máquinas.

2.1.9.4 *Efectos de falla.* Un efecto de fallo es la consecuencia de un modo de fallo en términos de la operación, función o estatus de un sistema. Un efecto de fallo puede ser causado por uno o más modos de fallo, de uno o más componentes.

2.1.9.5 *Clasificación de la severidad.* La severidad es una evaluación de la importancia del efecto de modo de fallo sobre la operación del componente. La clasificación de los efectos de severidad depende considerablemente de la aplicación del FMEA y se desarrolla teniendo en cuenta 2 factores:

- El desempeño funcional del sistema o proceso.
- Seguridad.

Ejemplo de clasificación de severidad cualitativa de FMEA.

Tabla 2. Clasificación de la severidad.

Tipo	Grado	Descripción
I	Menor	Falla potencial de alguna parte del sistema, sin lesiones al personal
II	Crítico	El fallo ocurrirá sin daños importantes al sistema
III	Principal	Daños importantes en el sistema Y lesiones serias al personal
IV	Catastrófico	Pérdida completa del sistema y muerte potencial

Fuente: (ARDANUY, 2006).

Uno de los métodos de determinación cuantitativa de criticidad es el número de prioridad del riesgo (NPR).

$$NPR = S * O * D \quad \text{Ecuación 13}$$

En donde:

S= Severidad y es un número no dimensional que representa la severidad, de cuan fuerte los efectos de fallo afectan al sistema.

O= Ocurrencia es la probabilidad de que una causa especifica se convierta en un modo de fallo durante un periodo de tiempo predeterminado.

D= Detección, es decir, una estimación de la posibilidad de identificar y eliminar el fallo antes de que se vea afectado el sistema o el cliente. Este número se determina normalmente en orden inverso a partir de los números de severidad o de ocurrencia.

2.1.10 *Análisis por árbol de fallas*(AAF). O "Fault Tree Analysis" (FTA) se ocupa de la identificación y análisis de las condiciones y factores que causan o que potencialmente pueden causar o contribuir a la aparición de un suceso superior definido.

El FTA es particularmente adecuado para el análisis de sistemas que comprendan varias funcionalidades relacionadas o subsistemas dependientes.

El FTA tiene múltiples usos como herramienta, por ejemplo:

Determinar la combinación lógica de sucesos que llevan al suceso superior y su priorización.

Anticipar y prevenir, o mitigar, las causas potenciales de un suceso superior no deseado.

2.1.10.1 *Estructura y descripción gráfica del árbol de fallos.* Los componentes de un árbol de fallo son los siguientes:

Puertas: Símbolos que muestran la relación lógica entre sucesos de entrada y el suceso de salida.

Puertas estáticas: El resultado no depende del orden de ocurrencia de las entradas.

Puertas dinámicas: El resultado depende del orden de ocurrencia de las entradas.




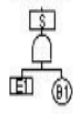




Sucesos: nivel más bajo de entrada en un árbol de fallo.

Los componentes gráficos de un árbol de fallo son los siguientes:

- Símbolos lógicos del árbol de fallo (puertas).
- Líneas de entrada a las puertas.
- Descripciones de sucesos intermedios.
- Símbolos de transferencia de entrada o salida.
- Símbolos de sucesos primarios.

Los símbolos utilizados para la representación del árbol de fallos que nos ayudan a interpretar la secuencia lógica mediante compuertas Y u OR, así la fig. 10 nos dice que tenemos los distintos símbolos utilizados en la construcción del árbol de fallos.

Figura 10. Símbolos utilizados en representación del árbol de fallos.

SÍMBOLOS	SIGNIFICADO DEL SÍMBOLO
	SUCESO BÁSICO. No requiere de posterior desarrollo al considerarse un suceso de fallo básico.
	SUCESO NO DESARROLLADO. No puede ser considerado como básico, pero sus causas no se desarrollan, sea por falta de información o por su poco interés.
	SUCESO INTERMEDIO. Resultante de la combinación de sucesos más elementales por medio de puertas lógicas. Asimismo se representa en un rectángulo el "suceso no deseado" del que parte todo el árbol.
	<p>PUERTA "Y"</p>  <p>El suceso de salida (S) ocurrirá si, y sólo si ocurren todos los sucesos de entrada (E1 E2).</p>
	<p>PUERTA "O"</p>  <p>El suceso de salida (S) ocurrirá si ocurren uno o más de los sucesos de entrada (E1 E2).</p>
	SÍMBOLO DE TRANSFERENCIA. Indica que el árbol sigue en otro lugar.
	PUERTA "Y" PRIORITARIA. El suceso de salida ocurrirá si, y sólo si todas las entradas ocurren en una secuencia determinada, que normalmente se especifica en una elipse dibujada a la derecha de la puerta.
	PUERTA "O" EXCLUSIVA. El suceso de salida ocurrirá si lo hace una de las entradas, pero no dos o más de ellas.
	PUERTA DE INHIBICIÓN. La salida ocurrirá si, y sólo si lo hace su entrada y además se satisface una condición dada (X).

Fuente: (ARDANUY, 2006).

2.1.11 *Identificación de peligros y evaluación de riesgos IPER.* Este esquema se refiere a la identificación de los peligros y evaluación de los riesgos, mediante las probabilidades y consecuencias de las posibles ocurrencias, basado en un control efectivo de los riesgos a través de la eliminación, reducción, control y monitoreo de los riesgos residuales (OSHAS 18001).

Para elaborar una IPER de la manera más apropiada se debe considerar ciertas reglas básicas como:

Se debe considerar riesgos del proceso y de las actividades que se desarrollan.

El documento elaborado debe ser apropiado para la naturaleza del proceso que se analiza.

Debe ser apropiado para ser aplicado en un tiempo razonable.

Debe ser un proceso sistemático de evaluación efectiva.

Se debe enfocar siempre las prácticas actuales.

Se debe considerar las actividades tanto rutinarias como no rutinarias.

Se debe considerar cambios en el ambiente laboral.

Se debe considerar en la evaluación a trabajadores y grupos de riesgo.

Se debe considerar aquellos aspectos que afectan al proceso.

Una IPER debe ser estructurada, práctica y debe alentar la participación colectiva.

2.1.11.1 *Los métodos de identificación de peligros.* Para identificar los peligros, se requiere del uso de ciertas herramientas como:

- Investigaciones sobre accidentes
- Estadísticas de accidentes acontecidos
- Inspecciones in situ
- Discusiones, entrevistas al personal
- Análisis de trabajos seguros
- Auditorías internas y externas
- Listas de verificación o check list

Con el fin de realizar una evaluación de riesgos de manera efectiva, que les permiten asegurar la identificación de todos aquellos peligros considerados potenciales y que se encuentran presentes en el lugar de trabajo.

2.1.11.2 Estimaciones para la matriz IPER

Tabla 3: Probabilidad de que ocurra el(los) incidente(s) asociado(s).

Clasificación	Probabilidad de ocurrencia	Puntaje
BAJA	El incidente potencial se ha presentado una vez o nunca en el área, en el período de un año.	3
MEDIA	El incidente potencial se ha presentado 2 a 11 veces en el área, en el período de un año.	5
ALTA	El incidente potencial se ha presentado 12 o más veces en el área, en el período de un año.	9

Fuente: (OSHAS 18001)

La probabilidad de que un modo de fallo se convierta en incidentes durante un periodo de tiempo.

Tabla 4: SEVERIDAD: De cuan fuerte los efectos de fallo afectan a las personas.

Clasificación	Severidad o Gravedad	Puntaje
Ligeramente dañino	Primeros Auxilios Menores, Rasguños, Contusiones, Polvo en los Ojos, Erosiones Leves.	4
Dañino	Lesiones que requieren tratamiento médico, esguinces, torceduras, quemaduras, Fracturas, Dislocación, Laceración que requiere suturas, erosiones profundas.	6
Extremadamente dañino	Fatalidad – Para / Cuadriplejia – Ceguera. Incapacidad permanente, amputación, mutilación,	8

Fuente: (OSHAS 18001)

Tabla 5: Evaluación y Clasificación del Riesgo

Severidad → Probabilidad ↓	LIGERAMENTE DAÑINO (4)	DAÑINO (6)	EXTREMADAMEN TE DAÑINO (8)
BAJA (3)	12 a 20 Riesgo Bajo	12 a 20 Riesgo Bajo	24 a 36 Riesgo Moderado
MEDIA (5)	12 a 20 Riesgo Bajo	24 a 36 Riesgo Moderado	40 a 54 Riesgo Importante
ALTA (9)	24 a 36 Riesgo Moderado	40 a 54 Riesgo Importante	60 a 72 Riesgo Crítico

Fuente: (OSHAS 18001)

La multiplicación de la probabilidad y la severidad nos dan como resultado el nivel de riesgo que mediante la matriz IPER, podemos obtener acciones de mitigación como control, eliminación, reducción, y monitoreo de los riesgos.

2.1.12 Ascensor electromecánico.

Figura 11. Ascensor Facultad de Mecánica.



Fuente: Autores.

Es un conjunto de sistemas que se utilizan para trasladar personas u objetos de un nivel a otro, a lo largo de la historia se han ido modificando diseñándolos cada vez con mayor fiabilidad y seguridad para el usuario.

Generalmente se utilizan en edificios, o lugares de gran concurrencia donde se realicen trabajos continuos y repetitivos facilitando así la movilidad de los usuarios.

Los ascensores pueden ser elevadores o subterráneos todo depende de la aplicación que vayan a tener.

Generalmente podemos clasificarlos por su afinidad de cometidos o grupos:

- Grupo de tracción.
- Grupo de maniobra o control.
- Grupo de elevación o cabina.
- Grupo de suspensión.

- Dispositivos de mando y señalización.
- Componentes de seguridad.

Tabla 6. Componentes del grupo de tracción electromecánica.

Grupo de tracción		
Componentes de grupo de tracción	Subgrupos	Descripción de los componentes
Motor		Comúnmente de corriente alterna AC asíncrono trifásico transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas
Reductor		Normalmente tipo corona y tornillo sin fin utilizado para cambiar las velocidades
Polea tractora		Acoplada al eje de la corona
Freno mecánico		De tambor o de disco y de accionamiento eléctrico por medio de Electroimanes
Bancada		Soporte metálico donde se apoya todo el conjunto
Dispositivos para el accionamiento	Manual del grupo tractor	En instalaciones de baja y media potencia o reductor adicional, instalaciones de gran potencia, para girar el rotor
	Palanca de apertura	
	Volante	

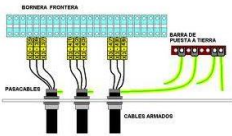
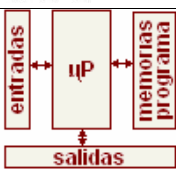
Fuente: Autores.

2.1.13 *Grupo de tracción.* La función del grupo de tracción en el ascensor electromecánico es crear el movimiento angular por medio de un motor eléctrico de corriente alterna AC, este a su vez transmite movimiento al reductor, a la polea tractora para que junto con los cables de tracción transformen un movimiento lineal.

2.1.13.1 *Componentes del grupo de tracción.* En función del reductor los componentes más importantes del grupo tractor se los detallo mediante la Tabla 6 en donde encontramos sus componentes, los subgrupos y su respectiva descripción.

2.1.14 *Grupo de maniobra o control del ascensor.* La maniobra o control es el cerebro de la instalación y funcionamiento de un ascensor. Y se lo instala mediante programación de PLC o tarjetas electrónicas, estos elementos determinan las características de funcionamiento.

Tabla 7. Grupo de maniobra o control.

Grupo de maniobra o control		
Componentes	Descripción de los componentes	Funciones del grupo de maniobra
Conmutador	El conmutador permite subir y bajar la cabina del ascensor	Recibir y almacenar las órdenes (llamadas) dadas desde la cabina y de los pisos
Relé Programable LOGO	La función de este logo es ejecutar la lógica de los pulsadores del ascenso, descenso, paradas de emergencia y finales de carrera, este envía señales al variador de velocidad que determinan el sentido de giro del motor o paradas.	Comunicarse con la tracción.
Transistor	Controla el ascensor ya que permite el control y la regulación de una corriente grande mediante una señal muy pequeña	Controlar los indicadores ópticos y acústicos de la cabina y de los pisos.
Circuitos integrados lógica integrados		Dirigir y controlar el funcionamiento de las puertas.
Circuitos integrados lógica programada		Supervisar estado de los dispositivos de seguridad.

Fuente: autores

Su principal objetivo es transportar a las personas con rapidez y seguridad durante el funcionamiento a los diferentes niveles para los que fue instalado el ascensor, también brinda información si la cabina está o no disponible. La tabla 7 nos detalla los componentes, su descripción y sus respectivas funciones.

2.1.15 *Grupo de elevación o cabina.* Es la parte fundamental destinada a acoger y transportar a las personas y las cargas al piso de destino.

Es un elemento de gran importancia dentro del contexto operacional del ascensor ya que al encontrarse con alta disponibilidad y seguridad al momento de funcionar garantiza al usuario llegar de manera fácil y en óptimas condiciones al piso de destino.

En el grupo de elevación o cabina existen una serie de componentes mecánicos y eléctricos los cuales los dividimos y detallamos una breve descripción de que son cada uno de ellos para mayor entendimiento.

Tabla 8. Grupo de elevación o cabina.

Grupo de elevación	Descripción	Subconjunto de elevación	Descripción
Cabina	Es el órgano o componente destinado a acoger y transportar a los usuarios y las cargas al piso de destino La composición de las cabinas anteriores es: - Suelo - Paredes - Techo - Puertas - Armaduras - Yugos - Travesaños - Largueros	Dispositivo de pesaje de carga	Para conseguir un funcionamiento correcto o para evitar que la instalación funcione cuando la cabina esta sobrecargada, el mando incorpora un dispositivo de medición o pesaje de carga.
		Zapatatas	Son componentes compuestos de una guarnición y un soporte para su fijación al elemento móvil de la instalación (cabina y contrapeso)
		Motor de puertas de piso y cabina	Encargado de abrir y cerrar las puertas tanto de piso como la de cabina.

Fuente: Autores.

2.1.16 *Grupo de suspensión.* Forma la parte esencial del ascensor, conformado de un conjunto de cables, correas, cadenas y accesorios, que de una u otra forma manera suspenden al ascensor, desplazando la cabina y el contrapeso del parte superior a la parte inferior o viceversa. Y estos generan movimiento por la polea tractora del grupo tractor. La tabla 9 detalla los distintos componentes del grupo de suspensión y su respectiva descripción.

Tabla 9. Grupo de suspensión.

Componentes	Descripción
Conjunto de cables y correas	Los cables de tracción están formados por cordones trenzados helicoidalmente sobre un alma de textil o metálica. Estos a su vez constan de alambres de acero
Contrapesos	Se trata de la masa que asegura la tracción en los ascensores de adherencia.

Fuente: Autores.

2.1.17 *Componentes de mando y señalización:* Forman la parte principal del mando y control de toda la instalación del ascensor, los cuales nos indican el nivel en el que nos encontramos pudiendo así dirigir su funcionamiento de forma segura y correcta. Estos

componentes pueden agruparse en dos grandes grupos de acuerdo a su función los cuales indicamos en la tabla 10:

Tabla 10. Componentes de mando y señalización.

Componentes de mando y señalización			
Componentes	Descripción	Componentes	Descripción
Mando	Son aquellos que son necesarios para indicar al control de un ascensor para poner en funcionamiento. Se clasifican en: Botoneras de piso Botoneras de cabina	Señalización	Aquellos que son necesarios para mostrar a los usuarios, determinadas informaciones útiles relativas a la instalación como: Posición de la cabina. Dirección del sentido de marcha. Disponibilidad de la instalación.

Fuente: Autores.

2.1.18 *Componentes de seguridad:* Con el fin de evitar que los usuarios esperen problemas de riesgo durante el funcionamiento del ascensor, toda instalación de ascensor tiene que llevar una dotación de:

Tabla 11. Componentes de seguridad.

Componentes	Descripción
Línea de circuito de seguridad	La línea seguridad tiene como función u objetivo principal controlar de forma permanente el estado del ascensor e informar de cualquier anomalía que se detecta o se puede encontrar, en un tiempo prolongado, donde la tracción es parada y el freno mecánico es activado
Freno mecánico	Forma como parte principal de la seguridad y se usa para detener el movimiento de la cabina cuando el ascensor está en funcionamiento o bloquearla cuando la instalación está en reposo o sin alimentación.
Mando y control y estado de las puertas de cabina y piso	Sirven como barreras de seguridad al separar los pisos con el hueco del ascensor. Donde un dispositivo de bloqueo conocido como cerraje, asegura que la apertura de puerta sea un piso destinado
Amortiguador	La función principal de asegurar la detención de la cabina con una desaceleración no peligrosa para los usuarios.
Finales de carrera	Son dispositivos eléctricos de seguridad que se desconectan el circuito de maniobra del motor en caso de alguna anomalía que reciba la cabina o rebase en cualquier de los dos sentidos de la posición extrema

Limitador de velocidad.	Son dispositivos de seguridad para los ascensores con velocidades superiores a 0.75 m/s, deben llevar instalados un interruptor que se active e que pueda interrumpir el paso de la corriente al motor, cuando el limitador de velocidad este activado
Regulador de velocidad	Está instalada en el cuarto de máquinas del ascensor y lo componen dos poleas alineadas verticalmente, uno a un punto fijo del bastidor de la cabina y el otro al sistema de palancas.
Caja térmica	Recibe la energía necesaria para la alimentación del ascensor. Consta de 4 breakers los cuales contribuyen en la seguridad evitando sobre cargar cortos circuitos que podrían afectar al tablero de control.

Fuente: Autores

La tabla 11 detalla la descripción de todos los componentes de seguridad los cuales deben ser específicos y controlados por un mando que supervisen todas sus etapas de trabajo tales como reposo, arranque y funcionamiento y la comunicación bidireccional BUS en caso de atrapamiento o fallo del ascensor es un componente de seguridad importante, que a su vez permite llamar hacia el decanato si existiera un atrapamiento.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DEL ANÁLISIS RAMS

Para desarrollar el cálculo del análisis RAMS y su pronóstico del ascensor marca KEYCO del edificio de laboratorios de la Facultad de Mecánica. Debemos considerar varios parámetros que los detallaremos y muy rigurosamente debemos realizarlos de manera ordenada y secuencial para que los resultados sean los esperados. Y poder realizar su respectivo análisis.

Primeramente procedemos a realizar tablas donde consideramos todas las fallas funcionales posibles las cuales vayan a afectar o estén afectando con el funcionamiento del equipo, así logramos determinar las secuencias críticas que interfieren en el correcto funcionamiento y a su vez determinamos los elementos más críticos de cada uno de los sistemas y sus posibles causas de fallo. Mediante la elaboración de diagramas de bloques y de árboles encontramos las secuencias críticas, las mismas que nos ayudan al cálculo y el análisis RAMS.

En el estudio se considera un ascensor con dos puertas que son accionadas automáticamente y de forma sincronizada con las puertas de los paneles fijos de la plataforma de la cabina mediante la Unidad de Control de Puertas (UCP) situada en el panel de control de la sala de máquinas y que se comunica con éste a través del equipo de transmisión y con señales BUS.

Cuando el ascensor entra en funcionamiento, la unidad de control de puertas (UCP) establece comunicación con la cabina, detecta el paro del mismo en la posición exacta y, a través del equipo de transmisión, envía la orden de apertura selectiva de puertas. Cuando se selecciona el cierre de las puertas, la UCP envía la señal de cierre selectivo de puertas, éstas se cierran y al recibir la señal de puertas cerradas, el ascensor arranca.

La secuencia indicada debe ser aprobada por el programa de seguridad del sistema cuya finalidad es identificar y resolver los riesgos que pueden presentarse, así como también la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

3.1 Análisis de falla funcional en el sistema eléctrico.

Con la elaboración de la tabla 12 en base a posibles causas de fallas, determinamos varios parámetros importantes en el funcionamiento del ascensor los cuales nos ayudan a identificar fallas funcionales que afecten en el correcto funcionamiento.

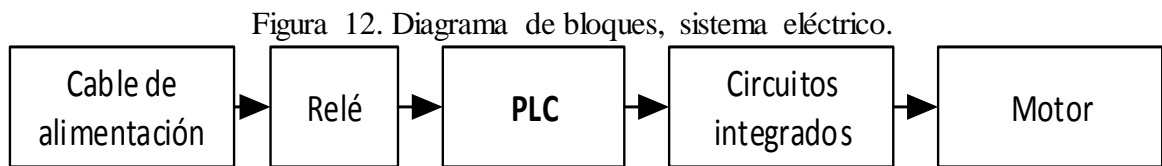
Tabla 12. Análisis de falla funcional en el sistema eléctrico.

Falla funcional	Modo de falla	Gravedad de los fallos				Parte afectada	Causas de la falla
		I Catastrófico	II Crítico	III Marginal	IV insignificante		
El ascensor no se mueve	Falla en el encendido del equipo					Cable de alimentación	Cable de alimentación roto o quemado
						Contactores	Contactador quemado
			x			Breakers	Breaker en posición off
							Breaker quemado o dañado
						Transformador	Transformador quemado
	Falla del ascensor de fin de carrera				X	Sensor de fin de carrera	Fuera de posición
							Error de calibración para el corte
	falla en el motor					Motor	Daños en el bobinado
							Motor quemado
		x					Rodamiento del motor dañado

Fuente: Autores.

3.1.1 *Diagrama de bloques.* Es una representación esquemática de los diferentes componentes que tiene un equipo.

Pueden ser clasificados en serie, paralelo o mixto de acuerdo al tipo de maquina o proceso, la figura 12 nos muestra el diagrama de bloques en serie del sistema eléctrico del ascensor, donde constan todos los elementos que lo componen.

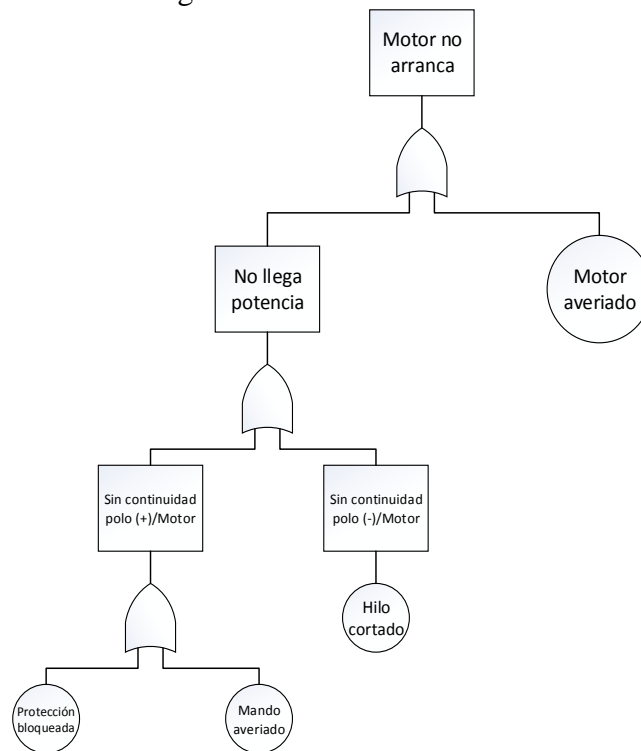


Fuente: Autores

3.1.2 *Árbol de fallos:* Representa una secuencia lógica de posibles eventos que pueden afectar al buen funcionamiento de un equipo.

A continuación, elaboramos para cada fallo posible un diagrama de árbol de fallos, con sus posibles causas y sus secuencias críticas.

Figura 13. Motor no arranca

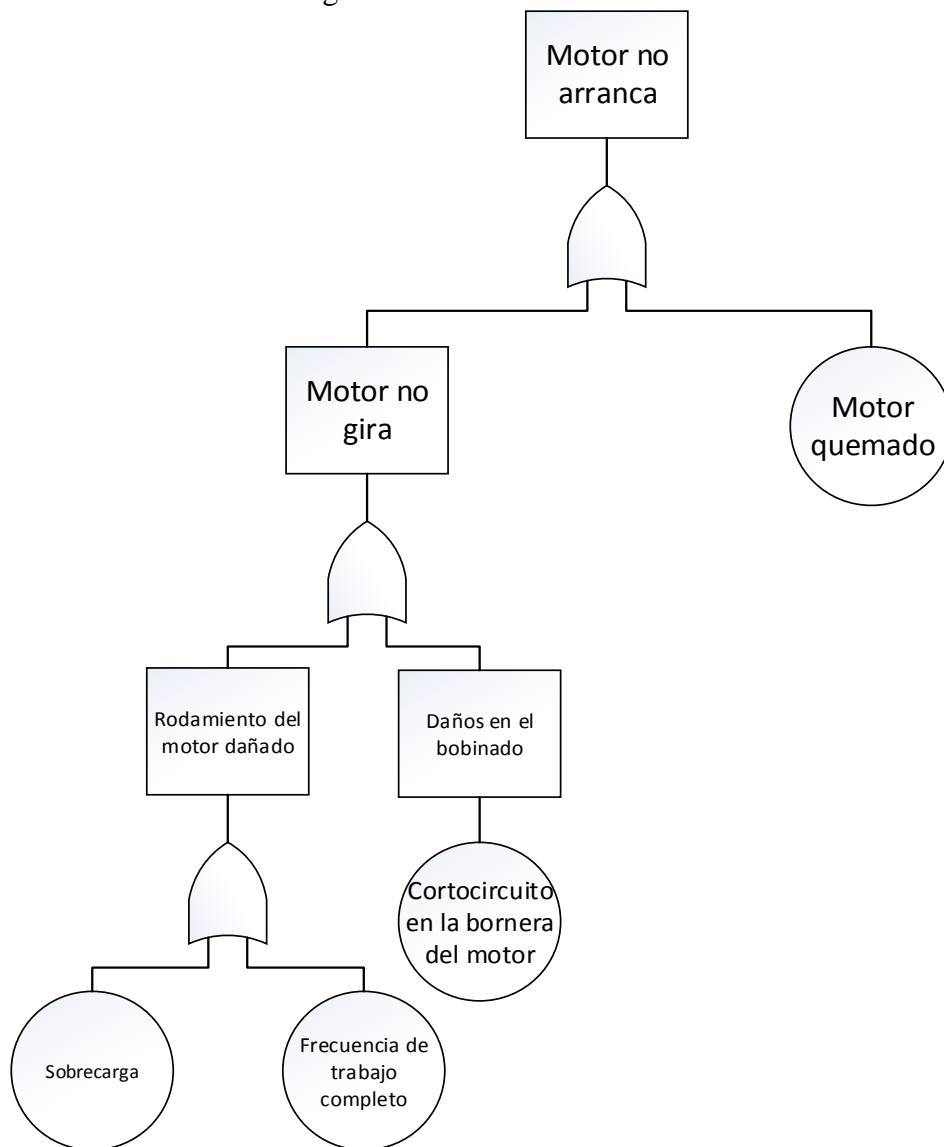


Fuente: Autores.

3.1.2.1 *Diagnóstico.* Primeramente, definimos el objetivo principal o la causa principal “Motor no arranca” posteriormente identificamos las posibles causas de las fallas que evitan el correcto funcionamiento del motor. Mediante una secuencia lógica y con puertas “Y” u “O” ya que estas determinan la probabilidad de que una o más causas de fallos deban originarse para que el motor no arranque. Así se detalla en la Figura 13.

3.1.2.2 *Acciones a seguir.* Realizar inspecciones periódicas de los parámetros de buen funcionamiento, entre los cuales destacamos: Tensión de alimentación, revisión de contactores y reajuste de los mismos.

Figura 14. Motor no arranca.



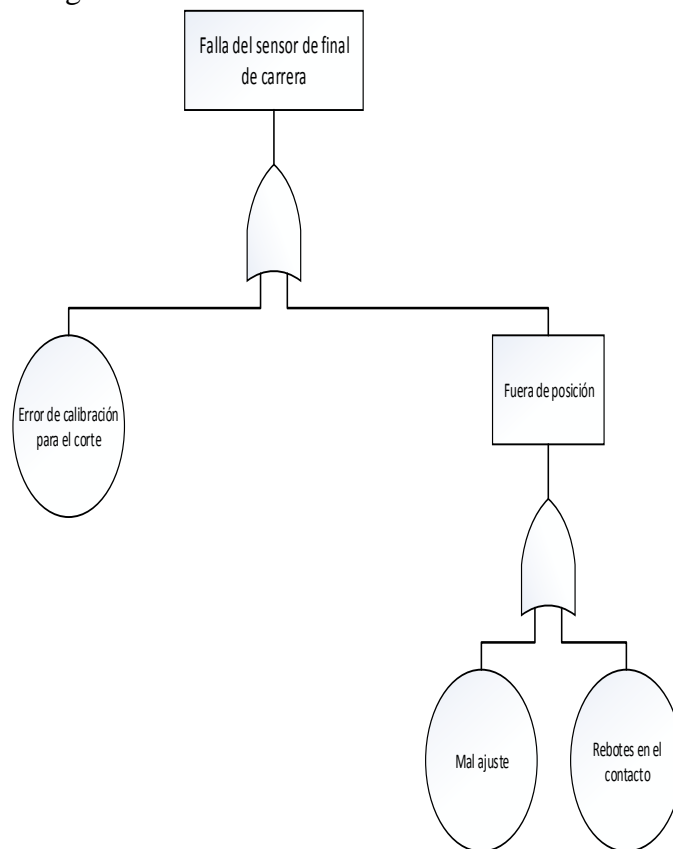
Fuente: Autores.

3.1.2.3 *Diagnóstico.* Primeramente, definimos el objetivo principal o la causa principal “Motor no arranca” posteriormente identificamos las posibles causas de las fallas que evitan el correcto funcionamiento del motor. Mediante una secuencia lógica y con puertas “Y” u “O” ya que estas determinan la probabilidad de que una o más causas de fallos deban originarse para que el motor no arranque. Así se detalla en la Figura 14.

3.1.2.4 *Acciones a seguir.* Realizar inspecciones periódicas de los parámetros de buen funcionamiento, entre los cuales destacamos: Tensión de alimentación, revisión de contactores y reajuste de los mismos.

Elementos de control y seguridad tales como los finales de carrera son de vital importancia ya que el fallo de estos podría causar daños materiales o a su vez prejuicios para la salud de los usuarios.

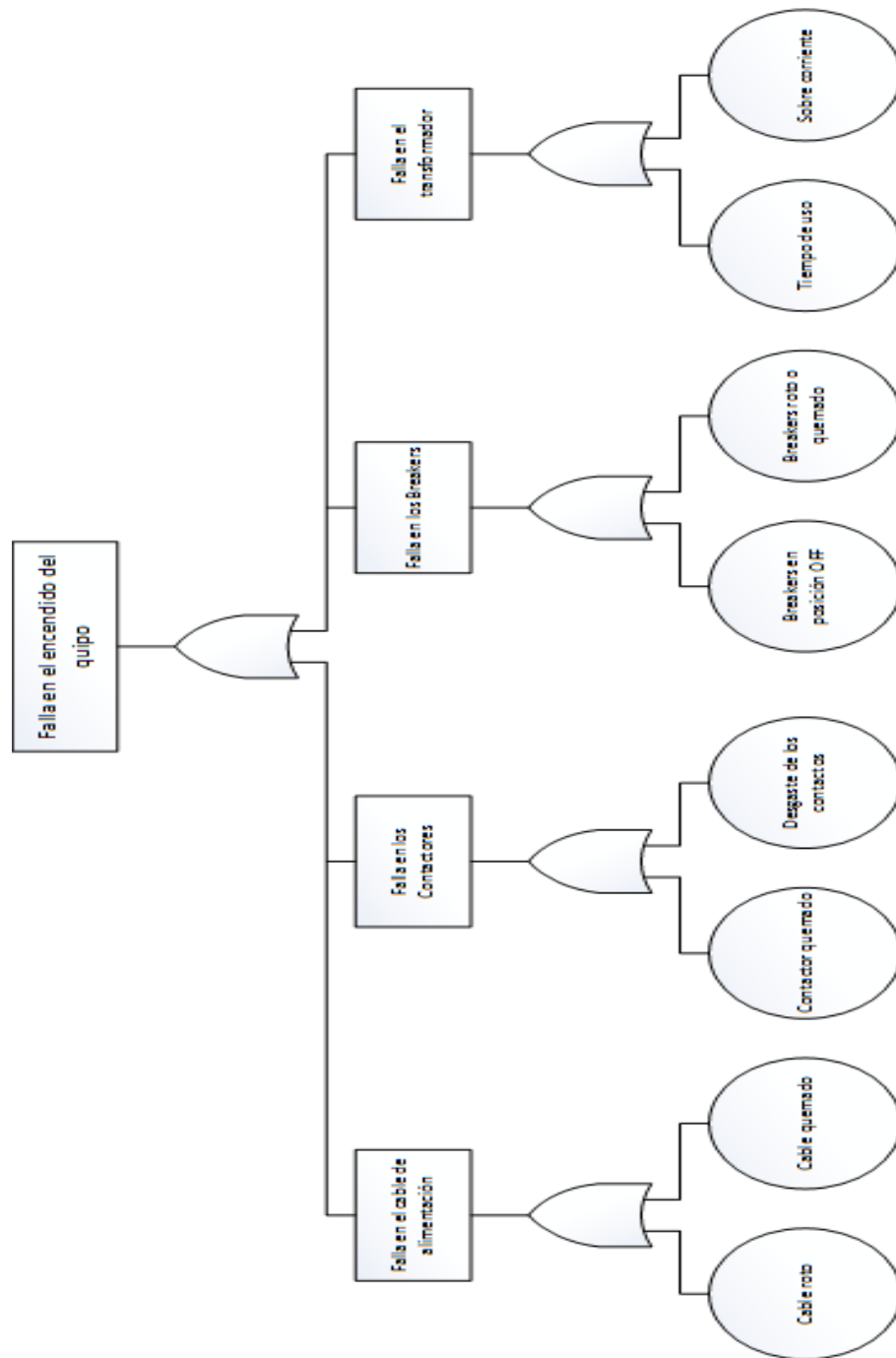
Figura 15. Falta en el sensor de final de carrera.



Fuente: Autores.

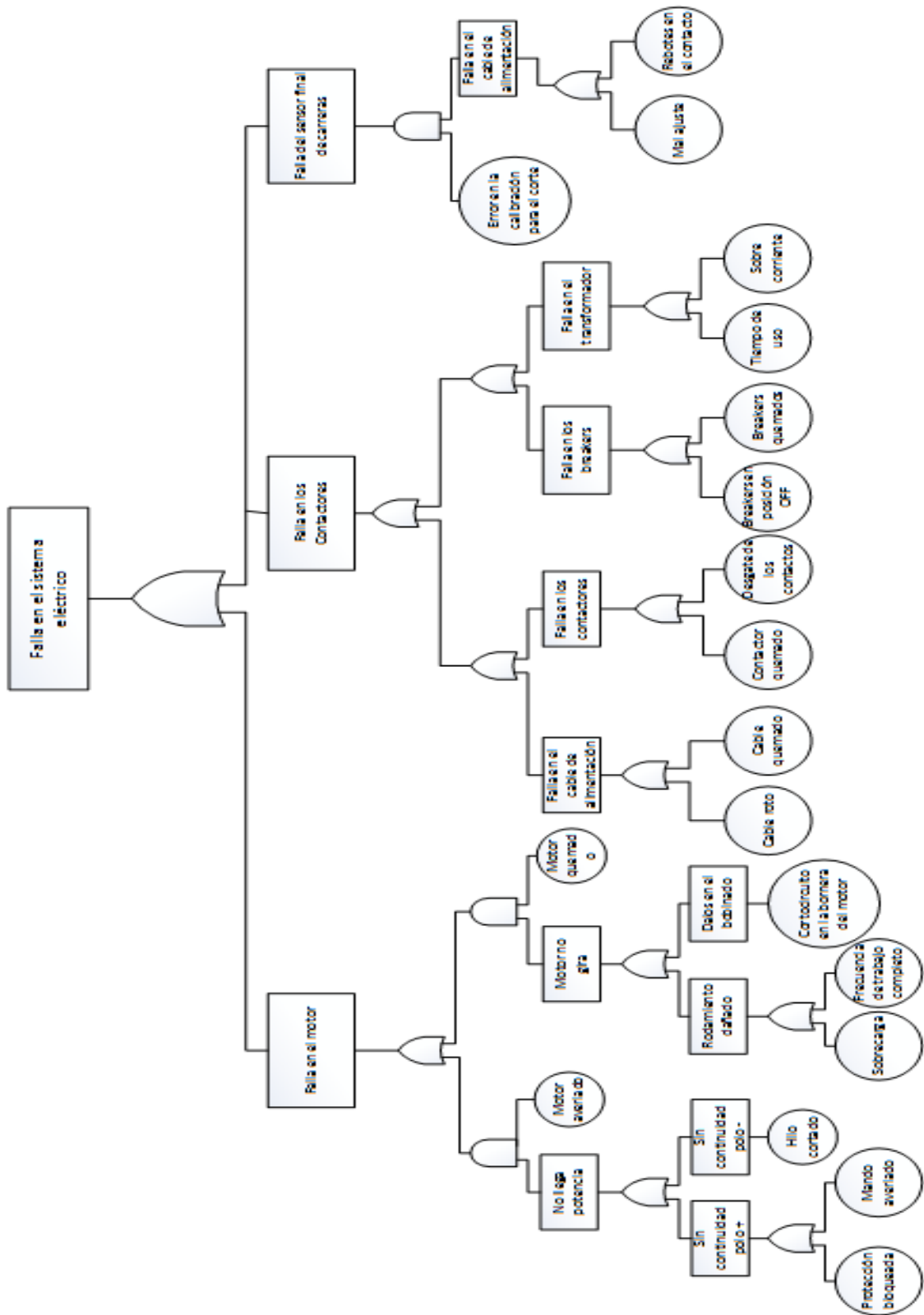
Varios eventos no deseados pueden afectar el encendido del equipo, como se muestra en la fig. 16 es por eso que se debe tener en consideración todos estos eventos ya que son de fácil solución o los evitaría con la aplicación del mantenimiento autónomo.

Figura 16. Falla en el encendido del equipo.



Fuente: Autores.

Figura 17. Falla en el encendido del equipo.



Fuente: Autores

El sistema mecánico contiene elementos de gran importancia ya que son los que ejercen fuerza y producen movimiento al equipo, es por ende que al realizar un análisis de las fallas funcionales determinamos las posibles causas de fallo y las partes más afectadas.

Tabla 13. Análisis de falla funcional en el sistema mecánico

Falla funcional	Modo de falla	Gravedad de los fallos				Parte afectada	Causas de la falla
		I C a t s t r ó f i c o	I I C a í t i c o	I I M a r c a l	I V i n s i g n i f i c a n t e		
El ascensor no se mueve	Falla del sistema de transmisión	X			Cable de tracción	Ruptura	
					Poleas	Salto de la correa por estiramiento	
						Ruptura	
					Caja de transmisión del ascensor	Daños en los dientes de los engranajes	
						Ruptura del eje de transmisión de los engranajes	
						Desgaste de las chumaceras de los ejes	
					Eje transmisor de movimiento al ascensor	Ruptura del eje de transmisión	
						Desgaste de las chumaceras de apoyo del eje	
	Obstrucción en los rodillos	X				Elevador	Estante mal acoplado en el ascensor
						Esterilla obstruyendo el movimiento	

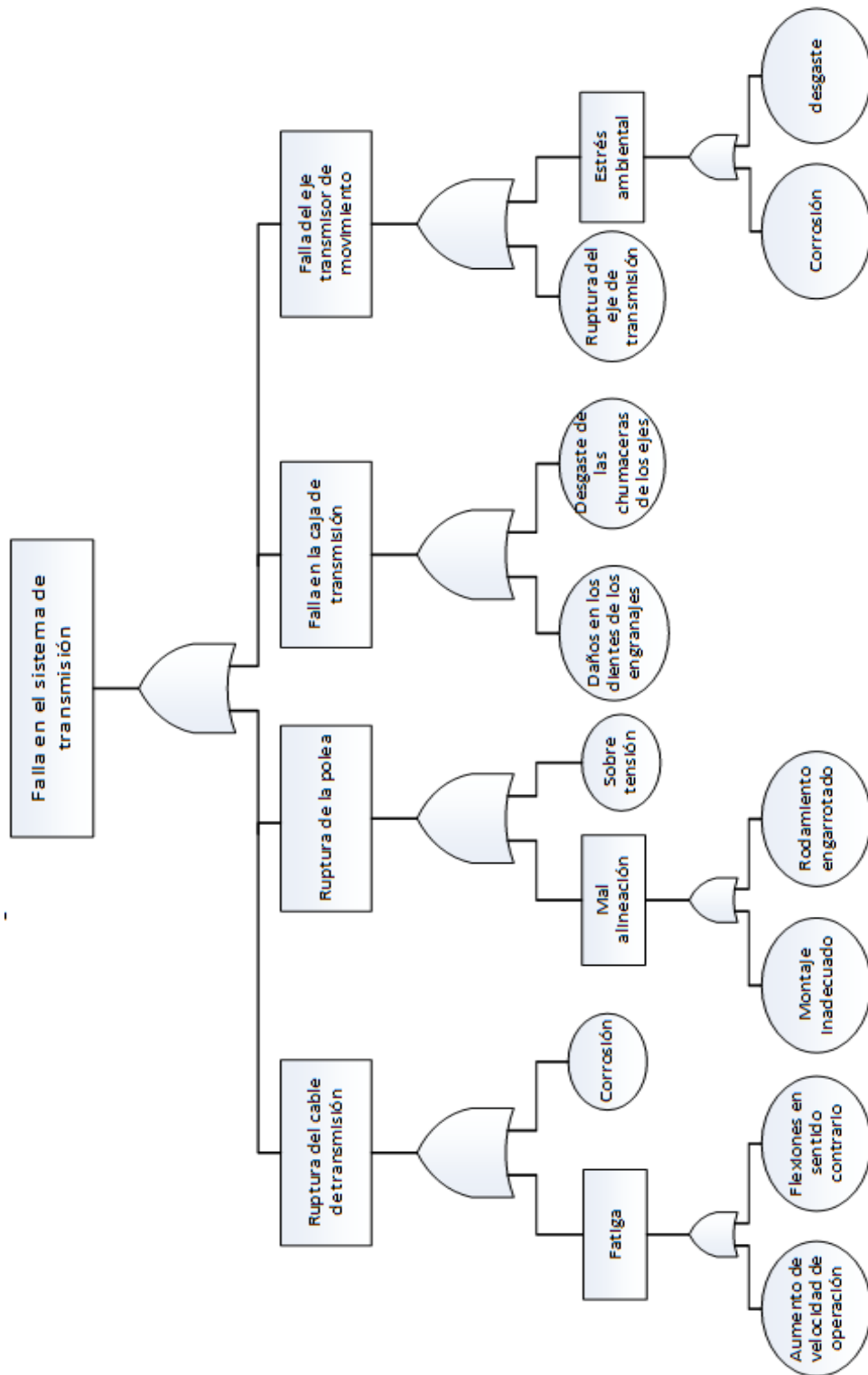
	Falla del motor transportador de cabina	x			Motor	Daños en el bobinado
						Motor quemado
						Rodamiento del motor dañado
	Perfil de rodadura obstruido		X		Perfil de rodadura	Aumento de la contaminación de polvo en el ambiente
						Exceso o falta de lubricación
	Fractura, desgaste o corrosión de los rodamientos		X		Rodamientos	Alta vibración
						Agentes ambientales
						Envejecimiento
						Fatiga
	Falla del moto reductor	x			Moto reductor	Eje partido
						Motor quemado
						Falta de cuña
						Protección térmica activada
						Rodamientos en mal estado
						Dientes desgastados
Piñones con picadura						

Fuente: Autores.

La falta de planificación de mantenimiento hace que varios elementos mecánicos y de fricción se desgasten y causen paradas innecesarias al equipo.

Causando así muchas posibles fallas potenciales hacia el ascensor, ahora bien, de acuerdo a la selección de varios modos de fallas podemos optar por varias metodologías de mitigación de dichas fallas, mediante la aplicación de un mantenimiento preventivo con sus actividades correspondiente, mantenimiento autónomo y mantenimiento preventivo mediante el diagnóstico técnico, como termografía y vibraciones, para así tener los sistemas que conforman el ascensor en buenas condiciones de servicio.

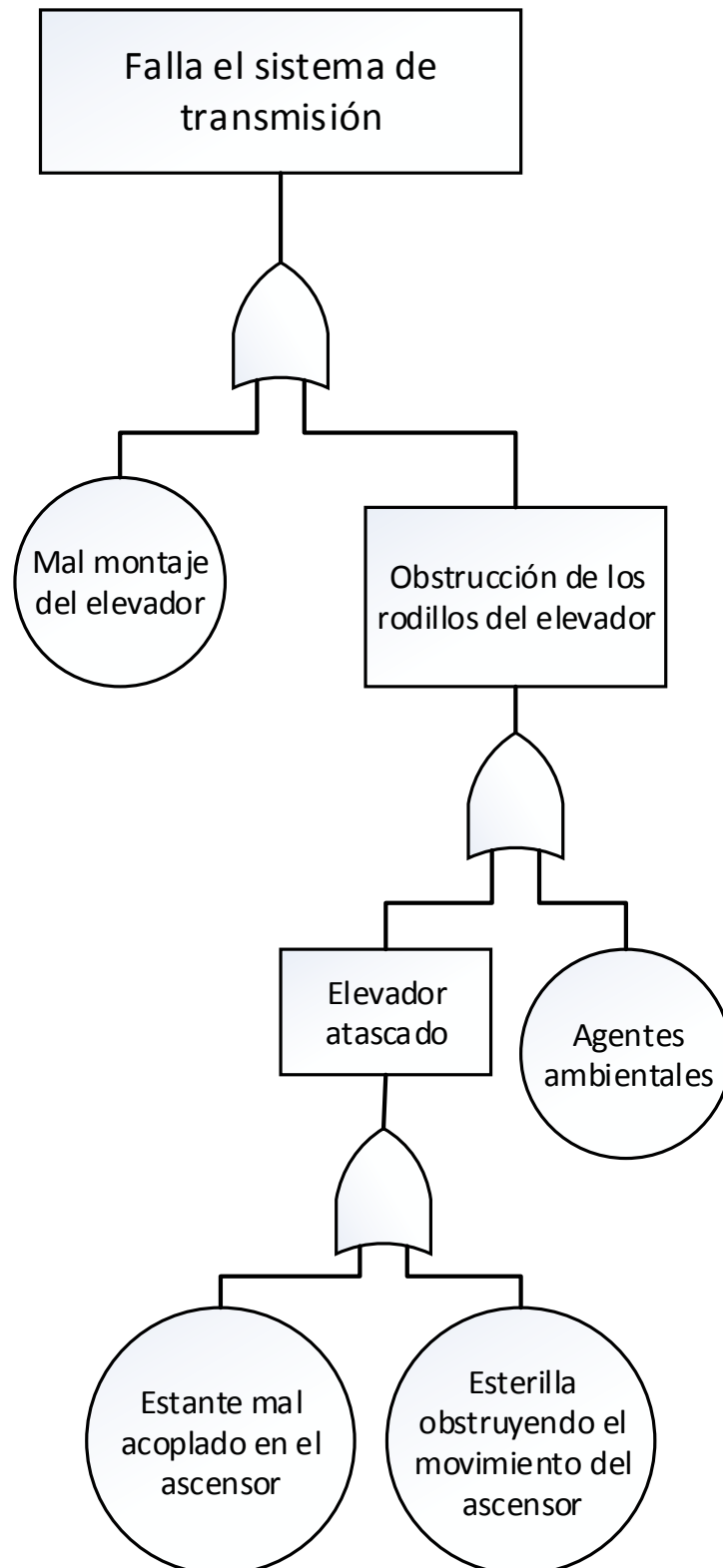
Figura 17. Falla en el sistema de transmisión.



Fuente: Autores

La fig. 19 demuestra fallos causados al momento de la instalación por falta de capacitación al personal o por mala calidad de materiales.

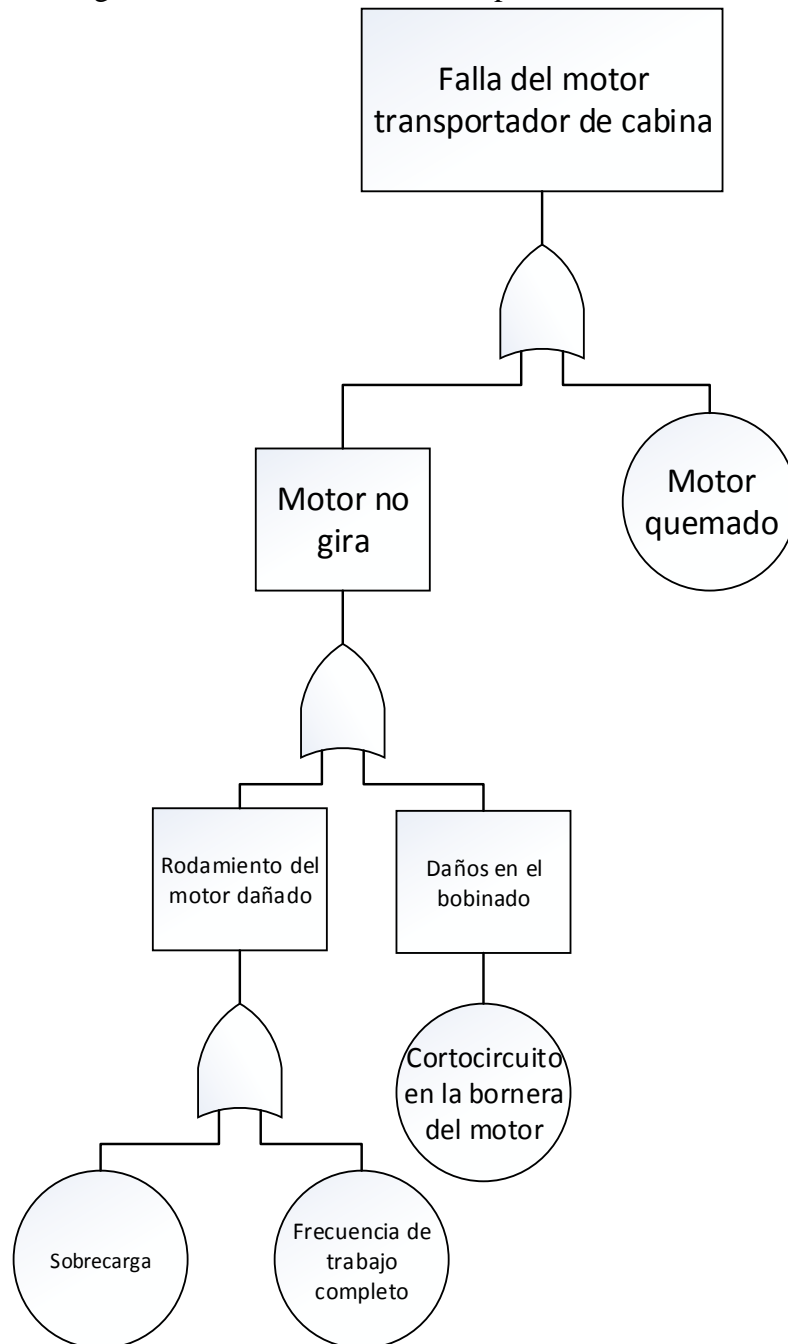
Figura 18. Falla en el sistema de transmisión.



Fuente: Autores.

Excesivas frecuencias de trabajo hacen que los elementos se deterioren con mayor rapidez o se sobrecalienten por la falta de mantenimiento o lubricación así es como se demuestra en la fig. 20

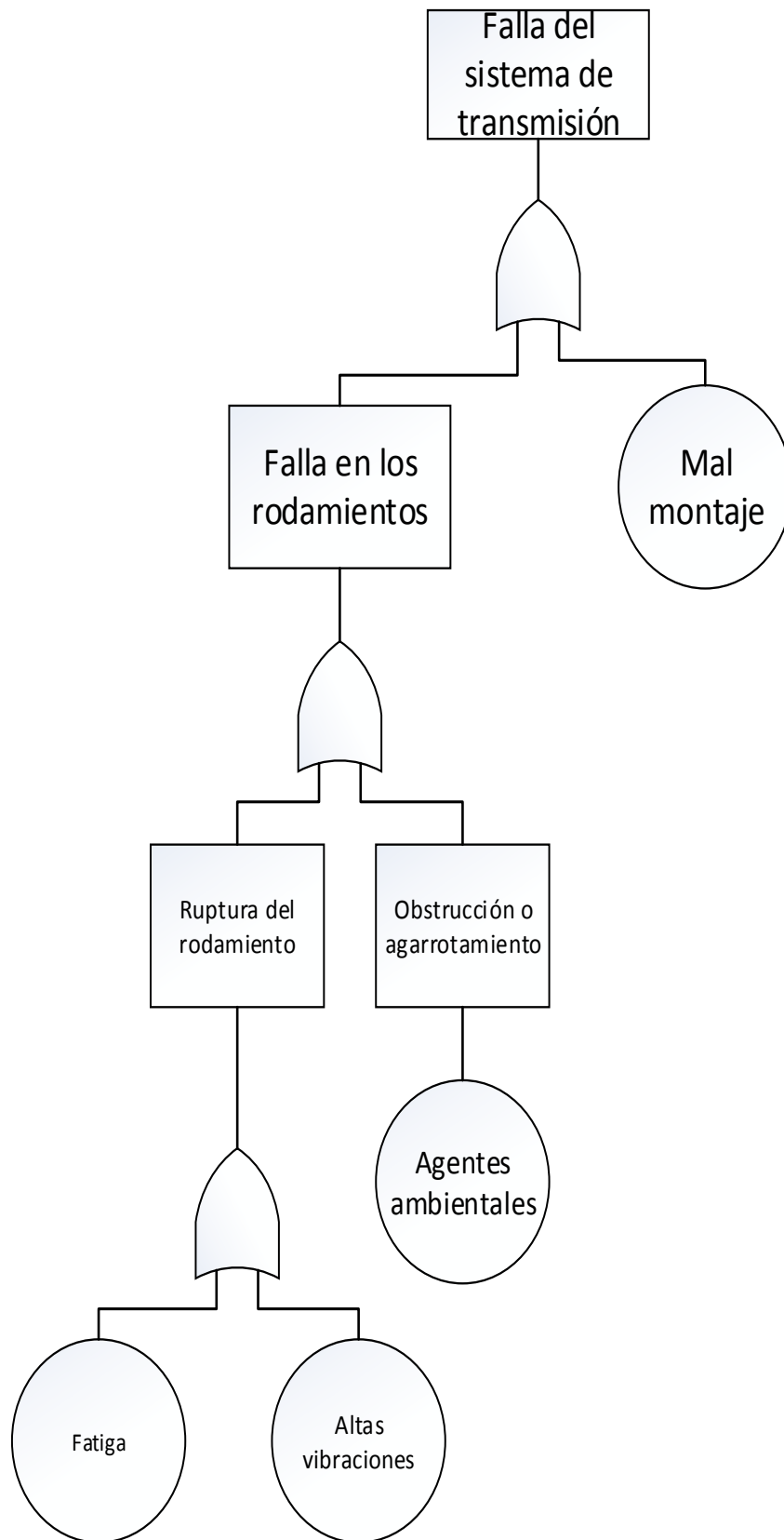
Figura 19. Falla en el motor transportador de cabina.



Fuente: Autores.

La fig. 21 muestra cuales son las causas con mayor probabilidad que harían que el sistema de transmisión falle, es decir que pueden ocurrir uno o varios eventos o a su vez eventos combinados produciendo la falla del sistema.

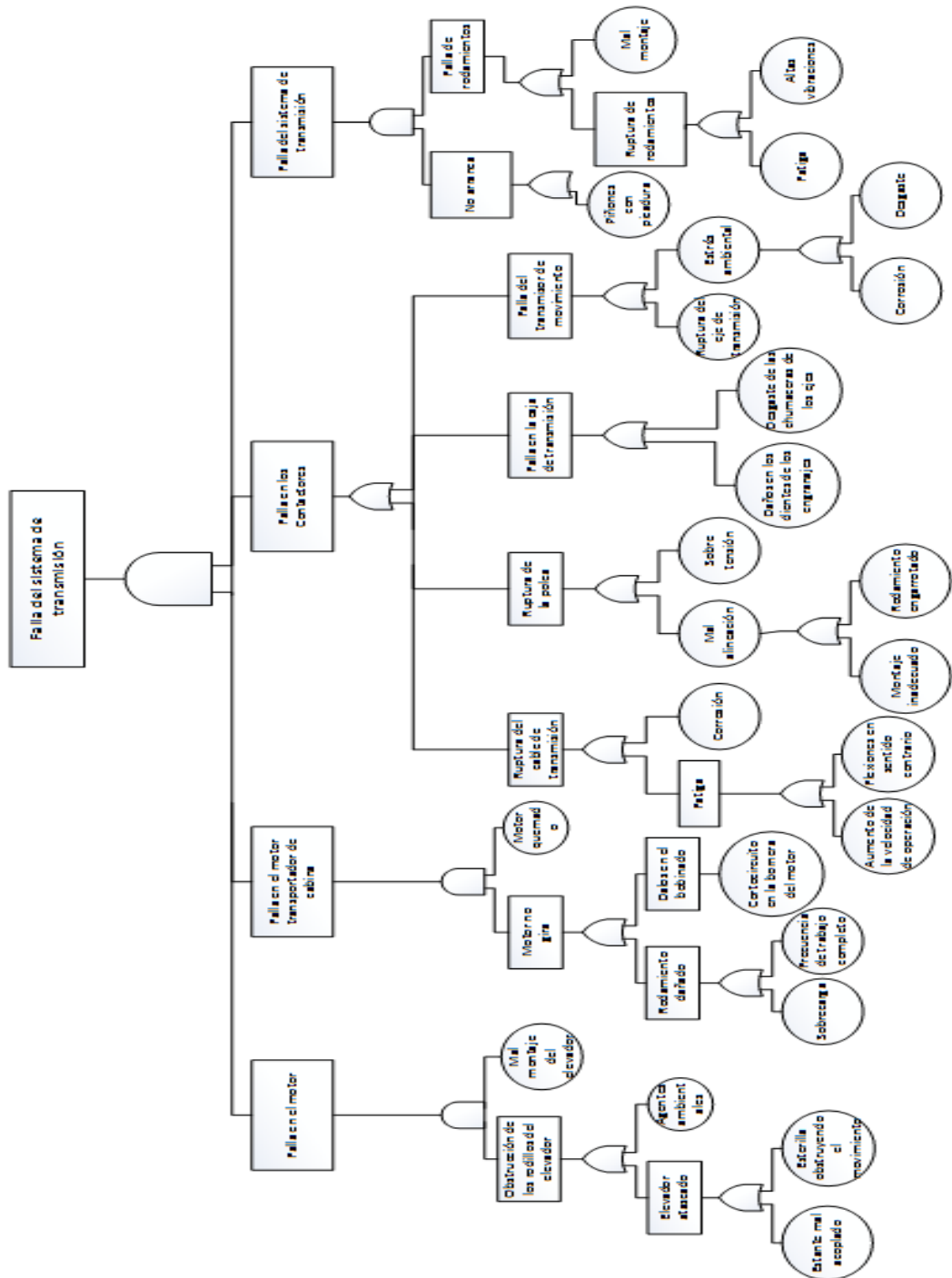
Figura 20. Falla en el sistema de transmisión.



Fuente: Autores

En la fig. 22 realizamos un análisis total de las posibles causas para el fallo en el sistema de transmisión, combinando todos los elementos que lo componen así podremos determinar la manera correcta de encontrar las causas de fallo con mayor probabilidad que afecten el funcionamiento del sistema.

Figura 21. Falla en el sistema de transmisión.



Fuente: Autores

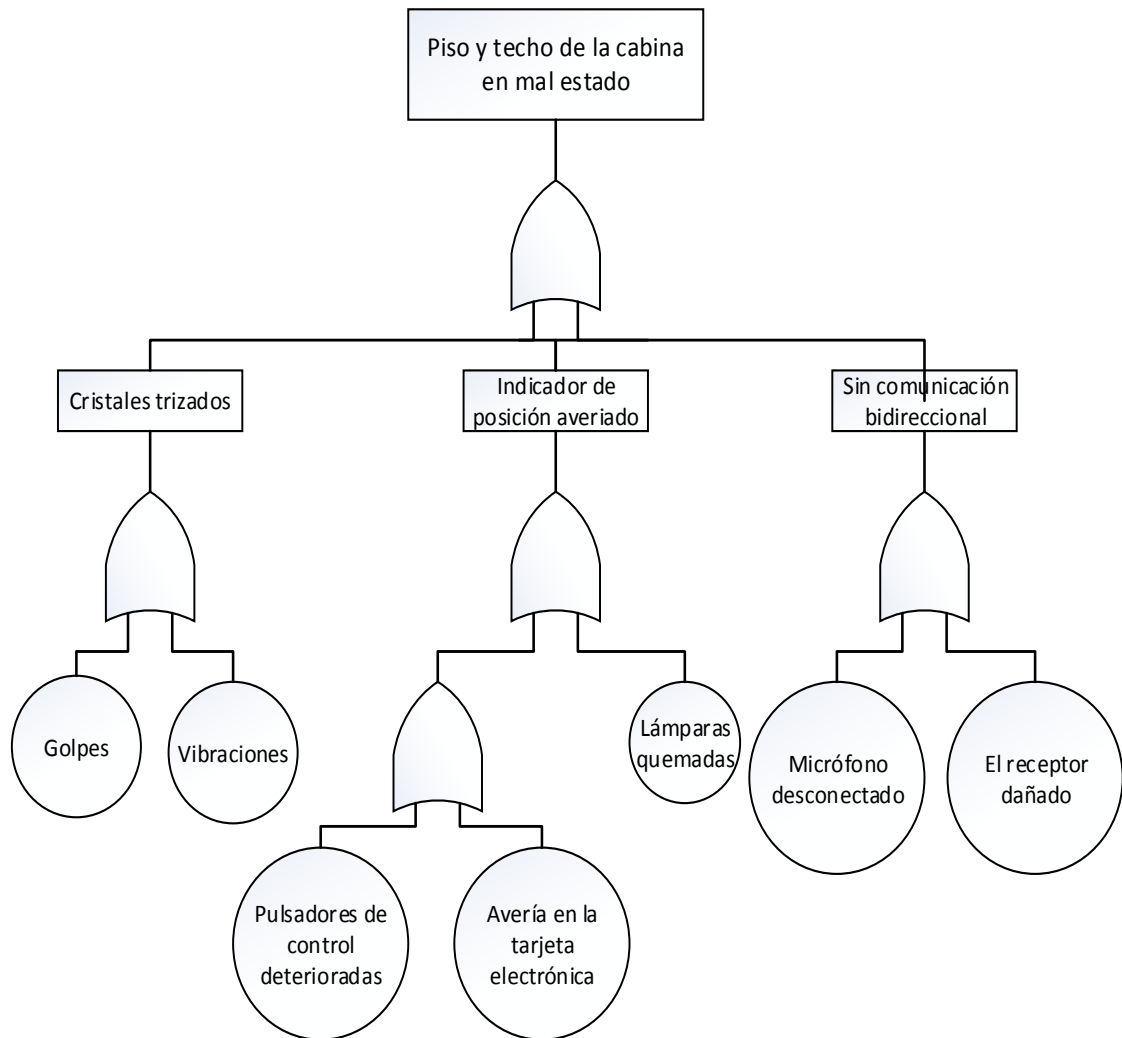
La tabla 14. Nos indica distintas fallas funcionales que afectan el funcionamiento de la cabina detectamos modos de fallo para cada uno y los ponderamos de acuerdo a su importancia dentro del contexto operacional, se determinó además la parte principal afectada y sus causas.

Tabla 14. Análisis de falla funcional de la cabina

Falla Funcional	Modo de Falla	Gravedad de los fallos				Parte Afectada	Causas de Fallo
		I Catastrófico	II Crítico	III Marginal	IV insignificante		
Indicador de posición averiado	Avería en la tarjeta electrónica			x		Piso y techo (Interior de la cabina)	Sobre voltajes
Cristales trizados	Golpes, Vibraciones				x		Desalineación de rieles y guías de la cabina
Deterioro de piso y techo	Excesivo uso				x		Mala utilización
Pulsadores de control deteriorados	Tiempo de vida útil cumplido			x			Mala utilización, golpes
Lámparas quemadas	Tiempo de vida útil cumplido			x			Baja calidad de las lámparas
Sin comunicación bidireccional	El receptor no contesta		x				El receptor no escucha la llamada
	Micrófono en mal estado		x				Falta de limpieza de los instrumentos de comunicación.
	Micrófono desconectado		x			Error humano	
Golpes y roces al abrir y cerrar las puertas	Falla de enclavamientos al abrir o cerrar las puertas		x			Piso y techo (Externo)	Finales de carrera descalibrados

Fuente: Autores.

Figura 22. Piso y techo en mal estado.



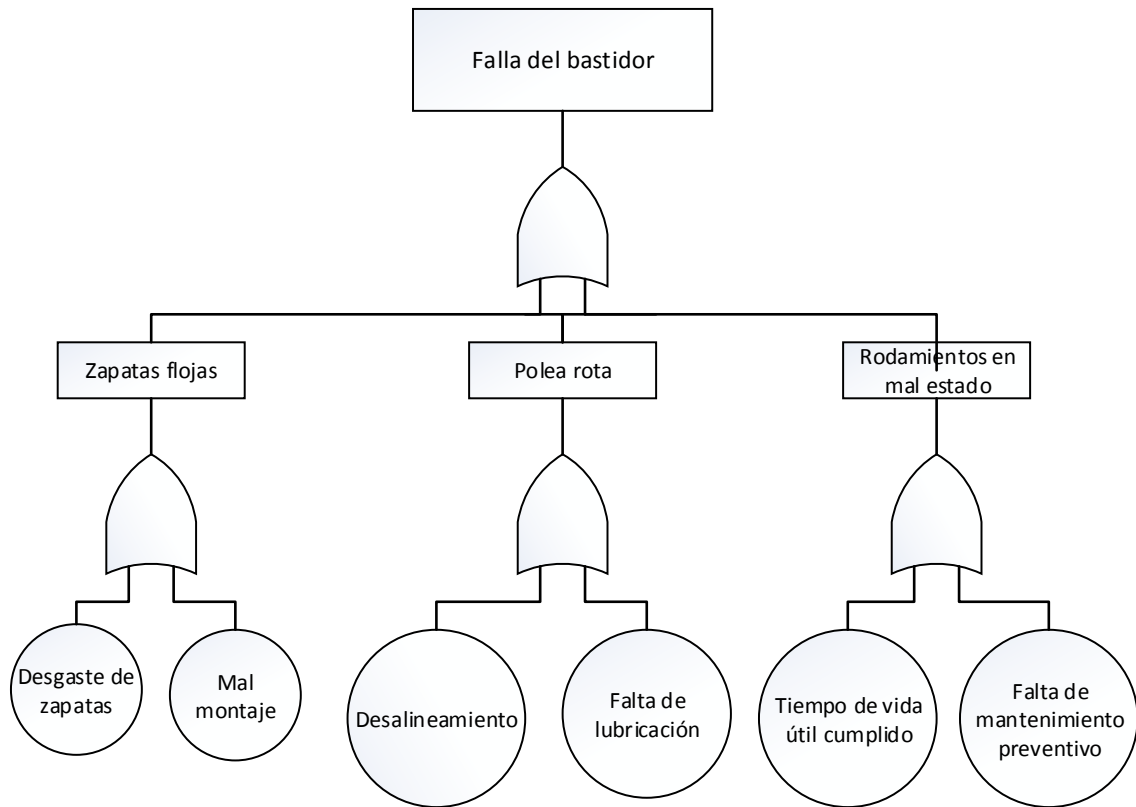
Fuente: Autores.

Para el estudio del factor seguridad la cabina es un sistema de vital importancia porque en ella se va a transportar a los usuarios, es por eso que esta debe mantenerse en óptimas condiciones tanto físicas como funcionales, la fig. 23 demuestra varios eventos no deseados que reducen la fiabilidad de la cabina, pero estos eventos se los puede reducir o eliminar mediante una planificación de mantenimiento autónomo o a frecuencias no tan largas.

El continuo funcionamiento del ascensor hace que piezas móviles o que se encuentran en fricción se deterioren, este desgaste es normal en zapatas, rodamientos etc. Y se los cambia de acuerdo a una frecuencia determinada.

Este tipo de mantenimiento al ser planificado no afecta en nada al funcionamiento, ya sé que se da a intervalos de tiempo muy largos y los usuarios previamente son informados que el equipo va a estar en mantenimiento.

Figura 23. Falla del bastidor.

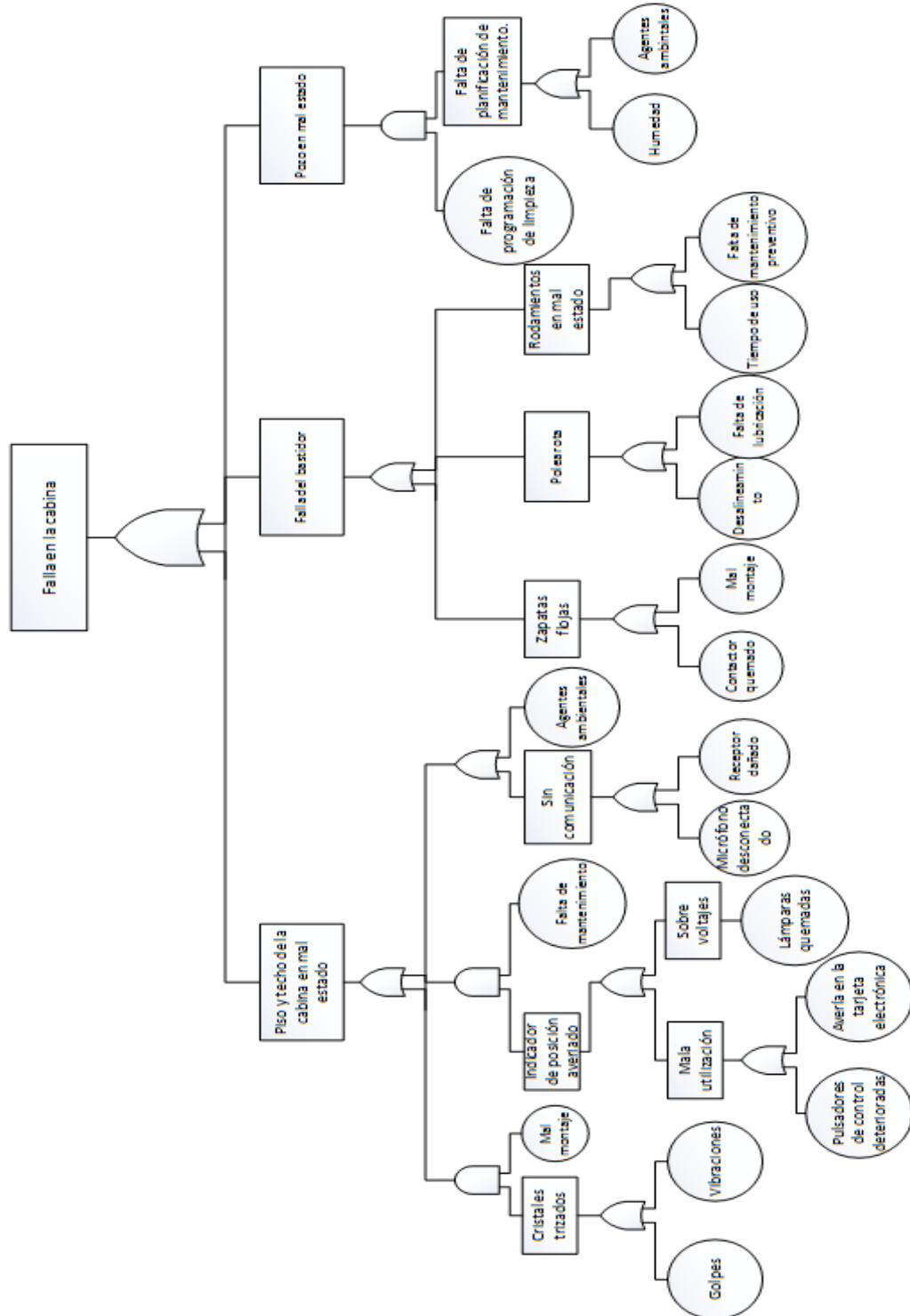


Fuente: Autores.

Algunos autores llaman cabina al conjunto conformado por el bastidor y la “caja” que alberga a los pasajeros y/o la carga, pero en realidad estos son dos componentes totalmente distintos y que cumplen funciones diferentes. El bastidor es una estructura fabricada en acero, la cual se construye básicamente con perfiles en acero o con láminas metálicas dobladas, las cuales van ensambladas entre sí por medio de uniones pernadas y soldadas; dicho elemento está diseñado con un factor de seguridad para resistir las cargas nominales y las que puedan producirse al accionarse los sistemas de seguridad. Este marco metálico se compone de tres partes principales, puente alto, puente bajo y tirantas. Varios eventos pueden hacer que el bastidor se encuentre en condiciones no operaciones y entre los de mayor importancia detallamos en la fig. 24

La fig. 25 combina todos los fallos posibles en la cabina y sus diversos modos de falla diagrama en el cual demuestra todos los eventos y combinaciones posibles que harían que la cabina falle.

Figura 24. Falla en la cabina.



Fuente: Autores.

CAPÍTULO IV

4. CÁLCULO DEL ANÁLISIS RAMS

4.1 Metodología

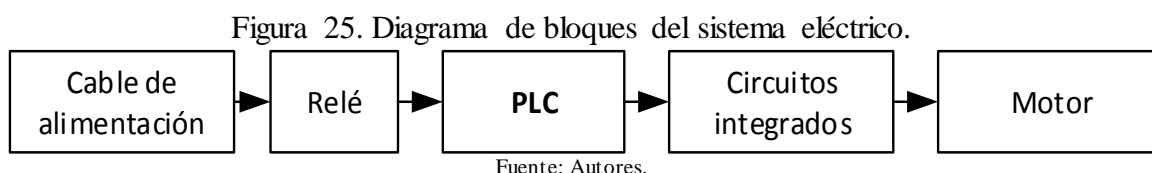
En este capítulo se presenta la metodología que se ha utilizado para el cálculo del análisis RAMS, mediante la elaboración de diagramas de bloque, diagramas de árbol de fallo y la utilización del manual de OREDA para determinar la tasa de fallos y proceder a calcular los distintos índices de fiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y seguridad.

4.1.1 *Fiabilidad del sistema eléctrico.* Una vez obtenida la tasa de fallos se procede a calcular el tiempo medio entre fallos TMEF mediante la aplicación de la fórmula N. 5 estudiada en el capítulo 2.

Se calcula la fiabilidad en cada grupo del ascensor para 3 tiempos: semestral, anual y cada 3 años. Cada tiempo está considerando 8 horas diarias de funcionamiento por 5 días a la semana.

Se consideraron estos tiempos en base a que el pronóstico RAMS debe ser totalmente efectivo y las horas diarias de trabajo son estimaciones en base al funcionamiento diario del ascensor.

4.1.2 *El diagrama de bloque del sistema eléctrico.* Siempre todos los elementos de cualquier sistema eléctrico se encuentran en serie ya que el funcionar con una fuente de alimentación externa al fallar uno de sus componentes afecta totalmente el funcionamiento del resto de los componentes.



La fiabilidad para un sistema serie (sistema eléctrico) la calculamos mediante la aplicación de la fórmula (2). La misma que está establecida como:

$$R(t) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t}$$

4.1.3 *Fiabilidad del sistema eléctrico.* Se subdividió en distintos grupos para mayor facilidad al calcular la fiabilidad la tasa de fallos de cada grupo se la investigo detenidamente mediante la utilización del manual de OREDA.

Una vez obtenida la tasa de fallos se procede a calcular el tiempo medio entre fallos TMEF mediante la aplicación de la fórmula N. 5 estudiada en el capítulo 2.

Se calcula la fiabilidad en cada grupo para 3 tiempos: mensual, semestral y anual. Cada tiempo está considerando 12 horas diarias de funcionamiento por 5 días a la semana.

4.2 **Fiabilidad de las líneas de alimentación.**

La fuente de alimentación para el ascensor debe ser suministrada continuamente ya que las personas pueden quedar atrapadas en el interior al no haber suministro de energía.

Es por eso que el estudio de la fiabilidad en las líneas de alimentación es muy importante y así poder determinar el estado físico y funcional que se van a encontrar en un tiempo determinado en la Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

$$\lambda = 2.2 * 10^{-7}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2.2 * 10^{-7}} = 4545454.545 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

t = 960 semestral

t = 1920 anual

t = 5760 tercer año

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2.2 * 10^{-7} * 960)} = 0.99 * 100 = 99\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2.2 * 10^{-7} * 1920)} = 0.99 * 100 = 99\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2.2 * 10^{-7} * 5760)} = 0.99 * 100 = 99\%$$

4.3 Falla de los relés.

Son elementos de control de gran importancia y su tasa de fallos se la determino mediante estudios previos de relés similares a los utilizados en el ascensor.

$\lambda = 0.000038$ Fuente: (CONFIABILIDAD ELECTRÓNICA y ELÉCTRICA pág. 24)

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.000038} = 26315.78947h.$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(240) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(0.000038 * 960)} = 0.9963 * 100 = 99.63\%$$

$$R(1440) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(0.000038 * 1920)} = 0.9927 * 100 = 99.27\%$$

$$R(2880) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(0.000038 * 5760)} = 0.9783 = 97.83\%$$

4.4 Fiabilidad de los PLC.

Al ser elementos de gran calidad y de gran importancia dentro del funcionamiento del ascensor su tasa de fallos es baja y se la obtuvo en base a estudios previos donde se determinó: Fuente: (CONFIABILIDAD ELECTRÓNICA y ELÉCTRICA pág. 24)

$$\lambda = 1.8210^{-6} .$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$TMEF(t) = \frac{1}{1.8210^{-6} h} = 549450.5495 h.$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

Cálculos y resultados.

$$R(1400) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.8210^{-6} * 960)} = 0.998 * 100 = 99.8\%$$

$$R(8400) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.8210^{-6} * 1920)} = 0.996 * 100 = 99.6\%$$

$$R(16800) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.8210^{-6} * 5760)} = 0.989 * 100 = 98.9\%$$

4.4.1 *Fiabilidad del grupo electrónico:* Al ser elementos de alta fiabilidad su tasa de fallos es baja, pero si algún elemento de este circuito falla todos los demás elementos fallan, produciendo que se deba cambiar totalmente todo el circuito electrónico. Por ende, la tasa de fallos se determinó mediante el análisis de la fuente: (ANÁLISIS RAMS pág. 72).

$$\lambda = 1.27 * 10^{-5}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1.27 * 10^{-5}} = 78740.15748 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(240) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.27 * 10^{-5} * 960)} = 0.998 * 100 = 99.8\%$$

$$R(1440) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.27 * 10^{-5} * 1920)} = 0.997 * 100 = 99.7\%$$

$$R(2880) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.27 * 10^{-5} * 5760)} = 0.992 * 100 = 99.2\%$$

4.5 Fiabilidad en motores eléctricos.

4.5.1 *Rodamientos.* Se considera que un valor óptimo de vida útil se encuentra entre 25,000 y 40,000 horas de trabajo continuo, existen estándares para aplicaciones particulares. La norma IEEE std 841-1994, por ejemplo, establece una vida útil mínima de 26280 horas de trabajo continuo.

De acuerdo a la norma IEEE std 841-1994 el TMEF para rodamientos en motores eléctricos es =26280 horas de trabajo continuo.

Para el cálculo de la tasa de fallos utilizamos la fórmula número. 6

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

$$\lambda(t) = \frac{1}{26280 \text{ h}} = 3.8052 * 10^{-5}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(240) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(3.8053 * 10^{-5} * 960)} = 0.9824 * 100 = 98.24\%$$

$$R(1440) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(3.8053 * 10^{-5} * 1920)} = 0.965 * 100 = 96.5\%$$

$$R(2880) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(3.8053 * 10^{-5} * 5760)} = 0.899 * 100 = 89.9\%$$

4.5.2 *Fiabilidad del eje en motores eléctricos.* El eje al ser un elemento de transmisión está sometido a grandes esfuerzos y deformaciones dependiendo de sus períodos de trabajo.

La tasa de fallos se determinó en base al manual de OREDA, obteniendo de la Fuente: OREDA pág. 335 y 336 Motores eléctricos.

$$\text{Tasa de fallo: } \lambda = 1.4 * 10^{-5}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1.4 * 10^{-5}} = 71428,15748 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(240) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,4*10^{-5}*960)} = 0,9966 * 100 = 99,66\%$$

$$R(1440) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,4*10^{-5}*1920)} = 0,9800 * 100 = 98,00\%$$

$$R(2880) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,4*10^{-5}*5760)} = 0,9604 * 100 = 96,04\%$$

4.5.3 *Fiabilidad del ventilador en motores eléctricos.* La ventilación en un motor eléctrico evita que se sobrecaliente y falle prematuramente, es por eso que el ventilador siempre se debe mantener libre de suciedad y en perfectas condiciones.

Número de fallas = 7 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{7}{10^6} = 7 * 10^{-6}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{7 * 10^{-6}} = 142857.14 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(240) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(7*10^{-6}*960)} = 0,9983 * 100 = 99.83\%$$

$$R(1440) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(7*10^{-6}*1920)} = 0,9899 * 100 = 98.99\%$$

$$R(2880) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(7*10^{-6}*5760)} = 0,9800 = 98.00\%$$

4.5.4 *Fiabilidad del rotor.* Sobrecargas pueden hacer que los bobinados del rotor se quemen y falle todo el motor. Para calcular la tasa de fallos λ , nos basamos en el manual de OREDA.

Número de fallas = 8 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{8}{10^6} = 8 * 10^{-6}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{8 * 10^{-6}} = 125000 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(240) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(8 * 10^{-6} * 960)} = 0,9980 * 100 = 99.80\%$$

$$R(1440) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(8 * 10^{-6} * 1920)} = 0,9885 * 100 = 98.85\%$$

$$R(2880) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(8 * 10^{-6} * 5760)} = 0,9772 * 100 = 97.72\%$$

4.5.5 *Fiabilidad del estator.* Sobrecargas pueden hacer que los bobinados del estator se quemen y falle todo el motor. Para calcular la tasa de fallos λ , nos basamos en el manual de OREDA.

Número de fallas = 12 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{12}{10^6} = 1,2 * 10^{-5}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,2 * 10^{-5}} = 83333.333 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(240) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,2 * 10^{-5} * 960)} = 0,9971 * 100 = 99.71\%$$

$$R(1440) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,2 * 10^{-5} * 1920)} = 0,9828 = 98.28\%$$

$$R(2880) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,2 * 10^{-5} * 5760)} = 0,9660 * 100 = 96.60\%$$

4.5.6 *Fiabilidad de la carcasa.* Altas vibraciones hacen que los pernos de ajuste y sujeción de carcasa se aflojen por ende pueden causar averías, deterioro de la misma o excesivo ruido.

Número de fallas = 9 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{14}{10^6} = 1,4 * 10^{-5}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,4 * 10^{-5}} = 71428.57 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(240) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,4 * 10^{-5} * 960)} = 0,9966 * 100 = 99.66\%$$

$$R(1440) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,4 * 10^{-5} * 1920)} = 0,9800 * 100 = 98.00\%$$

$$R(2880) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,4 * 10^{-5} * 5760)} = 0,9604 * 100 = 96.04\%$$

Fiabilidad total del motor eléctrico. Cada elemento que compone el motor eléctrico tiene su propia fiabilidad, es por eso que para determinar la fiabilidad total del motor aplicamos la fórmula N. 7

$$R(s) = Cf1 * Cf2 * Cf3 * Cf4 * Cfn$$

Cálculos y resultados de la fiabilidad total:

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

$$R(960) = 0.99 * 0.996 * 0.9983 * 0.9980 * 0.9971 * 0.9966 = 0.982 * 100 = 98.2\%$$

$$R(1920) = 0.946 * 0.98 * 0.9899 * 0.9885 * 0.9828 * 0.98 = 0.965 * 100 = 96.5\%$$

$$R(5760) = 0.896 * 0.960 * 0.98 * 0.9772 * 0.9660 * 0.9604 = 0.899 * 100 = 89.9\%$$

4.5.7 *Fiabilidad total del sistema eléctrico:* Una vez que calculamos la fiabilidad de cada uno de los elementos que componen el sistema eléctrico procedemos a calcular la fiabilidad total del sistema utilizando la fórmula N.- 5

La fiabilidad del sistema es el producto de las fiabilidades individuales de sus componentes (TAVARES)

$$R(s) = Cf1 * Cf2 * Cf3 * Cf4 * Cfn$$

La fiabilidad del sistema se describe con la siguiente fórmula:

$$R(960) = 0.99 * 0.996 * 0.998 * 0.9982 * 0.9824 * 0.9978 = 0.9739 * 100 = 97\%$$

$$R(1920) = 0.99 * 0.996 * 0.998 * 0.982 * 0.997 * 0.998 = 0.9485 * 100 = 94.85\%$$

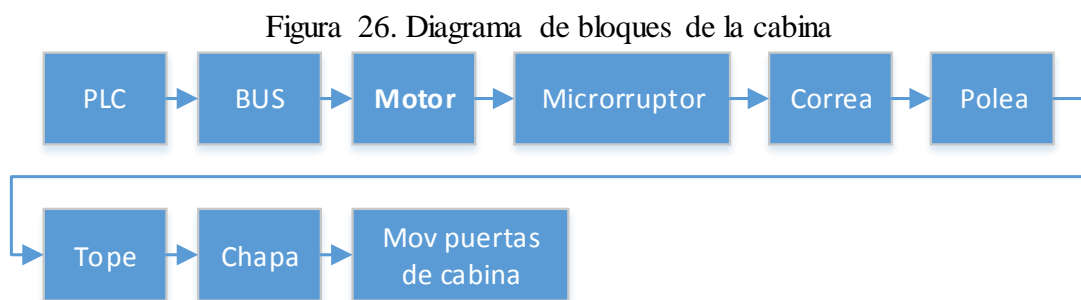
$$R(5760) = 0.978 * 0.998 * 0.99 * 0.9772 * 0.899 * 0.987 = 0.8533 * 100 = 85.3\%$$

Tabla 15. Cuadro de resultados sistema eléctrico.

Descripción	Función	MTEF	λ (fallos/hora)	Fiabilidad $R(t) = e^{(-\lambda*t)}$					
				t= Tercer año	t= Anual	t= Semestral	R(t) Semestral	R(t) Anual	R(t) Tercer año
				5760	1920	960			
				$(-\lambda*t)$	$(-\lambda*t)$	$(-\lambda*t)$			
Relé	Ejecuta la lógica de ascenso, descenso	263157,895	0,000038	-0,021888	-0,0073	-0,00365	0,9964	0,9927	0,9783
Cable de alimentación	Energía al sistema	454545,455	0,0000022	-0,0012672	-0,00042	-0,00021	0,9998	0,9995	0,9987
Circuitos integrados	Dirigir los mov.	787401,575	0,0000127	-0,0073152	-0,00244	-0,00122	0,9988	0,9975	0,9927
Motor	Movimiento y potencia a la correa	10.315	0,00001844	-0,1062144	-0,0354	-0,0177	0,9825	0,9652	0,8992
Cable de alimentación	Energía al sistema	454545,455	0,0000022	-0,012672	-0,00422	-0,00211	0,9979	0,9957	0,9874
PLC	Control del sistema	546448,087	0,0000183	-0,0105408	-0,00351	-0,00176	0,9982	0,9964	0,9895
Fiabilidad Total							0,9739	0,9485	0,8533

Fuente: Autores

4.5.8 *Diagrama de bloques de la cabina:* Al ser compuesto por elementos electromecánicos el diagrama de bloques de la cabina está en serie, ya que todos sus componentes son importantes para el correcto funcionamiento de la misma. En los diagramas de bloques funcionales se pueden describir el comportamiento de sistemas físicos o reales descritos por un modelo matemático no obstante es muy importante utilizar estos diagramas. Estos diagramas y sus relaciones están definidas y tienen reglas básicas que mejoran el análisis mediante su comprensión. Un modelo matemático lineal en el dominio de la frecuencia puede tener representación mediante los elementos que se describen a continuación.



Fuente: Autores.

4.5.9 *Fiabilidad de la cabina:* El cálculo de la fiabilidad para la cabina la calculamos mediante la fórmula 2. La misma que está establecida como:

$$R(t) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t}$$

4.5.10 *Fiabilidad de la cabina.* Se subdividió en distintos componentes para mayor facilidad al calcular la fiabilidad la tasa de fallos de cada grupo se la investigo detenidamente mediante la utilización del manual de OREDA.

Una vez obtenida la tasa de fallos se procede a calcular el tiempo medio entre fallos TMEF mediante la aplicación de la fórmula N. 5 estudiada en el capítulo 2.

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

Se calcula la fiabilidad en cada componente considerando 3 tiempos: mensual, semestral y anual. Cada tiempo está considerando 12 horas diarias de funcionamiento por 5 días a la semana.

4.6 Fiabilidad de las líneas de alimentación.

La fuente de alimentación para todos los componentes del sistema eléctrico debe ser suministrada continuamente caso contrario el ascensor presentara daños e inconvenientes en el funcionamiento

Es por eso que el estudio de la fiabilidad en las líneas de alimentación es muy importante y así poder determinar el estado físico y funcional que se van a encontrar en un tiempo determinado. Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

$$\lambda = 2.2 * 10^{-7}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2.2 * 10^{-7}} = 4545454.545 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2.2 * 10^{-7} * 960)} = 0.99 * 100 = 99\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2.2 * 10^{-7} * 1920)} = 0.99 * 100 = 99\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2.2 * 10^{-7} * 5760)} = 0.99 * 100 = 99\%$$

4.7 Fiabilidad de los PLC.

Al ser elementos de gran calidad y de gran importancia dentro del funcionamiento del ascensor su tasa de fallos es baja y se la obtuvo en base a estudios previos donde se determinó: Fuente: (CONFIABILIDAD ELECTRÓNICA y ELÉCTRICA pág. 24)

$$\lambda = 1.8210^{-6} .$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$TMEF(t) = \frac{1}{1.8210^{-6} h} = 549450.5495 h.$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

Cálculos y resultados.

$$R(1400) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.8210^{-6} * 960)} = 0.998 * 100 = 99.8\%$$

$$R(8400) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.8210^{-6} * 1920)} = 0.996 * 100 = 99.6\%$$

$$R(16800) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.8210^{-6} * 5760)} = 0.989 * 100 = 98.9\%$$

4.7.1 *Fiabilidad de los circuitos integrados/ comunicación bus.* La comunicación debe constar de alta fiabilidad ya que existen n eventos o imprevistos que harían que las personas queden atrapadas en el interior del ascensor, es por eso que es importante el cálculo de la fiabilidad de este elemento. La tasa de fallos se determinó en base a bitácoras de elementos electrónicos de similares características de funcionamiento. Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

$$\text{Tasa de fallo: } \lambda = 1.27 * 10^{-5}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$TMEF(t) = \frac{1}{1.27 * 10^{-5}} = 78740.15748 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

Cálculos y resultados.

$$R(240) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.27 * 10^{-5} * 960)} = 0.987 * 100 = 98.7\%$$

$$R(1440) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.27 * 10^{-5} * 1920)} = 0.975 * 100 = 97.5\%$$

$$R(2880) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.27 * 10^{-5} * 5760)} = 0.929 * 100 = 92.9\%$$

4.8 Motor eléctrico de las puertas.

El motor eléctrico de las compuertas del ascensor es de gran importancia ya que abre o cierra las puertas del mismo. Y al igual requiere de un adecuado plan de mantenimiento.

La tasa de fallos se lo determino en base a bitácoras de motores de similares características que constan en el manual de OREDA.

Número de fallas = 279 (OREDA) pág. 335. Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{279}{10^6} = 2,79 * 10^{-4}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$TMEF(t) = \frac{1}{2,79 * 10^{-4}} = 3584.22 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(240) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2,79 * 10^{-4} * 960)} = 0,997 * 100 = 99.7\%$$

$$R(1440) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2,79 * 10^{-4} * 1920)} = 0,994 * 100 = 99.4\%$$

$$R(2880) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2,79 * 10^{-4} * 5760)} = 0.984 * 100 = 98.4\%$$

4.8.1 *Fiabilidad de las correas:* La tasa de fallos se lo determino en base a bitácoras de motores de similares características que constan en el documento. Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

$$\text{Tasa de fallo: } = \lambda = 1.545 * 10^{-5}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.0001545} = 6472.491909 \text{ h}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(0.0001545*960)} = 0.985*100 = 98.51\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(0.0001545*1920)} = 0.97*100 = 97.00\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(0.0001545*5760)} = 0.9148*100 = 91.48\%$$

4.9 Fiabilidad de la polea de traslación

Tasa de fallo: $\lambda = 9.63 * 10^{-6}$ Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{9.63 * 10^{-6}} = 103842.1 \text{ h}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(9.63*10^{-6} * 960)} = 0.9908*100 = 99.08\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(9.63*10^{-6} * 1920)} = 0.981*100 = 98.10\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(9.63*10^{-6} * 5760)} = 0.946*100 = 94.60\%$$

4.10 Fiabilidad de tope caucho

Tasa de fallo: $\lambda = 5.9 * 10^{-6}$ Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{5.9 * 10^{-6}} = 169491.5254 \text{ h}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(5.9*10^{-6} * 960)} = 0.994*100 = 99.40\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(5.9*10^{-6} * 1920)} = 0.988*100 = 98.80\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(5.9*10^{-6} * 5760)} = 0.966*100 = 96.60\%$$

4.11 Fiabilidad de chapa central

Tasa de fallo: $\lambda = 2.67 * 10^{-6}$ Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2.67 * 10^{-6}} = 17636.68 \text{ h}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2.67 * 10^{-6} * 960)} = 0.997 * 100 = 99.71\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2.67 * 10^{-6} * 1920)} = 0.994 * 100 = 99.40\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(2.67 * 10^{-6} * 5760)} = 0.984 * 100 = 98.40\%$$

4.12 Fiabilidad de microrruptor

Tasa de fallo: $\lambda = 3 * 10^{-7}$ Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{3 * 10^{-7}} = 3333333.33 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(3*10^{-7}*960)} = 0.9997*100 = 99.99\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(3*10^{-7}*1920)} = 0.9994*100 = 99.98\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(3*10^{-7}*5760)} = 0.998+100 = 99.80\%$$

4.12.1 *Fiabilidad total de la cabina:* Una vez que calculamos la fiabilidad de cada uno de los elementos que componen la cabina procedemos a calcular la fiabilidad total del sistema utilizando la fórmula N.- 5

La fiabilidad del sistema es el producto de las fiabilidades individuales de sus componentes (TAVARES)

$$R(s) = Cf1 * Cf2 * Cf3 * Cf4 * Cfn$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

La fiabilidad del sistema se describe con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} R(960) &= 0.985 * 0.987 * 0.997 * 0.999 * 0.99 * 0.994 * 0.997 * 0.998 * 0.999 \\ &= 0.9517 * 100 = 95.17\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(1920) &= 0.970 * 0.975 * 0.994 * 0.999 * 0.9816 * 0.9887 * 0.994 * 0.996 * 0.999 \\ &= 0.9058 * 100 = 90.58\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(5760) &= 0.914 * 0.929 * 0.984 * 0.998 * 0.946 * 0.966 * 0.984 * 0.989 * 0.998 \\ &= 0.7433 * 100 = 74.33\% \end{aligned}$$

Tabla 16. Cuadro de resultados de la cabina.

Descripción	Función	TME F	λ (fallos/hora)	Fiabilidad $R(t) = e^{(-\lambda \cdot t)}$						
				t= año 3	t= Año 1	t= semestral	R(t) Semestral	R(t) Anual	R(t) Tercer año	
				5760	1920	960				
				$(-\lambda \cdot t)$	$(-\lambda \cdot t)$	$(-\lambda \cdot t)$				
Correa	Transmite movimiento a las puertas	6472 4,919 09	0,00 001 545	- 0,088 992	- 0,029 664	- 0,014 832	0,9852	0,9707	0,9149	
Comunicación BUS/ circuitos integrados	Control del sistema	7874 0,157 48	0,00 001 27	- 0,073 152	- 0,024 384	- 0,012 192	0,9878	0,97591	0,9295	
Motor	Movimiento y potencia a la correa	3584 22,93 91	0,00 000 279	- 0,016 07	- 0,005 357	- 0,002 6784	0,9973	0,99465	0,9841	
Cable de alimentación	Energía al sistema	4545 454,5 45	0,00 000 022	- 0,001 267	- 0,000 422	- 0,000 2112	0,9997	0,99957	0,9987	
Poleas de traslación	Movilización de cabina sobre guías	1038 42,15 99	0,00 000 963	- 0,055 469	- 0,018 49	- 0,009 2448	0,9908	0,98168	0,9460	
Tope caucho	Rotación chapa	1694 91,52 54	0,00 000 59	- 0,033 984	- 0,011 328	- 0,005 664	0,9943	0,98873	0,9666	
Chapa central	Soporte y centrado del microinterruptor	3745 31,83 52	0,00 000 267	- 0,015 379	- 0,005 126	- 0,002 5632	0,9974	0,99488	0,9847	
PLC	Control del sistema	5464 48,08 74	0,00 000 183	- 0,010 541	- 0,003 514	- 0,001 7568	0,9982	0,99649	0,9895	
Microrruptor	Sensor de la apertura y cierre de las puertas	3333 333,3 33	0,00 000 03	- 0,001 728	- 0,000 576	- 0,000 288	0,9997	0,99942	0,9983	
							Fiabilidad Total	0,9517	0,90586	0,7434

Fuente: Autores

4.13 Sistema mecánico:

La fiabilidad se describe con la siguiente fórmula:

$$R(t) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t}$$

$$F_t = 1 - R_t$$

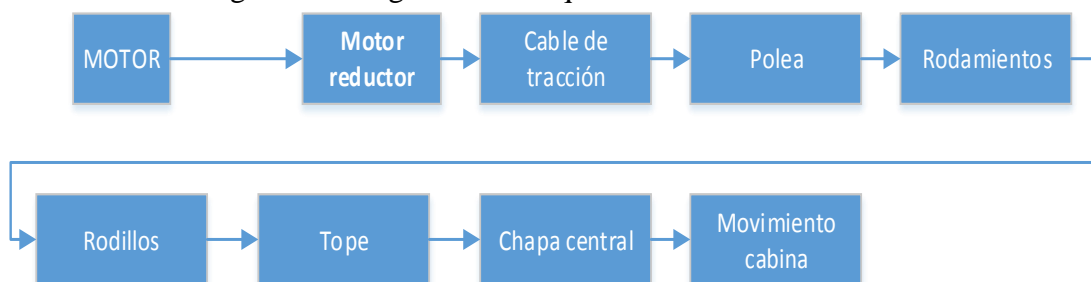
Dónde:

R (t): probabilidad de funcionamiento libre de fallos

e: Número de Euler (2.718)

t: Periodo especificado en funcionamiento libre de fallos

Figura 27. Diagrama de bloques del sistema mecánico.



Fuente: Autores.

4.14 Fiabilidad en motores eléctricos.

El motor eléctrico de 5,5 KW. del ascensor al ser una máquina con varios componentes pueden fallar individualmente se los dividió de acuerdo al despiece y se procedió a calcular la fiabilidad.

4.14.1 *Rodamientos*. Se considera que un valor óptimo de vida útil se encuentra entre 25,000 y 40,000 horas de trabajo continuo, existen estándares para aplicaciones particulares. La norma IEEE std 841-1994, por ejemplo, establece una vida útil mínima de 26280 horas de trabajo continuo.

De acuerdo a la norma IEEE std 841-1994 el TMEF para rodamientos en motores eléctricos es =26280 horas de trabajo continuo.

Para el cálculo de la tasa de fallos utilizamos la fórmula N. 6

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

$$\lambda(t) = \frac{1}{26280 \text{ h}} = 3.8052 * 10^{-5}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(3.8053 * 10^{-5} * 960)} = 0.9641 * 100 = 96.41\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(3.8053 * 10^{-5} * 1920)} = 0.929 * 100 = 92.9\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(3.8053 * 10^{-5} * 5760)} = 0.8034 * 100 = 80.34\%$$

4.14.2 *Fiabilidad del eje en motores eléctricos.* El eje al ser un elemento de transmisión está sometido a grandes esfuerzos y deformaciones dependiendo de sus períodos de trabajo.

La tasa de fallos se determinó en base al manual de OREDA, obteniendo:

Tasa de fallo: $\lambda = 1.4 * 10^{-5}$ Fuente: OREDA pág. 335 y 336 Motores eléctricos.

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1.4 \cdot 10^{-5}} = 71428,15748 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{1}{MTBF} \cdot t} = e^{-(1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 960)} = 0.9966 * 100 = 99.66\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{1}{MTBF} \cdot t} = e^{-(1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 1920)} = 0.9800 * 100 = 98.00\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{1}{MTBF} \cdot t} = e^{-(1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 5760)} = 0.9604 * 100 = 96.04\%$$

4.14.3 *Fiabilidad del ventilador en motores eléctricos.* La ventilación en un motor eléctrico evita que se sobrecaliente y falle prematuramente, es por eso que el ventilador siempre se debe mantener libre de suciedad y en perfectas condiciones.

Número de fallas = 7 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{7}{10^6} = 7 * 10^{-6}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{7 * 10^{-6}} = 142857.14 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(7 * 10^{-6} * 960)} = 0.9983 * 100 = 99.83\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(7 * 10^{-6} * 1920)} = 0.9899 * 100 = 98.99\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(7 * 10^{-6} * 5760)} = 0.9800 = 98.00\%$$

4.14.4 *Fiabilidad del rotor.* Sobrecargas pueden hacer que los bobinados del rotor se quemen y falle todo el motor. Para calcular la tasa de fallos λ , nos basamos en el manual de OREDA.

Número de fallas = 8 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{8}{10^6} = 8 * 10^{-6}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{8 * 10^{-6}} = 125000 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(8 * 10^{-6} * 960)} = 0.9980 * 100 = 99.80\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(8 * 10^{-6} * 1920)} = 0.9885 * 100 = 98.85\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(8 * 10^{-6} * 5760)} = 0.9772 * 100 = 97.72\%$$

4.14.5 *Fiabilidad del estator.* Sobrecargas pueden hacer que los bobinados del estator se quemen y falle todo el motor. Para calcular la tasa de fallos λ , nos basamos en el manual de OREDA.

Número de fallas = 12 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{12}{10^6} = 1,2 * 10^{-5}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,2 * 10^{-5}} = 83333.333 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,2*10^{-5}*960)} = 0.9971 * 100 = 99.71\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,2*10^{-5}*1920)} = 0.9828 = 98.28\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,2*10^{-5}*5760)} = 0.9660 * 100 = 96.60\%$$

4.14.6 *Fiabilidad de la carcasa.* Altas vibraciones hacen que los pernos de ajuste y sujeción de carcasa se aflojen por ende pueden causar averías, deterioro de la misma o excesivo ruido.

Número de fallas = 9 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{14}{10^6} = 1,4 * 10^{-5}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,4 * 10^{-5}} = 71428.57 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ tercer año

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,4 * 10^{-5} * 960)} = 0,9966 * 100 = 99,66\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,4 * 10^{-5} * 1920)} = 0,9800 * 100 = 98,00\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,4 * 10^{-5} * 5760)} = 0,9604 * 100 = 96,04\%$$

Fiabilidad total del motor eléctrico. Cada elemento que compone el motor eléctrico tiene su propia fiabilidad, es por eso que para determinar la fiabilidad total del motor aplicamos la fórmula N.ª a 7

$$R(s) = Cf1 * Cf2 * Cf3 * Cf4 * Cfn$$

Cálculos y resultados de la fiabilidad total:

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ semestral

$t = 1920$ anual

$t = 5760$ tercer año

$$R(960) = 0,99 * 0,9966 * 0,9983 * 0,9980 * 0,9971 * 0,9966 = 0,973 * 100 = 97\%$$

$$R(1920) = 0,946 * 0,98 * 0,9899 * 0,9885 * 0,9828 * 0,98 = 0,972 * 100 = 97\%$$

$$R(5760) = 0,896 * 0,9604 * 0,98 * 0,9772 * 0,9660 * 0,9604 = 0,848 * 100 = 84\%$$

4.14.7 *Fiabilidad de la moto reductora:* La fiabilidad de la moto reductora depende básicamente del funcionamiento del motor ya que este le trasmite el movimiento.

Al ser elementos mecánicos de gran uso en la industria la tasa de fallos se determinó mediante la utilización del manual de OREDA.

4.14.8 *Fiabilidad del eje en moto reductor.* El eje al ser un elemento de transmisión está sometido a grandes esfuerzos y deformaciones dependiendo de sus períodos de trabajo.

La tasa de fallos se determinó en base al manual de OREDA, obteniendo:

Tasa de fallo: $\lambda = 1.4 * 10^{-5}$ Fuente: OREDA pág. 335 y 336 Motores eléctricos.

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1.4 * 10^{-5}} = 71428.15748 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.4 * 10^{-5} * 960)} = 0.986 * 100 = 98.6\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.4 * 10^{-5} * 1920)} = 0.9734 * 100 = 97.34\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1.4 * 10^{-5} * 5760)} = 0.9225 * 100 = 92.25\%$$

4.14.9 *Fiabilidad del rotor.* Sobrecargas pueden hacer que los bobinados del rotor se quemem y falle todo el motor. Para calcular la tasa de fallos λ , nos basamos en el manual de OREDA.

Número de fallas = 8 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{8}{10^6} = 8 * 10^{-6}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{8 * 10^{-6}} = 125.000 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(8 * 10^{-6} * 960)} = 0.9980 * 100 = 99.80\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(8 * 10^{-6} * 1920)} = 0.9885 * 100 = 98.85\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(8 * 10^{-6} * 5760)} = 0.9772 * 100 = 97.72\%$$

4.14.10 *Fiabilidad del estator.* Sobrecargas pueden hacer que los bobinados del estator se quemen y falle todo el motor. Para calcular la tasa de fallos λ , nos basamos en el manual de OREDA.

Número de fallas = 12 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{12}{10^6} = 1,2 * 10^{-5}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,2 * 10^{-5}} = 83333.333 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,2*10^{-5}*960)} = 0.9971 * 100 = 99.71\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,2*10^{-5}*1920)} = 0.9828 = 98.28\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,2*10^{-5}*5760)} = 0.9660 * 100 = 96.60\%$$

4.14.11 *Fiabilidad de la carcasa.* Altas vibraciones hacen que los pernos de ajuste y sujeción de carcasa se aflojen por ende pueden causar averías, deterioro de la misma o excesivo ruido.

Número de fallas = 9 (OREDA) pág. 335 y 336 Motores eléctricos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{14}{10^6} = 1,4 * 10^{-5}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,4 * 10^{-5}} = 71428.57 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,4 * 10^{-5} * 960)} = 0.9966 * 100 = 99.66\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,4 * 10^{-5} * 1920)} = 0.9800 * 100 = 98.00\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(1,4 * 10^{-5} * 5760)} = 0.9604 * 100 = 96.04\%$$

4.14.12 *Fiabilidad total de la moto reductora:* Una vez que calculamos la fiabilidad de cada uno de los elementos que componen la cabina procedemos a calcular la fiabilidad total del sistema utilizando la fórmula N.- 5

La fiabilidad del sistema es el producto de las fiabilidades individuales de sus componentes (TAVARES)

$$R(s) = Cf1 * Cf2 * Cf3 * Cf4 * Cfn$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

La fiabilidad del sistema se describe con la siguiente fórmula:

$$R(960) = 0.99 * 0.9966 * 0.9980 * 0.9971 * 0.9966 = 0.986 * 100 = 98.6\%$$

$$R(1920) = 0.946 * 0.98 * 0.9885 * 0.9828 * 0.98 = 0.9734 * 100 = 97.4\%$$

$$R(5760) = 0.896 * 0.9604 * 0.9772 * 0.9660 * 0.9604 = 0.9225 * 100 = 92.25\%$$

4.15 Fiabilidad de los rodillos

Calculamos tasa de fallos λ

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de servicio}}$$

$$\lambda = \frac{12}{10^6} = 1,2 * 10^{-5}$$

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,2 * 10^{-5}} = 78740.1574 \text{ h.}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$t = 960 \text{ semestral}$$

$$t = 1920 \text{ anual}$$

$$t = 5760 \text{ tercer año}$$

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,2*10^{-5}*960)} = 0,9885 * 100 = 98,85\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,2*10^{-5}*1920)} = 0,9468 * 100 = 94,68\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1,2*10^{-5}*5760)} = 0,9332 * 100 = 93,32\%$$

4.16 Fiabilidad de la polea de traslación

Tasa de fallo: $\lambda = 9.63 * 10^{-6}$ Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{9.63 * 10^{-6}} = 103842.1 h$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(9.63*10^{-6} * 960)} = 0.9908*100 = 99.08\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(9.63*10^{-6} * 1920)} = 0.981*100 = 98.1\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(9.63*10^{-6} * 5760)} = 0.946*100 = 94.6\%$$

4.17 Fiabilidad de tope caucho

Tasa de fallo: $\lambda = 5.9 * 10^{-6}$ Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{5.9 * 10^{-6}} = 169491.5254 h$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(5.9 * 10^{-6} * 960)} = 0.994 * 100 = 99.4\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(5.9 * 10^{-6} * 1920)} = 0.988 * 100 = 98.8\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(5.9 * 10^{-6} * 5760)} = 0.966 * 100 = 96.6\%$$

4.18 Fiabilidad de chapa central

Tasa de fallo: $\lambda = 2.67 * 10^{-6}$ Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2.67 * 10^{-6}} = 17636.68 h$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$t = 960$ *semestral*

$t = 1920$ *anual*

$t = 5760$ *tercer año*

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(2.67*10^{-6} * 960)} = 0,997*100 = 99.7\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(2.67*10^{-6} * 1920)} = 0,994*100 = 99.4\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(2.67*10^{-6} * 5760)} = 0,984*100 = 98.4\%$$

4.19 Fiabilidad del cable de tracción

Tasa de fallo: Tasa de fallo: $\lambda = 1.45 * 10^{-5}$ Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

Una vez que obtuvimos los valores de la tasa de fallos calculamos el MTBF con la aplicación de la fórmula 5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,45 * 10^{-5}} = 68965.51724 \text{ h}$$

Tiempos establecidos de cálculo:

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1.45*10^{-5} * 960)} = 0.9861*100 = 98,61\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1.45*10^{-5} * 1920)} = 0.9816*100 = 98,16\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t} = e^{-(1.45*10^{-5} * 5760)} = 0.9198*100 = 91,98\%$$

4.20 Fiabilidad del perfil de rodadura

Tasa de fallo: Tasa de fallo: $\lambda = 0.0007$ Fuente: (ANALISIS RAMS pág. 72)

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0007} = 1428.57 \text{ h}$$

Cálculos y resultados.

$$R(960) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(0.0007 * 960)} = 0.99 * 100 = 99\%$$

$$R(1920) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(0.0007 * 1920)} = 0.99 * 100 = 99\%$$

$$R(5760) = e^{-\lambda * t} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = e^{-(0.0007 * 5760)} = 0.99 * 100 = 99\%$$

4.20.1 *Fiabilidad total del sistema mecánico*: Una vez que calculamos la fiabilidad de cada uno de los elementos que componen el sistema mecánico procedemos a calcular la fiabilidad total del sistema utilizando la fórmula N.- 6

La fiabilidad del sistema es el producto de las fiabilidades individuales de sus componentes (TAVARES)

$$R(s) = Cf1 * Cf2 * Cf3 * Cf4 * Cfn$$

Tiempos establecidos de cálculo:

$$\begin{aligned} R(960) &= 0.99 * 0.97 * 0.98 * 0.99 * 0.997 * 0.998 * 0.999 * 0.996 * 0.96 \\ &= 0.8868 * 100 = 88,68\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(1920) &= 0.99 * 0.94 * 0.97 * 0.98 * 0.98 * 0.99 * 0.991 * 0.92 * 0.976 \\ &= 0.80 * 100 = 80\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(5760) &= 0.99 * 0.93 * 0.84 * 0.91 * 0.94 * 0.96 * 0.98 * 0.80 * 0.92 = 0.48 * 100 \\ &= 48\% \end{aligned}$$

Tabla 17. Cuadro de resultados de la fiabilidad del sistema mecánico.

Descripción	Función	TMEF	λ (fallos/hora)	Fiabilidad $R(t) = e^{(-\lambda \cdot t)}$					
				t= semestral	t= año1	t= año3	R(t) Año 3	R(t) Año1	R(t) Semestral
				960	1920	5760			
				$(-\lambda \cdot t)$	$(-\lambda \cdot t)$	$(-\lambda \cdot t)$			
Perfil principal de rodadura	Guía y soporta la cabina	14285 71429	7E-10	- 6,72E-07	- 1,344E-06	- 4,032E-06	1,0000	1,0000	1,0000
Rodillos	Control del sistema	83333 ,3333	0,0000 12	- 0,01152	- 0,02304	- 0,06912	0,9332	0,9469	0,9885
Motor	Movimiento y potencia a la correa	35161 ,744	0,0000 2844	- 0,0273024	- 0,0546048	- 0,1638144	0,8489	0,9725	0,9731
Cable de tracción	Energía al sistema	68965 ,5172	0,0000 145	- 0,01392	- 0,02784	- 0,08352	0,9198	0,9817	0,9862
Poleas de traslación	Movilización de cabina sobre guías	10384 2,16	0,0000 0963	- 0,0092448	- 0,0184896	- 0,0554688	0,9460	0,9887	0,9908
Tope caucho	Rotación chapa	16949 1,525	0,0000 059	- 0,005664	- 0,011328	- 0,033984	0,9665	0,9949	0,9944
Chapa central	Soporte y centrado del microrruptor	37453 1,835	0,0000 0267	- 0,0025632	- 0,0051264	- 0,0153792	0,9847	0,9949	0,9974
Rodamientos	Mov. poleas	26315 ,7895	0,0000 38	- 0,03648	- 0,07296	- 0,21888	0,8034	0,9296	0,9642
Moto reductor	Transforma movimiento	71428 ,5714	0,0000 14	- 0,01344	- 0,02688	- 0,08064	0,9225	0,9735	0,9866
Fiabilidad Total							0,4863	0,8006	0,8868

Fuente: Autores

4.21 Cálculo de la mantenibilidad

4.21.1 *Mantenibilidad del sistema eléctrico.* La mantenibilidad se representa por $M(t)$ y se expresa por la ecuación (Barrienger):

$$M(t) = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

4.22 Mantenibilidad del sistema eléctrico

4.22.1 *Mantenibilidad del relé.* Se calcula la Mantenibilidad para un $MTTR = 192$, Se está considerando 24 horas diarias de NO funcionamiento por 8 días que tarda la Facultad en tiempos de ejecución de restauración.

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 * 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 * 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.23 Mantenibilidad de los circuitos integrados

Se calcula la Mantenibilidad para un $MTTR = 192$, Se está considerando 24 horas diarias de NO funcionamiento por 8 días que tarda la Facultad en tiempos de ejecución de restauración.

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.24 Mantenibilidad del motor

Se calcula la Mantenibilidad para un MTTR= 192, Se está considerando 24 horas diarias de NO funcionamiento por 8 días que tarda la Facultad en tiempos de ejecución de restauración.

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63,21\%$$

4.25 Mantenibilidad del cable de alimentación

Se calcula la Mantenibilidad para un MTTR= 192, Se está considerando 24 horas diarias de NO funcionamiento por 8 días que tarda la Facultad en tiempos de ejecución de restauración.

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 * 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 * 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.26 Mantenibilidad del PLC

Se calcula la Mantenibilidad para un MTTR= 192, Se está considerando 24 horas diarias de NO funcionamiento por 8 días que tarda la Facultad en tiempos de ejecución de restauración.

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 * 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 * 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

Tabla 18. Cuadro de resultado de la mantenibilidad del sistema eléctrico

Descripción	Función	MANTENIBILIDAD				
		MTTR (horas)	μTasa de reparación	M(t)=1-e ^{^(-μ*t)}		
				t=	t=	t=
				24	48	192
Relé	Ejecuta la lógica del ascenso, descenso, paradas de emergencia y finales de carrera	192	0,005208333	0,1175	0,2211	0,6321
Cable de alimentación	Energía al sistema	192	0,005208333	0,1175	0,2211	0,6321
Circuitos integrados	Dirigir y controlar el funcionamiento de las puertas	192	0,005208333	0,1175	0,2211	0,6321
Motor	Movimiento y potencia a la correa	192	0,005208333	0,1175	0,2211	0,6321
Cable de alimentación	Energía al sistema	192	0,005208333	0,1175	0,2211	0,6321
PLC	Control del sistema	192	0,005208333	0,1175	0,2211	0,6321

Fuente: Autores

4.27 Mantenibilidad de la cabina

4.27.1 *Mantenibilidad de la correa.* Se calcula la Mantenibilidad para un MTTR= 192, Se está considerando 24 horas diarias de NO funcionamiento por 8 días que tarda la Facultad en tiempos de ejecución de restauración.

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 * 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 * 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.28 **Mantenibilidad de la comunicación bus.**

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 * 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 * 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.29 **Mantenibilidad del motor**

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 * 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 \cdot 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.30 Mantenibilidad del cable de alimentación.

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} \cdot t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 \cdot 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 \cdot 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 \cdot 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.31 Mantenibilidad de las poleas de traslación

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} \cdot t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 \cdot 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 \cdot 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 \cdot 192} = 0.6321 * 100 = 63,21\%$$

4.32 Mantenibilidad del tope caucho

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.33 Mantenibilidad de la chapa central

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.34 Mantenibilidad del PLC

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 * 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.35 Mantenibilidad del microrruptor

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 * 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 * 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

Tabla 19. Cuadro de resultado de la mantenibilidad de la cabina.

Descripción	Función	mantenibilidad				
		MTTR (horas)	μTasa de reparación	M(t)=1-e ^(-μ*t)		
				t= 24	t= 48	t= 192
Correa	Transmite movimiento a las puertas	192	0,0052083	0,1175	0,2211	0,6321
Comunicación BUS/ circuitos integrados	Control del sistema	192	0,0052083	0,1175	0,2211	0,6321
Motor	Movimiento y potencia a la correa	192	0,0052083	0,1175	0,2211	0,6321
Cable de alimentación	Energía al sistema	192	0,0052083	0,1175	0,2211	0,6321
Poleas de traslación	Movilización de cabina sobre guías	192	0,0052083	0,1175	0,2211	0,6321

Tope caucho	Rotación chapa	192	0,0052083	0,1175	0,2211	0,6321
Chapa central	Soporte y centrado del microrruptor	192	0,0052083	0,1175	0,2211	0,6321
PLC	Control del sistema	192	0,0052083	0,1175	0,2211	0,6321
Microrruptor	Sensor de la apertura y cierre de las puertas	192	0,0052083	0,1175	0,2211	0,6321

Fuente: Autores.

4.36 Mantenibilidad del sistema mecánico

4.36.1 *Mantenibilidad del perfil de rodadura.* Se calcula la Mantenibilidad para un MTTR= 192, Se está considerando 24 horas diarias de NO funcionamiento por 8 días que tarda la Facultad en tiempos de ejecución de restauración.

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.37 Mantenibilidad del cable de tracción

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.38 **Mantenibilidad de los rodillos**

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.39 **Mantenibilidad del motor**

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 * 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.40 Mantenibilidad del cable de alimentación

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 * 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 * 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.41 Mantenibilidad de las poleas de traslación

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu * t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051 * 24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051 * 48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051 * 192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.42 Mantenibilidad del tope caucho

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.43 Mantenibilidad de la chapa central

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.44 Mantenibilidad de los rodamientos

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

4.45 Mantenibilidad del moto reductor

$$MTTR = 192 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{192} = 0.0051$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR}*t}$$

$$M(24) = 1 - e^{-0.0051*24} = 0.11 * 100 = 11\%$$

$$M(48) = 1 - e^{-0.0051*48} = 0.2212 * 100 = 22.12\%$$

$$M(192) = 1 - e^{-0.0051*192} = 0.6321 * 100 = 63.21\%$$

Tabla 20. Cuadro de resultado de la mantenibilidad del sistema mecánico

Descripción	Función	mantenibilidad				
		MTTR (horas)	μ Tasa de reparación	M(t)=1-e ^{^(-μ*t)}		
				t= 24	t= 48	t= 192
Perfil principal de rodadura	Guía y soporta la cabina	192	0,005208	0,1175	0,2212	0,6321
Rodillos	Control del sistema	192	0,005208	0,1175	0,2212	0,6321

Motor	Movimiento y potencia a la correa	192	0,005208	0,1175	0,2212	0,6321
Cable de tracción	Energía al sistema	192	0,005208	0,1175	0,2212	0,6321
Poleas de traslación	Movilización de cabina sobre guías	192	0,005208	0,1175	0,2212	0,6321
Tope caucho	Rotación chapa	192	0,005208	0,1175	0,2212	0,6321
Chapa central	Soporte y centrado del microrruptor	192	0,005208	0,1175	0,2212	0,6321
Rodamientos	Control del sistema	192	0,005208	0,1175	0,2212	0,6321
Moto reductor	Sensor de la apertura y cierre de las puertas	192	0,005208	0,1175	0,2212	0,6321

Fuente: Autores

4.46 Cálculo de la disponibilidad del sistema eléctrico

La disponibilidad se representa por:

$$D_i = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR}$$

Dónde:

TMEF: Tiempo medio de buen funcionamiento

TMDR: Tiempo medio de reparación

4.47 Disponibilidad del relé

TMEF: 263157.9 h

$TMDR = 192 h$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{263157.9}{263157.9+192} = 0.9992$$

4.48 Disponibilidad de los circuitos integrados

TMEF: 787401,575 h

$TMDR = 192 h$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{787401,575}{787401,575 + 192} = 0.9997$$

4.49 Disponibilidad del motor

TMEF: 10.315 h

$TMDR = 192 h$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{10315}{10315+192} = 0.9817$$

4.50 Disponibilidad del cable de alimentación

TMEF: 4545455 h

$TMDR = 192 h$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{4545455}{4545455 + 193} = 0.9999$$

4.51 Disponibilidad del PLC

TMEF: 546448.1 h

$MTTR = 192 h$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{546448.1}{546448.1 + 192} = 0.9996$$

Tabla 21. Cuadro de resultado de la disponibilidad del sistema eléctrico.

Descripción	Función	Disponibilidad
		TMEF/(TMEF+MTTR)
Relé	Ejecuta la lógica del ascenso, descenso, paradas de emergencia y finales de carrera	0.9992
Cable de alimentación	Energía al sistema	0.9999
Circuitos integrados	Dirigir y controlar el funcionamiento de las puertas	0.9997
Motor	Movimiento y potencia a la correa	0.9817
Cable de alimentación	Energía al sistema	0.9995
PLC	Control del sistema	0.9996
		0.9799

Fuente: Autores

4.52 Cálculo de la disponibilidad del sistema eléctrico

Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$D_{sis} = \sum_{i=1}^k (Des_i) - (k - 1)$$

Dónde:

D_{sis}= Disponibilidad del sistema.

Des= Disponibilidad *iesima* de cada etapa.

K= Número de etapas.

$$D_{sis} = 4.97 - (5 - 1)$$

$$D_{sis} = 0,97$$

$$D_{sis} = 97 \%$$

4.53 Cálculo de la disponibilidad de la cabina

La disponibilidad se representa por:

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR}$$

Dónde:

TMEF: Tiempo medio de buen funcionamiento

TMDR: Tiempo medio de reparación

4.54 Disponibilidad de la correa

TMEF: 64724.9191 h

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR} = \frac{64724.9191}{64724.9191 + 192} = 0.9970$$

4.55 Disponibilidad de la comunicación bus

TMEF: 7874.1575 h

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR} = \frac{7874.1575}{7874.1575 + 192} = 0.9975$$

4.56 Disponibilidad del motor

TMEF: 3584.22939 h

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{3584.22939}{3584.22939+192} = 0.9994$$

4.57 Disponibilidad del cable de alimentación

$$TMEF: 45454.54 \text{ h}$$

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{45454.54}{45454.54 + 192} = 0.9999$$

4.58 Disponibilidad de las poleas de traslación

$$TMEF: 103842.16 \text{ h}$$

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{103842.16}{103842.16+192} = 0.9981$$

4.59 Disponibilidad del tope caucho

$$TMEF: 169491.525 \text{ h}$$

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{169491.525}{169491.525+192} = 0.9988$$

4.60 Disponibilidad de la chapa central

$$TMEF: 374531.835 \text{ h}$$

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{374531.835}{374531.835 + 192} = 0.9994$$

4.61 Disponibilidad del PLC

TMEF: 546448.087 h

TMDR = 192 h

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{546448.087}{546448.087 + 192} = 0.9996$$

4.62 Disponibilidad del microrruptor

TMEF: 33333.33 h

TMDR = 192 h

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{33333.33}{33333.33 + 192} = 0.9999$$

Al finalizar los cálculos correspondientes a cada uno de los componentes de la cabina, procedemos a realizar el cálculo general de la disponibilidad de la cabina, mediante la fórmula $TMEF / (TMEF+MTTR)$, que es la multiplicación del tiempo medio de reparación que es igual a 192 h, y por el tiempo medio entre fallas de cada uno de los componentes

Tabla 22. Cuadro de resultado de la disponibilidad de la cabina.

Descripción	Función	Disponibilidad
		$TMEF/(TMEF+MTTR)$
Correa	Transmite movimiento a las puertas	0,9970
Comunicación BUS/ circuitos integrados	Control del sistema	0,9976

Motor	Movimiento y potencia a la correa	0,9995
Cable de alimentación	Energía al sistema	1,000
Poleas de traslación	Movilización de cabina sobre guías	0,9982
Tope caucho	Rotación chapa	0,9989
Chapa central	Soporte y centrado del microrruptor	0,9995
PLC	Control del sistema	0,9996
Microrruptor	Sensor de la apertura y cierre de las puertas	0,9999
		0,9901

Fuente: Autores

4.63 Cálculo de la disponibilidad de la cabina

Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$D_{sis} = \sum_{i=1}^k (Desi) - (k - 1)$$

Dónde:

Dsis= Disponibilidad del sistema.

Des= Disponibilidad iesima de cada etapa.

K= Número de etapas.

$$D_{sis} = 8.99 - (9 - 1)$$

$$D_{sis} = 0,99$$

$$D_{sis} = 99\%$$

4.64 Cálculo de la disponibilidad del sistema mecánico

La disponibilidad se representa por:

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR}$$

Dónde:

TMEF: Tiempo medio de buen funcionamiento

TMDR: Tiempo medio de reparación

4.65 Disponibilidad del perfil de rodadura

TMEF: 1428.571 h

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR} = \frac{1428.571}{1428.571 + 192} = 0.9999$$

4.66 Disponibilidad del cable de tracción

TMEF: 64724.92 h

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR} = \frac{64724.92}{64724.92 + 192} = 0.9972$$

4.67 Disponibilidad de los rodillos

TMEF: 78740.16 h

$TMDR = 192 h$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{78740.16}{78740.16 + 192} = 0.9977$$

4.68 Disponibilidad del motor

TMEF: 100000 h

$TMDR = 192 h$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{100000}{100000 + 192} = 0.9945$$

4.69 Disponibilidad del cable de alimentación

TMEF: 45454.54 h

$TMDR = 192 h$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{45454.54}{45454.54+192} = 0.9972$$

4.70 Disponibilidad de las poleas de traslación

TMEF: 103842.16 h

$MTTR = 192 h$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{103842.16}{103842.16+192} = 0.9981$$

4.71 Disponibilidad del tope caucho

TMEF: 169491.525 h

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{103842.16}{103842.16 + 192} = 0.9988$$

4.72 Disponibilidad de la chapa central

$$TMEF: 374531.835 \text{ h}$$

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{374531.835}{374531.835 + 192} = 0.9994$$

4.73 Disponibilidad de los rodamientos

$$TMEF: 30303.03 \text{ h}$$

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{30303.03}{30303.03+192} = 0.9927$$

4.74 Disponibilidad del moto reductor

$$TMEF: 12500 \text{ h}$$

$$TMDR = 192 \text{ h}$$

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF+TMDR} = \frac{12500}{12500 + 192} = 0,9973$$

Tabla 23. Cuadro de resultado de la disponibilidad del sistema mecánico.

Descripción	Función	Disponibilidad
		TMEF/(TMEF+MTTR)
Perfil principal de rodadura	Guía y soporta la Cabina	1,0000

Rodillos	Control del Mov.	0,9977
Motor	Movimiento y potencia a la correa	0,9945
Cable de tracción	Energía al sistema	0,9972
Poleas de traslación	Movilización de cabina sobre guías	0,9981
Tope caucho	Rotación chapa	0,9988
Chapa central	Soporte y centrado del microrruptor	0,9994
Rodamientos	Mov. poleas	0,9927
Moto reductor	Cambia de mov.	0,9973
		0,9760

Fuente: Autores

4.75 Cálculo de la disponibilidad del sistema mecánico

Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$D_{sis} = \sum_{i=1}^k (Des_i) - (k - 1)$$

Dónde:

Dsis= Disponibilidad del sistema.

Des= Disponibilidad iesima de cada etapa.

K= Número de etapas.

$$D_{sis} = 8,97 - (10 - 1)$$

$$D_{sis} = 0,976$$

$$D_{sis} = 97,6 \%$$

4.76 Cálculo de la disponibilidad total del ascensor

Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$D_{sis} = \sum_{i=1}^k (Des_i) - (k - 1)$$

Dónde:

D_{sis} = Disponibilidad del sistema.

Des_i = Disponibilidad i ésima de cada etapa.

K = Número de etapas.

$$D_{sis} = 2.95 - (3 - 1)$$

$$D_{sis} = 0,95$$

$D_{sis} = 95\%$ Cálculo de la disponibilidad total del ascensor aplicando el método MONTE CARLO

Los datos de entrada estocásticos disponibilidades mínima y máxima de cada sistema

Como se puede notar los sistemas del ascensor se encuentran en serie, por lo que se va utilizar la fórmula (12):

$$D_{sis.min} = \frac{TD}{TR}$$

$$D_{sis.min} = \frac{8}{12}$$

$$D_{sis.min} = 0.66 * 100 = 66\%$$

Para la $D_{sis,m\acute{a}x}$ utilizamos las disponibilidades calculadas anteriormente con la fórmula (13):

$$D_{sis.mec} = 9.994 - (10 - 1)$$

$$D_{sis.mec} = 0,994$$

$$D_{sis.mec} = 99.4 \%$$

$$D_{sis.cab} = 8.99 - (9 - 1)$$

$$D_{sis.cab} = 0,998$$

$$D_{sis.cab} = 99.8 \%$$

$$D_{sis.elec} = 4.99962 - (5 - 1)$$

$$D_{sis.elec} = 0,9996$$

$$D_{sis.elec} = 99.9 \%$$

Tabla 24: Disponibilidades mínima y máxima del ascensor

TR= 40 h	Min	Max	SISTEMAS
D1 =	94	97,97	S. ELÉCTRICO
D2 =	94	99,9	CABINA
D3 =	94	97	S. MECÁNICO

Fuente: Autores

4.77 Resultados estadísticos de salida de las variables

Tabla 25: Resultados estadísticos de salida

MIN=	0,82000
MAX=	0,92000
RANGO=	0,10000
MEDIA=	0,87530

MEDIANA=	0,88000
DT=	0,02303
N=	100
K=	7
W=	0,014

Fuente: Autores

La media aritmética es la suma de todos los datos dividida entre el número total de datos, por lo tanto, tenemos un valor de 0.87 de disponibilidad en 100 interacciones, la mediana es el valor que ocupa el lugar central entre todos los valores del conjunto de datos, cuando estos están ordenados en forma creciente o decreciente con un valor de 0.88 de disponibilidad. El rango da la idea de proximidad de los datos a la media. Se calcula restando el dato menor al dato mayor, con un valor de 0.10.

4.78 Calculamos la disponibilidad total del ascensor con 10 números de interacciones.

Tabla 26. Cálculo de la disponibilidad.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D1=	0,99	0,99	0,98	0,99	0,97	0,97	0,99	0,94	0,94	0,94
D2=	0,96	0,94	0,97	0,96	0,96	0,97	0,97	0,96	0,94	0,96
D3=	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,94	0,96	0,96	0,96	0,94
DSIS=	0,90	0,89	0,91	0,92	0,90	0,88	0,92	0,86	0,84	0,84

Fuente: Autores.

4.79 Tabla de frecuencias.

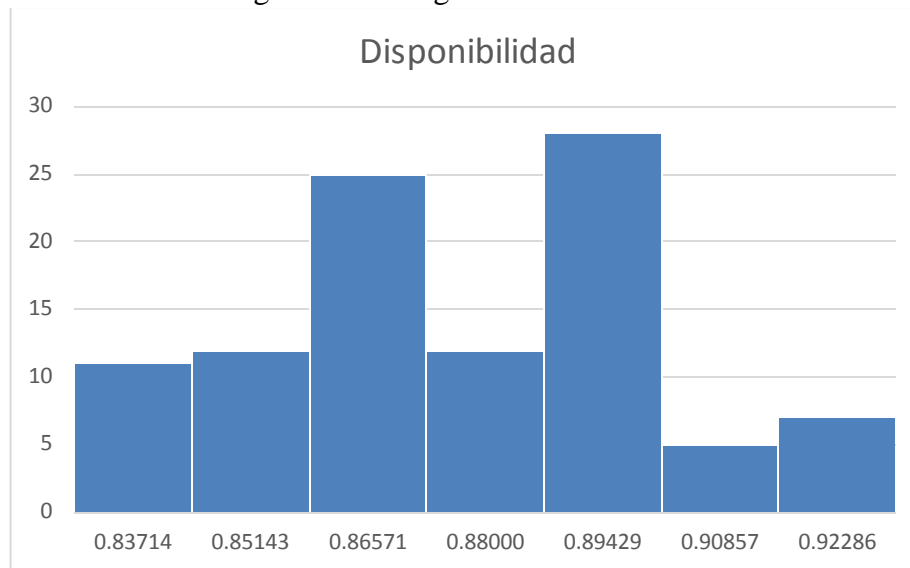
Tabla 27. Tabla de frecuencias.

CLASE	L.inf	L.sup	mi	ni	Ni	fi	Fi
1	0,82000	0,83571	0,82786	3	3	3%	3%
2	0,83571	0,85143	0,84357	13	16	13%	16%
3	0,85143	0,86714	0,85929	17	33	17%	33%
4	0,86714	0,88286	0,87500	30	63	30%	63%
5	0,88286	0,89857	0,89071	14	77	14%	77%
6	0,89857	0,91429	0,90643	18	95	18%	95%
7	0,91429	0,930	0,92214	4	99	4%	99%

Fuente: Autores.

4.80 Realizamos el histograma de frecuencias

Figura 28. Histograma de frecuencias.



Fuente: Autores.

4.81 Cálculo de la disponibilidad total del ascensor aplicando el programa RStudio

RStudio es un programa estadístico, donde es posible calcular todas las estadísticas descriptivas que se requieran para variables y en este caso para la obtención de probabilidad de fiabilidad en 10000 interacciones, por lo tanto, en primer lugar, aplicamos las ecuaciones para la ejecución del programa:

$$n = \text{function } (x,m,M)$$

$$D1 = \text{runif}(x, m, M)$$

$$D2 = \text{runif}(x, m, M)$$

$$D3 = \text{runif}(x, m, M)$$

$$D4 = \text{runif}(x, m, M)$$

$$\text{Disp1} = ((0.979) + (0.99) + (0.9797))$$

$$\text{disp2} = (3 - 1)$$

```
DC=data.frame(D1.1,D1.2, D2,D3,Dis=(Disp1-disp2)}
```

```
D=n(100000,0.828,1)
```

```
boxplot(data.frame(D[4]),ylim=c(0,1.1),notch=TRUE,
```

```
main="Estadística del sistema ",
```

```
ylab="Disponibilidad")
```

```
summary(data.frame(D[4]))
```

Variables de salida:

Dis

Min: 0.5327

1st Qu.:0.7115

Median: 0.7599

Mean: 0.76

3rd Qu.:0.8084

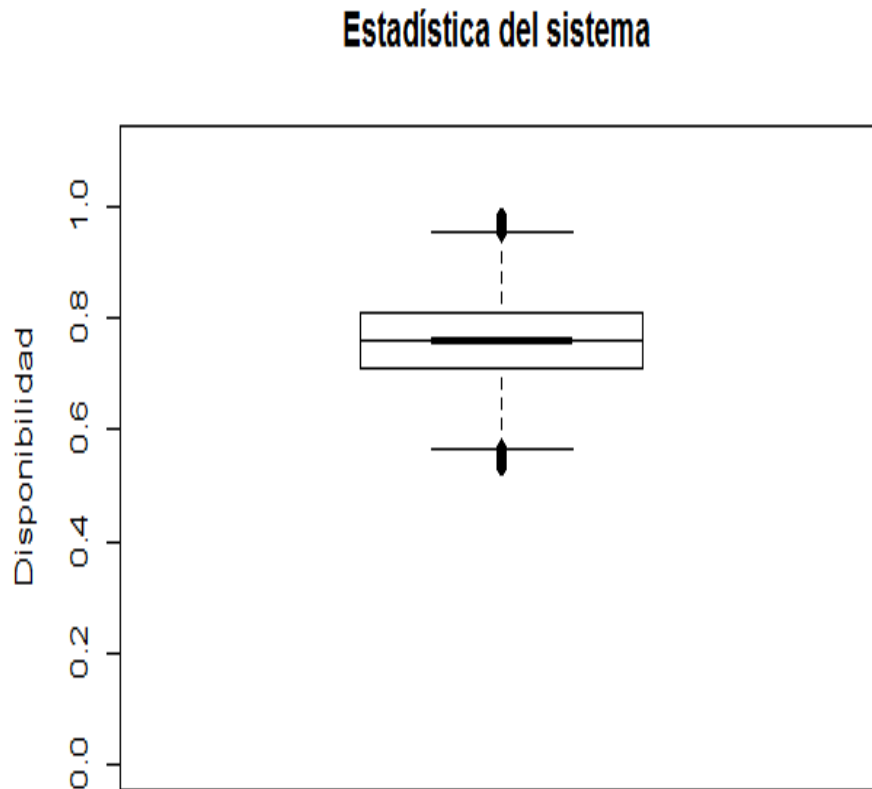
Max: 0.9833

Como resultados del programa obtenemos que en 10000 interacciones, la media obtenida con el método Monte Carlo y las disponibilidades totales del ascensor calculadas anteriormente obtenemos:

Probabilidad mínima de 0.5327 %

Probabilidad máxima de 0.9833 %

Figura 29. Estadística del sistema con el programa R



Fuente: Autores.

Como conclusión de la gráfica obtenemos que los cuartiles son los tres valores de la variable que dividen a un conjunto de datos ordenados en cuatro partes iguales Q1, Q2 y Q3 determinan los valores correspondientes al 25%, al 50% y al 75% de los datos, por lo tanto, el primer cuartil con un valor de 0.58 y el tercer cuartil de 0.72

4.82 Análisis de la seguridad:

4.82.1 *Evaluación de riesgos matriz IPER:* Con el fin de realizar una evaluación de riesgos de manera efectiva, que nos permitan asegurar la identificación de todos aquellos peligros considerados potenciales y que se encuentran presentes en el ascensor utilizaremos la siguiente tabla:

Tabla 28. Evaluación de riesgos

TIPO de FILA	PROCESO	ACTIVIDAD (Rutina - No Rutina)	POR EMPRESA	POR E. SERVICIO	PELIGROS		INCIDENTES POTENCIAL	MEDIDA DE CONTROL
					CONDICIÓN INSEGURA	ACTO INSEGURO		
s	Transportar personas	Rutina	ESPOCH	x		Conducta/comportamiento inadecuado	Atrapamiento	Señalética
s	Transportar personas	Rutina	ESPOCH	x		Mal manejo del ascensor	Atrapamiento	Señalética
s	Transportar personas	Rutina	ESPOCH	x	Superficie resbalosa		Caída a nivel	Pisos secos
s	Transportar personas	Rutina	ESPOCH	x		Intervenir en el ascensor en movimiento	Atrapamiento	Señalética
s	Transportar personas	Rutina	ESPOCH	x		Tiempo lento de reacción	Atrapamiento	Señalética
s	Transportar personas	Rutina	ESPOCH	x		Deficiencia visual	Caída a desnivel	Iluminación adecuada
s	Transportar personas	Rutina	ESPOCH	x		Cansancio	Caída a nivel	Señalética
s	Transportar personas	Rutina	ESPOCH	x		Temores o fobias	Claustrofobia	Señalética
h	Transportar personas	Rutina	ESPOCH	x	Contaminación Biológica		Exp. Agentes biológicos	Limpieza permanente

Fuente: Autores

EVALUACIÓN DE RIESGOS						PLAN DE ACCIÓN
SEGURIDAD				HIGIENE OCUPACIONAL		
Probabilidad (P)	Severidad (S)	Evaluación del Riesgo	Nivel de Riesgo	Existe Evaluación de Riesgo	Nivel de Riesgo	NUEVAS MEDIDAS DE CONTROL
3	4	12	Bajo	NO	importante	Señalética
5	4	20	Moderado	NO	importante	Señalética
3	4	12	Bajo	NO	importante	Pisos secos
3	4	12	Bajo	NO	importante	Señalética
3	4	12	Bajo	NO	importante	Señalética
5	4	20	Moderado	NO	importante	Iluminación adecuada
5	4	20	Moderado	NO	importante	Señalética
5	4	20	Moderado	NO	importante	Señalética
9	4	36	Moderado	NO	Crítico	Limpieza permanente

Fuente: Autores

Como resultado de la tabla la identificación de los peligros y evaluación de los riesgos, mediante las probabilidades y consecuencias de las posibles ocurrencias, y para un control efectivo de los riesgos a través de la eliminación, reducción, y monitoreo de los riesgos, hemos optado por el plan de acción de una mantenimiento preventivo, ya que el ascensor tiene una evaluación de riesgos crítico con un valor de 12-72 de nivel de riesgo, cuando ocurra un atrapamiento de pasajeros en su interior.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se determinó la fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad actual del ascensor dividiéndolo en 3 sistemas, subsistemas y componentes, logrando así mayor precisión en el cálculo del pronóstico RAMS para ello la norma ISO 3977-9 brinda información teórica acerca de estos parámetros y se utilizó el manual de OREDA para la estimación de la tasa de fallos, pudiendo así establecer estrategias de mantenimiento que ayuden al correcto funcionamiento del ascensor.

Con los resultados del análisis RAMS se propusieron acciones de mantenimiento autónomo las cuales son de fácil aplicación, pero muy importantes y harán que el ascensor y todos sus sistemas se vean y funcionen en su total capacidad.

El estudio actual de la infraestructura y sistemas del ascensor determinó alta fiabilidad ya que este empezó su etapa de vida útil, así se puede constatar en los cálculos estadísticos realizados donde se demuestran altos valores de fiabilidad, tiempos de mantenibilidad adecuados y disponibilidad del 99% al momento de ser requerido. No existen riesgos para los usuarios ya que hay toda la información y señalización sobre la correcta utilización del ascensor.

Mediante la elaboración de diagramas de bloque y diagramas de árboles se realizó la identificación de las rutas críticas las cuales muestran los elementos y sus modos de falla más severos que podrían afectar directamente el correcto funcionamiento del ascensor y la seguridad de las personas, al identificar estas rutas se analiza las causas por las que se producen los fallos y la fiabilidad actual de estos elementos reportando acciones preventivas que faciliten el uso y mantenimiento del ascensor.

5.2 Recomendaciones

La fiabilidad de los resultados obtenidos del análisis RAMS depende especialmente de la asignación de las tasas de fallo y reparación de los componentes o equipos que

conforman el sistema, por lo que se ha de tener especial cuidado a la hora de obtener estos datos, ya sea a través de datos históricos propia o de bases de datos externas o por la opinión de expertos

Realizar una bitácora y registrar todas las fallas que se produzcan con el tiempo, las anomalías del ascensor, los eventos imprevistos, para así establecer una adecuada planificación de mantenimiento.

Leer el manual de utilización del ascensor para conocer el buen uso, funcionamiento y sugerencias de mantenimiento autónomo evitando así fallas imprevistas.

Componentes del sistema eléctrico y electrónico son componentes no reparables, es por eso que se debe cambiar totalmente si un elemento llega a fallar.

La ESPOCH al ser una institución que cuenta con una carga de mantenimiento, debe tener una persona capacitada a cargo de las máquinas, equipos, infraestructura, ascensores, para omitir la tercerización, disminuyendo costos en reparaciones y mantenimientos correctivos.

6. Bibliografía

UNE-EN 13306 2011. *Terminología del mantenimiento.*

ISO 3977-9 1999. *Reliability, availability, maintainability and safety.*

UNE-EN 61078 2006. Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas

ZÁRATE FRAGA, Martha . *Análisis RAMS.* [En línea] (tesis).(Maestría) Universidad Carlos III, Madrid, España. 2012. pp. 40-42. [Consulta: 2016-11-23]. Disponible en: http://archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/14700/PFC_RAMS_Marta_Zarate_Fraga.pdf?sequence=1

ARDANUY, & TOMÁS Piqué. *Análisis probabilístico de riesgos.* [En línea] (tesis).(Maestría) Universidad III, Madrid, España, 2006.pp 60-65. [Consulta: 2016-11-23]. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/fichasTec/ntp_333.pdf

A.M, Mariani. "Fiabilidad electrónica y eléctrica ". *Investigación y ciencia,* (2007), (Argentina) pp. 12-15.

Hoyland, Rausand. *System Reliability Theory: Models,Statiscal Methods, and Applications.* New Jersey: 2004, pp. 34-39.

MORA, Alberto. *Mantenimiento industrial efectivo.* Medellín-Colombia: Coldi, 2012, pp. 50-58.

Sexto, Luis Felipe. 2005. *Fiabilidad integral del activo.* [blog]. [Consulta: 10 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/>

WEISSMAN, Isahy & EPSTEIN, Benjamin. "Mathematical Models for Systems Reliability". *Investigación y ciencia,* (2008), (New York) pp. 12-14.

Wilkins, Dennis J. *The Bathtub Curve and Product Failure Behavior.* [en línea]. 2016.

ZAPATA, Jose Miguel. *Manual de datos OREDA.* [En línea] (tesis).(Maestría) Universidad de Caldas, Medellín, Colombia. 2011. pp. 18-23. [Consulta: 2016-11-23]. Disponible en: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/JoseMiguel_Zapata.pdf