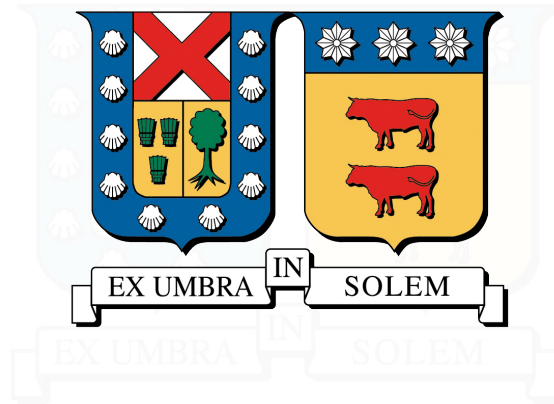


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO - CHILE



**DETERMINAR LOS ACTIVOS CRÍTICOS Y CONFIGURACIÓN LÓGICA DE
LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DEL AEROPUERTO ARTURO MERINO
BENÍTEZ**

HÉCTOR JAVIER LEAL PAVEZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA : SR. PABLO VIVEROS
PROFESOR CORREFERENTE : SR. RODRIGO MENA

NOVIEMBRE 2019



A mi familia y amigos

En primer lugar, quisiera agradecer a mis compañeros de estudios, que posteriormente nos fuimos convirtiendo en amigos en el tiempo, ya que pasamos juntos gran parte de nuestros tiempos después de las horas de clases y largos fines de semanas de estudios.

Dentro de los amigos que forme durante los años de estudios, quisiera agradecer a Jorge Lara por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos que compartimos, brindándome su apoyo en situaciones que a veces uno quisiera dejar todo de lado, en particular en los momentos más bajo que uno tiene, cuando los resultados obtenidos en los certamen no son los esperados.

Agradecer a Marcos Mella, Gianfranco Calcagno, Jose Luis Cornejo, Ignacio Farias, Victor Farias, Andrés Julio y muchos más, quienes fueron fundamental a la hora de lograr el objetivo final que fue terminar la carrera

A mi padres y hermana que estuvieron apoyándome desde Temuco en todo momento cuando comencé este nuevo desafío de estudiar.

Finalmente, agradecer de forma especial e incondicionalmente a mi señora Carolina Cortés, quién se bancó y soporto todo este proceso que vivimos, en los momentos más alegres que vivimos con el nacimiento de nuestra hija mientras estudiaba, como también en los momentos más bajos, fuistes un pilar fundamental y sin tu apoyo no hubiese logrado el objetivo final de terminar, infinitas gracias.

GLOSARIO

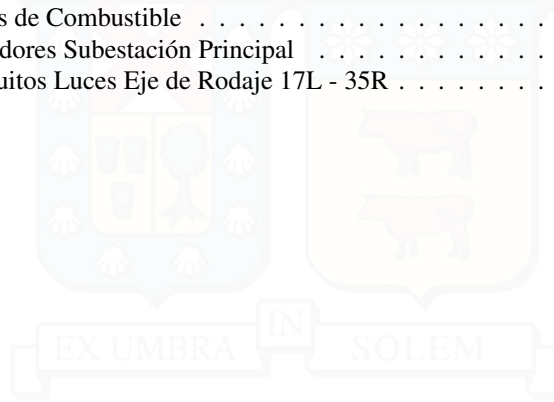
A	Availability
AMB	Aeropuerto Arturo Merino Benítez
Ad.	Aeródromo
Ap.	Aeropuerto
AT	Alta tensión
BT	Baja tensión
CNS	Comunicación, navegación y vigilancia
DAN	Normas Aeronáuticas que regulan aquellas materias de orden técnico u operacional, tendientes a resguardar la seguridad aérea
DAR	Normas de carácter general reglamentario orientadas a entregar seguridad y diversos servicios a la navegación aérea
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil
FBO	Fixed base operation
FCU	Unidad de control electrónico de las luces de aproximación
GG.EE	Grupo electrógeno
GN1	Grupo electrógeno N°1
GN3	Grupo electrógeno N°3
GN4	Grupo electrógeno N°4
GSER	Grupo electrógeno subestación remota
KPI	Key performance indicator
OACI	Organización de aviación civil internacional
PAPI	Precision approach path indicator
RCC	Regulador de corriente constante
R	Reliability
REIL	Luz indicadora final de pista
SAI	Sistema de alimentación ininterrumpida
SAVI	Sistemas de ayudas visuales
SEP	Subestación eléctrica principal
SER	Subestación eléctrica remota
SGES	Sistema generación de energía secundaria
SGM	Sistema gestión de mantenimiento
TDZ	Touch down zone
R	Reliability
TR	Transformador
UDC	Unidad de control de los sistemas de aproximación de pista
UPS	Uninterruptible power supply
UPS N°1 SEP	UPS N°1 subestación eléctrica principal
UPS N°2 SEP	UPS N°2 subestación eléctrica principal
UPS N°1 SER	UPS N°1 subestación eléctrica remota
UPS N°2 SER	UPS N°2 subestación eléctrica remota
17L -35R	Orientación física/geográfica de la ubicación de la pista de aterrizaje con respecto del norte magnético
17R -35L	Orientación física/geográfica de la ubicación de la pista de aterrizaje con respecto del norte magnético

Índice de Contenidos

1. Problemática	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
2. Marco Teórico	3
2.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	3
2.1.1. Beneficios del RCM	4
2.2. Teoría de la Confiabilidad	5
2.3. Disponibilidad	7
2.4. Mantenibilidad	8
2.5. Distribución Ley de Weibull	8
2.6. Método Representación Jack-Knife	11
2.7. Representación de Sistemas	12
3. Análisis	15
3.1. Dirección General de Aeronáutica Civil	15
3.2. Aeropuerto Arturo Merino Benítez	15
3.3. Área Electricidad Aeroportuaria	16
3.3.1. Sistemas de Ayudas Visuales	17
3.3.1.1. Sistema de Aproximación	17
3.3.1.2. Sistema Reil	18
3.3.1.3. Sistemas Borde, Umbral y Término Pista	19
3.3.1.4. Sistema PAPI	20
3.3.1.5. Sistema Eje de Pista	21
3.3.1.6. Sistema Toma de Contacto	21
3.3.1.7. Sistema Eje Calle de Rodaje	22
3.3.1.8. Sistema Borde Calle de Rodaje - Letreros Guía	22
3.3.2. Sistema de Generación de Energía Secundaria	23
3.3.2.1. Grupos Electrógenos	23
3.3.2.2. Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI/UPS)	25
4. Modelación de Equipos Críticos	27
4.1. Diagrama Jack Knife - Sistema Generación Energía Secundaria	27
4.1.1. Estimación de Parámetros UPS N°1 SEP	28
4.1.1.1. Parámetros Weibull	28
4.1.2. Estimación de Parámetros UPS N°2 SEP	29
4.1.2.1. Parámetros Weibull	29
4.1.3. Estimación de Parámetros UPS N°1 SER	29
4.1.3.1. Parámetros Weibull	29
4.1.4. Modelación Sistemas de Generación de Energía Secundaria	30
4.1.5. Mantenibilidad	32

4.1.6.	Tasa de Falla	36
4.1.7.	Disponibilidad	38
4.1.7.1.	Disponibilidad UPS N°1 SEP	38
4.1.7.2.	Disponibilidad UPS N°2 SEP	38
4.1.7.3.	Disponibilidad UPS N°1 SER	39
5.	Diagramas RBD	40
5.1.	Sistema Eléctrico AMB	40
5.2.	RBD Sistema Ayudas Visuales	41
5.2.1.	Sistemas Ayudas Visuales	41
5.2.1.1.	Diagrama RBD Sistema de Aproximación 17L	41
5.2.1.2.	Diagrama RBD Sistema de Aproximación 17R	46
5.2.1.3.	Diagrama RBD Sistema PAPI 17L	49
5.2.1.4.	Diagrama RBD Sistema PAPI 35R	51
5.2.1.5.	Diagrama RBD Sistema PAPI 17R	52
5.2.1.6.	Diagrama RBD Luces PAPI 35L	53
5.2.1.7.	Diagrama RBD Luces Eje Pista 17L - 35R	54
5.2.1.8.	Diagrama RBD Luces Eje Pista 17R - 35L	57
5.2.1.9.	Diagrama RBD Luces Borde Umbral y Término de Pista 17L - 35R	60
5.2.1.10.	Diagrama RBD Luces Borde Umbral y Término de Pista 17R - 35L	62
5.2.1.11.	Diagrama RBD Luces Zona Toma de Contacto 17L	65
5.2.1.12.	Diagrama RBD Luces Eje Calle de Rodaje 17L -35R	68
5.2.1.13.	Diagrama RBD Luces Eje Calle de Rodaje 17R -35L	72
5.2.1.14.	Diagrama RBD Luces Borde Calle de Rodaje Ap. AMB	75
5.3.	RBD Sistema Generación de Energía Secundaria	77
5.3.1.	Grupos Electrógenos	77
5.3.1.1.	Subestación Principal	77
5.3.1.2.	Subestación Remota	83
5.3.2.	Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (UPS)	87
5.3.2.1.	Subestación Principal	87
5.3.2.2.	Subestación Remota	89
5.4.	Resumen Disponibilidad y Confiabilidad SAVI y SGES	90
5.4.1.	Resumen Disponibilidad y Confiabilidad SAVI	90
5.4.2.	Resumen Disponibilidad y Confiabilidad SGES	92
5.4.3.	Análisis Resumen Disponibilidad y Confiabilidad SAVI y SGES - diagramas RBD	93
6.	Conclusiones y Recomendaciones	95
6.1.	Conclusiones	95
6.2.	Recomendaciones	96
7.	Anexos	97
7.1.	Anexo 1	97
7.1.1.	Fallas UPS N° 1 SEP	97
7.1.2.	Obtención de Parámetros Weibull	98
7.2.	Anexo 2	99
7.2.1.	Fallas UPS N° 2 SEP	99
7.2.2.	Obtención de Parámetros Weibull	100
7.3.	Anexo 3	101
7.3.1.	Fallas UPS N° 1 SER	101
7.3.2.	Obtención de Parámetros Weibull	102
7.4.	Anexo 4	103
7.4.1.	Obtención de Parámetros Weibull para Mantenibilidad UPS N°1 SEP	103
7.4.2.	Obtención de Parámetros Weibull con $\gamma \neq 0$ - UPS N°1 SEP	103
7.5.	Anexo 5	104
7.5.1.	Obtención de Parámetros Weibull para Mantenibilidad UPS N°2 SEP	104

7.5.2. Obtención de Parámetros Weibull con $\gamma \neq 0$ - UPS N°1 SEP	105
7.6. Anexo 6	105
7.6.1. Obtención de Parámetros Weibull para Mantenibilidad UPS N°1 SER	105
7.6.2. Obtención de Parámetros Weibull con $\gamma \neq 0$ - UPS N°1 SER	107
7.7. Subestación Eléctrica Principal	108
7.8. Sala Reguladores Subestación Principal	109
7.9. Sala Reguladores Subestación Remota	110
7.10. Estanques Diarios de Combustible	111
7.11. Patio Transformadores Subestación Principal	112
7.12. Cantidad de Circuitos Luces Eje de Rodaje 17L - 35R	113
Bibliografía	114



Índice de Tablas

3.1. Equipos y Elementos que componen el Sistema de Aproximación Pista 17L - 35R	17
3.2. Equipos y Elementos que componen el Sistema de Aproximación Pista 17R- 35L	18
3.3. Equipos y Elementos que componen el Sistema Reil pista 17L - 35R	18
3.4. Equipos y Elementos que componen el Sistema Reil pista 17R - 35L	19
3.5. Equipos y Elementos que componen los Sistemas Borde, Umbral y Término de Pista 17L - 35R	19
3.6. Equipos y Elementos que componen los Sistemas Borde, Umbral y Término de Pista.	20
3.7. Equipos y Elementos que componen el Sistema PAPI 17L - 35R.	20
3.8. Equipos y Elementos que componen el Sistema PAPI 17R - 35L.	20
3.9. Equipos y Elementos que componen el Sistema Eje de Pista 17L - 35R.	21
3.10. Equipos y Elementos que componen el Sistema Eje de Pista 17R - 35L.	21
3.11. Equipos y Elementos que componen el Sistema Toma de Contacto Pista 17L - 35R.	22
3.12. Equipos y Elementos que componen el Sistema Toma de Contacto Pista 17L - 35R.	22
3.13. Equipos y Elementos que componen el Sistema Toma de Contacto Pista 17R - 35L.	22
3.14. Equipos y Elementos que componen Letreros Guías asociados a la Pista 17R - 35L.	23
3.15. Características Técnicas Grupos Electrónicos Subestación Eléctrica Principal.	24
3.16. Características Técnicas Grupos Electrónicos Subestación Principal.	25
3.17. Características Técnicas UPSs – Subestación Eléctrica Principal.	25
3.18. Características Técnicas UPSs – Subestación Eléctrica Remota.	26
4.1. Datos de Fallos Sistema Generación de Energía Secundaria. (Fuente: Propia)	27
4.2. Parámetros distribución Weibull UPS N°1 SEP. (Fuente: Propia)	29
4.3. Parámetros distribución Weibull UPS N°2 SEP. (Fuente: Propia)	29
4.4. Parámetros distribución Weibull UPS N°1 SER. (Fuente: Propia)	30
4.5. Modelación equipos críticos sistemas de generación de energía secundaria. (Fuente: Propia) . . .	31
4.6. Parámetros distribución Weibull UPS N°1 SEP - tiempos de reparación. (Fuente: Propia)	33
4.7. Parámetros distribución Weibull UPS N°2 SEP - tiempos de reparación. (Fuente: Propia)	33
4.8. Parámetros distribución Weibull UPS N°1 SER - tiempos de reparación. (Fuente: Propia)	33
4.9. Modelación equipos críticos sistemas de generación de energía secundaria. (Fuente: Propia) . . .	35
4.10. Tasa de falla UPSs respecto del tiempo. (Fuente: Propia)	37
4.11. Disponibilidad UPS N°1 SEP (Fuente: Propia)	38
4.12. Disponibilidad UPS N°2 SEP (Fuente: Propia)	38
4.13. Disponibilidad UPS N°1 SER (Fuente: Propia)	39
5.1. Circuitos Luces Eje de Rodaje 17L - 35R	68
5.2. Circuitos Luces Eje de Rodaje 17R - 35L (Sector Ampliación Poniente)	72
5.3. Circuitos Luces Eje de Rodaje 17R - 35L (Sector Existente)	73
5.4. Circuitos Luces Borde de Rodaje Ap. AMB	75
5.5. Disponibilidad Sistemas de Ayudas Visuales (Fuente: Propia)	91
5.6. Confiabilidad Sistemas de Ayudas Visuales (Fuente: Propia)	92
5.7. Confiabilidad expresada para los Sistemas de Generación de Energía Secundaria. (Fuente: Propia)	92
5.8. Disponibilidad expresada para los Sistemas de Generación de Energía Secundaria. (Fuente: Propia)	93

7.1. Recolección de Fallas UPS N°1 SEP. (Fuente: Propia)	97
7.2. Parámetros Weibull UPS N°1 SEP. (Fuente: Propia)	98
7.3. Recolección de Fallas UPS N°2 SEP. (Fuente: Propia)	99
7.4. Parámetros Weibull UPS N°1 SEP. (Fuente: Propia)	100
7.5. Recolección de Fallas UPS N°1 SER. (Fuente: Propia)	101
7.6. Parámetros Weibull UPS N°1 SER. (Fuente: Propia)	102
7.7. Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma = 0$ - UPS N°1 SEP. (Fuente: Propia)	103
7.8. Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma \neq 0$ UPS N°1 SEP. (Fuente: Propia)	104
7.9. Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma = 0$ UPS N°2 SEP. (Fuente: Propia)	104
7.10. Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma \neq 0$ UPS N°2 SEP. (Fuente: Propia)	105
7.11. Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma = 0$ UPS N°1 SER. (Fuente: Propia)	106
7.12. Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma \neq 0$ UPS N°1 SER. (Fuente: Propia)	107
7.13. Cantidad de Regulador y Circuitos, Luces Eje de Rodaje pista 17L - 35R	113

Índice de Figuras

2.1. Estrategia de Análisis RCM	3
2.2. Universo de Posibles Fallas.	4
2.3. Normal	5
2.4. Curva de la Bañera	6
2.5. Gráfico	11
2.6. Sistema Serie	12
2.7. Sistema Redundancia	13
2.8. Sistema Standby	14
2.9. Representación Tiempo	14
3.1. Estructura Organizacional	15
3.2. Sistema Eléctrico	16
3.3. Estrategias	16
3.4. Luces Aproximación 17L	18
3.5. Luces Indicadoras de Pendiente de Aproximación	20
3.6. Luces Pista	21
3.7. Letrero Guía	23
3.8. Sala Grupos Electrógenos – Subestación Eléctrica Principal.	24
3.9. Grupo Electrógeno Subestación Remota	25
3.10. Sala UPS – Subestación Principal	26
3.11. Sala UPS – Subestación Remota	26
4.1. Diagrama Jack Knife sistema generación de energía secundaria	28
4.2. Confiabilidad por UPS v/s tiempo de funcionamiento.	32
4.3. Mantenibilidad por UPS v/s tiempo de reparación.	35
4.4. Tasa de falla por equipos críticos respecto del tiempo.	37
5.1. Fotografía aérea aeropuerto Arturo Merino Benítez	40
5.2. Diagrama RBD - Aproximación 17L.	41
5.3. Descomposición Diagrama RBD Sistema Aproximación Pista 17L	42
5.4. Diagrama RBD - Aproximación 17R.	46
5.5. Descomposición Diagrama RBD Sistema Aproximación Pista 17R	47
5.6. Diagrama RBD - PAPI 17L	50
5.7. Diagrama RBD - PAPI 35R	51
5.8. Diagrama RBD - PAPI 17R	52
5.9. Diagrama RBD - PAPI 35L	53
5.10. Diagrama RBD - Eje Pista 17L-35R	54
5.11. Diagrama RBD - Eje Pista 17R-35L.	57
5.12. Diagrama RBD - Luces de Borde, Umbral y Término de Pista 17L-35R.	60
5.13. Diagrama RBD - Borde Pista 17R - 35L.	63
5.14. Diagrama RBD - Zona Toma de Contacto 17L.	66
5.15. Diagrama RBD - Modelo Eje Calles de Rodajes Pista 17L-35R	69

5.16. Diagrama RBD - Circuito N°j - Selector N°i	70
5.17. Diagrama RBD - Modelo General Sistema Eje Rodaje Pista 17L - 35R	71
5.18. Diagrama RBD - Modelo General Sistema Eje Rodaje Pista 17R - 35L. Sector Ampliación Poniente	73
5.19. Diagrama RBD - Modelo General Sistema Eje Rodaje Pista 17R - 35L. Sector Existente . . .	74
5.20. Diagrama RBD - Modelo Borde Calles de Rodajes Ap. AMB	75
5.21. Sala Grupos Electrógenos - Subestación Eléctrica Principal.	78
5.22. Diagrama RBD - Grupo Electrónico GN1	78
5.23. Diagrama RBD - Grupo Electrónico GN3	80
5.24. Diagrama RBD - Grupo Electrónico GN4	81
5.25. Diagrama RBD - Conmutador GN4	82
5.26. Diagrama RBD - Grupo Electrónico GSER - Subestación Remota.	83
5.27. Diagrama RBD - Grupo Electrónico GSER.	83
5.28. Diagrama RBD - Conmutador SER.	85
5.29. Diagrama RBD - UPS N°1 Subestación Principal	87
5.30. Diagrama RBD - UPS N°2 Subestación Principal	88
5.31. Diagrama RBD - UPS N°1 Subestación Remota	89
5.32. Diagrama RBD - UPS N°2 Subestación Remota	89
7.1. Subestación Eléctrica Principal	108
7.2. Sala Reguladores de Corriente Constante Pista 17L-35R – Subestación Principal	109
7.3. Sala Reguladores de Corriente Constante Pista 17R-35L – Subestación Principal	110
7.4. Estanques Diarios de Combustibles GG.EE. – Subestación Principal	111
7.5. Patio de Transformadores – Subestación Principal	112

1 | Problemática

El desarrollo de la aeronáutica a nivel mundial ha generado con el correr de los años un aumento en el cambio tecnológico de los equipamientos instalados en tierra, este cambio de tecnología busca alcanzar un mayor grado de seguridad en las operaciones de la navegación aérea.

Esta realidad mundial no deja de ser ajena en nuestro país, en este ámbito, el organismo estatal que regula y fiscaliza la seguridad de los aeródromos y aeropuertos del país es la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), quien es la encargada de velar por la seguridad aérea nacional, ya sea en territorio continental, territorio antártico chileno, Isla de Pascua y el archipiélago Juan Fernández.

La DGAC dentro de todas sus funciones, es la encargada de dotar, mantener y adquirir el equipamiento técnico utilizado en cada estación aeronáutica remota, aeródromo y aeropuerto a nivel nacional. La administración y mantenimiento del equipamiento se realiza a través del departamento logística, subdepartamento sistemas, centros zonales de mantenimiento y las oficinas de telecomunicaciones y electrónica, las cuales cuentan con profesionales del área eléctrica y electrónica capacitados, buscando cumplir los estándares exigidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), a través de la normativa anexo 14, diseño y operaciones de aeródromo, volumen I.

De acuerdo con lo anterior, la discusión se centrará en el equipamiento técnico instalado en el Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez (AMB). Los equipos en cuestión pertenecen al área electricidad aeroportuaria, el cual es el organismo encargado de mantener la funcionalidad operativa para cada sistema y activo que lo compone, desde su puesta en servicio operativo y hasta que el equipo es propuesto para la baja.

La problemática a plantear, tiene relación con la falta de trazabilidad en el funcionamiento de los equipos que componen los sistemas y/o subsistema, escasez de información fidedigna e histórica de la cantidad de fallas que han tenido durante su vida de operación y finalmente la falta de análisis de los sistema a través del Reliability Block Diagram (RBD).

En la actualidad, no existe una definición clara de cual o cuales son los equipos críticos del área, a su vez se evidencia la escasez de una herramienta computacional que pueda modelar o simular el comportamiento del equipo, frente a distintas situaciones de fallas que puedan ocurrir, en base a establecer o dinamizar los tiempos de funcionamiento esperado (MTBF), tiempos de reparación (MTTR), etc.

Finalmente, y de acuerdo a lo expresado anteriormente la investigación aportará datos y conclusiones relevantes para la gestión del mantenimiento del área electricidad aeroportuaria, a raíz de la cantidad de equipos que debe mantener, por lo tanto, el enfoque será dilucidar las interrogantes que puedan emerger en base a la investigación, es decir, ¿Cómo determinar los equipos críticos?, ¿Se puede modelar el equipo crítico a través de una herramienta matemática?, ¿Qué metodología se utilizará para el levantamiento de información de los indicadores?, todo ello con el fin de establecer una gestión eficiente con el correr del tiempo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Desarrollar un plan de mantenimiento determinando los activos críticos del área electricidad aeroportuaria, del aeropuerto Arturo Merino Benítez, a través de la evaluación de la data histórica de fallos, el rol dentro de los sistemas y subsistemas, con la finalidad de modelar a través del Reliability Centred Maintenance (RCM) y la Reliability Availability Maintainability (RAM).

1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar los equipos críticos que contiene el Área de Electricidad Aeroportuaria, en base a la aplicación de una matriz de indisponibilidad, con la finalidad de construir KPIs.
- Analizar los equipos/activos críticos de acuerdo a los modelos probabilísticos, el cual permita simular su comportamiento frente a las intervenciones de mantenimientos.
- Analizar mediante la herramienta Reliability Block Diagram los sistemas y subsistemas que existen en el aeropuerto Arturo Merino Benítez, con el fin de visualizar el impacto que produce una avería en los equipos que son parte de los sistemas y cual es el impacto de estos en los indicadores de confiabilidad y disponibilidad a crear.

2 | Marco Teórico

2.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance) es una de las estrategias más utilizadas en la industria para el diseño de estrategias y planes de mantenimiento, permite determinar convenientemente las necesidades de mantenimiento de cualquier activo físico en su entorno de operación. También se ha definido como un método que identifica las funciones de un sistema y la forma en que esas funciones pueden fallar, estableciendo a priori tareas de mantenimiento preventivo aplicables y efectivas [Viveros et al. \(2013\)](#).

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad posee un enfoque sistemático del mantenimiento, donde analiza los componentes de un activo dentro de un sistema, con la finalidad de poder clasificarlos a través de su criticidad, buscando crear un listado de tareas que validen el mantenimiento preventivo más riguroso de los activos decisivos, en consecuencia, dar la atención necesaria para suministrar las operaciones con un costo y eficiencia afín [Figura 2.1](#)

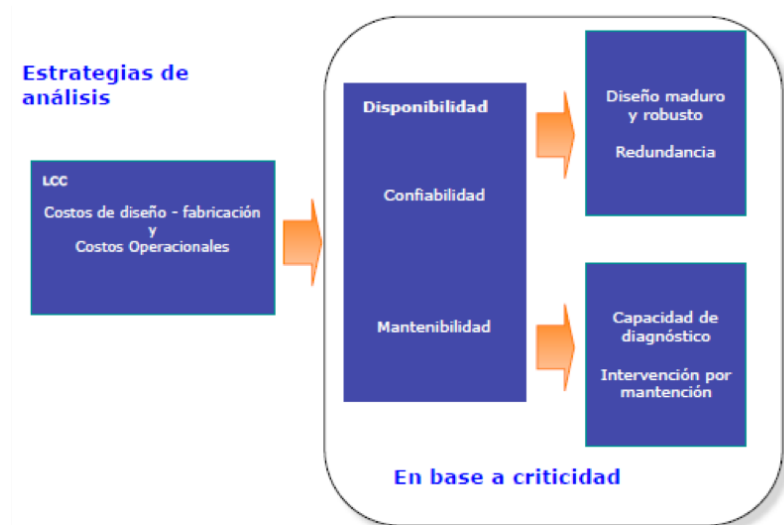


Figura 2.1: Estrategia de Análisis RCM

(Fuente: falta indicar la fuente.)

De acuerdo a lo anterior, el proceso RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar [Moubray \(2004\)](#):

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

3. ¿Cuál es la casusa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

De acuerdo con las siete preguntas, se debe desarrollar el análisis en base a las propuestas por el SAE-JA1012, el cual propone el uso de criterios de selección de los sistemas para incluir sistemas importantes al proceso RCM. Sin embargo, para lograr las propuestas del SAE se deben estudiar los criterios adicionales propuestos por el SAE -JA1012 [Rodríguez et al. \(2012\)](#).

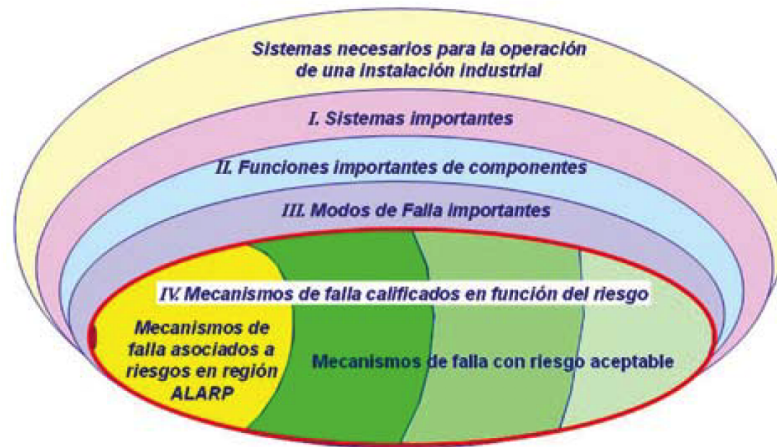


Figura 2.2: Universo de Posibles Fallas.

(Fuente: Implantación Gradual de estrategias de mantenimiento dentro de un proceso RCM.)

En la Figura 2.1, el universo de posibles fallas de todos los sistemas de una instalación se representa a través de las áreas más pequeñas, la pregunta que surge es ¿cómo el universo de fallas se puede reducir al aplicar otros criterios?.

Los criterios a utilizar para responder la pregunta anterior, se relacionan con los criterios del SAE-JA1011, es decir, sistemas que son importantes para la seguridad; el ambiente o la operación de la instalación; sistemas que manifiestan baja confiabilidad o disponibilidad; sistemas que tengan un intenso programa de mantenimiento correctivo o programa de mantenimiento preventivos, etc. [JA1011 \(1999\)](#).

2.1.1. Beneficios del RCM

Los beneficios del RCM buscan la obtención de tres resultados tangibles, es decir:

1. Programas de mantenimiento a ser realizados por el departamento de mantenimiento.
2. Procedimientos de operación revisados para los operadores de los activos.
3. Una lista de áreas donde cambios de una sola vez deben ser hechos, tanto en el diseño del activo en la manera en que es operado, de modo que manejar las situaciones donde los activos no pueden suministrar el estándar de funcionamiento deseado en la configuración actual.

Los puntos anteriores, están relacionados con satisfacer las necesidades de la tercera generación, en los ámbitos de mayor disponibilidad y confiabilidad de planta, mayor seguridad, mejor calidad del producto, ningún daño al medio ambiente, mayor vida de los equipos y mayor costo eficacia.

2.2. Teoría de la Confiabilidad

La confiabilidad nos orienta a comprender la teoría mediante modelos matemáticos y estadísticos, los cuales buscan explicar el comportamiento de los activos durante situaciones que van ocurriendo con el correr del tiempo, buscando orientar las estrategias de mantenimiento adecuadas para cada sistema y equipo.

Como el tiempo es un factor primordial cuando un elemento deja de funcionar, este se puede modelar como una falla aleatoria, por lo tanto, se puede determinar la confiabilidad como "la probabilidad de tener una falla del sistema o del elemento entre los instantes t y $(t + \Delta t)$, a condición de que el sistema haya sobrevivido hasta el tiempo t " Adolfo Arata (2006).

En la industria aeronáutica existen variadas formas de poder aumentar la confiabilidad de un equipo, ya sea reemplazando el equipo por uno nuevo, reemplazar piezas que puedan producir una falla significativas en el funcionamiento del sistema, etc. Si bien es cierto puede ser un camino a optar, dado que estamos aumentando la confiabilidad del equipo y el sistema en cuestión, sin embargo, se deja a un costado los recursos financieros que conlleva la adquisición de un equipo nuevo, lo cual afecta al presupuesto significativamente.

Para evitar que las decisiones impacten monetariamente, es fundamental analizar el comportamiento de los equipos en el tiempo, a través del registro de los eventos que puedan suceder mediante el análisis de falla, la cuál se representa a través de la función de falla en el tiempo $f(t)$, como la probabilidad que un elemento falle en un instante de tiempo t cualquiera.

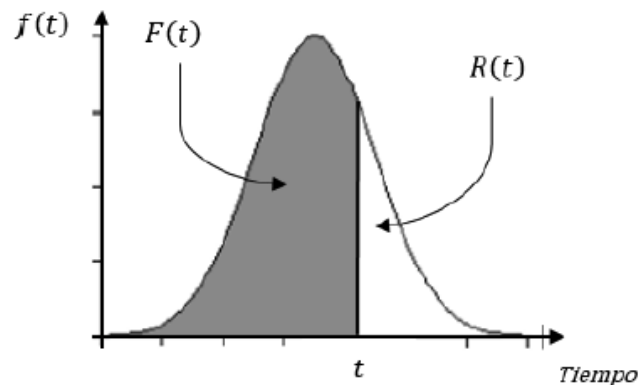


Figura 2.3: Función Densidad de probabilidad de Fallas.
(Fuente: Ingeniería de la Confiabilidad, Adolfo Arata.)

La función de probabilidad acumulada de falla se define matemáticamente como :

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2.1)$$

Entonces la confiabilidad se puede expresar como:

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = 1 - F(t) \quad (2.2)$$

Lo cual viene a representar el área sin achurar de la Figura 2.3.

Un indicador importante que nace con la determinación de la ecuación 2.2 y que nos permite conocer el tiempo de medio de funcionamiento de un equipo, pieza o sistema entre falla, es el MTBF (*Mean Time*

Between Failure), y se define como:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.3)$$

Como se definió anteriormente la confiabilidad, se puede analizar a mediante modelos probabilísticos que nos permitan establecer en qué situación o ciclo de vida se se encuentra nuestro equipo. Para comprender en que etapa o fase de encuentra el activo, se analizará a través de la Figura 2.4.



Figura 2.4: Curva Ciclo de Vida .

(Fuente: Ingeniería de la Confiabilidad, Adolfo Arata.)

La figura muestra 3 etapas o fases, las cuales se definen a continuación:

- Fase I
Representa la etapa de rodaje del equipo, con tasa de falla $\lambda(t)$ decreciente ($\lambda(t) < 1$) y se caracteriza por la distribución Weibull. Las fallas son asociadas normalmente a defectos de materiales, diseños deficientes, montajes descuidados o mantenimiento defectuosos, etc.
- Fase II
Representa la etapa de vida útil del equipo con tasa de falla sensiblemente constante $\lambda(t) = 1$, se modela por una curva exponencial negativa. Las fallas de origen o producen por sobrecarga del equipo, cambios en las condiciones de funcionamiento en base a las decisiones de los operadores.
- Fase III
Representa la etapa de desgaste del equipo con tasa de falla $\lambda(t) > 1$, se modela por una distribución normal y/o distribución weibull. Las fallas se producen por el desgaste del equipo o pérdida de funcionalidad causada por exceso, abuso o desuso. En esta situación llegan los equipos cuando el mantenimiento es elevado en sus costos, por lo tanto, es más costoso mantenerlos que reemplazarlos.

Las descripciones de las etapas o fases de la figura 2.4, se mencionó la tasa de falla $\lambda(t)$, esta se define como "la probabilidad de tener una falla del sistema o del elemento entre los instantes t y $(t+)$ a condición que el sistema haya sobrevivido hasta el tiempo t , Adolfo Arata (2006).

La tasa de falla instantánea se puede expresar matemáticamente como:

$$\lambda(t) = \frac{F(t+dt) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)} \quad (2.4)$$

Integrando en ambos lados de la ecuación y luego aplicando la exponencial, se tiene:

$$e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = 1 - F(t) \quad (2.5)$$

Por lo tanto, se tiene que la confiabilidad se expresará como:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = 1 - F(t) \quad (2.6)$$

De lo anterior, podemos determinar la probabilidad acumulada de de falla ($F(t)$) como:

$$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2.7)$$

La función de falla se expresa como:

$$f(t) = \lambda(t) e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2.8)$$

Finalmente, al reemplazar las ecuaciones 2.8 y 2.6 en la ecuación 2.4 se tiene que la tasa de falla $\lambda(t)$ se determina como:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.9)$$

2.3. Disponibilidad

La disponibilidad se define cómo, la relación porcentual entre el tiempo de funcionamiento de un equipo, sistema o subsistema y el tiempo total de ellos, es decir:

$$A = \frac{UT}{UT + DT} \quad (2.10)$$

Donde:

- UT (up time): tiempo del sistema cuando se encuentra disponible para su operación (funcionamiento).
- DT (down time): tiempo en que el sistema se encuentra fuera de servicio (falla, mantenimiento).

En relación a la ecuación 2.10, podemos definir el concepto de disponibilidad como disponibilidad esperada, para ello, debemos incorporar las variables $MTBF$ y $MTTR$, es decir:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.11)$$

Donde:

- MTBF (mean time between failure): esperanza en tiempo de buen funcionamiento.
- MTTR (mean time to repair): esperanza en tiempo de mantención.

2.4. Mantenibilidad

La mantenibilidad se define como la probabilidad de restablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos, o simplemente la probabilidad de un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo t [Grajales et al. \(2006\)](#).

Cabe destacar y aclarar que la mantenibilidad no es lo mismo que el MTTR (*Mean Time to Repair*), sino que es un conjunto de factores o elementos (medios de verificación, personal empleado, calibración), dado que cuando se habla de mantenibilidad se incorpora la variabilidad a la hora de efectuar una reparación en el equipo, es decir, aparecen los tiempos de reparación, montaje, desmontaje, limpieza, calibración, pruebas en vacío (ajustes), encontrar la falla y reunión de la piezas y/o materiales a utilizar, [Kardec y Nascif \(2002\)](#).

La distribución de probabilidad quedará fijada a través del tiempo medio de reparación (*Mean Time to Repair*), por lo tanto, y realizando un símil a la confiabilidad, la mantenibilidad queda determinada por la tasa de reparación por unidad de tiempo μ y su inversa ($1/\mu$) viene siendo igual a $MTTR^{-1}$

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}} \quad (2.12)$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t} \quad (2.13)$$

Donde:

- $M(t)$: función de mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo $t = 0$ y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo t .
- e : constante neperiana.
- μ : tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.
- t : tiempo previsto de reparación.

Finalmente, para el presente estudio de determino modelar la mantenibilidad a través de la distribución Weibull, teniendo claro que la distribución Log Normal es la más representativa.

2.5. Distribución Ley de Weibull

Función utilizada por su versatilidad, ya que adopta valores de sus parámetros que permiten determinar la fase del ciclo de vida que se encuentra el equipo. Las implicaciones físicas, teóricas, algebraicas, y gráficas son algunos aspectos interesantes que generan y dan lugar a una gran cantidad de trabajos diversos [Moreno et al. \(2011\)](#).

La función densidad de probabilidad, se expresa como:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta} \quad (2.14)$$

donde:

- β : constante de forma.
 - $\beta < 1$, $\lambda(t)$ es decreciente.
 - $\beta = 1$, $\lambda(t)$ es constante.

- $\beta > 1$, $\lambda(t)$ es creciente.
- α : constante de escala.
- γ : constante de localización.

La confiabilidad, se expresa como:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta} \quad (2.15)$$

La tasa de falla, se expresa como:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.16)$$

La esperanza de tiempo de buen funcionamiento, se expresa como:

$$MTBF = \gamma + \alpha \cdot \Gamma\left(\frac{\beta+1}{\beta}\right) \quad (2.17)$$

Donde:

- Γ : función gamma

Para comenzar a determinar los parámetros de la función weibull, primero se debe construir la función de falla acumulada ($F(t)$), para ello se utilizará el método de rangos promedio mediante la aproximación de Bernard.

$$F(t_j) = \frac{K_j - 0,3}{N_0 + 0,4} \quad (2.18)$$

Donde:

- $F(t_j)$: Probabilidad de fallas acumuladas al tiempo t_j .
- K_j : N° de eventos (fallas) que han ocurrido hasta t_j .
- N_0 : N° total de eventos.

Si el listado de fallas de los equipos a evaluar contiene datos repetidos o tiempos en los cuales el elemento fue reemplazado en un momento previo a que este evidenciara una falla (por ejemplo, frente a una política de mantenimiento preventivo cíclico FTM). Significa que en este último caso estamos frente a tiempos censurados a la derecha, es decir, el tiempo de operación del elemento fue suspendido, por la acción preventiva, sin conocer cuánto tiempo adicional habría funcionado hasta fallar [Stegmaier \(2007\)](#).

Por lo tanto, se utilizará el cálculo de ranking ajustado con datos censurados a la derecha, y se expresa como:

$$r_j = r_{j-1} + \frac{N+1-r_{j-1}}{N+1-(k_j-1)} \quad (2.19)$$

Donde:

- r_j : Posición media de falla j .
- k_j : Ranking global de eventos.

- N : N° de eventos.

Luego de obtener la función de falla acumulada con los métodos antes mencionados, se calculará la confiabilidad, dada por la siguiente expresión:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.20)$$

De la ecuación anterior, podemos obtener los parámetros weibull realizando una serie de acciones matemáticas, que nos permitan reemplazar o arreglar la ecuación 2.20 y que se pueda expresar como una ecuación lineal.

Para lograr el objetivo anterior, se arreglará la ecuación 2.20, luego se multiplicará en ambos lados por logaritmo natural, teniendo lo siguiente:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} \ln(1 - F(t)) &= -\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \\ \ln[-\ln\{1 - F(t)\}] &= -\beta \cdot \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(t) \\ y &= \ln[-\ln\{1 - F(t)\}] \\ a &= -\beta \cdot \ln(\alpha) \\ b &= \beta \\ x &= \ln(t) \end{aligned}$$

Por lo tanto, la ecuación de la recta queda como:

$$y = a + bx \quad (2.22)$$

Como ya se explicaron los pasos para determinar los parámetros weibull, ahora se debe realizar la obtención del MTTR, en este caso se utilizará la misma metodología antes mencionada, sin embargo, en vez de utilizar los tiempos medio de buen funcionamiento, se trabajará con los tiempo de reparación de cada falla de nuestro registro.

Luego se ordenan los tiempos de forma decreciente (time to repair), con el propósito de utilizar la aproximación *Bernard*, de esta manera se tiene la probabilidad que el equipo pase de la etapa de no funcionamiento hacia la funcionalidad, es decir:

$$M(t) = \frac{K_j - 0,3}{N_0 + 0,4} \quad (2.23)$$

Luego, determinando los valores de los parámetros $x = \ln(TTR)$, $y = \ln\{-\ln(1 - M(t))\}$, se calculará la regresión simple de la Ecuación 2.20 para encontrar finalmente los valores de x e y , de esta forma se determinarán los nuevos parámetros weibull, con la finalidad de encontrar el valor del MTTR.

Sin embargo, para buscar el valor correcto del MTTR se debe encontrar el valor de γ que nos permita determinar fehacientemente la variable, de acuerdo con la ecuación 2.17.

Para establecer un criterio que logre tomar la decisión adecuada, nuestra función será encontrar el valor de γ que maximice la correlación (r_{xy}) de los datos analizados, para tales efectos se utilizará la herramienta SOLVER de excel.

Por último, con los parámetros ya determinados, se obtendrán los valores para el MTBF, MTTR, $\lambda(t)$, disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, para un periodo de tiempo de acuerdo con los datos históricos levantados.

2.6. Método Representación Jack-Knife

Corresponde a un estudio multicriterio de las distintas variables involucradas, o que inciden en los modos de falla, tales como: frecuencia de ocurrencia de falla (tasa de falla promedio), número de fallas, tiempo fuera de servicio (MTTR), costos asociados, entre otros. El mecanismo en sí de análisis, es un diagrama en dos o más dimensiones, en donde cada una de éstas corresponde a una variable de estudio [Viveros et al. \(2013\)](#).

Este método, se basa en la dispersión logarítmica, por lo tanto, puede ser dividido en 4 cuadrantes:

- **Cuadrante Inferior Izquierdo:** falla leve, son fallas con un bajo tiempo de reparación y con una baja frecuencia de ocurrencia.
- **Cuadrante Superior Izquierdo:** fallas agudas, son fallas controladas pero el equipo se encuentra fuera de servicio por un tiempo prolongado.
- **Cuadrante Superior Derecho:** falla aguda y crónica, son fallas con alto tiempo en su reparación y con alta frecuencia de ocurrencia.
- **Cuadrante Inferior Derecho:** fallas crónicas, son fallas con un bajo tiempo de reparación, pero con alta frecuencia de ocurrencia.

Los cuadrantes se forman a través de dos límites, es decir, el límite *MTTR* y límite de *N*, ambos pueden ser establecidos por la respectiva área de mantenimiento o bien pueden ser obtenidos a través cálculos dependientes de magnitudes relativas.

En síntesis, podemos decir que los modos de fallas ubicados en el primer cuadrante son aquellos que poseen una frecuencia mayor al promedio (crónicos) y un tiempo fuera de servicio mayor al promedio (agudos), por lo que son candidatos importantes en la escala de criticidad. Adicionalmente, se puede trazar una recta de isodisponibilidad, de manera que se identifiquen los modos de fallas que generen una indisponibilidad mayor a la planteada o la esperada [Adolfo Arata \(2013\)](#).

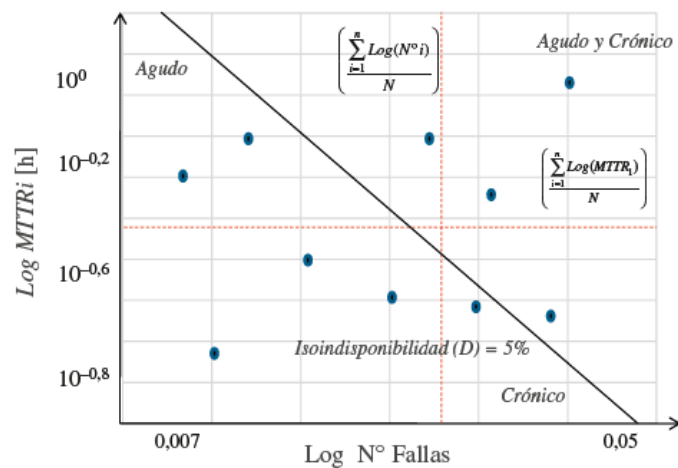


Figura 2.5: Gráfico Jack-knife .

(Fuente: Adolfo Arata 2013, Ingeniería de la Confiabilidad)

Donde:

- $MTTR_i$: tiempo medio de reparación del modo de falla i .
- N_i : número de intervenciones del modo de falla i .
- N : número de modos de falla del Equipo/Sistema.
- $\left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}(N_i)}{N}\right)$: promedio del logaritmo del número de intervenciones de los N modos de falla.
- $\left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}(MTTR_i)}{N}\right)$: promedio del logaritmo del tiempo medio de reparación de los N modos de falla.

Como se aprecia en la Figura 2.5, podemos establecer en qué zona se ubica el equipo a analizar, dada la cantidad de fallas y su tiempo medio de reparación ($MTTR_i$). Con ello y a través de la curva de isodisponibilidad podemos obtener la zona en cuestión del activo.

Las propuestas de mejora, según la distribución de los modos de falla/equipos/subsistemas en el gráfico, darán la pauta para enfrentar el problema desde el punto de vista de la confiabilidad, producto de la alta frecuencia de intervención, o bien desde la mantenibilidad, dados los altos tiempos medios de reparación.

Finalmente, la gráfica Jack Knife, nos servirá para evaluar a través del levantamiento de los datos y determinar cuál o cuáles son los equipos críticos del sistema de generación de energía secundaria del Ap. Arturo Merino Benítez, con la finalidad de establecer estrategias de mantenimiento que permitan con el tiempo mejorar los indicadores que hemos vistos, como también generar instancias para la mejora continua de los procesos del área electricidad aeroportuaria de la DGAC.

2.7. Representación de Sistemas

De acuerdo a la metodología RCA conoceremos a través de la modelación sistémica RBD (Reliability Block Diagram) la funcionalidad de los sistemas de ayudas visuales y sistemas de generación de energía secundaria del aeropuerto de Santiago, con la finalidad de determinar las expresiones de disponibilidad y confiabilidad de cada uno de ellos.

Para definir correctamente las configuraciones existentes de cada sistema y subsistema, se utilizará la modelación RBD, la cual es una técnica de análisis gráfico que expresa al sistema en cuestión como una conexión de componentes según su relación lógica de confiabilidad” [Arata \(2009\)](#).

Por lo tanto, se debe ser cuidadoso en cómo diagramar el proceso, con el fin de poder establecer los escenarios que generen discontinuidad del proceso.

Para los sistemas antes mencionados, se evaluará a través de las configuraciones en serie, redundancia total, parcial y sistema standby, de acuerdo con las siguientes imágenes y ecuaciones respectivas:

Configuración Serie:

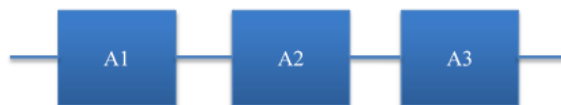


Figura 2.6: Configuración Sistema Serie.
(Fuente: Ingeniería de la Confiabilidad, Adolfo Arata.)

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) \quad (2.24)$$

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (2.25)$$

Configuración Redundancia Total:

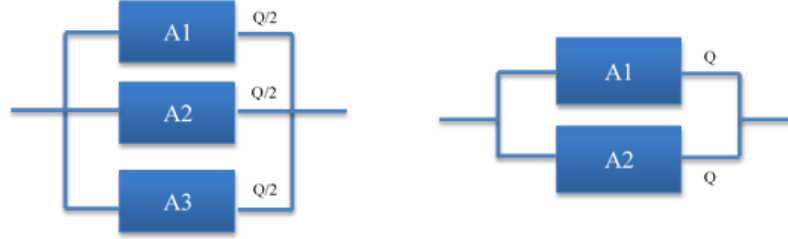


Figura 2.7: Configuración Sistema Redundancia Parcial - Redundancia Total .
(Fuente: Ingeniería de la Confiabilidad, Rodolfo Arata.)

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots + R_2(t) \cdot (1 - R_1(t)) + (1 - R_1(t)) \cdot R_2(t) \quad (2.26)$$

Si se tiene más de 2 subsistemas en paralelo, el calculo se simplificará como:

$$F_s(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot \dots + F_3(t) \cdot \dots \cdot F_n(t) \quad (2.27)$$

$$F_s = \prod_{i=1}^n F_i \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (2.28)$$

$$F_s(t) = (1 - F_1(t)) \quad (2.29)$$

Por lo tanto, la confiabilidad del sistema redundancia total, queda expresada como:

$$F_s(t) = \left(1 - \prod_{i=1}^n F_i \right) \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (2.30)$$

Configuración Redundancia Parcial:

$$R_s(t) = P(r \leq j \leq n) = \sum_{j=1}^n \binom{n}{j} \cdot R^j (1 - R)^{(n-j)} \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (2.31)$$

Donde R_s es la confiabilidad del sistema en un determinado tiempo t y en un sistema integrado por n elementos iguales, del cual solo se requiere un r mínimo de equipos que estén en buen funcionamiento.

Configuración Sistema Standby:

En relación a las configuraciones anteriores, esta incorpora un elemento adicional en el diagrama RBD, que es el conmutador C , es el encargado de establecer en qué instante de tiempo τ comienza a operar la maquina B cuando existe un problema de funcionalidad en A . Ver Figura 2.8.

$$R_s(t) = R_A(t) + \int_0^t f_A(t) \cdot R_B(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (2.32)$$

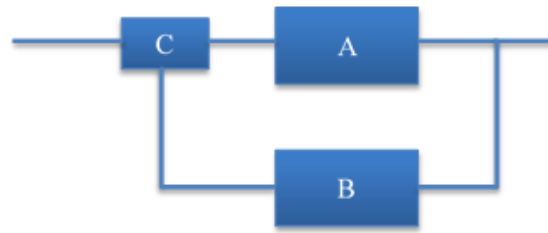


Figura 2.8: Configuración Sistema Standby.
(Fuente: Ingeniería de la Confiabilidad, Adolfo Arata.)

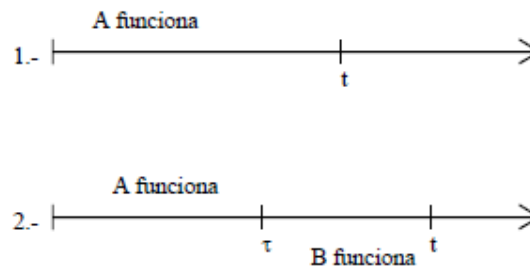


Figura 2.9: Representación en el Tiempo .
(Fuente: Ingeniería de la Confiabilidad, Adolfo Arata.)

La ecuación 2.32, se explica a través de la Figura 2.9, es decir:

- Caso 1: el equipo *A* funciona para un periodo t determinado.
- Caso 2: el equipo *A* funciona hasta que se produce la falla en el tiempo τ , posterior a τ el equipo *B* comienza a operar a través del accionamiento por el conmutador *C*, hasta que se recupera la funcionalidad del equipo *A* en un tiempo t posterior.

Finalmente, la modelación *RBD* permitirá establecer los *KPIs* necesarios de los sistemas y subsistemas que tiene el aeropuerto, con el objetivo, de aplicar nuevos criterios en las funciones de mantenimiento del área de electricidad aeroportuaria, buscando con ello generar nuevos parámetros de acción frente a los supuestos que puedan establecer en post de la mejora continua.

3 | Análisis

3.1. Dirección General de Aeronáutica Civil

3.2. Aeropuerto Arturo Merino Benítez

El Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez es el principal terminal aéreo del país, el cual alberga la mayor cantidad de equipamientos referente a los sistemas eléctricos y sistemas electrónicos en la actualidad a nivel nacional. En él se desarrollan las operaciones de vuelos más trascendentales, como son, vuelos diplomáticos, comerciales en el ámbito nacional e internacional, vuelos ejecutivos y el transporte de carga.

Durante el año 2016 y en lo que va del presente año, las operaciones de vuelos nacionales y extranjeros de Aeronáutica Civil (2018) ha ido en aumento. A raíz de esta situación y de la actual ampliación del aeropuerto, es que juega un rol importante la Dirección General de Aeronáutica Civil, entidad gubernamental que es la encargada de la seguridad operacional de los aeropuertos y aeródromos del país.

La DGAC dentro de su estructura organizacional (Figura 3.1) se compone de 13 departamentos, los cuales juegan un rol estratégico en post de entregar un servicio de excelencia para la seguridad en la navegación aérea. Por lo tanto, es imprescindible que las diversas áreas operativas y administrativas que integran cada departamento, entreguen un servicio responsable, ético y profesional, con el propósito de brindar seguridad en las operaciones aéreas requerida en los vuelos a lo largo del país.

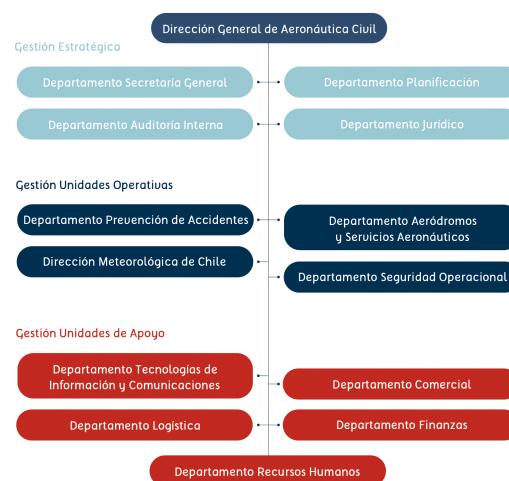


Figura 3.1: Estructura Organizacional Dirección General de Aeronáutica Civil, DGAC.
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2018.)

3.3. Área Electricidad Aeroportuaria

El área de electricidad aeroportuaria tiene a su cargo todo el sistema eléctrico perteneciente a la DGAC, el cual administra y mantiene los distintos sistemas (Figura 3.2) que se encuentran distribuidos en el interior del aeropuerto, es decir, sistemas de ayudas visuales, sistemas de generación de energía secundaria y sistema de distribución de energía en MT.

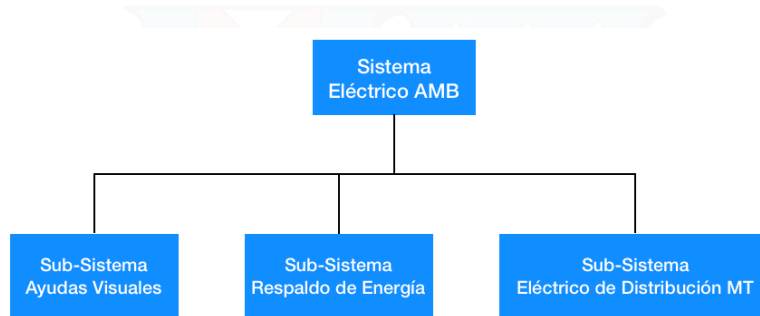


Figura 3.2: Sistema Eléctrico SS.EE. AMB, DGAC.
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil.)

El Área se compone de 27 profesionales distribuidos de acuerdo al organigrama de la Figura 3.3, las funciones que desempeñan los profesionales están basada dentro de una estructura orgánica establecida, donde se encuentra liderada por el Jefe del Área, la Oficina Programación y Control quienes son los asesores directo del jefe de área. En esta oficina se generan las ordenes de trabajo (OT) relacionadas con los mantenimientos preventivos y correctivos, se elabora el anteproyecto presupuestario, diseño y creación de especificaciones técnicas para la adquisición de insumos y mejoras estructurales de las instalaciones, etc.

Bajo la Oficina PyC, se encuentran dos (02) áreas demarcadas dentro de la orgánica, como lo son el mantenimiento de ayudas visuales y mantenimiento de los sistemas de energía secundaria.

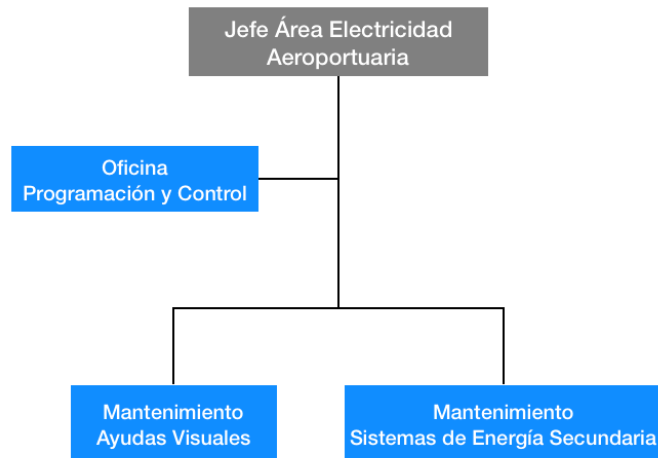


Figura 3.3: Organigrama Electricidad Aeroportuaria.
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil.)

■ Ayudas Visuales

Se compone de profesionales ingenieros eléctricos y técnico de nivel superior, los cuales se desempeñan en roles de turnos de 12 horas diarias, las 24 horas y los 365 días del año. Son los encargados de inspeccionar, mantener y reparar los equipos de ayudas visuales que tienen relación con la iluminación de las pistas de aterrizaje, calles de rodaje y el control remoto del funcionamiento de ellos instalado en la Torre de Control.

■ Generación de Energía Secundaria

Se compone de profesionales ingenieros eléctricos y técnico de nivel superior, se encargan de inspeccionar, mantener y reparar el estado de los grupos electrógenos, sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI), las cuales se encuentran ubicadas al interior del complejo AMB.

3.3.1. Sistemas de Ayudas Visuales

Los sistemas de ayudas visuales (de [Aviación Civil Internacional \(2016\)](#)) se componen de equipos instalados en calles de rodaje, pistas de aterrizaje. Su función es entregar información visual a los pilotos de las aeronaves durante el recorrido entre puente de embarque y las calles de rodaje y pistas de aterrizajes. Para lograr su cometido estos sistemas se subdivide en varios subsistemas que a continuación se nombran y explican:

3.3.1.1. Sistema de Aproximación

El sistema de aproximación está compuesto por las siguientes categoría:

- **Categoría I (CAT I):** sistema iluminación de pista que consiste en una fila de luces situadas en la prolongación del eje de pista, extendiéndose donde sea posible, hasta una distancia de 900 m a partir del umbral, con una fila de luces que formen una barra transversal de 30 m de longitud, a una distancia de 300 m del umbral de la pista.
- **Categoría II y III (CAT II - CAT III):** sistema de iluminación de pistas de categorías II y III que consiste en una fila de luces situadas en la prolongación del eje de la pista extendiéndose, donde sea posible, hasta una distancia de 900 m a partir del umbral de la pista, este sistema tendrá dos filas laterales de luces, que se extenderán hasta 270 m a partir del umbral, y dos barras transversales, una a 150 m y la otra a 300 m del umbral.

La cantidad de elementos y equipos que contiene un sistema de aproximación de categoría III de la pista 17L - 35R, se indican en la siguiente Tabla 3.1:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas Elevadas 200[W]	ABD SAFEGATE	FAE 1- 200	195
Balizas Empotradas 3x105[W]	ADB SAFEGATE	FAP 1- 300	33
Balizas Elevadas de Destello	ADB SAFEGATE	FAE 1- 500	21
Regulador Corriente Constante 10[kW]	ADB SAFEGATE	TCR - 500	2
Regulador Corriente Constante 25[kW]	ADB SAFEGATE	TCR - 500	2

Tabla 3.1: Equipos y Elementos que componen el Sistema de Aproximación Pista 17L - 35R

La cantidad de elementos y equipos que contiene un sistema de aproximación de categoría I de la pista 17R - 35L, se indican en la siguiente Tabla 3.2:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas Elevadas 200[W]	ABD SAFEGATE	UEL 1- 300	80
Balizas Empotradas 3x105[W]	ADB SAFEGATE	FAP 1- 300	56
Balizas Elevadas de Destello	ADB SAFEGATE	UEL 1- 120	20
Balizas Empotrada de Destello	ADB SAFEGATE	-	10
Regulador Corriente Constante 25[kW]	ADB SAFEGATE	MCR- 5000	2

Tabla 3.2: Equipos y Elementos que componen el Sistema de Aproximación Pista 17R- 35L



Figura 3.4: Luces de Aproximación Pista 17L.

(Fuente: Propia)

3.3.1.2. Sistema Reil

Sistema que identifica el umbral de pista, se utiliza en las pistas que no son de precisión, cuando sea necesario hacerlo más visible o cuando no puedan instalarse otras ayudas luminosas para la aproximación y cuando el umbral este desplazado permanentemente del extremo de la pista o desplazado temporalmente de su posición y se necesite hacerlo más visible.

La cantidad de elementos y equipos que contiene el sistema Reil de la pista 17L - 35R, se indican en la siguiente Tabla 3.3:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas Empotradas	ABD SAFEGATE	-	2
Balizas Elevadas	ABD SAFEGATE	-	2
Gabinete unidad Maestra	ADB SAFEGATE	UDC 3607/7	1
Gabinete unidad Esclava	ADB SAFEGATE	UDC 3607/7	1

Tabla 3.3: Equipos y Elementos que componen el Sistema Reil pista 17L - 35R

La cantidad de elementos y equipos que contiene el sistema Reil de la pista 17R - 35L, se indican en la siguiente Tabla 3.4:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas Elevadas	ABD SAFEGATE	-	4
Gabinete unidad Maestra	ADB SAFEGATE	FCU - 3	2
Gabinete unidad Esclava	ADB SAFEGATE	FCU - 3	2

Tabla 3.4: Equipos y Elementos que componen el Sistema Reil pista 17R - 35L

3.3.1.3. Sistemas Borde, Umbral y Término Pista

- **Borde de Pista:** es utilizado en las pistas destinadas a uso nocturno, o en una pista para aproximaciones de precisión destinada a uso diurno o nocturno. Las luces de borde de pista se emplazarán a todo lo largo de ésta, en dos filas paralelas y equidistantes del eje de la pista.

Las luces estarán espaciadas uniformemente en filas, a intervalos no mayores de 60 m en una pista de vuelo por instrumentos, y a intervalos no mayores de 100 m en una pista de vuelo visual. Las luces a uno y otro lado del eje de la pista estarán dispuestas en líneas perpendiculares al mismo. En las intersecciones de las pistas, las luces pueden espaciarse irregularmente o bien omitirse, siempre que los pilotos sigan disponiendo de guía adecuada.

- **Umbral de Pista:** se utiliza en pistas pavimentadas de vuelo por instrumento y en las pistas pavimentadas de vuelo cuyo número de clave sea 3 o 4 y estén definidas al transporte aéreo comercial internacional. Así mismo, una señal de umbral de pista consistirá en una configuración de fajas longitudinales de dimensiones uniformes, dispuestas simétricamente con respecto al eje de la pista. El número de fajas estará de acuerdo con la anchura de la pista.
- **Término de Pista:** se usa en pistas dotadas de luces de borde de pista, se emplazarán en una línea perpendicular al eje de la pista, tan cerca del extremo como sea posible y en ningún caso a más de 3 m al exterior del mismo. La iluminación de extremo de pista debería consistir en seis luces por lo menos.

Las luces deberían estar espaciadas uniformemente entre las filas de luces de borde de pista; o dispuestas simétricamente respecto al eje de la pista en dos grupos, con las luces uniformemente espaciadas en cada grupo y con un espacio vacío entre los grupos no mayor que la mitad de la distancia entre las filas de luces de borde de pista.

La cantidad de elementos y equipos que contiene los sistemas de borde, umbral y término de pista 17L - 35R, se indican en la Tabla 3.5:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas Elevadas Borde Pista 105[W]	CROUSE-HINDS/ADB	L-862	110
Balizas Empotrada Umbral - Término Pista 105[W]	ADB SAFEGATE	FTH 1 - 200	-
Balizas Empotradas 120[W]	ADB SAFEGATE	FTE 2 - 300	-
Balizas Empotradas 120[W]	ADB SAGEGATE	FEN 1 - 100	-
Regulador Corriente Constante 20[kW]	ADB	TCR 5000	2

Tabla 3.5: Equipos y Elementos que componen los Sistemas Borde, Umbral y Término de Pista 17L - 35R

La cantidad de elementos y equipos que contiene los sistemas de borde, umbral y término de pista 17R - 35L, se indican en la siguiente Tabla 3.6:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas Elevadas 120[W]	ADB	BEP 2 - 150	150
Balizas Empotradas 120[W]	ADB	FTH 1 - 200	-
Balizas Empotradas 120[W]	ADB	FTE 2 - 300	-
Balizas Empotradas 120[W]	ADB	FEN 1 - 100	-
Regulador Corriente Constante 5[kW]	ADB	MCR 5000	1
Regulador Corriente Constante 25[kW]	ADB	MCR 5000	2

Tabla 3.6: Equipos y Elementos que componen los Sistemas Borde, Umbral y Término de Pista.

3.3.1.4. Sistema PAPI

El sistema PAPI es utilizado para para facilitar la aproximación a una pista, que cuente o no con otras ayudas para la aproximación, visuales o no visuales. Este sistema consistirá en una barra de ala con cuatro elementos de lámparas múltiples (o sencillas por pares) de transición definida situados a intervalos iguales. El sistema se colocará al lado izquierdo de la pista, a menos que sea materialmente imposible.

La cantidad de elementos y equipos que contiene el Sistema PAPI en la pista 17L - 35R, se indican en la siguiente Tabla 3.7:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Proyector	CROUSE HINDS	FTZ - 45	8
Luz 105[W]	CROUSE HINDS	-	8
Regulador Corriente Constante 4[kW]	CROUSE HINDS	FAA L - 828	2

Tabla 3.7: Equipos y Elementos que componen el Sistema PAPI 17L - 35R.

La cantidad de elementos y equipos que contiene los sistemas de borde, umbral y término de pista 17R - 35L, se indican en la siguiente Tabla 3.8:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Proyector	ADB SAFEGATE	PPL 400/2	8
Luz 105[W]	ADB SAFEGATE	-	8
Regulador Corriente Constante 4[kW]	ADB SAFEGATE	MCR 5000	2
Selector	ADB SAFEGATE	CSM	1

Tabla 3.8: Equipos y Elementos que componen el Sistema PAPI 17R - 35L.



Figura 3.5: Luces Indicadoras de Pendiente de Aproximación (PAPI) Pista 17L.
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019))

3.3.1.5. Sistema Eje de Pista

El sistema eje de pista se utiliza en todas las pistas para aproximaciones de precisión de categoría II o III. Las luces de eje de pista se emplazarán a lo largo del eje de la pista. Las luces se emplazarán desde el umbral hasta el extremo, con un espaciado longitudinal aproximado de 15 m.

Las características de las luces de eje de pista serán luces fijas de color blanco variable desde el umbral hasta el punto situado a 900 m del extremo de pista; luces alternadas de colores rojo y blanco variable desde 900 m hasta 300 m del extremo de pista, y de color rojo desde 300 m hasta el extremo de pista, excepto que, en el caso de pistas de longitud inferior a 1800 m, las luces alternadas de colores rojo y blanco variable se extenderán desde el punto medio de la pista utilizable para el aterrizaje hasta 300 m del extremo de la pista.

La cantidad de elementos y equipos que contiene el Sistema Eje de Pista 17L - 35R, se indican en la siguiente Tabla 3.9:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas empotradas ???[W]	ADB SAFEGATE	FCR 2 - 090	249
Regulador Corriente Constante 15[kW]	ADB SAFEGATE	TCR - 5000	2

Tabla 3.9: Equipos y Elementos que componen el Sistema Eje de Pista 17L - 35R.

La cantidad de elementos y equipos que contiene el Sistema Eje de Pista 17R - 35L, se indican en la siguiente Tabla 3.10:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas empotradas ???[W]	ADB SAFEGATE	FCR - 2 - 090	253
Regulador Corriente Constante 20[kW]	ADB SAFEGATE	MCR - 5000	2

Tabla 3.10: Equipos y Elementos que componen el Sistema Eje de Pista 17R - 35L.



Figura 3.6: Ayudas Visuales Pista de Aterrizaje.
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil.)

3.3.1.6. Sistema Toma de Contacto

Los sistemas de toma de contacto (*TDZ*) se instalarán en la zona de toma de contacto de una pista para aproximaciones de precisión de categoría II o III. Las luces de zona de toma de contacto se extenderán desde el umbral hasta una distancia longitudinal de 900 m. La instalación estará dispuesta en forma de pares de barretas simétricamente colocadas respecto al eje de la pista.

La cantidad de elementos y equipos que contiene el Sistema Toma de Contacto Pista 17L - 35R, se indican en la siguiente Tabla 3.11:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas empotradas 7.5[kW]	ADB SAFEGATE	FTZ 1 - 45	180
Regulador Corriente Constante 7.5[kW]	ADB SAFEGATE	TCR - 5000	2

Tabla 3.11: Equipos y Elementos que componen el Sistema Toma de Contacto Pista 17L - 35R.

3.3.1.7. Sistema Eje Calle de Rodaje

Es utilizado para instalar en las calles de salida de pista, calles de rodaje, instalaciones de deshielo/antihielo y plataformas destinadas a ser utilizadas en condiciones de alcance visual en la pista inferiores a 350 m, de manera que proporcionen una guía continua entre el eje de la pista y los puestos de estacionamiento de aeronaves.

La cantidad de elementos y equipos que contiene el Sistema Eje de Rodaje asociado a la 17L - 35R, se indican en la siguiente Tabla 3.12:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas empotradas 48[W]	ADB SAFEGATE	FTS 1 - 065	-
Balizas empotradas 48[W]	ADB SAFEGATE	FTC 2 - 065	-
Regulador Corriente Constante 2.5[kW]	ADB SAFEGATE	TCR - 5000	1
Regulador Corriente Constante 7.5[kW]	ADB SAFEGATE	TCR - 5000	1
Regulador Corriente Constante 10[kW]	ADB SAFEGATE	TCR - 5000	7

Tabla 3.12: Equipos y Elementos que componen el Sistema Toma de Contacto Pista 17L - 35R.

La cantidad de elementos y equipos que contiene el Sistema Eje de Rodaje asociado a la 17R - 35L, se indican en la siguiente Tabla 3.13:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Balizas empotradas 48[W]	ADB SAFEGATE	LTS 2 - G/G	-
Balizas empotradas 48[W]	ADB SAFEGATE	LTC 2 - A/G	-
Regulador Corriente Constante 4[kW]	ADB SAFEGATE	MCR - 5000	3
Regulador Corriente Constante 5[kW]	ADB SAFEGATE	MCR - 5000	3
Regulador Corriente Constante 7.5[kW]	ADB SAFEGATE	MCR - 5000	2
Regulador Corriente Constante 10[kW]	ADB SAFEGATE	MCR - 5000	6

Tabla 3.13: Equipos y Elementos que componen el Sistema Toma de Contacto Pista 17R - 35L.

3.3.1.8. Sistema Borde Calle de Rodaje - Letreros Guía

- **Borde Calle de Rodaje:** es utilizado para iluminar los bordes de una plataforma de viraje en la pista, apartaderos de espera, instalaciones de deshielo/antihielo, plataformas, etc., que hayan de usarse de noche, y en las calles de rodaje que no dispongan de luces de eje de calles de rodaje y que estén destinadas a usarse de noche. Estas se disponen con un espaciado longitudinal uniforme que no exceda de 60 m, en las curvas, las luces deberían estar espaciadas a intervalos inferiores a 60 m a fin de que proporcionen una clara indicación de la curva.

La característica de las luces serán fijas de color azul, visibles por lo menos hasta 75° por encima de la horizontal y desde todos los ángulos de azimut necesarios para proporcionar guía a los pilotos que circulen en cualquiera de los dos sentidos.

- **Letreros Guía:** se proporcionarán para indicar una instrucción obligatoria, una información sobre un emplazamiento o destino particular en el área de movimiento o para suministrar otra información a fin de satisfacer los requisitos. Las características de los letreros serán frangibles. Los que estén situados cerca de una pista o de una calle de rodaje serán lo suficientemente bajos como para conservar la distancia de guarda respecto a las hélices y las barquillas de los reactores.

La cantidad de elementos y equipos que contiene el Sistema Borde de Pista y Letreros Guías asociado a la pista 17L - 35R, se indican en la siguiente Tabla 3.14:

Equipo/Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Señales Guía ??[W]	ADB SAFEGATE		40
Regulador Corriente Constante 20[kW]	ADB SAFEGATE	MCR - 5000	1
Regulador Corriente Constante 12.5[kW]	ADB SAFEGATE	MCR - 5000	1

Tabla 3.14: Equipos y Elementos que componen Letreros Guías asociados a la Pista 17R - 35L.



Figura 3.7: Letrero Guía

(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2018.)

3.3.2. Sistema de Generación de Energía Secundaria

El sistema de respaldo de energía eléctrica es un complemento vital dentro del sistema eléctrico general en AMB, dado que fue diseñado e instalado para operar al momento que se produzca una falla del suministro eléctrico de la red de energía de la compañía eléctrica de distribución, de esta manera este sistema brinda energía a las ayudas visuales y equipos sensibles dentro del aeropuerto mientras dure la falla del suministro eléctrico de [Aviación Civil Internacional \(1983\)](#). Este sistema se compone por los siguientes subsistemas:

3.3.2.1. Grupos Electrónicos

El área de electricidad aeroportuaria tiene instalado en la actualidad cuatro grupos electrógenos de gran potencia (kVA) y que suministran energía eléctrica a todas las zonas operativas dependiente de la Dirección General de Aeronáutica Civil. Estos grupos alimentan de energía eléctrica a los equipos utilizados para las Ayudas Visuales y calles de rodaje asociadas a las pistas 17L y 17R, radio ayudas, torre de control, oficinas operativas, oficinas administrativas de la DGAC, subestación principal, subestación remota y planta de producción de agua potable.

El suministro de energía se realiza a través de la configuración eléctrica existente y también por las condiciones de utilización de potencia eléctrica, que lo determina un controlador lógico programable (*PLC*), el cual se analizará en la sección ??).

A. Subestación Principal

En esta dependencia se encuentran instalados tres (03) grupos electrógenos de acuerdo a las características que se muestran en la Tabla 3.15 y Figura 3.8, cada uno de ellos es alimentado de combustible a través de estanques diarios de diesel con una capacidad de 1.000 [lt] cada uno y dos estanques principales de combustible (soterrados), el primero de ellos con una capacidad de 6.000 [lt] y el segundo con una capacidad de 10.000 [lt].

Equipo/Designación	Marca	Modelo	Potencia
GN1	ONAN CUMMINS	DFJD	1000 [kVA] / 800 [kW]
GN3	ONAN CUMMINS	DFJD	1000 [kVA] / 800 [kW]
GN4	CATERPILLAR	PRIME 3508	820 [kVA] / 656 [kW]

Tabla 3.15: Características Técnicas Grupos Electrógenos Subestación Eléctrica Principal.



(a) GN1 Cummins 1000 kVA



(b) GN3 Cummins 1000 kVA



(c) GN4 Caterpillar 820 kVA

Figura 3.8: Sala Grupos Electrógenos – Subestación Eléctrica Principal.

(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019)

B. Subestación Remota

En esta dependencia se encuentra instalado un (01) grupo electrógeno de acuerdo a las características que se muestran en la Tabla 3.16 y la Figura 3.9, este equipo es alimentado por un (01) estanque diario sub-base de capacidad de 500 [lt] y un (01) estanque principal de combustible (soterrado) de capacidad de 4.000 [lt]

Equipo/Designación	Marca	Modelo	Potencia
SER	CATERPILLAR	CAT 3406TA	292 [kVA] /232 [kW]

Tabla 3.16: Características Técnicas Grupos Electrónos Subestación Principal.



Figura 3.9: Grupo Electróno Caterpillar Subestación Eléctrica Remota
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019)

3.3.2.2. Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI/UPS)

A. Sala UPS Subestación Eléctrica Principal

Las UPSs de la figura Figura 3.10 son utilizadas para respaldar los circuitos eléctricos esenciales y los circuitos eléctricos no esenciales, su función se enfoca en soportar el funcionamiento de las cargas en cualquier instante de tiempo al momento de ocurrir una falla del suministro eléctrico, mientras comienza la operación de los grupos electrónos. Los circuitos eléctricos antes mencionados están relacionados directamente con la operatividad de los sistemas utilizados para el buen funcionamiento de la pista 17L - 35R, torre de control y oficinas operativas. Las características técnicas de los sistema de alimentación ininterrumpida se aprecian en la siguiente tabla.

Equipo	Marca	Modelo	Potencia	Nº baterías
UPS Nº1	General Electric	SitePro	250 [kVA]	64
UPS Nº2	General Electric	SitePro	250 [kVA]	64

Tabla 3.17: Características Técnicas UPSs – Subestación Eléctrica Principal.



(a) UPS N°1 General Electric 250 kVA

(b) UPS N°2 General Electric 250 kVA

Figura 3.10: Sala UPS – Subestación Eléctrica Principal.

(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019)

B. Sala UPS Subestación Eléctrica Remota

Las UPSs de la figura Figura 3.11 son utilizadas para respaldar los circuitos eléctricos esenciales, su función se enfoca en soportar el funcionamiento de las cargas en cualquier instante de tiempo al momento de ocurrir una falla del suministro eléctrico, mientras comienza la operación del grupo electrógeno. Las cargas que protegen las UPSs están relacionadas directamente con la operatividad de los sistemas utilizados para el buen funcionamiento de la pista 17R - 35L. Las características técnicas de los sistema de alimentación ininterrumpida se aprecian en la siguiente tabla.

Equipo	Marca	Modelo	Potencia	Nº baterías
UPS N°1	Chloride	90NET	250 [kVA]	40
UPS N°2	Emerson	Liebert NX	250 [kVA]	40

Tabla 3.18: Características Técnicas UPSs – Subestación Eléctrica Remota.

(a) UPS N°1 Chloride 250 kVA



(b) UPS N°2 Liebert NX 250 kVA

Figura 3.11: Sala UPS – Subestación Remota.

(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019)

4 | Modelación de Equipos Críticos

La criticidad de los equipos del área electricidad aeroportuaria en la actualidad se encuentra determinada por el impacto que estos producen en el servicio que se entrega a los sistemas de navegación aérea, sin embargo, no existe en la institución una metodología que recoja las estadísticas en el área de mantenimiento, cuyo fin sea entregar el número de veces que el equipo falle durante el año, el tiempo empleado en reparar la funcionalidad del equipo, etc.

Por lo tanto, para dimensionar el impacto que tiene el o los equipos sobre la estructura funcional, se utilizará la gráfica Jack Knife, cuyo propósito será determinar el o los equipos críticos que afectan significativamente la funcionalidad al sistema de generación de energía secundaria (SGES).

4.1. Diagrama Jack Knife - Sistema Generación Energía Secundaria

El sistema de generación de energía secundaria se compone de grupos electrógenos (GG.EE) y sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI/UPS). De acuerdo con la información recopilada a través del área, se ilustrará gráficamente el evento proporcionado por el equipo y el impacto que produce, es decir, se determinará los equipos equipos críticos que afectan la funcionalidad del sistema en cuestión.

Nº	Equipo	Frecuencia Detención	Tiempo Fuera Servicio [hr]	Eje Y [h/detención]	Eje X [1/hr]	Indisp.
1	GN1	19	161.9963	8.52612105263	0.00216895	0.018492728
2	GN3	18	181.0833	10.06018333	0.002054795	0.02067161
3	GN4	15	23.61	1.574	0.001712329	0.002695205
4	GSER	19	118.93	6.259473684	0.00216895	0.013576484
5	UPS Nº 1 SEP	23	271.243	11.79317391	0.002625571	0.013576484
6	UPS Nº 2 SEP	26	557.458	21.44069231	0.002968037	0.030963813
7	UPS Nº 1 SER	31	439.648	13.89187097	0.003538813	0.049160731

Tabla 4.1: Datos de Fallos Sistema Generación de Energía Secundaria.
(Fuente: Propia)

La Tabla 4.1 muestra los eventos ocurridos durante el año 2018, de acuerdo con los datos se confeccionará el diagrama Jack knife, el cual identificará en que cuadrante se encuentra cada equipo en base a la posición de estos en el gráfico, luego se determinará el impacto en el sistema.

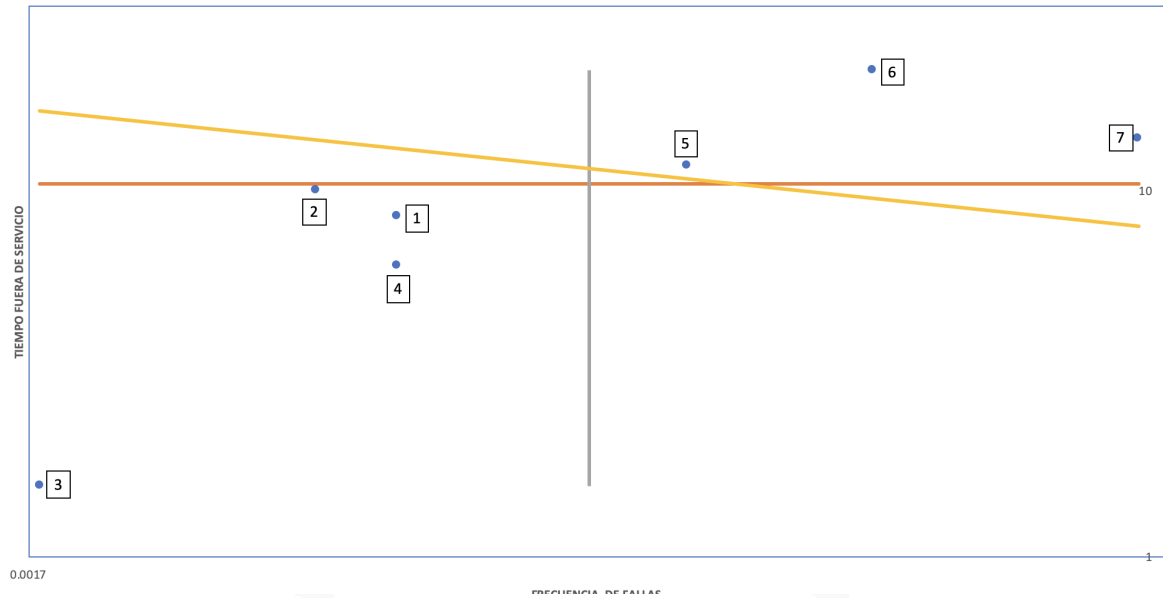


Figura 4.1: Diagrama Jack Knife sistema generación de energía secundaria.
(Fuente: Propia.)

De acuerdo con la gráfica, los equipos (eventos) 5, 6 y 7 se encuentran en el primer cuadrante, lo que implica que poseen frecuencia alta de fallas y afectan significativamente al funcionamiento del sistema ya que se les considera o denomina como fallas agudas, por lo tanto, se necesita invertir altos tiempos en su reparación y alta frecuencia de ocurrencia de las fallas. Esto se explica, dado que se encuentran por sobre la recta de isodisponibilidad, afectando directamente a la mantenibilidad y confiabilidad.

De los tres equipos en cuestión, el que mayor incidencia tiene en el buen funcionamiento es la UPS N°2 SEP (6), ya que este equipo respalda las cargas sensibles asociadas a la pista 17L-35R, es decir, senda de planeo, localizador, marcador medio, marcador interno, eje de pista, borde de pista, aproximación y papi.

4.1.1. Estimación de Parámetros UPS N°1 SEP

4.1.1.1. Parámetros Weibull

Para determinar los parámetros Weibull de la UPS es necesario recoger los datos de fallas ocurridas durante el año 2018, para tales efectos se utilizó la plataforma (ERP) sistema gestión de mantenimiento (SGM) que posee la institución, en la cual se extrajo los eventos de fallas provocadas en la UPS N°1, con la finalidad de obtener la información necesaria que permita estimar fehacientemente la distribución Weibull del equipo asociado.

De acuerdo con la definición de la distribución Weibull en la subsección 2.5, se determinará la función de falla acumulada de la UPS mediante la aproximación de Bernard, Ecuación 2.18. Como los datos fueron obtenidos de la plataforma SGM, sólo corresponden a situaciones de fallas (mantenimiento correctivo), por lo tanto, al momento de realizar el cálculo del ranking ajustado (Ecuación 2.19), se aprecia que dicho ranking es igual al valor del número de eventos de falla K_j .

Con los datos K_j calculados, se organizan los tiempos de buen funcionamiento en orden ascendente para calcular la regresión lineal en base a la Ecuación 2.21 que estime mejor los valores **a** y **b** que corresponden a la ecuación de la recta $y = a + bx$.

Parámetros	Valores
Intersección eje [a]	6.892888
Pendiente [b]	-1.353557209
Correlación [r]	0.9397
α	162.78838646
β	-1.353557
γ	0
MTBF	563.475356

Tabla 4.2: Parámetros distribución Weibull UPS N°1 SEP.
(Fuente: Propia)

4.1.2. Estimación de Parámetros UPS N°2 SEP

4.1.2.1. Parámetros Weibull

De acuerdo con el registro de fallas del anexo 7.2 y siguiendo los pasos anteriores (UPS N°1 SEP), se determinará los parámetros Weibull en la UPS N°2 SEP, teniendo lo siguiente:

Parámetros	Valores
Intersección eje [a]	6.672352346
Pendiente [b]	-1.332411616
Correlación [r]	0.9397
α	149.5642461
β	-1.332411616
γ	0
MTBF	543.4535236

Tabla 4.3: Parámetros distribución Weibull UPS N°2 SEP.
(Fuente: Propia)

Los valores calculados que refleja la Tabla 4.3, se obtienen con una mínima diferencia en comparación con la Tabla 4.2, dado que los datos que muestra el anexo 7.2 están incorporadas los mantenimientos preventivos, por lo tanto, el ranking r_j difiere de los datos K_j , de acuerdo a lo mencionado en la subsección 2.5.

4.1.3. Estimación de Parámetros UPS N°1 SER

4.1.3.1. Parámetros Weibull

De acuerdo con el el registro de fallas del anexo 7.3 y siguiendo los pasos anteriores (UPS N°2 SEP), se determinará los parámetros Weibull en la UPS N°1 SER, teniendo lo siguiente:

Parámetros	Valores
Intersección eje [a]	-10.21654237
Pendiente [b]	1.83411806
Correlación [r]	0.944712147
α	262.5063353
β	1.83411806
γ	0
MTBF	233.2442944

Tabla 4.4: Parámetros distribución Weibull UPS N°1 SER.
(Fuente: Propia)

Los valores calculados que refleja la Tabla 4.4, se obtienen realizando los pasos del caso anterior, por lo tanto, con los datos que muestra el anexo 7.3 se calcula el ranking r_j , lo cual se diferencia de los datos K_j , de acuerdo a lo mencionado en la subsección 2.5.

4.1.4. Modelación Sistemas de Generación de Energía Secundaria

De acuerdo con los datos obtenidos en las tablas 4.2, 4.3 y 4.4, se modelará el comportamiento de estos equipos en el tiempo, con la finalidad de determinar su funcionalidad de acuerdo con los parámetros calculados. Para llevar a cabo la modelación, se utilizará la fórmula 2.15, la cual representa la confiabilidad del equipo en el periodo t .

Funcionamiento [Hr]	UPS N°1 SEP	UPS N°2 SEP	UPS N°2 SER
0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000
0.1	0.9996721	0.9998414	0.9993015
0.2	0.9993443	0.9996829	0.9986036
0.3	0.9990167	0.9995244	0.9979061
0.4	0.9986891	0.9993659	0.9972091
0.5	0.9983616	0.9992074	0.9965126
0.6	0.9980343	0.9990490	0.9958166
0.7	0.9977070	0.9988906	0.9951211
0.8	0.9973799	0.9987322	0.9944260
0.9	0.9970529	0.9985738	0.9937315
1.0	0.9967260	0.9984155	0.9930374
2	0.9934627	0.9968335	0.9861233
3	0.9902100	0.9952539	0.9792573
4	0.9869680	0.9936769	0.9724391
5	0.9837367	0.9921024	0.9656684
6	0.9805159	0.9905304	0.9589449
7	0.9773056	0.9889609	0.9522681
8	0.9741059	0.9873939	0.9456379
9	0.9709167	0.9858293	0.9390538
10	0.9677378	0.9842672	0.9325155
20	0.9365165	0.9687820	0.8695852
30	0.9063025	0.9535403	0.8109017
40	0.8770632	0.9385385	0.7561784
50	0.8487673	0.9237727	0.7051481
60	0.8213842	0.9092392	0.6575616
70	0.7948846	0.8949343	0.6131864

Continúa en la página siguiente

80	0.7692399	0.8808545	0.5718058
90	0.7444226	0.8669962	0.5332178
100	0.7204059	0.8533560	0.4972339
110	0.6971641	0.8399303	0.4636783
120	0.6746721	0.8267159	0.4323872
130	0.6529057	0.8137093	0.4032078
140	0.6318415	0.8009074	0.3759975
150	0.6114570	0.7883069	0.3506235
160	0.5917301	0.7759047	0.3269619
170	0.5726396	0.7636975	0.3048970
180	0.5541650	0.7516825	0.2843212
190	0.5362864	0.7398564	0.2651340
200	0.5189847	0.7282164	0.2472415
250	0.4404972	0.6727064	0.1743419
300	0.3738796	0.6214278	0.1229369
350	0.3173368	0.5740581	0.0866887
400	0.2693451	0.5302991	0.0611284
450	0.2286113	0.4898759	0.0431046
500	0.1940378	0.4525339	0.0303951
550	0.1646929	0.4180385	0.0214330
600	0.1397860	0.3861725	0.0151135
650	0.1186458	0.3567356	0.0106572
700	0.1007026	0.3295426	0.0075149
750	0.0854731	0.3044225	0.0052991
800	0.0725468	0.2812172	0.0037367
850	0.0615753	0.2597808	0.0026349
900	0.0522631	0.2399784	0.0018580
950	0.0443592	0.2216855	0.0013102
1000	0.0376507	0.2047870	0.0009239
1000	0.0376507	0.2047870	0.0009239
1100	0.0271238	0.1747562	0.0004594
1200	0.0195401	0.1491292	0.0002284
1300	0.0140768	0.1272603	0.0001136
1400	0.0101410	0.1085984	0.0000565
1500	0.0073057	0.0926731	0.0000281
1600	0.0052630	0.0790831	0.0000140
1700	0.0037915	0.0674860	0.0000069

Tabla 4.5: Modelación equipos críticos sistemas de generación de energía secundaria.
(Fuente: Propia)

Con los datos obtenidos en la Tabla 4.5, se analizarán los valores de confiabilidad por cada UPS, de acuerdo con la siguiente gráfica:

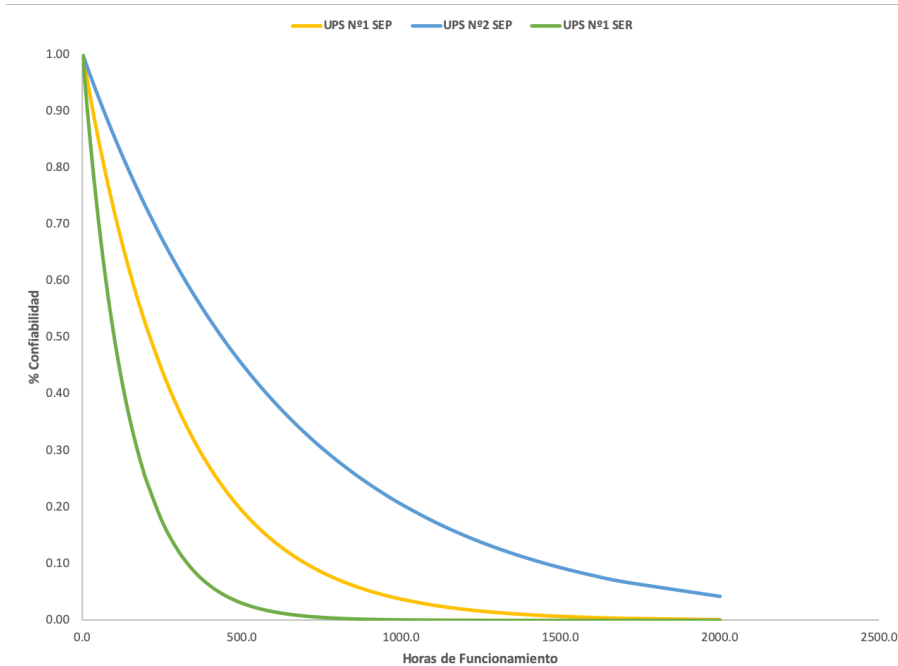


Figura 4.2: Confiabilidad por UPS v/s tiempo de funcionamiento.
(Fuente: Propia.)

La figura muestra que la confiabilidad por UPS tienen un desarrollo distinto a medida que avanza el tiempo, la UPS N° 1SEP y N°1 SER muestran una tendencia rápida de disminución de la confiabilidad a medida que se acerca a las 100 [hr] de funcionamiento, sin embargo la confiabilidad de la UPS N°2 SEP, presenta un delay en el descenso del indicador, la pendiente no es pronunciada como en los equipos antes mencionados y su valor de confiabilidad cae significativamente después de las 400 horas de funcionamiento.

La UPS N°1 SER, si bien es cierto no es el equipo crítico de acuerdo con el diagrama Jack Knife, pero es el equipo que presenta la menor confiabilidad en el tiempo, a su vez este equipo soporta el suministro eléctrico de todas las ayudas visuales de la pista 17R-35L, por lo tanto, este análisis en particular servirá para adoptar decisiones que impacten de manera positiva en el mantenimiento.

Cabe mencionar que el análisis en cuestión está basado en detenciones por causa de mantenimiento durante un año calendario.

4.1.5. Mantenibilidad

De acuerdo con la definición de mantenibilidad indicada en la sección 2.4, se determinarán nuevos parámetros Weibull para cada equipo crítico en base al tiempo medio para reparar, el cual está estrechamente relacionado con la mantenibilidad de los equipos.

Por lo tanto, como ya se conocen los tiempos de reparación de los equipos (anexo 7.1, anexo 7.2 y anexo 7.3) se ordenarán los tiempos de reparación de menor a mayor enumerando cada evento de avería, luego se construye la función de falla ($F(t)$) utilizando el método de rangos promedio mediante la aproximación de *Bernard* y finalmente se determinarán los parámetros tal como se realizó anteriormente.

Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
Intersección eje [a]	-1.272619866	Intersección eje [a]	-1.189943804
Pendiente [b]	0.603825096	Pendiente [b]	0.579977151
r_{xy}	0.948667803	r_{xy}	0.971329783
α	8.228443274	α	7.781180596
β	0.603825096	β	0.579977151
γ	0	γ	0.133657991
MTTR	12.27886049	MTTR	7.45159035

Tabla 4.6: Parámetros distribución Weibull UPS N°1 SEP - tiempos de reparación.
(Fuente: Propia)

Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
Intersección eje [a]	-1.789398537	Intersección eje [a]	-0.852234725
Pendiente [b]	1.127133811	Pendiente [b]	0.682904973
r_{xy}	0.939456919	r_{xy}	0.981070744
α	4.891824335	α	3.483212753
β	1.127133811	β	0.682904973
γ	0	γ	0.862173644
MTTR	4.683663093	MTTR	3.995387401

Tabla 4.7: Parámetros distribución Weibull UPS N°2 SEP - tiempos de reparación.
(Fuente: Propia)

Parámetros	Valores	Parámetros	Valores
Intersección eje [a]	-1.450619897	Intersección eje [a]	-1.323230425
Pendiente [b]	0.842693287	Pendiente [b]	0.786175252
r_{xy}	0.983423625	r_{xy}	0.990972969
α	5.5924032	α	5.382344113
β	0.842693287	β	0.786175252
γ	0	γ	0.110314029
MTTR	6.117496269	MTTR	5.073188031

Tabla 4.8: Parámetros distribución Weibull UPS N°1 SER - tiempos de reparación.
(Fuente: Propia)

Los parámetros Weibull que se muestran en las tablas predecesoras, se calcularon en base a los valores de $\gamma = 0$ y $\gamma \neq 0$, este último fue obtenido mediante la utilización de la herramienta SOLVER de excel, es decir, se determino encontrar el valor de γ que maximice la correlación de los datos, con el objetivo de conocer el menor valor de los tiempos de reparación como restricción (anexo 7.4, 7.5 y 7.6).

Con los valores de las tablas 4.6, 4.7 y 4.8, se calculará la mantenibilidad de las UPSs para los tiempos de reparación que se establecerán, mediante la expresión de la fórmula $M_{(t)} = 1 - R_t$, pero con la salvedad de utilizar los tiempos para reparar y no los tiempos entre reparación.

TTR [Hr]	UPS N°1 SEP	UPS N°2 SEP	UPS N°1 SER
0	0	0	0
0.1	0.007311407	0.019414666	0.0145004
0.2	0.014569358	0.038452403	0.028790539
0.3	0.021774242	0.057120528	0.042873465
0.4	0.028926449	0.075426219	0.056752183
0.5	0.036026363	0.09337651	0.070429654
0.6	0.043074367	0.110978302	0.083908797
0.7	0.05007084	0.128238362	0.097192486
0.8	0.057016159	0.145163323	0.110283556
0.9	0.063910698	0.161759691	0.123184801
1	0.070754828	0.178033847	0.135898972
1.1	0.077548917	0.193992045	0.148428783
1.2	0.084293333	0.209640421	0.160776907
1.3	0.090988437	0.224984988	0.172945978
1.4	0.097634591	0.240031646	0.184938592
1.5	0.104232152	0.254786178	0.196757309
1.6	0.110781475	0.269254255	0.20840465
1.7	0.117282914	0.28344144	0.219883099
1.8	0.123736818	0.297353185	0.231195107
1.9	0.130143535	0.310994838	0.242343085
2	0.13650341	0.324371643	0.253329414
2.5	0.167612051	0.387459461	0.305917165
3	0.197599962	0.444656359	0.354801179
3.5	0.226507517	0.49651241	0.400242309
4	0.254373638	0.543526324	0.442483036
4.5	0.281235844	0.586150242	0.481748763
5	0.307130303	0.624794088	0.518249019
5.5	0.332091878	0.659829507	0.552178574
6	0.356154179	0.69159344	0.583718482
6.5	0.379349602	0.720391368	0.613037045
7	0.401709379	0.746500247	0.640290712
7.5	0.423263614	0.770171169	0.665624913
8	0.444041329	0.791631783	0.689174835
8.5	0.464070498	0.81108848	0.711066144
9	0.483378089	0.828728378	0.731415656
9.5	0.501990097	0.844721124	0.750331958
10	0.519931583	0.859220524	0.767915992
11	0.553898741	0.884284036	0.79945597
12	0.585462559	0.904885394	0.826709698
13	0.614793084	0.921819013	0.850259672
14	0.642048333	0.935737875	0.870609228
Continúa en la página siguiente			

15	0.667375141	0.947178708	0.888193301
16	0.690909956	0.956582686	0.903387717
17	0.712779568	0.964312438	0.916517227
18	0.733101801	0.970666032	0.92786245
19	0.751986137	0.975888471	0.937665869
20	0.769534315	0.980181139	0.946137013
25	0.84031731	0.992563846	0.974051453
30	0.889360703	0.997209911	0.987499262
35	0.923341384	0.998953142	0.993977757
40	0.946885568	0.999607213	0.997098779
45	0.96319862	0.999852624	0.998602334
50	0.974501439	0.999944704	0.999326673
55	0.98233282	0.999979252	0.999675624
60	0.987758946	0.999992215	0.999843732
65	0.991518545	0.999997079	0.999924718
70	0.994123457	0.999998904	0.999963733

Tabla 4.9: Modelación equipos críticos sistemas de generación de energía secundaria.
(Fuente: Propia)

La Figura 4.3 muestra el comportamiento de los sistemas de alimentación ininterrumpida frente al tiempo de reparación (*TTR*). Inicialmente las tres UPS presentan el mismo comportamiento frente a la reparación, sin embargo, a medida que avanza el tiempo la UPS N°1 SEP se reacciona distinta al resto de los equipos, es decir, si trazamos un línea vertical a las 10 [hrs], y de acuerdo con la tabla, se tiene un rendimiento del 52 % v/s el 85 % y 77 % que presentan sus homónimos. Esta situación nos indica que la UPS N°1 al momento de regresar después de una falla presentará mayor dificultad a la hora de su reparación, por lo tanto, su puesta en servicio se retrasará en el tiempo.

En el caso de la UPS N°2 SEP, es la que tiene el mejor comportamiento desde el punto de vista de su reparación, lo que implica que un periodo de tiempo acotado (≤ 10 [hrs]), su puesta en servicio será más rápida que las demás.

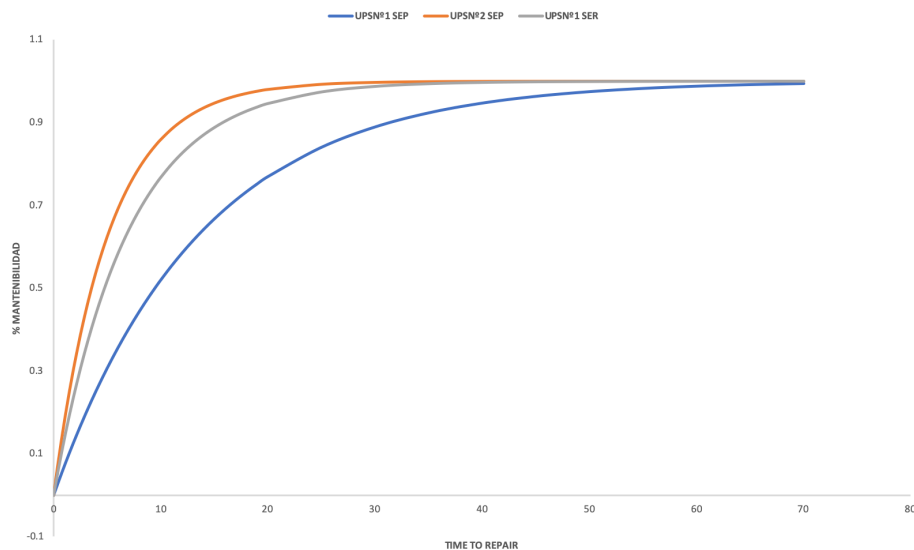


Figura 4.3: Mantenibilidad por UPS v/s tiempo de reparación.
(Fuente: Propia.)

La figura 4.3 y tabla 4.3, muestra que la UPS N°2 SEP y UPS N°1 SER en un tiempo ≤ 4 y ≤ 5 hrs, recuperarán su funcionalidad, es decir, siendo un equipo complejo por la electrónica que posee, su capacidad de volver a operar correctamente se logra en un tiempo bastante acotado, sin embargo este no es el caso de la UPS N°1 SEP, tal como se explico en los párrafos anteriores.

Al comparar las figuras 4.2 y 4.3, se aprecia que la UPS N°2 SEP es la que posee menor confiabilidad en el tiempo y a su vez es el equipo más crítico que tiene el área eléctrica de la DGAC en base al diagrama Jack Knife, y a raíz de esta situación es la que tiene mejor mantenibilidad, es decir, por su criticidad tiene una mejor performance a la hora de recuperar su funcionalidad, por lo tanto, tiene la mejor probabilidad de volver a funcionar después de una avería.

Finalmente, cabe mencionar que el análisis gráfico de la mantenibilidad de los equipos no es determinante a la hora de impulsar una mejora significativa, más bien nos entrega o explica de forma gráfica el comportamiento de los activos a través del análisis efectuado por lo datos extraídos de la distribución weibull, sin embargo, en este caso se recomienda utilizar la distribución normal.

4.1.6. Tasa de Falla

De los parámetros weibull calculados en la sección anterior (mantenibilidad), se determinará la tasa de falla en el tiempo por cada equipo (UPSs), mediante la fórmula 2.16.

Tiempo [Hr]	UPS N°1 SEP	UPS N°2 SEP	UPS N°1 SER
0.10	-	-	-
0.20	0.551442911	-	0.350575138
0.30	0.374819209	-	0.298690655
0.40	0.307576622	-	0.272835527
0.50	0.269031045	-	0.256072539
0.60	0.243095276	-	0.243865843
0.70	0.224046112	-	0.234366021
0.80	0.209255106	-	0.226645981
0.90	0.197319493	0.822647687	0.220178282
1.00	0.187411719	0.545950081	0.214635788
1.10	0.179007091	0.459223728	0.209802404
1.20	0.171754325	0.410854826	0.205528353
1.30	0.165407975	0.378425883	0.201705804
1.40	0.159790548	0.354528787	0.198254698
1.50	0.154770007	0.335866992	0.195114064
1.60	0.150245766	0.320708538	0.19223646
1.70	0.14613964	0.308039864	0.189584291
1.80	0.14238979	0.297220856	0.187127294
1.90	0.138946559	0.287823587	0.184840764
2.00	0.13576954	0.279549052	0.182704293
3.00	0.11338005	0.228879462	0.166842398
4.00	0.099987411	0.202656661	0.156570295
5.00	0.090778719	0.185636778	0.149094755
6.00	0.083925319	0.173322449	0.143279131
7.00	0.078556307	0.163818871	0.13855427
8.00	0.074195882	0.156162916	0.134596612
9.00	0.070558692	0.149803426	0.131205577
10.00	0.067461587	0.144397918	0.128248723
11.00	0.064780779	0.139720242	0.125634278
12.00	0.062429122	0.135613905	0.123296191

Continúa en la página siguiente

13.00	0.060343204	0.131966513	0.12118543
14.00	0.05847561	0.128694857	0.11926466
15.00	0.056790062	0.125735763	0.117504836
16.00	0.055258255	0.123040238	0.115882943
17.00	0.05385773	0.120569589	0.114380456
18.00	0.0525704	0.118292772	0.112982254
19.00	0.051381511	0.116184533	0.111675849
20.00	0.050278889	0.114224079	0.110450811
25.00	0.045754727	0.106118897	0.105279593
30.00	0.04236573	0.099969462	0.10123827
35.00	0.039698942	0.095073169	0.097944688
40.00	0.037526115	0.091040565	0.095179644
45.00	0.035709226	0.087635096	0.092806389
50.00	0.034159138	0.084703207	0.090734191
55.00	0.032815316	0.082140047	0.088899952
60.00	0.031634976	0.079871114	0.087258119
65.00	0.030586889	0.077841733	0.085774795
70.00	0.029647642	0.0760107	0.084424118

Tabla 4.10: Tasa de falla UPSs respecto del tiempo.
(Fuente: Propia)

Luego de obtener los datos (Figura 4.4, se grafican los datos con la finalidad visualizar y analizar de mejor manera lo que está ocurriendo con las UPSs.

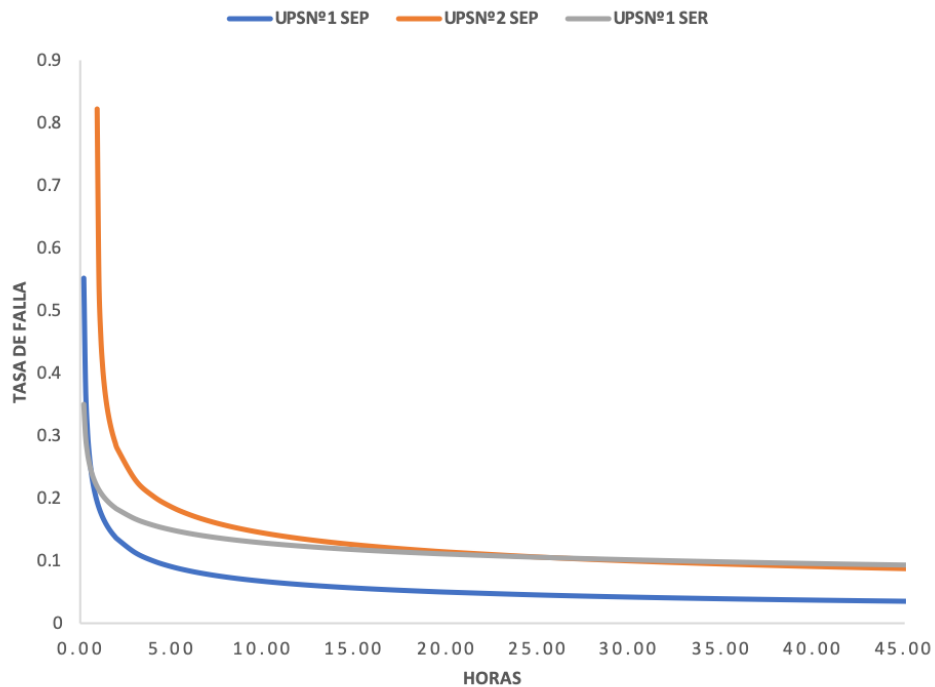


Figura 4.4: Tasa de falla por equipos críticos respecto del tiempo.
(Fuente: Propia.)

La Figura 4.4 ilustra el comportamiento de las tasas de fallas por cada UPS, lo que implica que los tres sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI/UPS) se encuentran en la etapa de ciclo de vida útil (periodo de fallas aleatorias), de acuerdo con el análisis efectuado en la sección 2.2, para lo cual intervenir los equipos en esta instancia en mantenimientos preventivos periódicos conlleva un alto costo, dado que se debe contratar el servicio de mantenimiento a las empresas representantes de las marcas en el país, como lo son General Electric y Chloride.

Sin embargo, lo antes dicho no significa esperar hasta que los equipos fallen para luego intervenirlos y recuperar su funcionalidad, sino que, nos entrega luces de como administrar correctamente el uso de financiero del presupuesto total de mantenimiento que posee el área de electricidad aeroportuaria del aeropuerto Arturo Merino Benítez de la DGAC.

Finalmente, la Figura 4.4 revela que de los tres equipos, los que presentan mejor comportamiento en el tiempo son la UPS N°2 SEP y UPS N°1 SER, mientras que la UPS N°1 SEP claramente posee una tasa de falla menor, por lo tanto, tiene una menor frecuencia de fallas en el tiempo.

4.1.7. Disponibilidad

Determinar la disponibilidad de los equipos críticos a través de la modelación, representa para el área de electricidad aeroportuaria cumplir con los objetivos estratégicos de la institución, con el propósito de asegurar un servicio de calidad sujeto a los estándares exigidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), como también por las exigencias de las normas internas de la DGAC, como lo son las normas DAN 14 153, 14 154 y DAR 14.

Los compromisos adoptados por la DGAC frente a la administración pública (Gobierno), en lo que respecta al cumplimiento de metas, la disponibilidad es un actor importante a la hora de justificar la operatividad de los sistemas de comunicación, navegación y vigilancia (CNS) asociados a los equipos instalados en la inmediaciones de las pistas de aterrizajes, por lo tanto, determinar la disponibilidad de la UPSs en base a la modelaciones vistas anteriormente, entrega datos importantes de como enfrentar el mantenimiento preventivo, correctivo en el corto y mediano plazo, como también en la planificación de las actividades a desarrollar durante el próximo año.

Con los parámetros determinados como lo son *MTBF* y *MTTR* para los equipos estudiados, se calculará la disponibilidad esperada, según sea su comportamiento registrado en el anexo 7.1 en adelante.

4.1.7.1. Disponibilidad UPS N°1 SEP

Parámetros	Disponibilidad
MTBF	97.881 %
MTTR	

Tabla 4.11: Disponibilidad UPS N°1 SEP
(Fuente: Propia)

4.1.7.2. Disponibilidad UPS N°2 SEP

Parámetros	Disponibilidad
MTBF	99.3154 %
MTTR	

Tabla 4.12: Disponibilidad UPS N°2 SEP
(Fuente: Propia)

4.1.7.3. Disponibilidad UPS N°1 SER

Parámetros	Disponibilidad
MTBF	97.8712 %
MTTR	

Tabla 4.13: Disponibilidad UPS N°1 SER
(Fuente: Propia)

Los valores de disponibilidades obtenidas, orienta claramente en como planificar el área eléctrica las actividades de mantenimiento en el futuro a través de la modelación de la confiabilidad, mantenibilidad y tasas de fallas mediante la distribución de weibull, por lo tanto, para el área de mantenimiento de la DGAC representa una herramienta útil a la hora de definir las acciones de mantenimiento en el corto, mediano y largo plazo.

5 | Diagramas RBD

5.1. Sistema Eléctrico AMB

Los sistemas eléctricos que constituyen el área operativa del aeropuerto Arturo Merino Benítez se subdividen en tres, de acuerdo con lo mencionado en la Sección 3.3, entonces el análisis permitirá conocer con mayor profundidad como se compone cada sistema, subsistema y equipos que lo componen.

Si analizamos e interpretamos el espacio físico de la Figura 5.1, se observa la interacción de un gran número de empresas que se relacionan entre si, es decir, se pueden identificar o establecer cuatro macro zonas importantes, **Zona Terminal Aéreo** que está administrado por la sociedad concesionaria Nueva Pudahuel, **Zona Operativa** relacionada con el espacio físico que administra la DGAC como son; las calles de rodajes, pistas de aterrizaje, torre de control, Servicio de Salvamento y Extinción de Incendio, Centro Zonal de Mantenimiento Central, **Zona Concesiones** relacionada con los servicios de mantenimiento de las líneas aéreas (LATAM, Sky Airline, Aviasur), hangares FBO (Aerocardal, FBO Santiago, FBO los Cedros, etc) y por último la **Zona Fuerza Aérea de Chile** donde se ubica el Grupo N° 10.

De acuerdo a la identificación y/o designación de las cuatro macro zonas Figura 5.1, cada una de ellas cuenta con el suministro eléctrico (empalme) independiente, en este caso la **DGAC** a través de la oficina de electricidad aeroportuaria (subestación eléctrica principal) administra la energía a todo el complejo relacionado con las instalaciones y edificios del ente estatal.



Figura 5.1: Fotografía aérea aeropuerto Arturo Merino Benítez.
(Fuente: Servicio Aerofotogramétrico - Fuerza Aérea de Chile, 2019.)

En base a esta situación se estudiara a través del *Reliability Block Diagram (RBD)* cómo se componen los sistemas principales a estudiar.

5.2. RBD Sistema Ayudas Visuales

En el punto 3.3.1 se mencionó la cantidad de sistemas asociados a las pistas 17L y 17R, por lo tanto, se representará cada sistema de ayudas visuales mediante el diagrama *RBD* con la finalidad de establecer el escenario que genere la discontinuidad del funcionamiento del sistema, que en este caso tiene relación con la pérdida de entregar un servicio visual de iluminación de pistas de aterrizajes, calles de rodajes y sistema eléctricos que aportan al funcionamiento de un aeropuerto, lo cual afecta en algunos casos directamente a la seguridad de la navegación aérea.

5.2.1. Sistemas Ayudas Visuales

5.2.1.1. Diagrama RBD Sistema de Aproximación 17L

El diagrama *RBD* de la Figura 5.2 muestra la configuración del sistema de aproximación compuesto por reguladores de corriente constante y componentes que suministran energía a las luces de aproximación de la pista 17L. Este sistema funciona a través de cuatro (04) reguladores dispuestos lógicamente en paralelo, cada uno de ellos suministra energía a un segmento o cantidad específica de luces, como es el caso de los reguladores N°1 y N°2, la conexión de luces es a través de circuitos intercalado, con el propósito que al instante o momento de ocurrir una falla grave en uno de los reguladores, las luces quedarán espaciadas a una distancia máxima de 30 [m]. Para el caso de los reguladores N°3 y N°4 es análogamente.

El diagrama *RBD* de la Aproximación 17L se representa de la siguiente forma:

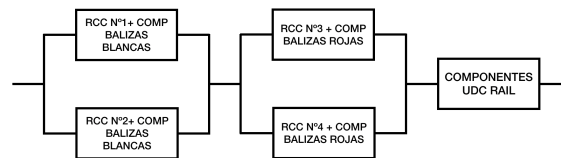


Figura 5.2: Diagrama RBD - Aproximación 17L

La Figura 5.2 muestra el resumen del sistema representado por cada rectángulo, de acuerdo a ello se nombrará cada elemento y equipo mencionado en la figura.

- 04 Reguladores de corriente constante.
- 30 barretas de luces fijas de aproximación, compuesta por cinco (05) luces espaciadas s 1[m] de distancia, dispuesta de forma horizontal en el plano *XY*.
- 28 luces de destello (flasher), cada luz de destello se ubica en el centro de la barreta de luces fijas.
- 28 Cajas de control (FCU), su función es realizar el destellos de las luces flasher indicando al piloto el eje de la pista, de forma secuenciada.

De acuerdo con la Figura 5.2 se analizará cada componente y equipo que utiliza el sistema de aproximación en base a la representación de la Figura 5.3a. Esta figura muestra como el regulador de corriente constante suministra energía a las luces que componen cada barreta, en este caso solo se muestra una barreta de luces y cable AT, sin embargo, estas barretas en total son 28, por lo tanto, están dispuesta en forma serial (lógica *RBD*) y en conjunto con el cable de alta tensión (AT).

La Figura 5.3c grafica como los equipos y elementos de los rectángulos de las cajas de control *UDC RAIL* suministran energía y controlan el encendido de las luces flasher instaladas en cada barreta, en este caso solo se muestra los elementos de la *FCU* N°1 y *FCU* N°28, por lo tanto, cada *FCU* o caja de control utilizada en la aproximación está representada en la figura, es decir, si falla una unidad de control, o falla la luz flasher, o falla el cable de BT, el sistema pierde su funcionalidad.

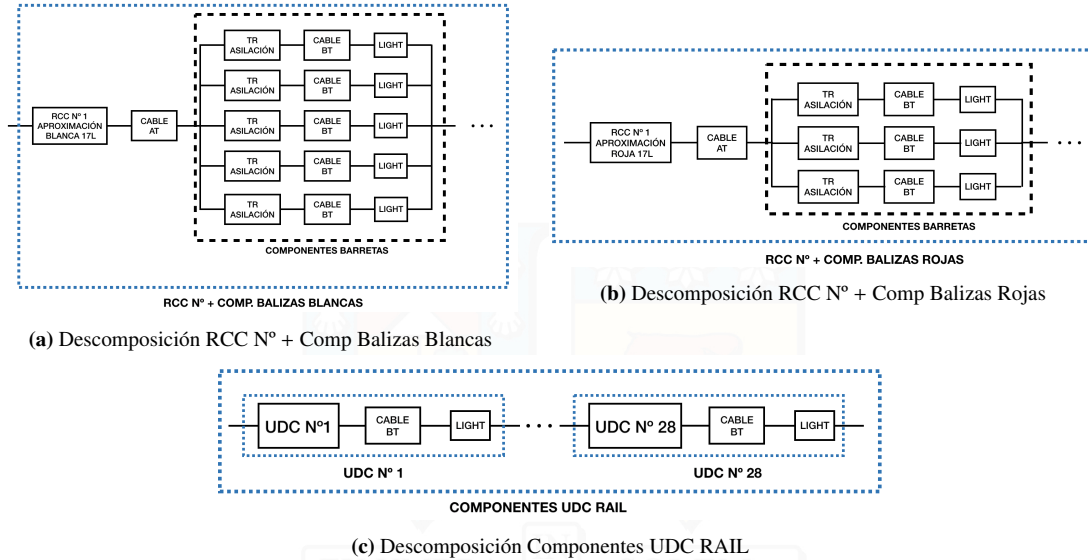


Figura 5.3: Descomposición Diagrama RBD Sistema Aproximación Pista 17L

De acuerdo con la configuración *RBD* de la Figura 5.3, la confiabilidad del sistema de aproximación 17L se obtiene a través de la siguiente forma:

i). Confiabilidad Figura 5.3a

- Confiabilidad Componentes Balizas Blancas

$$\begin{aligned}
 R_1 &= R_{TR \text{ aislación}} \cdot R_{Cable BT} \cdot R_{Light} \\
 R_2 &= R_{TR \text{ aislación}} \cdot R_{Cable BT} \cdot R_{Light} \\
 R_3 &= R_{TR \text{ aislación}} \cdot R_{Cable BT} \cdot R_{Light} \\
 R_4 &= R_{TR \text{ aislación}} \cdot R_{Cable BT} \cdot R_{Light} \\
 R_5 &= R_{TR \text{ aislación}} \cdot R_{Cable BT} \cdot R_{Light}
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

Donde:

- $R_1 \dots R_5$: Confiabilidad compuesta por TR Aislación, Cable BT y Light, de una barreta.
- $R_{TR \text{ aislación}}$: Confiabilidad transformador de aislación.
- $R_{Cable BT}$: Confiabilidad cable de alimentación secundario.
- R_{Light} : Confiabilidad luz de aproximación.

Por lo tanto, la confiabilidad de los componentes que integran la barreta i se obtiene como:

$$R_{Barreta_i} = \prod_{i=1}^5 R_i \quad \forall i \in [1, 28] \tag{5.2}$$

Donde:

- $R_{Barreta_i}$: Confiabilidad de la Barreta i .

De acuerdo con la Ecuación 5.2, la confiabilidad total de las barretas (Figura 5.3a) se determina como:

$$R_{Barretas_1} = \prod_{i=(2n+1)} R_{Barreta_i} \quad \forall i \in [0, 13] \quad (5.3)$$

$$R_{Barretas_2} = \prod_{j=(2n)} R_{Barreta_j} \quad \forall j \in [1, 14] \quad (5.4)$$

Donde:

- $R_{Barretas_1}$: Confiabilidad global de las barretas impares que pertenecen al circuito N°1.
- $R_{Barretas_2}$: Confiabilidad global de las barretas pares que pertenecen al circuito N°2.
- Confiabilidad Cable AT

$$R_{Cable AT} = R_{Cable AT} \quad (5.5)$$

- Confiabilidad RCC N°1 Aproximación Luces Blanca 17L

$$R_{RCC N° 1 Blanca} = R_{RCC N° 1 Blanca} \quad (5.6)$$

- Confiabilidad RCC N°1 Aproximación Luces Blanca 17L

$$R_{RCC N° 2 Blanca} = R_{RCC N° 2 Blanca} \quad (5.7)$$

De acuerdo a las ecuaciones anteriores, la confiabilidad de la Figura 5.3a se obtiene como:

$$R_A = R_{RCC N° 1 Blanca} \cdot R_{Cable AT} \cdot R_{Barretas_1} \quad (5.8)$$

$$R_B = R_{RCC N° 2 Blanca} \cdot R_{Cable AT} \cdot R_{Barretas_2} \quad (5.9)$$

Donde:

- R_A : Confiabilidad del conjunto de equipos conectados, que representa al primer rectángulo de la Figura 5.2 (RCC N°1 + Comp. Balizas Blancas).
- R_B : Confiabilidad del conjunto de equipos conectados, que representa al segundo rectángulo de la Figura 5.2 (RCC N°2 + Comp. Balizas Blancas).

ii). Confiabilidad Figura 5.3b

- Confiabilidad Componentes Balizas Rojas

$$\begin{aligned} R_1 &= R_{TR\text{ aislacion}} \cdot R_{Cable BT} \cdot R_{Light} \\ R_2 &= R_{TR\text{ aislacion}} \cdot R_{Cable BT} \cdot R_{Light} \\ R_3 &= R_{TR\text{ aislacion}} \cdot R_{Cable BT} \cdot R_{Light} \end{aligned} \quad (5.10)$$

Donde:

- $R_1 \dots R_3$: Confiabilidad compuesta por TR Aislación, Cable BT y Light, de una barreta.
- $R_{TR\text{ aislacion}}$: Confiabilidad transformador de aislación.
- $R_{Cable\ BT}$: Confiabilidad cable de alimentación secundario.
- R_{Light} : Confiabilidad de luz de aproximación.

Por lo tanto, la confiabilidad de la barreta roja se obtiene como:

$$R_{\text{Barreta Roja}_w} = 1 - \prod_{i=1}^3 R_i \quad (5.11)$$

Donde:

- $R_{\text{Barreta Roja}_w}$: Confiabilidad de la Barreta Roja w , que corresponde al segmento de prolongación luces toma de contacto de la (Figura 5.3a).

De acuerdo con la Ecuación 5.11, se obtiene la confiabilidad total de las barretas de prolongación de toma contacto como:

$$R_{\text{Barretas Rojas}_{\text{Cto. } 3}} = \prod_{w=(2n+1)} R_{\text{Barreta Roja}_w} \quad \forall k \in \text{barretas } (2n+1) \quad , n = 0..,4 \quad (5.12)$$

$$R_{\text{Barretas Rojas}_{\text{Cto. } 4}} = \prod_{w=(2n)} R_{\text{Barreta Roja}_w} \quad \forall k \in \text{barretas } (2n) \quad , n = 1..,4 \quad (5.13)$$

Donde:

- $R_{\text{Barretas Rojas}_{\text{Cto. } 3}}$: Confiabilidad total de las Barretas Rojas impares, que pertenecen al circuito N° 3.
- $R_{\text{Barretas Rojas}_{\text{Cto. } 4}}$: Confiabilidad total de las Barretas Rojas impares, que pertenecen al circuito N° 4.

■ Confiabilidad Cable AT

$$R_{\text{Cable AT}} = R_{\text{Cable AT}} \quad (5.14)$$

■ Confiabilidad RCC N°3 Aproximación Luces Roja 17L

$$R_{\text{RCC N° 3 Roja}} = R_{\text{RCC N° 3 Roja}} \quad (5.15)$$

■ Confiabilidad RCC N°4 Aproximación Luces Roja 17L

$$R_{\text{RCC N° 4 Roja}} = R_{\text{RCC N° 4 Roja}} \quad (5.16)$$

Por lo tanto, la confiabilidad total de la Figura 5.3b se obtiene como:

$$R_C = R_{\text{RCC N° 3 Roja}} \cdot R_{\text{Cable AT}} \cdot R_{\text{Comp. Balizas Rojas}} \quad (5.17)$$

$$R_D = R_{\text{RCC N° 4 Roja}} \cdot R_{\text{Cable AT}} \cdot R_{\text{Comp. Balizas Rojas}} \quad (5.18)$$

Donde:

- R_C : Confiabilidad del conjunto de equipos conectados, que representa al tercer rectángulo de la Figura 5.2 (RCC N°3 + Comp. Balizas Rojas).
- R_B : Confiabilidad del conjunto de equipos conectados, que representa al cuarto rectángulo de la Figura 5.2 (RCC N°4 + Comp. Balizas Rojas).

iii). Confiabilidad Figura 5.3c

- Confiabilidad Componentes UDC Rail

$$R_{UDC_i} = R_{UDC\ N^\circ} \cdot R_{Cable\ BT} \cdot R_{Light} \quad (5.19)$$

Donde:

- $R_{UDC\ N^\circ}$: Confiabilidad gabinete UDC.
- $R_{Cable\ BT}$: Confiabilidad cable de alimentación secundario.
- R_{Light} : Confiabilidad luz de destello de aproximación.

Por lo tanto, la confiabilidad total de la Figura 5.3c es:

$$R_{UDC} = \prod_{i=1}^{28} R_{UDC_i} \quad \forall i \in [1, 28] \quad (5.20)$$

En base a los análisis y ecuaciones vistas, la confiabilidad del Sistemas de Aproximación de la pista 17L, se obtiene finalmente como:

- Paso 1: Obtener la confiabilidad R_{AB} a través de las ecuaciones 5.8 y 5.9

$$R_{AB} = R_A \cdot R_B + R_A \cdot (1 - R_B) + (1 - R_A) \cdot R_B \quad (5.21)$$

Donde:

- R_A : Confiabilidad de la Ecuación 5.8.
- R_B : Confiabilidad de la Ecuación 5.9.

- Paso 2: Obtener la confiabilidad R_{CD} a través de las ecuaciones 5.17 y 5.18

$$R_{CD} = R_C \cdot R_D + R_C \cdot (1 - R_D) + (1 - R_C) \cdot R_D \quad (5.22)$$

De acuerdo a las ecuaciones 5.21, 5.22 y 5.20, la Confiabilidad del Sistema de Aproximación de la pista 17L, se calcula como:

$$R_{Aprox.17L} = R_{AB} \cdot R_{CD} \cdot R_{UDC} \quad (5.23)$$

Finalmente, la disponibilidad del Sistema de Aproximación de la pista 17L, se obtiene como:

$$A_{Aprox.17L} = A_{AB} \cdot A_{CD} \cdot A_{UDC} \quad (5.24)$$

5.2.1.2. Diagrama RBD Sistema de Aproximación 17R

El diagrama *RBD* de la Figura 5.4 muestra la configuración del sistema de aproximación compuesto por reguladores de corriente constante y componentes que suministran energía a las luces de aproximación de la pista 17R. Este funciona a través de cuatro (02) reguladores dispuestos lógicamente en paralelo, cada uno de ellos suministra energía a un segmento o cantidad específica de luces, como es el caso de los reguladores N°1 y N°2, la conexión de luces es a través de circuitos intercalado, con el propósito que al instante o momento de ocurrir una falla grave en uno de los reguladores, las luces quedarán espaciadas a una distancia máxima de 30 [m].

El diagrama RBD de la Aproximación 17R se representa de la siguiente forma:

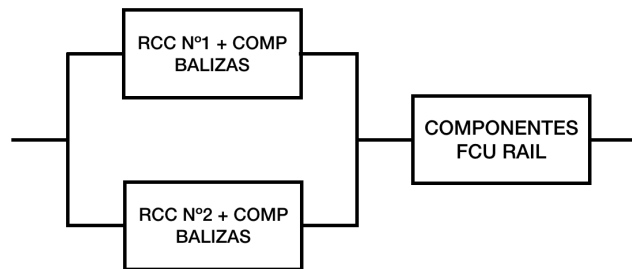


Figura 5.4: Diagrama RBD - Aproximación 17R.

La Figura 5.2 muestra el resumen del sistema representado por cada rectángulo, de acuerdo a ello se nombrará cada elemento y equipo mencionado en la figura.

- 02 Reguladores de corriente constante.
- 30 barretas de luces fijas de aproximación, compuesta por cinco (05) luces espaciadas s 1[m] de distancia, dispuesta de forma horizontal en el plano.
- 30 luces de destello (flasher), cada luz de destello se ubica en el centro de la barreta de luces fijas.
- 30 Cajas de control (FCU), su función es realizar el destellos de las luces flasher indicando al piloto el eje de la pista, de forma secuenciada.

De acuerdo con la Figura 5.4 se analizará cada componente y equipo que utiliza el sistema de aproximación en base a la representación de la Figura 5.5a. Esta figura muestra como el regulador de corriente constante suministra energía a las luces que componen cada barreta, en este caso solo se muestra una barreta de luces y cable AT, sin embargo, estas barretas en total son 30, por lo tanto, están dispuesta en forma serial (lógica RBD) y en conjunto con el cable de alta tensión (AT).

La Figura 5.5b gráfica como los equipos y elementos de las cajas de control *FCU RAIL* suministran energía y controlan el encendido de las luces flasher instaladas en cada barreta, en este caso solo se muestra los elementos de la *FCU* N°1 y *FCU* N°30, por lo tanto, cada *FCU* o caja de control utilizada en la aproximación se representa su conexión lógica RBD de forma serial, es decir, si falla una unidad de control, o falla luz flasher, o falla el cable de BT, el sistema pierde su funcionalidad.

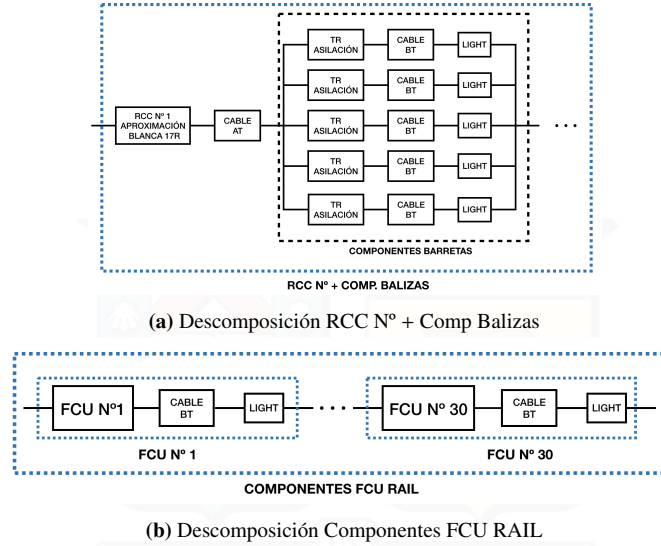


Figura 5.5: Descomposición Diagrama RBD Sistema Aproximación Pista 17R

De acuerdo con la configuración *RBD* de la Figura 5.5, la confiabilidad del sistema de aproximación 17R se obtiene de la siguiente forma:

i. Confiabilidad Figura 5.5a

- Confiabilidad Componentes Balizas Blancas

$$\begin{aligned}
 R_1 &= R_{TR \text{ aislación}} \cdot R_{Cable \ BT} \cdot R_{Light} \\
 R_2 &= R_{TR \text{ aislación}} \cdot R_{Cable \ BT} \cdot R_{Light} \\
 R_3 &= R_{TR \text{ aislación}} \cdot R_{Cable \ BT} \cdot R_{Light} \\
 R_4 &= R_{TR \text{ aislación}} \cdot R_{Cable \ BT} \cdot R_{Light} \\
 R_5 &= R_{TR \text{ aislación}} \cdot R_{Cable \ BT} \cdot R_{Light}
 \end{aligned} \tag{5.25}$$

Donde:

- $R_1 \dots R_5$: Confiabilidad compuesta por TR Aislación, Cable BT y Light, de una barreta.
- $R_{TR \text{ aislación}}$: Confiabilidad transformador de aislación.
- $R_{Cable \ BT}$: Confiabilidad cable de alimentación secundario.
- R_{Light} : Confiabilidad luz de aproximación.

Por lo tanto, la confiabilidad de los componentes que integran la barreta i se obtiene como:

$$R_{Barreta_i} = \prod_{i=1}^5 R_i \quad \forall i \in [1, 30] \tag{5.26}$$

Donde:

- $R_{Barreta_i}$: Confiabilidad de la Barreta i .

De acuerdo con la Ecuación 5.2, la confiabilidad total de las barretas, se determina como:

$$R_{Barretas_1} = \prod_{i=(2n+1)} R_{Barreta_i} \quad \forall i \in [0, 15] \quad (5.27)$$

$$R_{Barretas_2} = \prod_{j=(2n)} R_{Barreta_j} \quad \forall j \in [0, 15] \quad (5.28)$$

Donde:

- $R_{Barretas_1}$: Confiabilidad global de las barretas impares que pertenecen al circuito N°1.
- $R_{Barretas_2}$: Confiabilidad global de las barretas pares que pertenecen al circuito N°2.

- Confiabilidad Cable AT

$$R_{Cable\ AT} = R_{Cable\ AT} \quad (5.29)$$

- Confiabilidad RCC N° 1 Aproximación Luces Blanca 17R

$$R_{RCC\ N^{\circ}\ 1\ Blanca} = R_{RCC\ N^{\circ}\ 1\ Blanca} \quad (5.30)$$

- Confiabilidad RCC N° 2 Aproximación Luces Blanca 17R

$$R_{RCC\ N^{\circ}\ 2\ Blanca} = R_{RCC\ N^{\circ}\ 2\ Blanca} \quad (5.31)$$

De acuerdo a las ecuaciones anteriores, la confiabilidad de la Figura 5.5a se obtiene como:

$$R_A = R_{RCC\ N^{\circ}\ 1\ Blanca} \cdot R_{Cable\ AT} \cdot R_{Barretas_1} \quad (5.32)$$

$$R_B = R_{RCC\ N^{\circ}\ 2\ Blanca} \cdot R_{Cable\ AT} \cdot R_{Barretas_2} \quad (5.33)$$

Donde:

- R_A : Confiabilidad del conjunto de equipos conectados, que representa al primer rectángulo de la Figura 5.4 (RCC N°1 + Comp. Balizas Blancas).
- R_B : Confiabilidad del conjunto de equipos conectados, que representa al segundo rectángulo de la Figura 5.4 (RCC N°2 + Comp. Balizas Blancas).

ii). Confiabilidad Figura 5.5b

- Confiabilidad Componentes FCU RAIL

$$R_{FCU_i} = R_{FCU\ N^{\circ}} \cdot R_{Cable\ BT} \cdot R_{Light} \quad (5.34)$$

Donde:

- $R_{FCU\ N^{\circ}}$: Confiabilidad gabinete FCU.
- $R_{Cable\ BT}$: Confiabilidad cable de alimentación secundario.
- R_{Light} : Confiabilidad luz de destello de aproximación.

Por lo tanto, la confiabilidad total de la Figura 5.5b es:

$$R_{FCU} = \prod_{i=1}^{30} R_{FCU_i} \quad \forall x \in [1, 30] \quad (5.35)$$

En base a los análisis y ecuaciones vistas, la confiabilidad del Sistemas de Aproximación de la pista 17R, se obtendrá como:

- Paso 1: Obtener la confiabilidad R_{AB} a través de las ecuaciones 5.32 y 5.33

$$R_{AB} = R_A \cdot R_B + R_A \cdot (1 - R_B) + (1 - R_A) \cdot R_B \quad (5.36)$$

Donde:

- R_A : Confiabilidad de la Ecuación 5.32.
 - R_B : Confiabilidad de la Ecuación 5.33.
- Paso 2: Utilizar la confiabilidad calculada del sistema FCU de la ecuación 5.35

De acuerdo a las ecuaciones 5.36 y 5.35 la Confiabilidad del Sistema de Aproximación de la pista 17R, se calcula como:

$$R_{Aprox.17R} = R_{AB} \cdot R_{FCU} \quad (5.37)$$

Finalmente, la disponibilidad del Sistema de Aproximación de la pista 17R, se obtiene como:

$$A_{Aprox.17R} = A_{AB} \cdot A_{FCU} \quad (5.38)$$

5.2.1.3. Diagrama RBD Sistema PAPI 17L

El diagrama de la figura Figura 5.6 muestra la configuración lógica del sistema $PAPI 17L$, el que está compuesto por los siguientes elementos y equipos:

- 01 regulador de corriente constante, con una potencia eléctrica de 4 [kW] , su función es alimentar eléctricamente el sistema PAPI.
- 04 cajas o unidades en la cual en su interior se ubican tres (03) ampollas de 200 [W] de potencia eléctrica por cada unidad.
- 12 transformadores de aislación, los cuales reciben la energía del regulador de corriente constante a través del devanado primario, para posterior alimentar a través del devanado secundario a cada ampolla.

La función del sistema $PAPI 17L$ es indicar el ángulo de descenso de forma visual al piloto a partir de las 4 millas de distancia antes de aterrizar. La forma de indicar al piloto que viene en el ángulo de descenso correcto es a través de la siguiente combinación de luces:

- Cuatro unidades en color blanco, indica que viene muy alto en relación al ángulo de descenso correcto.
- Tres unidades en color blanco y una unidad en color rojo, indica que viene levemente alto en relación al ángulo de descenso correcto.
- Dos unidades en color rojo y dos unidades en color blanco, indica que viene en el ángulo de descenso correcto.

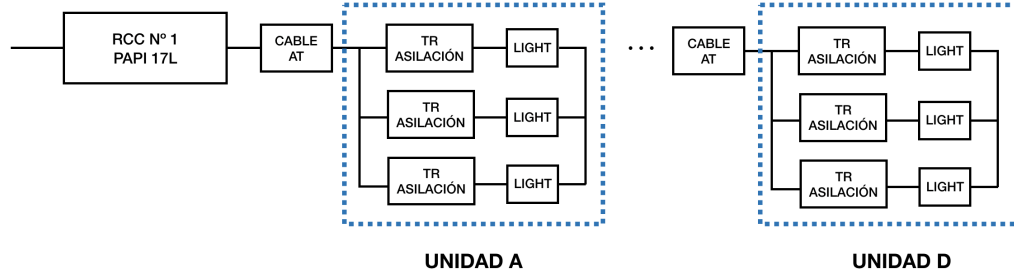


Figura 5.6: Diagrama RBD - PAPI 17L

- Tres unidades en color rojo y una unidad en color blanco, indica que viene levemente bajo en relación al ángulo de descenso correcto.
- Cuatro unidades en color rojo y una unidad en color blanco, indica que muy por debajo en relación al ángulo de descenso correcto.

Confiabilidad PAPI 17L

- Confiabilidad Unidad i

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Unidad}_i} = & (R_{TR\text{Aisl}_1} \cdot R_{L_1}) \cdot (R_{TR\text{Aisl}_2} \cdot R_{L_2}) \cdot (R_{TR\text{Aisl}_3} \cdot R_{L_3}) + \\
 & (R_{TR\text{Aisl}_1} \cdot R_{L_1}) \cdot (1 - (R_{TR\text{Aisl}_2} \cdot R_{L_2})) \cdot (1 - (R_{TR\text{Aisl}_3} \cdot R_{L_3})) + \\
 & ((1 - (R_{TR\text{Aisl}_1} \cdot R_{L_1})) \cdot (1 - (R_{TR\text{Aisl}_3} \cdot R_{L_3})) \cdot (R_{TR\text{Aisl}_2} \cdot R_{L_2})) + \\
 & (1 - (R_{TR\text{Aisl}_1} \cdot R_{L_1})) \cdot (1 - (R_{TR\text{Aisl}_2} \cdot R_{L_2})) \cdot (R_{TR\text{Aisl}_3} \cdot R_{L_3}) \\
 & \forall i \in [1, 4]
 \end{aligned} \tag{5.39}$$

Donde:

- R_i : Confiabilidad unidad i sistema PAPI.
 - R_{Aisl_1} : Confiabilidad transformación de aislación Nº1 asociado a la ampollita 1 de la *unidad* _{i} .
 - R_{Aisl_2} : Confiabilidad transformación de aislación Nº2 asociado a la ampollita 2 de la *unidad* _{i} .
 - R_{Aisl_3} : Confiabilidad transformación de aislación Nº3 asociado a la ampollita 3 de la *unidad* _{i} .
 - R_{L_1} : Confiabilidad luz (ampollita Nº1) de la *unidad* _{i} .
 - R_{L_2} : Confiabilidad luz (ampollita Nº2) de la *unidad* _{i} .
 - R_{L_3} : Confiabilidad luz (ampollita Nº3) de la *unidad* _{i} .
- Confiabilidad RCC Aproximación PAPI 17L

$$R_{RCC_{\text{PAPI}}} = R_{RCC_{\text{PAPI}}} \tag{5.40}$$

- Confiabilidad Cable AT

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Cable AT}_{\text{PAPI}_1}} &= R_{\text{Cable AT}_{\text{PAPI}_1}} \\
 R_{\text{Cable AT}_{\text{PAPI}_2}} &= R_{\text{Cable AT}_{\text{PAPI}_2}} \\
 R_{\text{Cable AT}_{\text{PAPI}_3}} &= R_{\text{Cable AT}_{\text{PAPI}_3}} \\
 R_{\text{Cable AT}_{\text{PAPI}_4}} &= R_{\text{Cable AT}_{\text{PAPI}_4}}
 \end{aligned} \tag{5.41}$$

Utilizando las ecuaciones 5.39, 5.40 y 5.41, se obtiene la confiabilidad del Sistema *PAPI* de la pista 17L como:

$$R_{PAPI\ 17L} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 1}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 2}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 3}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 4}} \cdot \prod_{i=1}^4 R_{unidad_i} \quad (5.42)$$

Donde:

- $R_{PAPI\ 17L}$: Confiabilidad Sistema PAPI pista 17L.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema PAPI 17L, se obtiene como:

$$A_{PAPI\ 17L} = A_{RCC_{PAPI}} \cdot A_{Cable\ AT_{PAPI\ 1}} \cdot A_{Cable\ AT_{PAPI\ 2}} \cdot A_{Cable\ AT_{PAPI\ 3}} \cdot A_{Cable\ AT_{PAPI\ 4}} \cdot \prod_{i=1}^4 A_{unidad_i}$$

5.2.1.4. Diagrama RBD Sistema PAPI 35R

Como el sistema PAPI de la pista 17L es idénticamente al sistema *PAPI* de la Pista 35R, entonces se cumplen las mismas condiciones para el diagrama RBD de la Figura 5.7, y la obtención de la confiabilidad del mencionado sistema también es el mismo, es decir, la lógica explicada anteriormente se repite, por lo tanto, la confiabilidad del PAPI 35R se calcula como:

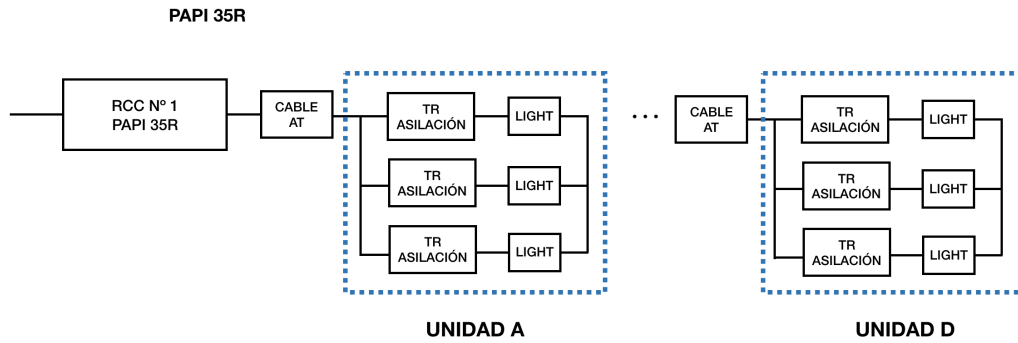


Figura 5.7: Diagrama RBD - PAPI 35R

$$R_{PAPI\ 35R} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 1}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 2}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 3}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 4}} \cdot \prod_{i=1}^4 R_{unidad_i} \quad (5.43)$$

Donde:

- $R_{PAPI\ 35R}$: Confiabilidad Sistema PAPI pista 35R.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema PAPI 35R, se obtiene como:

$$A_{PAPI\ 35R} = A_{RCC_{PAPI}} \cdot A_{Cable\ AT_{PAPI\ 1}} \cdot A_{Cable\ AT_{PAPI\ 2}} \cdot A_{Cable\ AT_{PAPI\ 3}} \cdot A_{Cable\ AT_{PAPI\ 4}} \cdot \prod_{i=1}^4 A_{unidad_i} \quad (5.44)$$

Donde:

- $A_{PAPI\ 35R}$: Disponibilidad Sistema PAPI pista 35R.

5.2.1.5. Diagrama RBD Sistema PAPI 17R

El diagrama de la figura Figura 5.8 muestra la configuración lógica del sistema PAPI 17R, el que está compuesto por los siguientes elementos y equipos:

- 01 regulador de corriente constante, con una potencia eléctrica de 4 [kW], su función es alimentar eléctricamente el sistema PAPI.
- 04 cajas o unidades en la cual en su interior se ubican dos ampolletas de 200 [W] de potencia eléctrica por cada unidad.
- 08 transformadores de aislación, los cuales reciben la energía del regulador de corriente constante a través del devanado primario, para posterior alimentar a través del devanado secundario a cada ampolleta.
- 12 luces de potencia de 200 [W] que son distribuidas en las cuatro cajas (unidades), cada unidad esta compuesta por 3 luces.

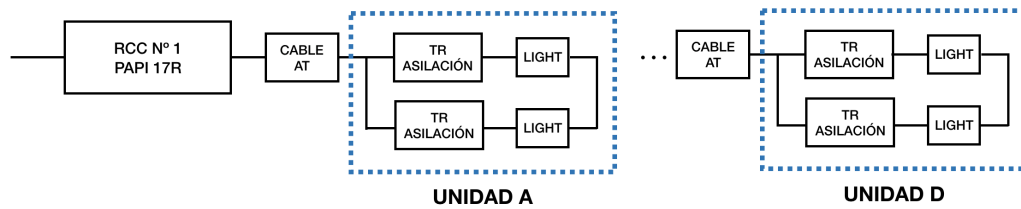


Figura 5.8: Diagrama RBD - PAPI 17R

La función del sistema *PAPI 17R* es indicar el ángulo de descenso de forma visual al piloto a partir de las 4 millas de distancia antes de aterrizar. La forma de indicar al piloto que viene en el ángulo de descenso correcto es a través de la siguiente combinación de luces:

- Cuatro unidades en color blanco, indica que viene muy alto en relación al ángulo de descenso correcto.
- Tres unidades en color blanco y una unidad en color rojo, indica que viene levemente alto en relación al ángulo de descenso correcto.
- Dos unidades en color rojo y dos unidades en color blanco, indica que viene en el ángulo de descenso correcto.
- Tres unidades en color rojo y una unidad en color blanco, indica que viene levemente bajo en relación al ángulo de descenso correcto.
- Cuatro unidades en color rojo y una unidad en color blanco, indica que muy por debajo en relación al ángulo de descenso correcto.
- Confiabilidad PAPI 17R
- Confiabilidad Unidad i

$$R_{unidad_j} = [(R_{TR_{Aisl_1}} \cdot R_{L_1}) \cdot (R_{TR_{Aisl_2}} \cdot R_{L_2}) + [(R_{TR_{Aisl_1}} \cdot R_{L_1}) \cdot (1 - (R_{TR_{Aisl_2}} \cdot R_{L_2}))] + [(1 - (R_{TR_{Aisl_1}} \cdot R_{L_1})) \cdot (R_{TR_{Aisl_2}} \cdot R_{L_2})] \quad \forall i \in [1, 4] \quad (5.45)$$

Donde:

- R_i : Confiabilidad unidad i sistema PAPI.
- R_{Aisl_1} : Confiabilidad transformación de aislación N°1 asociado a la ampolleta 1 de la *unidad_j*.
- R_{Aisl_2} : Confiabilidad transformación de aislación N°2 asociado a la ampolleta 2 de la *unidad_j*.

- R_{L_1} : Confiabilidad luz (ampolleta N°1) de la *unidad*_{*j*}.
- R_{L_2} : Confiabilidad luz (ampolleta N°2) de la *unidad*_{*j*}.

- Confiabilidad RCC Aproximación PAPI 17R

$$R_{RCC_{PAPI}} = R_{RCC_{PAPI}} \quad (5.46)$$

- Confiabilidad Cable AT

$$\begin{aligned} R_{\text{Cable AT}_{PAPI 1}} &= R_{\text{Cable AT}_{PAPI 1}} \\ R_{\text{Cable AT}_{PAPI 2}} &= R_{\text{Cable AT}_{PAPI 2}} \\ R_{\text{Cable AT}_{PAPI 3}} &= R_{\text{Cable AT}_{PAPI 3}} \\ R_{\text{Cable AT}_{PAPI 4}} &= R_{\text{Cable AT}_{PAPI 4}} \end{aligned} \quad (5.47)$$

Utilizando las ecuaciones 5.45, 5.46 y 5.47, se obtiene la confiabilidad del Sistema PAPI de la pista 17R como:

$$R_{\text{PAPI 17R}} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{\text{Cable AT}_{PAPI 1}} \cdot R_{\text{Cable AT}_{PAPI 2}} \cdot R_{\text{Cable AT}_{PAPI 3}} \cdot R_{\text{Cable AT}_{PAPI 4}} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{\text{unidad}_j} \quad (5.48)$$

Finalmente, la disponibilidad del Sistema PAPI 17R se obtiene como:

$$A_{\text{PAPI 17R}} = A_{RCC_{PAPI}} \cdot A_{\text{Cable AT}_{PAPI 1}} \cdot A_{\text{Cable AT}_{PAPI 2}} \cdot A_{\text{Cable AT}_{PAPI 3}} \cdot A_{\text{Cable AT}_{PAPI 4}} \cdot \prod_{j=1}^4 A_{\text{unidad}_j} \quad (5.49)$$

5.2.1.6. Diagrama RBD Luces PAPI 35L

Como el sistema PAPI de la pista 35L es idénticamente al sistema PAPI de la Pista 17R, entonces se cumplen las mismas condiciones para el diagrama RBD de la Figura 5.8, y la obtención de la confiabilidad del mencionado sistema también es el mismo, es decir, la lógica explicada anteriormente se repite, por lo tanto, la confiabilidad del PAPI 35L se calcula como:

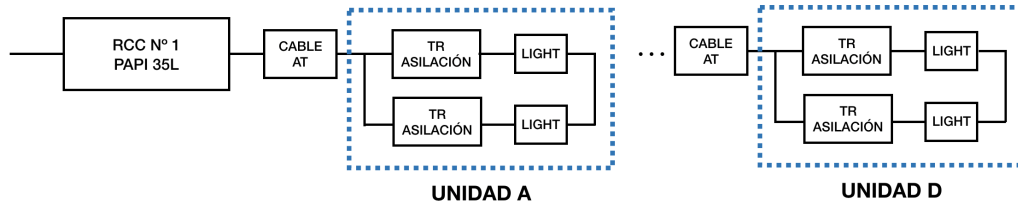


Figura 5.9: Diagrama RBD - PAPI 35L

- Confiabilidad PAPI 35L

$$R_{\text{PAPI 35L}} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{\text{Cable AT}_{PAPI 1}} \cdot R_{\text{Cable AT}_{PAPI 2}} \cdot R_{\text{Cable AT}_{PAPI 3}} \cdot R_{\text{Cable AT}_{PAPI 4}} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{\text{unidad}_j} \quad (5.50)$$

Donde:

- $R_{PAPI\ 35L}$: Confiabilidad Sistema PAPI pista 35L.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema PAPI 35R se obtiene como:

$$A_{PAPI\ 35L} = A_{RCC\ PAPI} \cdot A_{Cable\ AT\ PAPI\ 1} \cdot A_{Cable\ AT\ PAPI\ 2} \cdot A_{Cable\ AT\ PAPI\ 3} \cdot A_{Cable\ AT\ PAPI\ 4} \cdot \prod_{j=1}^4 A_{unidad_j} \quad (5.51)$$

5.2.1.7. Diagrama RBD Luces Eje Pista 17L - 35R

El diagrama *RBD* de la Figura 5.10 muestra la configuración del sistema eje de pista compuesto por reguladores de corriente constante y componentes que suministran energía a las luces de eje de la pista 17L – 35R. Este sistema funciona a través de dos (02) reguladores dispuestos lógicamente en paralelo, cada uno de ellos suministra energía a un segmento o cantidad específica de luces, como es el caso de los reguladores N°1 y N°2. La conexión de las luces es a través de circuitos intercalado, con el propósito que al instante o momento de ocurrir una falla grave en uno de los reguladores, las luces quedarán espaciadas a una distancia máxima de 30 [m].

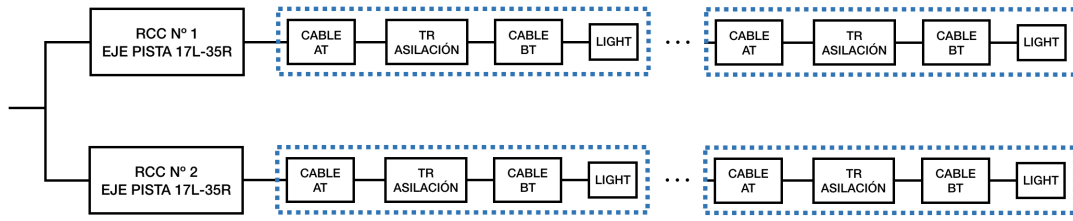


Figura 5.10: Diagrama RBD - Eje Pista 17L-35R

La Figura 5.10 muestra el resumen del sistema representado, de acuerdo a ello se calculará la confiabilidad del sistema Eje de Pista a través de sub-etapas, como se muestra a continuación.

- Confiabilidad Regulador de Corriente Constante

$$R_{RCC\ N^{\circ}1_{Eje}} = R_{RCC\ N^{\circ}1_{Eje}} \quad (5.52)$$

$$R_{RCC\ N^{\circ}2_{Eje}} = R_{RCC\ N^{\circ}2_{Eje}} \quad (5.53)$$

Donde:

- $R_{RCC\ N^{\circ}1_{Eje}}$: Confiabilidad regulador de corriente constante que alimenta eléctricamente al circuito N°1 del sistema eje de pista 17L – 35R.
- $R_{RCC\ N^{\circ}2_{Eje}}$: Confiabilidad regulador de corriente constante que alimenta eléctricamente al circuito N°2 del sistema eje de pista 17L – 35R.

- Confiabilidad Cable Alta Tensión

$$R_{Cable\ AT_{Eje_i}} = R_{Cable\ AT_{Eje_i}} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,124 \quad (5.54)$$

$$R_{Cable\ AT_{Eje_j}} = R_{Cable\ AT_{Eje_j}} \quad \forall j \in (2m + 1), \quad m = 1..,124 \quad (5.55)$$

Donde:

- $R_{Cable\ AT_{Eje_i}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta el circuito eléctrico N°1.
- $R_{Cable\ AT_{Eje_j}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta el circuito eléctrico N°2.

■ Confiabilidad Transformador de Aislación

$$R_{TR_{aisl_i}} = R_{TR_{aisl_i}} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,124 \quad (5.56)$$

$$R_{TR_{aisl_j}} = R_{TR_{aisl_j}} \quad \forall j \in (2m + 1), \quad m = 1..,124 \quad (5.57)$$

Donde:

- $R_{TR_{aisl_i}}$: Confiabilidad transformador de aislación que alimenta eléctricamente a la baliza i del circuito N°1.
- $R_{TR_{aisl_j}}$: Confiabilidad transformador de aislación que alimenta eléctricamente a la baliza j del circuito N°2.

■ Confiabilidad Cable Baja Tensión

$$R_{Cable\ BT_i} = R_{Cable\ BT_i} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,124 \quad (5.58)$$

$$R_{Cable\ BT_j} = R_{Cable\ BT_j} \quad \forall j \in (2m + 1), \quad m = 1..,124 \quad (5.59)$$

Donde:

- $R_{Cable\ BT_i}$: Confiabilidad cable de baja tensión (BT) que alimenta al circuito N°1.
- $R_{Cable\ BT_j}$: Confiabilidad cable de baja tensión (BT) que alimenta al circuito N°2.

■ Confiabilidad Baliza Eje de Pista

$$R_{Baliza\ Eje_i} = R_{Baliza\ Eje_i} \quad \forall i \in (2n + 1), \quad n = 1..,124 \quad (5.60)$$

$$R_{Baliza\ Eje_j} = R_{Baliza\ Eje_j} \quad \forall j \in (2m + 1), \quad m = 1..,124 \quad (5.61)$$

Donde:

- R_{Baliza_i} : Confiabilidad por cada baliza asociada al circuito eléctrico N°1.
- R_{Baliza_j} : Confiabilidad por cada baliza asociada al circuito eléctrico N°2.

Utilizando las ecuaciones 5.54, 5.56, 5.58 y 5.60, se obtiene la confiabilidad de los elementos impares del circuito N° 1 como:

$$R_{Cto.\ N^{\circ}1_i} = R_{Cable\ AT_{Eje_i}} \cdot R_{Cable\ BT_i} \cdot R_{TR_{aisl_i}} \cdot R_{Baliza\ Eje_i} \quad (5.62)$$

Donde:

- $R_{\text{Cto. N}^\circ 1_j}$: Confiabilidad de los elementos alimentados eléctricamente por RCC N° 1 y que pertenecen al circuito eléctrico N° 1.

Utilizando las ecuaciones 5.55, 5.57, 5.59 y 5.61, se obtiene la confiabilidad de los elementos pares del circuito N° 2 como:

$$R_{\text{Cto. N}^\circ 2_j} = R_{\text{Cable AT}_{Eje_j}} \cdot R_{\text{Cable BT}_j} \cdot R_{TR_{aisl_j}} \cdot R_{\text{Baliza Eje}_j} \quad (5.63)$$

Donde:

- $R_{\text{Cto. N}^\circ 2_j}$: Confiabilidad de los elementos alimentados eléctricamente por RCC N° 2 y que pertenecen al circuito eléctrico N°2.

De acuerdo con la obtención de las ecuaciones vistas, la confiabilidad del Sistema Eje de Pista 17L – 35R de la Figura 5.10, se calcula como:

$$\begin{aligned} R_{EJE_{17L-35R}} = & \left(R_{\text{RCC N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{\text{Cto. N}^\circ 1_i} \right) \cdot \left(R_{\text{RCC N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{\text{Cto. N}^\circ 2_j} \right) + \\ & \left(R_{\text{RCC N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{\text{Cto. N}^\circ 1_i} \right) \cdot \left(1 - \left(R_{\text{RCC N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{\text{Cto. N}^\circ 2_j} \right) \right) + \\ & \left(1 - \left(R_{\text{RCC N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{\text{Cto. N}^\circ 1_i} \right) \right) \cdot \left(R_{\text{RCC N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{\text{Cto. N}^\circ 2_j} \right) \\ & \forall n \in [1, 124], \quad \forall m \in [0, 124] \end{aligned} \quad (5.64)$$

Donde:

- $R_{EJE_{17L-35R}}$: Confiabilidad Sistema Eje de Pista 17L – 35R.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema Eje de Pista 17L – 35R se obtiene como:

$$\begin{aligned} A_{EJE_{17L-35R}} = & \left(A_{\text{RCC N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{\text{Cto. N}^\circ 1_i} \right) \cdot \left(A_{\text{RCC N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} A_{\text{Cto. N}^\circ 2_j} \right) + \\ & \left(A_{\text{RCC N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{\text{Cto. N}^\circ 1_i} \right) \cdot \left(1 - \left(A_{\text{RCC N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} A_{\text{Cto. N}^\circ 2_j} \right) \right) + \\ & \left(1 - \left(A_{\text{RCC N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{\text{Cto. N}^\circ 1_i} \right) \right) \cdot \left(A_{\text{RCC N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} A_{\text{Cto. N}^\circ 2_j} \right) \\ & \forall n \in [1, 124], \quad \forall m \in [0, 124] \end{aligned} \quad (5.65)$$

5.2.1.8. Diagrama RBD Luces Eje Pista 17R - 35L

El diagrama *RBD* de la Figura 5.11 muestra la configuración del sistema eje de pista compuesto por reguladores de corriente constante y componentes que suministran energía a las luces de eje de la pista 17R – 35L. Este sistema funciona a través de dos (02) reguladores dispuestos lógicamente en paralelo, cada uno de ellos suministra energía a un segmento o cantidad específica de luces, como es el caso de los reguladores N°1 y N°2. La conexión de las luces es a través de circuitos intercalado, con el propósito que al instante o momento de ocurrir una falla grave en uno de los reguladores las luces quedarán espaciadas a una distancia máxima de 30 [m].

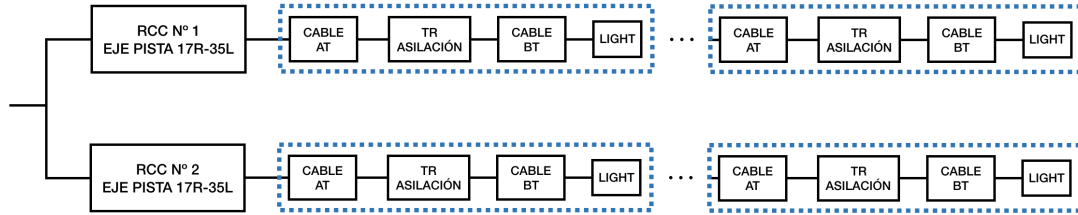


Figura 5.11: Diagrama RBD - Eje Pista 17R-35L

La Figura 5.11 muestra el resumen del sistema representado, de acuerdo a ello se calculará la confiabilidad del sistema Eje de Pista a través de sub-etapas, como se muestra a continuación.

- Confiabilidad Regulador de Corriente Constante

$$R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{E_{je}}} = R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{E_{je}}} \quad (5.66)$$

$$R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{E_{je}}} = R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{E_{je}}} \quad (5.67)$$

Donde:

- $R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{E_{je}}}$: Confiabilidad regulador de corriente constante que alimenta eléctricamente al circuito N° 1 del sistema eje de pista 17R – 35L.
- $R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{E_{je}}}$: Confiabilidad regulador de corriente constante que alimenta eléctricamente al circuito N° 2 del sistema eje de pista 17R – 35L.

- Confiabilidad Cable Alta Tensión

$$R_{Cable\ AT_{E_{je_i}}} = R_{Cable\ AT_{E_{je_i}}} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,126 \quad (5.68)$$

$$R_{Cable\ AT_{E_{je_j}}} = R_{Cable\ AT_{E_{je_j}}} \quad \forall i \in (2n + 1), \quad m = 0..,126 \quad (5.69)$$

Donde:

- $R_{Cable\ AT_{E_{je_i}}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta al circuito eléctrico N° 1 del sistema eje de pista 17R – 35L.
- $R_{Cable\ AT_{E_{je_j}}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta al circuito eléctrico N° 2 del sistema eje de pista 17R – 35L.

■ Confiabilidad Transformador de Aislación

$$R_{TR_{aisl_i}} = R_{TR_{aisl_i}} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,126 \quad (5.70)$$

$$R_{TR_{aisl_j}} = R_{TR_{aisl_j}} \quad \forall j \in (2n + 1), \quad n = 0..,126 \quad (5.71)$$

Donde:

- $R_{TR_{aisl_i}}$: Confiabilidad por cada transformador de aislación que alimenta eléctricamente a la baliza i del circuito N° 1.
- $R_{TR_{aisl_j}}$: Confiabilidad por cada transformador de aislación que alimenta eléctricamente a la baliza j del circuito N° 2.

■ Confiabilidad Cable Baja Tensión

$$R_{Cable\ BT_i} = R_{Cable\ BT_i} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,126 \quad (5.72)$$

$$R_{Cable\ BT_j} = R_{Cable\ BT_j} \quad \forall j \in (2n + 1), \quad n = 0..,126 \quad (5.73)$$

Donde:

- $R_{Cable\ BT_i}$: Confiabilidad cable de baja tensión (BT) que pertenece al circuito eléctrico N° 1.
- $R_{Cable\ BT_j}$: Confiabilidad cable de baja tensión (BT) que pertenece al circuito eléctrico N° 2.

■ Confiabilidad Baliza

$$R_{Baliza\ Eje_i} = R_{Baliza\ Eje_i} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,126 \quad (5.74)$$

$$R_{Baliza\ Eje_j} = R_{Baliza\ Eje_j} \quad \forall j \in (2n + 1), \quad n = 0..,126 \quad (5.75)$$

Donde:

- $R_{Baliza\ Eje_i}$: Confiabilidad de cada baliza que pertenece al circuito N° 1.
- $R_{Baliza\ Eje_j}$: Confiabilidad de cada baliza que pertenece al circuito N° 2.

Utilizando las ecuaciones 5.68, 5.70, 5.72 y 5.74, se obtiene la confiabilidad de los elementos que pertenecen al circuito N° 1 como:

$$R_{Cto.\ N^{\circ}1_i} = R_{Cable\ AT_{Eje_i}} \cdot R_{Cable\ BT_i} \cdot R_{TR_{aisl_i}} \cdot R_{Baliza\ Eje_i} \quad (5.76)$$

Donde:

- $R_{Cto.\ N^{\circ}1_i}$: Confiabilidad de la interacción de los elementos como transformador de aislación, cable de baja tensión y la baliza (light), utilizados en el circuito del regulador de corriente constante N° 1.

Utilizando las ecuaciones 5.69, 5.71, 5.73 y 5.75, se obtiene la confiabilidad de los elementos que pertenecen al circuito N° 2 como:

$$R_{\text{Cto. N}^\circ 2_j} = R_{\text{Cable AT}_{Eje_i}} \cdot R_{\text{Cable BT}_i} \cdot R_{TR_{\text{aisl}_j}} \cdot R_{\text{Baliza Eje}_j} \quad (5.77)$$

Donde:

- $R_{\text{Cto. N}^\circ 2_j}$: Confiabilidad de la interacción de los elementos como transformador de aislamiento, cable de baja tensión y la baliza (light), utilizados en el circuito del regulador de corriente constante N° 2.

De acuerdo con la obtención de las ecuaciones vistas, la confiabilidad del Sistema Eje de Pista 17L – 35R de la Figura 5.11, se calcula como:

$$\begin{aligned} R_{EJE_{17R-35L}} = & \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{\text{Cable AT}_{Eje_i}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{\text{abc}_i} \right) \cdot \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} R_{\text{Cable AT}_{Eje_j}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} R_{\text{abc}_j} \right) + \\ & \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{\text{Cable AT}_{Eje_i}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{\text{abc}_i} \right) \cdot \left(1 - \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} R_{\text{Cable AT}_{Eje_j}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} R_{\text{abc}_j} \right) \right) + \\ & \left(1 - \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{\text{Cable AT}_{Eje_i}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{\text{abc}_i} \right) \right) \cdot \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} R_{\text{Cable AT}_{Eje_j}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} R_{\text{abc}_j} \right) \\ & \forall n \in [0, 126] \end{aligned} \quad (5.78)$$

Donde:

- $R_{EJE_{17R-35L}}$: Confiabilidad Sistema Eje de Pista 17R – 35L.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema Eje de Pista 17R – 35L se obtiene como:

$$\begin{aligned} A_{EJE_{17R-35L}} = & \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{\text{Cable AT}_{Eje_i}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{\text{abc}_i} \right) \cdot \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{\text{Cable AT}_{Eje_j}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{\text{abc}_j} \right) + \\ & \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{\text{Cable AT}_{Eje_i}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{\text{abc}_i} \right) \cdot \left(1 - \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{\text{Cable AT}_{Eje_j}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{\text{abc}_j} \right) \right) + \\ & \left(1 - \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{\text{Cable AT}_{Eje_i}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{\text{abc}_i} \right) \right) \cdot \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{\text{Cable AT}_{Eje_j}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{\text{abc}_j} \right) \\ & \forall n \in [0, 126] \end{aligned} \quad (5.79)$$

5.2.1.9. Diagrama RBD Luces Borde Umbral y Término de Pista 17L - 35R

El diagrama *RBD* de la Figura 5.12 muestra la configuración del sistema de iluminación de las luces de borde, umbral y término de pista. Este sistema está compuesto por dos (02) reguladores de corriente constante dispuestos lógicamente en paralelo, cada uno de ellos suministran energía a un segmento o cantidad específica de luces, como es el caso de los reguladores N° 1 y N° 2. La conexión de las luces se realiza a través de circuitos intercalado cada 60 [m], con el propósito que al instante o momento de ocurrir una falla grave en uno de los reguladores, las luces quedarán espaciadas a una distancia máxima de 60 [m].

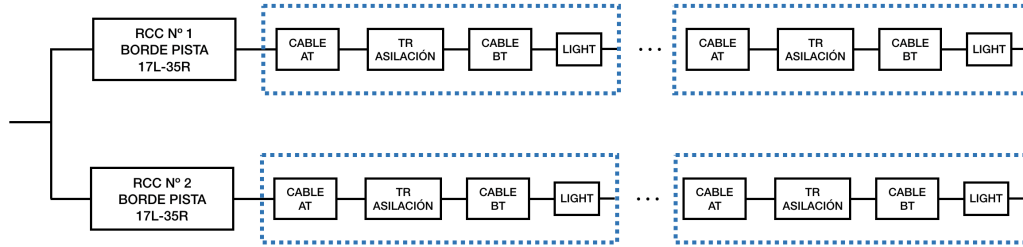


Figura 5.12: Diagrama RBD - Luces de Borde, Umbral y Término de Pista 17L - 35R

La Figura 5.12 muestra el resumen del sistema representado, de acuerdo a ello se calculará la confiabilidad del sistema Borde, Umbral y Término de Pista a través de sub-etapas, como se muestra a continuación.

- Confiabilidad Regulador de Corriente Constante

$$R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{Borde}} = R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{Borde}} \quad (5.80)$$

$$R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{Borde}} = R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{Borde}} \quad (5.81)$$

Donde:

- $R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{Borde}}$: Confiabilidad regulador de corriente constante que alimenta con energía eléctrica al circuito N° 1 de borde, umbral y término de pista 17L – 35R.
- $R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{Borde}}$: Confiabilidad regulador de corriente constante que alimenta con energía eléctrica al circuito N° 2 de borde, umbral y término de pista 17L – 35R.

- Confiabilidad Cable Alta Tensión

$$R_{Cable\ AT_{Borde_i}} = R_{Cable\ AT_{Borde_i}} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,68 \quad (5.82)$$

$$R_{Cable\ AT_{Borde_j}} = R_{Cable\ AT_{Borde_j}} \quad \forall j \in (2n + 1), \quad m = 0..,68 \quad (5.83)$$

Donde:

- $R_{Cable\ AT_{Borde_i}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta el circuito eléctrico N° 1 de los transformadores de aislación.
- $R_{Cable\ AT_{Borde_j}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta el circuito eléctrico N° 2 de los transformadores de aislación.

■ Confiabilidad Transformador de Aislación

$$R_{TR_{aisl_i}} = R_{TR_{aisl_i}} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,68 \quad (5.84)$$

$$R_{TR_{aisl_j}} = R_{TR_{aisl_j}} \quad \forall j \in (2n + 1), \quad n = 0..,68 \quad (5.85)$$

Donde:

- $R_{TR_{aisl_i}}$: Confiabilidad transformador de aislación que alimenta eléctricamente a la baliza_i del circuito N° 1.
- $R_{TR_{aisl_j}}$: Confiabilidad transformador de aislación que alimenta eléctricamente a la baliza_j del circuito N° 2.

■ Confiabilidad Cable Baja Tensión

$$R_{Cable\ BT_i} = R_{Cable\ BT_i} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,68 \quad (5.86)$$

$$R_{Cable\ BT_j} = R_{Cable\ BT_j} \quad \forall j \in (2n + 1), \quad n = 0..,68 \quad (5.87)$$

Donde:

- $R_{Cable\ BT_i}$: Confiabilidad cable de baja tensión (BT) asociado al circuito eléctrico N°1.
- $R_{Cable\ BT_j}$: Confiabilidad cable de baja tensión (BT) asociado al circuito eléctrico N°2.

■ Confiabilidad Baliza Borde Pista

$$R_{Baliza\ borde_i} = R_{Baliza\ borde_i} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,68 \quad (5.88)$$

$$R_{Baliza\ borde_j} = R_{Baliza\ borde_j} \quad \forall j \in (2n + 1), \quad n = 0..,68 \quad (5.89)$$

Donde:

- $R_{Baliza\ borde_i}$: Confiabilidad baliza borde de pista *i* del circuito N° 1.
- $R_{Baliza\ borde_j}$: Confiabilidad baliza borde de pista *j* del circuito N° 2.

Utilizando las ecuaciones 5.82, 5.84, 5.86 y 5.88, se obtiene la confiabilidad de los elementos que pertenecen al circuito N° 1:

$$R_{a_i} = R_{Cable\ AT_{Borde_i}} \cdot R_{TR_{aisl_i}} \cdot R_{Cable\ BT_i} \cdot R_{Baliza\ borde_i} \quad (5.90)$$

Donde:

- R_{a_i} : Confiabilidad de la interacción de los elementos impares (*2n*) asociados al circuito eléctrico N° 1.

Utilizando las ecuaciones 5.83, 5.85, 5.87 y 5.89, se obtiene la confiabilidad de los elementos que pertenecen al circuito N°1:

$$R_{a_j} = R_{\text{Cable AT}_{\text{Borde}_j}} \cdot R_{TR_{\text{aisl}_j}} \cdot R_{\text{Cable BT}_j} \cdot R_{\text{Baliza borde}_j} \quad (5.91)$$

Donde:

- R_{a_j} : Confiabilidad de la interacción de los elementos impares $(2n + 1)$ asociados al circuito eléctrico N° 2.

De acuerdo con la obtención de las ecuaciones vistas, la confiabilidad del Sistema Borde, Umbral y Término de Pista 17L – 35R de la Figura 5.12, se calcula como:

$$R_{BP_{17L-35R}} = \left(R_{\text{RCC N}^\circ 1_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i} \right) \cdot \left(R_{\text{RCC N}^\circ 2_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{j=((2n+1))} R_{a_j} \right) + \left(R_{\text{RCC N}^\circ 1_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i} \right) \cdot \left(1 - \left(R_{\text{RCC N}^\circ 2_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} R_{a_j} \right) \right) + \left(1 - \left(R_{\text{RCC N}^\circ 1_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i} \right) \right) \cdot \left(R_{\text{RCC N}^\circ 2_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j} \right) \quad \forall n \in [0, 68] \quad (5.92)$$

Donde:

- $R_{BP_{17L-35R}}$: Confiabilidad Sistema Borde, Umbral y Término de Pista 17L – 35R.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema Borde, Umbral y Término de Pista 17L – 35R se obtiene como:

$$A_{BP_{17L-35R}} = \left(A_{\text{RCC N}^\circ 1_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i} \right) \cdot \left(A_{\text{RCC N}^\circ 2_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{j=((2n+1))} A_{a_j} \right) + \left(A_{\text{RCC N}^\circ 1_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i} \right) \cdot \left(1 - \left(A_{\text{RCC N}^\circ 2_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{a_j} \right) \right) + \left(1 - \left(A_{\text{RCC N}^\circ 1_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i} \right) \right) \cdot \left(A_{\text{RCC N}^\circ 2_{\text{Borde}}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} A_{a_j} \right) \quad \forall n \in [0, 68] \quad (5.93)$$

5.2.1.10. Diagrama RBD Luces Borde Umbral y Término de Pista 17R - 35L

El diagrama *RBD* de la Figura 5.13 muestra la configuración del sistema de iluminación de las luces de borde, umbral y término de pista. Este sistema está compuesto por dos (02) reguladores de corriente constante dispuestos lógicamente en paralelo, cada uno de ellos suministran energía a un segmento o cantidad específica de luces, como es el caso de los reguladores N° 1 y N° 2. La conexión de las luces se realiza a través de circuitos intercalado cada 60 [m], con el propósito que al instante o momento de ocurrir una falla grave en uno de los reguladores, las luces quedarán espaciadas a una distancia máxima de 60 [m].

La Figura 5.13 muestra el resumen del sistema representado, de acuerdo a ello se calculará la confiabilidad del sistema Borde, Umbral y Término de Pista a través de sub-etapas, como se muestra a continuación.

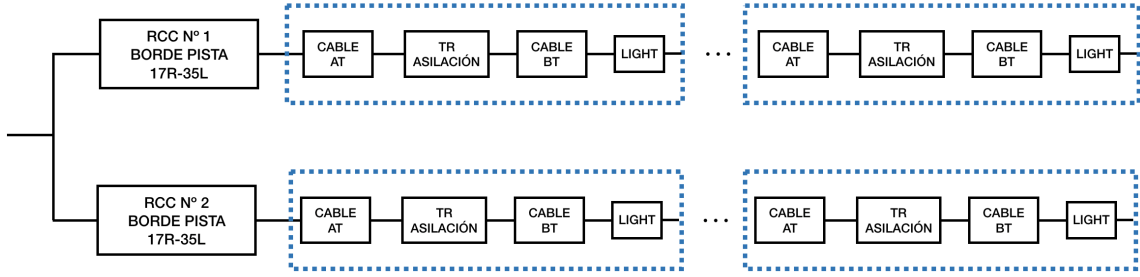


Figura 5.13: Diagrama RBD - Borde Pista 17R - 35L

■ Confiabilidad Regulador de Corriente Constante

$$R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{Borde}} = R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{Borde}} \quad (5.94)$$

$$R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{Borde}} = R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{Borde}} \quad (5.95)$$

Donde:

- $R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{Borde}}$: Confiabilidad regulador de corriente constante que alimenta eléctricamente al circuito N° 1 de borde, umbral y término de pista 17R – 35L.
- $R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{Borde}}$: Confiabilidad regulador de corriente constante que alimenta eléctricamente al circuito N° 2 de borde, umbral y término de pista 17R – 35L.

■ Confiabilidad Cable Alta Tensión

$$R_{Cable\ AT_{Borde_i}} = R_{Cable\ AT_{Borde_i}} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,83 \quad (5.96)$$

$$R_{Cable\ AT_{Borde_j}} = R_{Cable\ AT_{Borde_j}} \quad \forall j \in (2m + 1), \quad m = 0..,82 \quad (5.97)$$

Donde:

- $R_{Cable\ AT_{Borde_i}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta el circuito eléctrico N° 1.
- $R_{Cable\ AT_{Borde_j}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta el circuito eléctrico N° 2.

■ Confiabilidad Transformador de Aislación

$$R_{TR_{aisl_i}} = R_{TR_{aisl_i}} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,83 \quad (5.98)$$

$$R_{TR_{aisl_j}} = R_{TR_{aisl_j}} \quad \forall j \in (2m + 1), \quad m = 0..,82 \quad (5.99)$$

Donde:

- $R_{TR_{aisl_i}}$: Confiabilidad transformador de aislación que alimenta eléctricamente a la baliza i del circuito N° 1.
- $R_{TR_{aisl_j}}$: Confiabilidad transformador de aislación que alimenta eléctricamente a la baliza j del circuito N° 2.

■ Confiabilidad Cable Baja Tensión

$$R_{\text{Cable BT}_i} = R_{\text{Cable BT}_i} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,83 \quad (5.100)$$

$$R_{\text{Cable BT}_j} = R_{\text{Cable BT}_j} \quad \forall j \in (2m + 1), \quad m = 0..,82 \quad (5.101)$$

Donde:

- $R_{\text{Cable BT}_i}$: Confiabilidad cable de baja tensión (BT) asociado al circuito eléctrico N° 1.
- $R_{\text{Cable BT}_j}$: Confiabilidad cable de baja tensión (BT) asociado al circuito eléctrico N° 2.

■ Confiabilidad Baliza Borde Pista

$$R_{\text{Baliza borde}_i} = R_{\text{Baliza borde}_i} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,83 \quad (5.102)$$

$$R_{\text{Baliza borde}_j} = R_{\text{Baliza borde}_j} \quad \forall j \in (2m + 1), \quad m = 0..,82 \quad (5.103)$$

Donde:

- $R_{\text{Baliza borde}_i}$: Confiabilidad baliza borde de pista i del circuito N° 1.
- $R_{\text{Baliza borde}_j}$: Confiabilidad baliza borde de pista j del circuito N° 2.

Utilizando las ecuaciones 5.96, 5.98, 5.100 y 5.102, se obtiene la confiabilidad de los elementos que pertenecen al circuito N° 1:

$$R_{a_i} = R_{\text{Cable AT}_{\text{Borde}_i}} \cdot R_{TR_{\text{aisl}_i}} \cdot R_{\text{Cable BT}_i} \cdot R_{\text{Baliza borde}_i} \quad (5.104)$$

Donde:

- R_{a_i} : Confiabilidad de la interacción de los elementos impares ($2n$) asociados al circuito eléctrico N° 1.

Utilizando las ecuaciones 5.97, 5.99, 5.101 y 5.103, se obtiene la confiabilidad de los elementos que pertenecen al circuito N° 2:

$$R_{a_j} = R_{\text{Cable AT}_{\text{Borde}_j}} \cdot R_{TR_{\text{aisl}_j}} \cdot R_{\text{Cable BT}_j} \cdot R_{\text{Baliza borde}_j} \quad (5.105)$$

Donde:

- R_{a_j} : Confiabilidad de los elementos impares ($2m + 1$) asociados al circuito eléctrico N° 2.

De acuerdo con la obtención de las ecuaciones vistas, la confiabilidad del Sistema Borde, Umbral y Término de Pista 17R – 35L de la Figura 5.13, se calcula como:

$$\begin{aligned}
 R_{BP_{17R-35L}} = & \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i} \right) \cdot \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j} \right) + \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i} \right) \cdot \\
 & \left(1 - \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j} \right) \right) + \left(1 - \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i} \right) \right) \cdot \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j} \right) \\
 & \forall n \in [1, 83] , \quad \forall m \in [0, 82]
 \end{aligned} \tag{5.106}$$

Donde:

- $R_{BP_{17R-35L}}$: Confiabilidad Sistema Borde, Umbral y Término de Pista 17R – 35L.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema Borde, Umbral y Término de Pista 17R – 35L se obtiene como:

$$\begin{aligned}
 A_{BP_{17R-35L}} = & \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i} \right) \cdot \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} A_{a_j} \right) + \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i} \right) \cdot \\
 & \left(1 - \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} A_{a_j} \right) \right) + \left(1 - \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i} \right) \right) \cdot \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} A_{a_j} \right) \\
 & \forall n \in [1, 83] , \quad \forall m \in [0, 82]
 \end{aligned} \tag{5.107}$$

5.2.1.11. Diagrama RBD Luces Zona Toma de Contacto 17L

El diagrama *RBD* de la Figura 5.14 muestra la configuración del sistema de iluminación de las luces de toma de contacto (*TDZ*) de la pista 17L. Este sistema está compuesto por reguladores de corriente constante y elementos que suministran de energía a las luces antes mencionadas de la pista 17R – 35L.

Este sistema funciona a través de dos (02) reguladores dispuestos lógicamente (RBD) en paralelo, cada uno de ellos suministra energía a cada barreta conformadas por tres luces, como es el caso de los reguladores N° 1 y N° 2. La conexión de las luces se realiza a través de circuitos intercalado cada 30 [m], con el propósito que al instante o momento de ocurrir una falla grave en uno de los reguladores, las barretas quedarán encendidas a una distancia máxima de 60 [m].

La Figura 5.14 muestra el resumen del sistema representado, de acuerdo a ello se calculará la confiabilidad del sistema Toma de Contacto de la Pista 17L a través de sub-etapas, como se muestra a continuación.

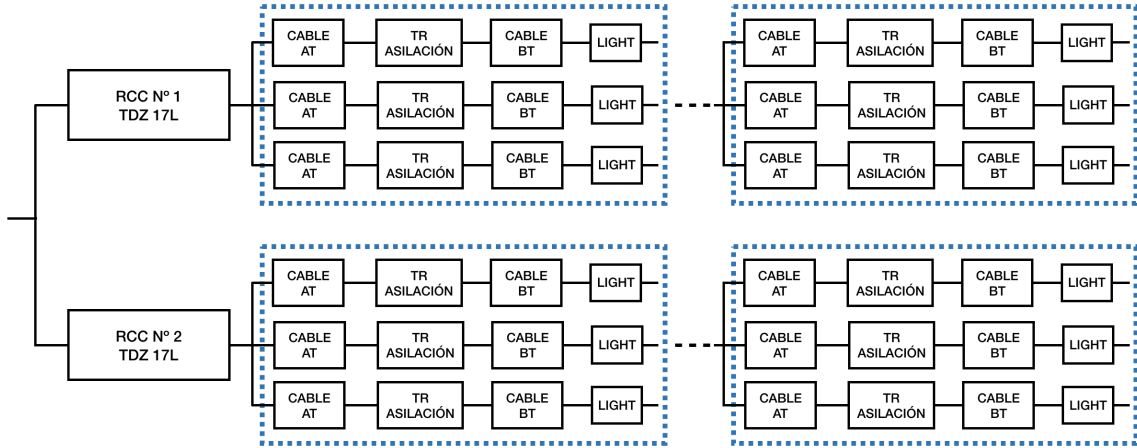


Figura 5.14: Diagrama RBD - Zona Toma de Contacto 17L

■ Confiabilidad Regulator de Corriente Constante

$$R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{TDZ}} = R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{TDZ}} \quad (5.108)$$

$$R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{TDZ}} = R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{TDZ}} \quad (5.109)$$

Donde:

- $R_{RCC\ N^{\circ}\ 1_{TDZ}}$: Confiabilidad regulador de corriente constante que alimenta eléctricamente con energía eléctrica al circuito N° 1 toma de contacto pista 17L.
- $R_{RCC\ N^{\circ}\ 2_{TDZ}}$: Confiabilidad regulador de corriente constante que alimenta eléctricamente al circuito N° 2 toma de contacto pista 17L.

■ Confiabilidad Cable Alta Tensión

$$R_{Cable\ AT_{TDZ_i}} = R_{Cable\ AT_{TDZ_i}} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,90 \quad (5.110)$$

$$R_{Cable\ AT_{TDZ_j}} = R_{Cable\ AT_{TDZ_j}} \quad \forall j \in (2m + 1), \quad n = 0..,89 \quad (5.111)$$

Donde:

- $R_{Cable\ AT_{TDZ_i}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT), circuito N° 1.
- $R_{Cable\ AT_{TDZ_j}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT), circuito N° 2.

■ Confiabilidad Transformador de Aislación

$$R_{TR_{aisl_i}} = R_{TR_{aisl_i}} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,90 \quad (5.112)$$

$$R_{TR_{aisl_j}} = R_{TR_{aisl_j}} \quad \forall j \in (2m + 1), \quad m = 0..,89 \quad (5.113)$$

Donde:

- $R_{TR_{aisl_i}}$: Confiabilidad transformador de aislación, circuito N° 1.
- $R_{TR_{aisl_j}}$: Confiabilidad transformador de aislación, circuito N° 2.

■ Confiabilidad Cable Baja Tensión

$$R_{Cable\ BT_i} = R_{Cable\ BT_i} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,90 \quad (5.114)$$

$$R_{Cable\ BT_j} = R_{Cable\ BT_j} \quad \forall i \in (2m + 1), \quad n = 0..,89 \quad (5.115)$$

Donde:

- $R_{Cable\ BT_i}$: Confiabilidad cable de baja tensión (BT), circuito N° 1.
- $R_{Cable\ BT_j}$: Confiabilidad cable de baja tensión (BT), circuito N° 2.

■ Confiabilidad Baliza Toma de Contacto

$$R_{Baliza\ TDZ_i} = R_{Baliza\ TDZ_i} \quad \forall i \in (2n), \quad n = 1..,90 \quad (5.116)$$

$$R_{Baliza\ TDZ_j} = R_{Baliza\ TDZ_j} \quad \forall i \in (2m + 1), \quad n = 0..,89 \quad (5.117)$$

Donde:

- $R_{Baliza\ TDZ_i}$: Confiabilidad baliza i toma de contacto pista 17L, circuito N° 1.
- $R_{Baliza\ TDZ_j}$: Confiabilidad baliza i toma de contacto pista 17L, circuito N° 2.

Utilizando las ecuaciones 5.110, 5.112, 5.114 y 5.116, se obtiene la confiabilidad de los elementos que pertenecen a las barretas pares de luces toma de contacto:

$$R_{a_n} = R_{Cable\ AT_{TDZ_i}} \cdot R_{TR_{aisl_i}} \cdot R_{Cable\ BT_i} \cdot R_{Baliza\ TDZ_i} \quad \forall i \in [1, 180], \quad n = 1..,15 \quad (5.118)$$

Utilizando las ecuaciones 5.111, 5.113, 5.115 y 5.117, se obtiene la confiabilidad de los elementos que pertenecen a las barretas impares de luces toma de contacto:

$$R_{a_m} = R_{Cable\ AT_{TDZ_j}} \cdot R_{TR_{aisl_j}} \cdot R_{Cable\ BT_j} \cdot R_{Baliza\ TDZ_j} \quad \forall i \in [1, 180], \quad m = 0..,14 \quad (5.119)$$

Donde:

- n : barretas luces toma de contacto pares.
- m : barretas luces toma de contacto impares
- R_{a_n} : Confiabilidad de cada barreta par ($2n$) asociado al circuito eléctrico N° 1.
- R_{a_m} : Confiabilidad de cada barreta impar ($2m + 1$) asociados al circuito eléctrico N° 2.

De acuerdo con la obtención de las ecuaciones vistas, la confiabilidad del Sistema Toma de Contacto (TDZ) de la Pista 17L de la Figura 5.14, se calcula como:

$$R_{TDZ_{17L}} = \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 1_{TDZ}} \cdot \prod_{n=(2u)} R_{a_n} \right) \cdot \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 2_{TDZ}} \cdot \prod_{m=(2w+1)} R_{a_m} \right) + \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 1_{TDZ}} \cdot \prod_{n=(2u)} R_{a_n} \right) \cdot \left(1 - \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 2_{TDZ}} \cdot \prod_{j=(2w+1)} R_{a_m} \right) \right) + \left(1 - \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 1_{TDZ}} \cdot \prod_{i=(2u)} R_{a_n} \right) \right) \cdot \left(R_{RCC \text{ N}^\circ 2_{TDZ}} \cdot \prod_{j=(2w+1)} R_{a_m} \right) \quad \forall u \in [1, 15], \quad \forall w \in [0, 14] \quad (5.120)$$

Donde:

- $R_{TDZ_{17L}}$: Confiabilidad Sistema Toma de Contacto Pista 17L.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema Toma de Contacto Pista 17L se obtiene como:

$$A_{TDZ_{17L}} = \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 1_{TDZ}} \cdot \prod_{n=(2u)} A_{a_n} \right) \cdot \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 2_{TDZ}} \cdot \prod_{m=(2w+1)} R_{a_m} \right) + \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 1_{TDZ}} \cdot \prod_{n=(2u)} A_{a_n} \right) \cdot \left(1 - \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 2_{TDZ}} \cdot \prod_{j=(2w+1)} R_{a_m} \right) \right) + \left(1 - \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 1_{TDZ}} \cdot \prod_{i=(2u)} A_{a_n} \right) \right) \cdot \left(A_{RCC \text{ N}^\circ 2_{TDZ}} \cdot \prod_{j=(2w+1)} A_{a_m} \right) \quad \forall u \in [1, 15], \quad \forall w \in [0, 14] \quad (5.121)$$

5.2.1.12. Diagrama RBD Luces Eje Calle de Rodaje 17L -35R

El sistema de eje rodaje asociado a la pista 17L - 35R cuenta con una gran cantidad de luces y equipos que integran esta ayuda visual, por lo tanto, para determinar la confiabilidad del sistema se utilizará un modelo general que represente y describa el funcionamiento de la iluminación de las calles de rodaje a través de su equipamiento.

De acuerdo con la tabla Tabla 5.1 se muestran la cantidad de circuitos y balizas asociadas a cada regulador de corriente constante.

Nº Regulador	Cantidad de Circuitos	Cantidad de Balizas
RCC Nº 1	10	138
RCC Nº 2	8	111
RCC Nº 3	8	50
RCC Nº 4	6	72
RCC Nº 5	6	38
RCC Nº 6	8	61
RCC Nº 7	3	162
RCC Nº 8	4	60
RCC Nº 9	4	109
Total	57	801

Tabla 5.1: Circuitos Luces Eje de Rodaje 17L - 35R

De acuerdo con la información de la Tabla 5.1, se desarrollará un modelo general que explique el funcionamiento de los circuitos que iluminan las calles de rodaje, alfa, kilo, echo, november, foxtrot, bravo, charlie, hotel, delta, lima, y golf, a través de la representación gráfica *RBD*.

El diagrama *RBD* de la Figura 5.15 muestra la configuración del sistema representado en su forma general, este sistema está compuesto por un (01) regulador de corriente constante, un (01) selector de circuitos y elementos que integran cada circuito de rodaje.

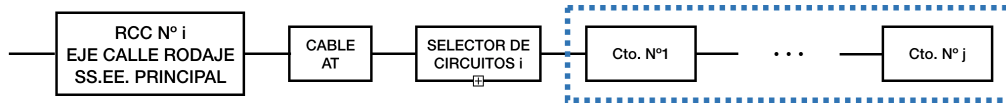


Figura 5.15: Diagrama RBD - Modelo Eje Calles de Rodajes Pista 17L-35R.

La Figura 5.15 gráfica el resumen del sistema representado, el cual muestra a el regulador de corriente constante ($RCC N^{\circ}i$) que alimenta eléctricamente a través de cables de media tensión al selector de circuitos $N^{\circ}i$ (ubicado en terreno), este selector entrega energía a los circuitos asociados de los segmentos de luces que iluminan las calles de rodaje mencionadas anteriormente.

La confiabilidad de los elementos que interactúan en la Figura 5.15, se calculará como se muestra a continuación:

- Confiabilidad Regulador de Corriente Constante $N^{\circ}i$

$$R_{RCC N^{\circ}i E. Rodaje} = R_{RCC N^{\circ}i E. Rodaje} \quad (5.122)$$

Donde:

- $R_{RCC N^{\circ}i E. Rodaje}$: Confiabilidad regulador de corriente constante $N^{\circ}i$ que alimenta eléctricamente al Selector $N^{\circ}i$ eje de rodaje.

- Confiabilidad Cable Alta Tensión

$$R_{Cable AT E. Rodaje} = R_{Cable AT E. Rodaje} \quad (5.123)$$

Donde:

- $R_{Cable AT E. Rodaje}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta eléctricamente el regulador de corriente constante $N^{\circ}i$ con el Selector de Circuito $N^{\circ}i$.

- Selector de Circuito $N^{\circ}i$

$$R_{Selector N^{\circ}i} = R_{Selector N^{\circ}i} \quad (5.124)$$

Donde:

- $R_{Selector N^{\circ}i}$: Confiabilidad Selector de Circuito $N^{\circ}i$ luces ejes de rodaje.

- Circuito $N^{\circ}j$

El circuito $N^{\circ}j$ está compuesto por elementos como cable alta tensión, transformador de aislación, cable de baja tensión y las balizas asociadas al segmento de iluminación. Para calcular la confiabilidad del circuito $N^{\circ}j$, se analizará la siguiente Figura 5.16.

- a) Cable Alta Tensión

$$R_{Cable AT_{Cto.1}} = R_{Cable AT_{Cto.1}} \quad (5.125)$$

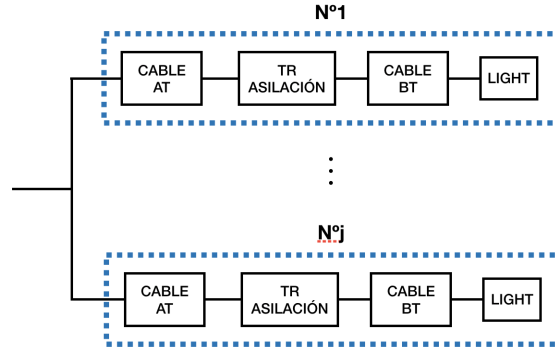


Figura 5.16: Diagrama RBD - Diagrama RBD - Circuito N°j - Selector N°i

Donde:

- $R_{\text{Cable AT}_{\text{Cto},j}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta el Circuito N°j.

b) Transformador de Aislación

$$R_{\text{TR. Aislación}_i} = R_{\text{TR. Aislación}_i} \quad \forall i \in [1, j] \quad (5.126)$$

Donde:

- $R_{\text{TR. Aislación}_i}$: Confiabilidad transformador de aislación que alimenta a las balizas i del circuito N°j.

c) Cable Baja Tensión

$$R_{\text{cable BT}_i} = R_{\text{cable BT}_i} \quad \forall i \in [1, j] \quad (5.127)$$

Donde:

- $R_{\text{cable BT}_i}$: Confiabilidad cable de baja tensión que alimenta a las balizas i del circuito N°j.

d) Baliza Eje de Rodaje

$$R_{\text{Baliza E. Rodaje}_i} = R_{\text{Baliza E. Rodaje}_i} \quad \forall i \in [1, j] \quad (5.128)$$

Donde:

- $R_{\text{Baliza E. Rodaje}_i}$: Confiabilidad baliza eje de rodaje i utilizada en los segmentos del circuito N°i.

De acuerdo con la configuración de la Figura 5.16, se obtiene la confiabilidad como:

$$R_i = R_{\text{Cable AT}_{\text{Cto},i}} \cdot R_{\text{TR. Aislación}_i} \cdot R_{\text{cable BT}_i} \cdot R_{\text{Baliza E. Rodaje}_i}$$

$$R_{\text{Cto},i} = 1 - \prod_{i=1}^j R_i \quad \forall i \in [1, j] \quad (5.129)$$

Donde:

- j : representa la cantidad de circuitos que contiene cada selector de circuito.
- R_{Cto_u} : Confiabilidad de la Figura 5.16.
- R_i : Confiabilidad total de los elementos (Cable AT, Transformador de aislación y Cable BT) que conectan a cada baliza i .

Por lo tanto, la confiabilidad del sistema representado en la Figura 5.17, se obtiene como:

$$R_{Eje\ Rodaje\ N^{\circ}i} = R_{RCC\ N^{\circ}iE.\ Rodaje} \cdot R_{Cable\ AT\ E.\ Rodaje} \cdot R_{Selector\ N^{\circ}i} \cdot \prod_{u=1}^j R_{Cto_u} \quad (5.130)$$

Donde:

- j : representa la cantidad de circuitos que contiene cada selector de circuito.
- $R_{Eje\ Rodaje\ N^{\circ}i}$: Confiabilidad de la figura Figura 5.17.

La Ecuación 5.130 representa la confiabilidad del modelo general de la Figura 5.17, por lo tanto, con la ecuación se puede obtener las confiabilidades de los equipos y circuitos mencionados en la Tabla 5.1.

Para calcular la confiabilidad total del Sistema Eje de Rodaje asociado a la Pista 17L-35R, se realizará la operatoria a través del diagrama *RBD* basado en la Figura 5.15, es decir:

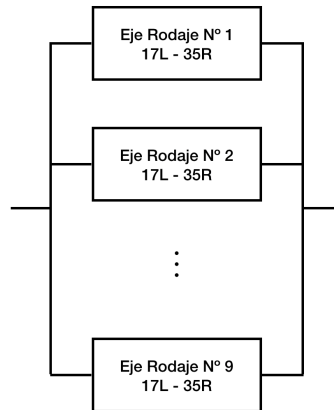


Figura 5.17: Diagrama RBD - Modelo General Sistema Eje Rodaje Pista 17L - 35R.

Como la Ecuación 5.130, representa la forma de calcular la confiabilidad de cada componente que integra la Figura 5.16, por lo tanto, para determinar la confiabilidad del sistema de la Figura 5.17 se realizará la siguiente operatoria:

$$R_{Sist.\ E.R.\ 17L - 35R} = 1 - \prod_{i=1}^9 (1 - R_{Eje\ Rodaje\ N^{\circ}i}) \quad (5.131)$$

Donde:

- $R_{Sist.\ E.R.\ 17L - 35R}$: representa la confiabilidad del Sistema Eje de Rodaje asociado a la pista 17L - 35R.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema Eje de Rodaje asociado a la Pista 17L – 35R se obtiene como:

$$A_{\text{Sist. E.R. 17L - 35R}} = 1 - \prod_{i=1}^9 (1 - A_{\text{Eje Rodaje N}^{\circ}i}) \quad (5.132)$$

5.2.1.13. Diagrama RBD Luces Eje Calle de Rodaje 17R -35L

El sistema eje de rodaje relacionado con la pista 17R – 35L, posee los mismos equipos y elementos vistos en el análisis anterior (5.2.1.12), por lo tanto, se analizará el funcionamiento de las luces eje de rodaje aplicando el análisis desarrollado anteriormente. La Tabla 5.2 y Tabla 5.3 muestra la distribución de reguladores de corriente constante alimentados eléctricamente a través de la Subestación Remota (Nº2). Las calles de rodajes que alimenta la mencionada subestación son: zulu, zulu 1, zulu 2, zulu3, papa, romeo, uniform, tango, golf, lima, sierra, hotel, foxtrot, victor, victor 1, november, whisky y yankee.

Como la configuración eléctrica de los circuitos de balizas eje de rodaje asociadas a las pista 17R-35L es idéntica que en el caso anterior, entonces se calculará la confiabilidad del sistema eje de rodaje 17R-35L como:

- Confiabilidad Sistema Eje de Rodaje Sector Ampliación Poniente

La confiabilidad asociada a la Figura 5.18, se calcula como:

$$R_{\text{Sist. E.R.S.A.P. 17R - 35L}} = 1 - \prod_{i=1}^{24} (1 - R_{\text{Eje Rodaje N}^{\circ}i}) \quad (5.133)$$

Donde:

- $R_{\text{Sist. E.R.S.A.P. 17L - 35R}}$: representa la confiabilidad del Sistema Eje de Rodaje de la pista 17L-35R, asociado al sector ampliación poniente (SAP).

SS.EE. Remota Extensión Zulu - Papa				SS.EE. Remota Extensión Zulu - Papa			
Nº Regulador	Selector	Nº Ctos.	Nº Balizas	Nº Regulador	Selector	Nº Ctos.	Nº Balizas
RCC Nº 1	A	7	45	RCC Nº 15	O	7	34
RCC Nº 2	B	7	44	RCC Nº 16	P	7	34
RCC Nº 3	C	7	28	RCC Nº 17	Q	7	46
RCC Nº 4	D	7	28	RCC Nº 18	R	7	45
RCC Nº 5	E	7	29	RCC Nº 19	S	7	33
RCC Nº 6	F	7	29	RCC Nº 20	T	7	32
RCC Nº 7	G	7	45	RCC Nº 21	U	8	35
RCC Nº 8	H	7	45	RCC Nº 22	V	8	35
RCC Nº 9	I	7	39	RCC Nº 23	W	4	43
RCC Nº 10	J	7	38	RCC Nº 24	Y	4	43
RCC Nº 11	K	7	36	-	-	-	-
RCC Nº 12	M	7	36	-	-	-	-
RCC Nº 13	N	7	36	-	-	-	-
RCC Nº 14	Ñ	7	35	-	-	-	-
Total	25	164	863				

Tabla 5.2: Circuitos Luces Eje de Rodaje 17R - 35L (Sector Ampliación Poniente)

SS.EE. Remota			
Nº Regulador	Selector	Nº Ctos.	Nº Balizas
RCC Nº 1	TCL - 1	6	51
RCC Nº 2	TCL - 2	6	47
RCC Nº 3	TCL - 3	1	64
RCC Nº 4	TCL - 4	1	93
RCC Nº 5	TCL - 5	8	84
RCC Nº 6	TCL - 6	8	47
RCC Nº 7	TCL - 7	7	58
RCC Nº 8	TCL - 8	6	37
RCC Nº 9	TCL - 9	3	53
RCC Nº 10	TCL - 10	3	31
RCC Nº 11	TCL - 11	8	109
RCC Nº 12	TCL - 12	8	49
RCC Nº 13	TCL - 13	6	90
RCC Nº 14	TCL - 14	8	70
Total	14	79	883

Tabla 5.3: Circuitos Luces Eje de Rodaje 17R - 35L (Sector Existente)

■ **Confiabilidad Sistema Eje de Rodaje Sector Existente**

La confiabilidad asociada a la Figura 5.19, se calcula como:

$$R_{\text{Sist. E.R.S.A.P. 17R - 35L}} = 1 - \prod_{i=1}^{14} (1 - R_{\text{Eje Rodaje N}^{\circ}i}) \quad (5.134)$$

Donde:

- $R_{\text{Sist. E.R.S. E. 17L - 35R}}$: representa la confiabilidad del Sistema Eje de Rodaje de la pista 17L-35R, asociado al sector existente (S.E.).

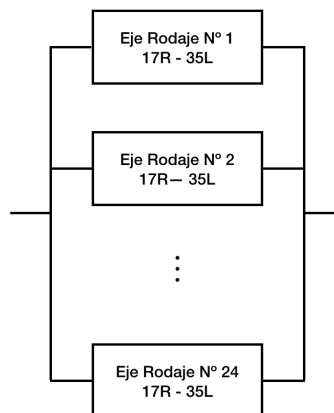


Figura 5.18: Diagrama RBD - Modelo General Sistema Eje Rodaje Pista 17L - 35R. Sector Ampliación Poniente.

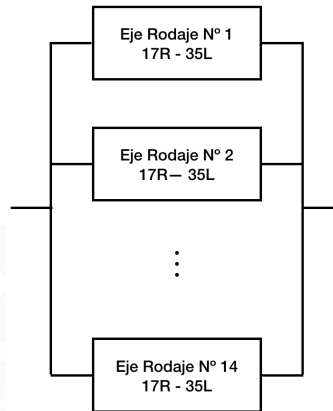


Figura 5.19: Diagrama RBD - Modelo General Sistema Eje Rodaje Pista 17L - 35R. Sector Existente.

Por lo tanto, al utilizar las ecuaciones 5.133 y 5.134, se tiene que la confiabilidad del sistema eje de rodaje de la pista 17R-35L es:

$$R_{\text{Sist. E.R. 17R - 35L}} = (R_a \cdot R_b) + (R_a \cdot (1 - R_b)) + ((1 - R_b) \cdot R_b) \quad (5.135)$$

Donde:

- R_a : confiabilidad de la ecuación 5.133.
- R_b : confiabilidad de la ecuación 5.134.
- $R_{\text{Sist. E.R. 17L - 35R}}$: representa la confiabilidad del Sistema Eje de Rodaje de la pista 17R-35L.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema Eje de Rodaje asociado a la Pista 17R - 35L se obtiene como:

$$A_{\text{Sist. E.R. 17R - 35L}} = (A_a \cdot A_b) + (A_a \cdot (1 - A_b)) + ((1 - A_b) \cdot A_b) \quad (5.136)$$

5.2.1.14. Diagrama RBD Luces Borde Calle de Rodaje Ap. AMB

El sistema de borde de rodaje del aeropuerto Arturo Merino Benítez está compuesto por balizas elevadas ubicadas en la "berma" de las calles de rodaje y su función es entregar un punto de referencia a la aeronave del ancho de la calle al momento de carretear por ella. Para que este sistema funcione correctamente, se compone de reguladores de corriente constante, cables de alimentación de alta tensión (5kV), transformadores de aislamiento y las balizas propias que entregan la luminosidad a través de una ampolleta diseñada para esta operación.

El funcionamiento del sistema se representa mediante el diagrama *RBD* que muestra la Figura 5.20, este sistema se compone de los equipos y elementos que se muestran en la Tabla 5.4.

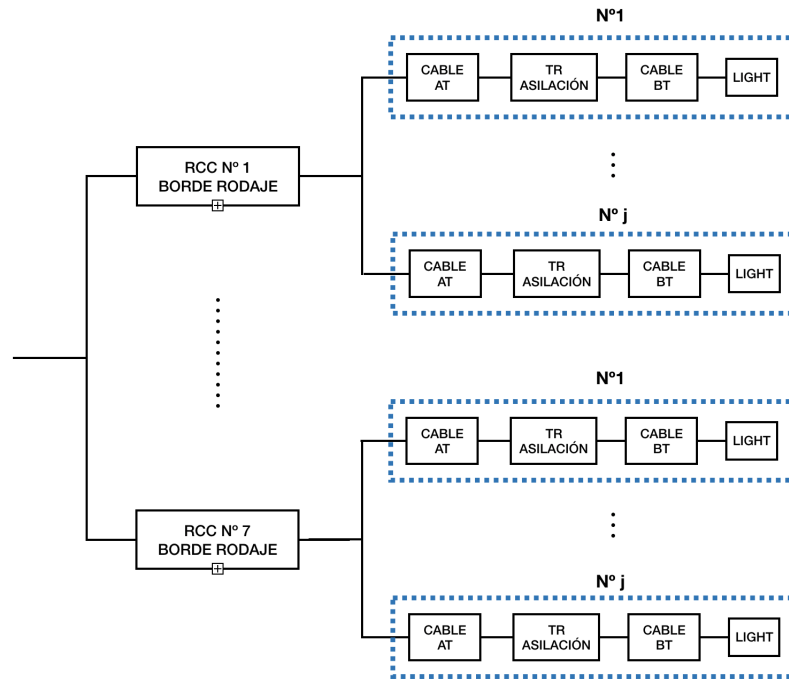


Figura 5.20: Diagrama RBD - Modelo Borde Calles de Rodajes Ap. AMB.

Nº Regulador	Cantidad de Circuitos	Cantidad de Balizas
RCC Nº 1	1	73
RCC Nº 2	1	89
RCC Nº 3	1	38
RCC Nº 4	1	101
RCC Nº 5	1	80
RCC Nº 6	1	35
RCC Nº 7	112	
Total	7	528

Tabla 5.4: Circuitos Luces Borde de Rodaje Ap. AMB

La Figura 5.17 gráfica el resumen del sistema representado, por lo tanto, la confiabilidad de los elementos que interactúan en la figura se calculará como se muestra a continuación:

- Confiabilidad Regulador de Corriente Constante N°*i*

$$R_{RCC\ N^{\circ}i_{B. Rodaje}} = R_{RCC\ N^{\circ}i_{B. Rodaje}} \quad (5.137)$$

Donde:

- $R_{RCC\ B. Rodaje\ i}$: Confiabilidad regulador de corriente constante N°*i* que alimenta eléctricamente al circuito *i* borde de rodaje.

- Confiabilidad Cable Alta Tensión

$$R_{Cable\ AT_{B. Rodaje}} = R_{Cable\ AT_{B. Rodaje}} \quad (5.138)$$

Donde:

- $R_{Cable\ AT_{B. Rodaje}}$: Confiabilidad cable de alta tensión (AT) que conecta el regulador de corriente constante N°*i* y que alimenta eléctricamente al transformador de aislación *i*.

- Transformador de Aislación

$$R_{TR. Aislación_i} = R_{TR. Aislación_i} \quad \forall i \in [1, j] \quad (5.139)$$

Donde:

- $R_{TR. Aislación_i}$: Confiabilidad transformador de aislación que alimenta a las balizas *i* del circuito N°*j*.

- Cable Baja Tensión

$$R_{cable\ BT_i} = R_{cable\ BT_i} \quad \forall i \in [1, j] \quad (5.140)$$

Donde:

- $R_{cable\ BT_i}$: Confiabilidad cable de baja tensión que alimenta a las balizas *i* del circuito N°*j*.

Baliza Eje de Rodaje

$$R_{Baliza\ B. Rodaje_i} = R_{Baliza\ B. Rodaje_i} \quad \forall i \in [1, j] \quad (5.141)$$

Donde:

- $R_{Baliza\ B. Rodaje_i}$: Confiabilidad baliza borde de rodaje *i*.

En base a la ecuaciones vistas y al diagrama *RBD* representado por la Figura 5.20, la confiabilidad de los elementos que son parte del circuito de luces de borde de rodaje se determina como:

$$R_j = R_{Cable\ AT_{B. Rodaje}} \cdot R_{TR. Aislación_i} \cdot R_{cable\ BT_i} \cdot R_{Baliza\ B. Rodaje_i} \quad (5.142)$$

Donde:

- R_j : Confiabilidad de los elementos que integran un circuito de baliza borde de rodaje *i*.

Como el regulador de corriente constante alimenta a una gran cantidad de balizas (Tabla 5.4), la confiabilidad del circuito total por regulador se determina como:

$$R_{\text{Cto. Balizas B..Rodaje}} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - R_j) \quad (5.143)$$

Donde:

- $R_{\text{Cto. Balizas B..Rodaje}}$: Confiabilidad circuitos balizas borde de rodaje.
- N : Cantidad de luces que alimenta cada regulador de corriente constante.

Como se determino la confiabilidad $R_{\text{Cto. Balizas B..Rodaje}}$ visto en la Ecuación 5.143, ahora se puede calcular la confiabilidad del Sistema Borde de Rodaje:

$$R_{\text{Sist. B.R.}} = 1 - \prod_{i=1}^7 (1 - (R_{\text{RCC B. Rodaje } i} \cdot R_{\text{Cto. Balizas B.Rodaje } i})) \quad (5.144)$$

Donde:

- $R_{\text{Sist. B.R.}}$: representa la confiabilidad del Sistema Borde de Rodaje del Aeropuerto Arturo Merino Benítez.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema Borde de Rodaje del Aeropuerto Arturo Merino Benítez se obtiene como:

$$A_{\text{Sist. B.R.}} = 1 - \prod_{i=1}^7 (1 - (A_{\text{RCC B. Rodaje } i} \cdot A_{\text{Cto. Balizas B.Rodaje } i})) \quad (5.145)$$

5.3. RBD Sistema Generación de Energía Secundaria

Los sistemas de generación de energía secundaria explicados en el punto 3.3.2 están destinados en respaldar el sistema eléctrico del Aeropuerto Arturo Merino Benítez, es decir, pistas de aterrizajes, torre de control, calles de rodaje y las unidades administrativas y técnicas de la DGAC. Como este sistema cumple un rol vital para la funcionalidad de los servicios prestados en el aeropuerto por la institución estatal, entonces se analizará la configuración de estos sistemas mediante el diagrama *RBD*, con el propósito de determinar el escenario que pueda generar la discontinuidad del funcionamiento del sistema.

5.3.1. Grupos Electrógenos

5.3.1.1. Subestación Principal

De acuerdo con la tablas 3.15 se analizará la distribución lógica de los grupos electrógenos instalados en la Subestación Eléctrica Principal (SEP), a través del diagrama *RBD* desde el punto de vista macro representado por las figuras 5.21a y 5.21b.

Desde la perspectiva mostrada por la Figura 5.21, para obtener la confiabilidad del sistema de la figura 5.21a y 5.21b, se debe realizar un análisis con mayor profundidad, con el propósito de conocer en detalle que elemento puede interferir en la funcionalidad de los grupos electrógenos. Visto lo anterior, se analizará en primer lugar los grupos electrógenos *GN1*, *GN3* y *GN4* en detalle.

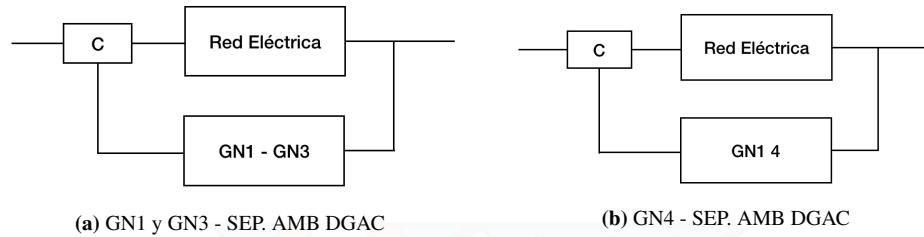


Figura 5.21: Sala Grupos Electrógenos - Subestación Eléctrica Principal.

a) Diagrama RBD GN1

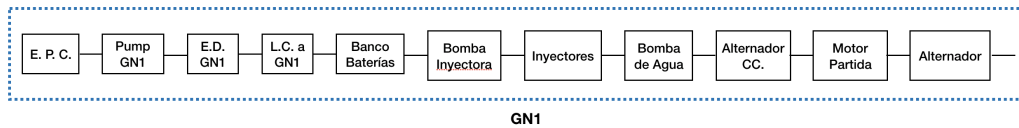


Figura 5.22: Diagrama RBD - Grupo Electrónico GN1.

La figura 5.22 muestra todos los elementos que interactúan en el buen funcionamiento del grupo electrógeno GN1, por lo tanto, para calcular su confiabilidad, se deberá obtener las confiabilidades por cada elemento mostrado en la figura.

- Confiabilidad Estanque Principal de Combustible (E.P.C)

$$R_1 = R_{E.P.C} \quad (5.146)$$

Donde:

- R_1 : Confiabilidad funcionamiento del Estanque de Combustible Principal.

- Confiabilidad Bomba de Combustible GN1

$$R_2 = R_{\text{Pump. GN1}} \quad (5.147)$$

Donde:

- R_2 : Confiabilidad funcionamiento Bomba de combustible que extrae petróleo desde estanque principal al estanque diario.

- Confiabilidad Estanque Diario Combustible GN1

$$R_3 = R_{E.D. GN1} \quad (5.148)$$

Donde:

- R_3 : Confiabilidad funcionamiento Estanque Diario.

- Confiabilidad Línea de Combustible a GN1

$$R_4 = R_{L.C. a GN1} \quad (5.149)$$

Donde:

- R_4 : Confiabilidad funcionamiento línea de combustible que alimenta al grupo electrógeno GN1.

■ Confiabilidad Banco de Baterías

$$R_5 = \prod_{i=1}^{24} R_{\text{Baterías } i} \quad (5.150)$$

Donde:

- R_5 : Confiabilidad funcionamiento Banco de Baterías.

■ Bomba Inyectora

$$R_6 = R_{\text{Bomba Inyectora}} \quad (5.151)$$

Donde:

- R_6 : Confiabilidad funcionamiento Bomba Inyectora.

■ Confiabilidad Inyectores

$$R_7 = 1 - \prod_{i=1}^{12} (1 - R_{\text{Inyectores } i}) \quad (5.152)$$

Donde:

- R_7 : Confiabilidad funcionamiento inyectores.

■ Confiabilidad Bomba de Agua

$$R_8 = R_{\text{Bomba de Agua}} \quad (5.153)$$

Donde:

- R_9 : Confiabilidad funcionamiento Bomba de Agua.

■ Confiabilidad Motor de Partida

$$R_{10} = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_{\text{Motor Partida } i}) \quad (5.154)$$

Donde:

- R_{10} : Confiabilidad funcionamiento de los motores de partida.

■ Confiabilidad Alternador Carga de Batería .

$$R_{11} = R_{\text{Alternador CC}} \quad (5.155)$$

Donde:

- R_{11} : Confiabilidad funcionamiento del alternador CC.
- Confiabilidad Alternador Trifásico

$$R_{12} = R_{\text{Alternador Trifásico AC}} \quad (5.156)$$

Donde:

- R_{12} : Confiabilidad funcionamiento alternador trifásico AC.

De las ecuaciones vistas anteriormente, se obtiene la confiabilidad del grupo electrógeno GN1 como:

$$R_{GN1} = \prod_{i=1}^{12} R_i \quad (5.157)$$

Donde:

- R_i : Confiabilidad de los elementos mostrados en la Figura 5.22
- R_{GN1} : Confiabilidad Grupo Electrónico GN1.

b) Diagrama RBD GN3

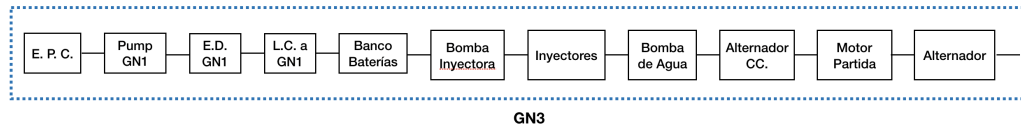


Figura 5.23: Diagrama RBD - Grupo Electrónico GN3.

Como el grupo electrógeno GN3 es idénticamente al GN1, entonces se calculará directamente la confiabilidad:

$$R_{GN3} = \prod_{i=1}^{12} R_i \quad (5.158)$$

Donde:

- R_i : Confiabilidad de los elementos mostrados en la Figura 5.23
- R_{GN3} : Confiabilidad Grupo Electrónico GN3.

Como se determinaron las confiabilidades de los grupos electrónicos GN1 y GN3, entonces se calculará la confiabilidad total del sistema de la figura 5.21a

$$R_{GN1-GN3} = (R_{GN1} \cdot R_{GN3}) + (R_{GN1} \cdot (1 - R_{GN3})) + ((1 - R_{GN1}) \cdot R_{GN3}) \quad (5.159)$$

Donde:

- $R_{\text{Sist. GN1-GN3}}$: Confiabilidad GN1 y GN3.

$$R_{\text{Sist. GN1-GN3}}(t) = R_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) + \int_0^t f_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) \cdot R_{\text{GN1-GN3}}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (5.160)$$

Donde:

- $R_{\text{Sist. GN1-GN3}}$: Confiabilidad del Sistema de la Figura 5.21a.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema de la Figura 5.21a, se obtiene como:

$$A_{\text{Sist. GN1-GN3}}(t) = A_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) + \int_0^t f_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) \cdot A_{\text{GN1-GN3}}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (5.161)$$

Donde:

- $A_{\text{Sist. GN1-GN3}}$: Disponibilidad del Sistema de la Figura 5.21a.

c) Diagrama RBD GN4

Como el grupo electrógeno GN4 tiene en gran medida la misma configuración física que los grupos electrógenos analizados anteriormente, entonces se calculará directamente la confiabilidad:

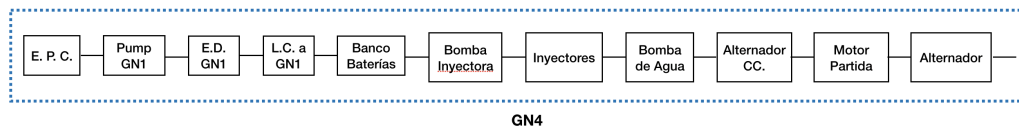


Figura 5.24: Diagrama RBD - Grupo Electrónico GN4.

Como el grupo electrógeno GN4 mantiene la configuración física idéntica al caso anterior, entonces se calculará directamente la confiabilidad:

$$R_{GN4} = \prod_{i=1}^{12} R_i \quad (5.162)$$

Donde:

- R_i : Confiabilidad de los elementos mostrados en la Figura 5.24.
- R_{GN4} : Confiabilidad Grupo Electrónico GN4.

c) Diagrama RBD Conmutador

El conmutador en esta etapa se define como un Tablero de Transferencia Automática (TTA), su función principal es detectar la ausencia de tensión de la red eléctrica, con el propósito de encender el grupo electrógeno y brindar energía por el instante de tiempo necesario hasta que vuelva el suministro de la red eléctrica.

Visto la descripción del Tablero de Transferencia Automática, se analizará su funcionamiento a través del diagrama RBD con el propósito de determinar su confiabilidad.

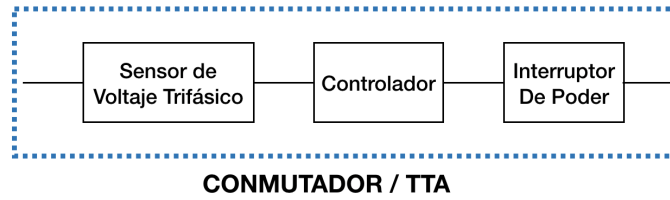


Figura 5.25: Diagrama RBD - Conmutador GN4.

- Confiabilidad Sensor de Voltaje Trifásico

$$R_1 = R_{\text{Sensor Voltaje } 3\phi} \quad (5.163)$$

Donde:

- R_1 : Confiabilidad funcionamiento sensor de voltaje trifásico.

- Confiabilidad Controlador

$$R_2 = R_{\text{Controlador}} \quad (5.164)$$

Donde:

- R_2 : Confiabilidad funcionamiento del controlador de Tablero de Transferencia Automática.

- Interruptor enclavamiento de Poder

$$R_3 = R_{\text{Interruptor de Poder}} \quad (5.165)$$

Donde:

- R_3 : Confiabilidad funcionamiento Interruptor de Poder.

Luego de obtener las confiabilidades de los elementos y/o equipos relacionados con el conmutador, entonces la confiabilidad del subsistema se determina como:

$$R_C = \prod_{i=1}^3 R_i \quad (5.166)$$

Donde:

- R_i : confiabilidad de elementos identificados en la figura 5.28.
- R_C : Confiabilidad subsistema Conmutador.

En base a la confiabilidades obtenidas por las ecuaciones vistas, se determinará la confiabilidad del sistema como:

$$R_{\text{Sist. GN4}}(t) = R_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) + \int_0^t f_{\text{Sist. Eléctrico}}(\tau) \cdot R_{\text{GN4}}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (5.167)$$

Donde:

- $R_{\text{Sist. GN4}}$: Confiabilidad del Sistema de la Figura 5.21b.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema de la Figura 5.21b, se obtiene como:

$$A_{\text{Sist. GN4}}(t) = A_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) + \int_0^t f_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) \cdot A_{\text{GN4}}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (5.168)$$

Donde:

- $A_{\text{Sist. GN4}}$: Confiabilidad del Sistema de la Figura 5.21b.

5.3.1.2. Subestación Remota

Como el grupo electrógeno de la subestación remota (*GSER*) tiene una configuración distinta, por lo tanto, se analizará cada elemento que integra este sistema, en base al diagrama macro de la figura 5.26.

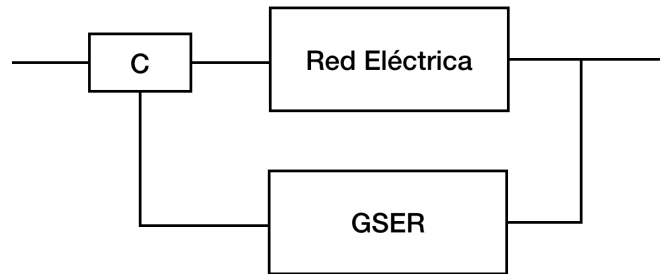


Figura 5.26: Diagrama RBD - Grupo Electrónico GSER - Subestación Remota.

a) Diagrama RBD GSER

Figura 5.27: Diagrama RBD - Grupo Electrónico GSER.

- Confiabilidad Estanque Principal de Combustible (E.P.C)

$$R_1 = R_{E.P.C} \quad (5.169)$$

Donde:

- R_1 : Confiabilidad funcionamiento del Estanque de Combustible Principal.

- Confiabilidad Pump de Combustible GSER

$$R_2 = R_{\text{Pump. GSER}}. \quad (5.170)$$

Donde:

- R_2 : Confiabilidad funcionamiento Bomba de combustible que extrae petróleo desde estanque principal hacia el estanque diario.

- Confiabilidad Estanque Diario Combustible GSER

$$R_3 = R_{E.D. GSER} \quad (5.171)$$

Donde:

- R_3 : Confiabilidad funcionamiento Estanque Diario.

- Confiabilidad Banco de Baterías

$$R_4 = \prod_{i=1}^2 R_{Baterías i} \quad (5.172)$$

Donde:

- R_4 : Confiabilidad funcionamiento Banco de Baterías.

- Bomba Inyectora

$$R_5 = R_{Bomba Inyectora} \quad (5.173)$$

Donde:

- R_5 : Confiabilidad funcionamiento Bomba Inyectora.

- Confiabilidad Inyectores

$$R_6 = 1 - \prod_{i=1}^8 (1 - R_{Inyectores i}) \quad (5.174)$$

Donde:

- R_6 : Confiabilidad funcionamiento de los inyectores.

- Confiabilidad Bomba de Agua

$$R_7 = R_{Bomba de Agua} \quad (5.175)$$

Donde:

- R_7 : Confiabilidad funcionamiento Bomba de Agua.

- Confiabilidad Motor de Partida

$$R_8 = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_{Motor Partida i}) \quad (5.176)$$

Donde:

- R_8 : Confiabilidad funcionamiento de los motores de partida.

- Confiabilidad Alternador CC.

$$R_9 = R_{\text{Alternador CC}} \quad (5.177)$$

Donde:

- R_9 : Confiabilidad funcionamiento del alternador CC.

- Confiabilidad Alternador Trifásico

$$R_{10} = R_{\text{Alternador Trifásico AC}} \quad (5.178)$$

Donde:

- R_{10} : Confiabilidad funcionamiento Trifásico AC.

De las ecuaciones vistas anteriormente, se obtiene la confiabilidad del grupo electrógeno GSER como:

$$R_{GSER} = \prod_{i=1}^{10} R_i \quad (5.179)$$

Donde:

- R_i : Confiabilidad de los elementos mostrados en la Figura 5.27
- R_{GSER} : Confiabilidad Grupo Electrónico GSER.

$$R_3 = R_{\text{Int. Poder}} \quad (5.180)$$

Donde:

- R_3 : Confiabilidad Interruptor de Poder.

b) Diagrama RBD Conmutador

El conmutador en esta etapa se define como un Tablero de Transferencia Automática (TTA), su función principal es detectar la ausencia de tensión de la red eléctrica, con el propósito de encender el grupo electrógeno y brindar energía por el instante de tiempo necesario hasta que vuelva el suministro de la red eléctrica.

Visto la descripción del Tablero de Transferencia Automática, se analizará su funcionamiento a través del diagrama RBD con el propósito de determinar su confiabilidad.

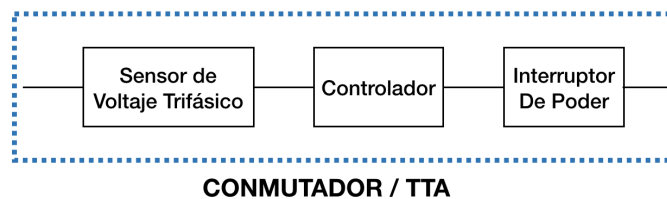


Figura 5.28: Diagrama RBD - Conmutador SER.

- Confiabilidad Sensor de Voltaje Trifásico

$$R_1 = R_{\text{Sensor Voltaje } 3\phi} \quad (5.181)$$

Donde:

- R_1 : Confiabilidad funcionamiento sensor de voltaje trifásico.

- Confiabilidad Controlador

$$R_2 = R_{\text{Controlador}} \quad (5.182)$$

Donde:

- R_2 : Confiabilidad funcionamiento del controlador de Tablero de Transferencia Automática.

- Interruptor enclavamiento de Poder

Donde:

- R_3 : Confiabilidad funcionamiento Interruptor de Poder.

Luego de obtener las confiabilidades de los elementos y/o equipos relacionados con el conmutador, entonces la confiabilidad del subsistema se determina como:

$$R_C = \prod_{i=1}^3 R_i \quad (5.183)$$

Donde:

- R_i : confiabilidad de elementos identificados en la figura 5.28.
- R_C : Confiabilidad subsistema Conmutador.

En base a la confiabilidades obtenidas por las ecuaciones 5.179 y 5.183, se determinará la confiabilidad del sistema como:

$$R_{Sist.Gen.}(t) = R_{Sist. Eléctrico}(t) + \int_0^t f_{Sist. Eléctrico}(t) \cdot R_{GSER}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (5.184)$$

Donde:

- $R_{Sist.Gen.}(t)$: confiabilidad del sistema de generación eléctrica subestación remota.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema de Generación de la Subestación Remota, se obtiene como:

$$A_{Sist.Gen.}(t) = A_{Sist. Eléctrico}(t) + \int_0^t f_{Sist. Eléctrico}(t) \cdot A_{GSER}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty] \quad (5.185)$$

Donde:

- $A_{Sist.Gen.}(t)$: confiabilidad del sistema de generación eléctrica subestación remota.

5.3.2. Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (UPS)

Las UPSs instaladas en la la Subestación Principal y Subestación Remota, se analizarán en base a la configuración lógica *RBD*, con la finalidad de determinar la confiabilidad sistémica del funcionamiento de estos equipos.

5.3.2.1. Subestación Principal

a) UPS N°1

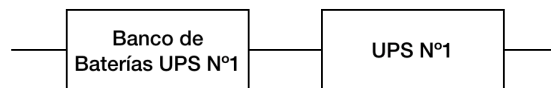


Figura 5.29: Diagrama RBD - UPS N°1 Subestación Principal.

- Confiabilidad Banco de Baterías UPS N°1

$$R_{B1} = (R_{BancoN1,1} \cdot R_{BancoN1,2}) + (R_{BancoN1,1} \cdot (1 - R_{BancoN1,2})) + ((1 - R_{BancoN1,1}) \cdot R_{BancoN1,2}) \quad (5.186)$$

Donde:

- R_{B1} : Confiabilidad funcionamiento Banco Baterías UPS N°1.

- Confiabilidad UPS N°1

$$R_{UPS\ N^{\circ}1} = R_{UPS\ N^{\circ}1} \quad (5.187)$$

Donde:

- $R_{UPS\ N^{\circ}1}$: Confiabilidad funcionamiento UPS N°1.

Por lo tanto, la confiabilidad del Sistema UPS N°1 se obtiene como:

$$R_{Sist.\ UPS\ N^{\circ}1} = R_{B1} \cdot R_{UPS\ N^{\circ}1} \quad (5.188)$$

Donde:

- $R_{Sist.\ UPS\ N^{\circ}1}$: Confiabilidad funcionamiento Sistema compuesto por Banco Baterías N°1 y UPS N°1.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema UPS N°1 se obtiene como:

$$A_{Sist.\ UPS\ N^{\circ}1} = A_{B1} \cdot A_{UPS\ N^{\circ}1} \quad (5.189)$$

Donde:

- $A_{Sist. UPS N^{\circ}1}$: Disponibilidad funcionamiento Sistema compuesto por Banco Baterías N°1 y UPS N°1.

b) UPS N°2

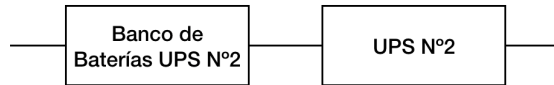


Figura 5.30: Diagrama RBD - UPS N°2 Subestación Principal.

■ Confiabilidad Banco de Baterías UPS N°2

$$R_{B2} = (R_{BancoN2,1} \cdot R_{BancoN2,2}) + (R_{BancoN2,1} \cdot (1 - R_{BancoN2,2})) + ((1 - R_{BancoN2,1}) \cdot R_{BancoN2,2}) \quad (5.190)$$

Donde:

- R_{B2} : Confiabilidad funcionamiento Banco Baterías UPS N°2.

■ Confiabilidad UPS N°2

$$R_{UPS N^{\circ}2} = R_{UPS N^{\circ}2} \quad (5.191)$$

Donde:

- $R_{UPS N^{\circ}2}$: Confiabilidad funcionamiento UPS N°2.

Por lo tanto, la confiabilidad del Sistema UPS N°2 se obtiene como:

$$R_{Sist. UPS N^{\circ}2} = R_{B2} \cdot R_{UPS N^{\circ}2} \quad (5.192)$$

Donde:

- $R_{Sist. UPS N^{\circ}2}$: Confiabilidad funcionamiento Sistema compuesto por Banco Baterías N°2 y UPS N°2.

Finalmente, la disponibilidad del Sistema UPS N°2 se obtiene como:

$$A_{Sist. UPS N^{\circ}2} = A_{B2} \cdot A_{UPS N^{\circ}2} \quad (5.193)$$

Donde:

- $A_{Sist. UPS N^{\circ}2}$: Disponibilidad funcionamiento Sistema compuesto por Banco Baterías N°2 y UPS N°2.

5.3.2.2. Subestación Remota

Como la configuración de las UPSs instaladas en la subestación Remota sigue el mismo patrón de las UPSs en la subestación principal, por lo tanto, para efectos de simplificar los cálculos, sólo se determinará la confiabilidad del sistema, es decir:

a) UPS N°1 SER

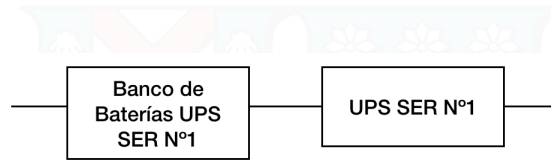


Figura 5.31: Diagrama RBD - UPS N°1 Subestación Remota.

$$R_{\text{Sist. UPS N°1 SER}} = R_{B1} \cdot R_{\text{UPS N°1}} \quad (5.194)$$

Donde:

- $R_{\text{Sist. UPS N°1 SER}}$: Confiabilidad funcionamiento Sistema compuesto por Banco Baterías N°1 y UPS N°1.

Finalmente, la disponibilidad el Sistema de Alimentación Ininterrumpida se obtiene como:

$$A_{\text{Sist. UPS N°1 SER}} = A_{B1} \cdot A_{\text{UPS N°1}} \quad (5.195)$$

Donde:

- $A_{\text{Sist. UPS N°1 SER}}$: Disponibilidad funcionamiento Sistema compuesto por Banco Baterías N°1 y UPS N°1.

b) UPS N°2 SER

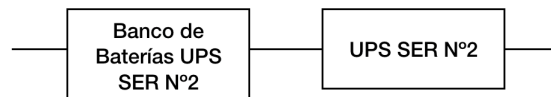


Figura 5.32: Diagrama RBD - UPS N°2 Subestación Remota.

$$R_{\text{Sist. UPS N°2 SER}} = R_{B2} \cdot R_{\text{UPS N°2}} \quad (5.196)$$

Donde:

- $R_{\text{Sist. UPS N°2 SER}}$: Confiabilidad funcionamiento Sistema compuesto por Banco Baterías N°2 y UPS N°2.

Finalmente, la disponibilidad el Sistema de Alimentación Ininterrumpida se obtiene como:

$$A_{\text{Sist. UPS N°2 SER}} = A_{B2} \cdot A_{\text{UPS N°2}} \quad (5.197)$$

5.4. Resumen Disponibilidad y Confiabilidad SAVI y SGES

5.4.1. Resumen Disponibilidad y Confiabilidad SAVI

En las siguientes tablas, se resumirá las expresiones de confiabilidad y disponibilidad obtenidas en las secciones pasadas, relacionadas con los sistemas de ayudas visuales (SAVI) de las pistas de aterrizajes, calles de rodaje del aeropuerto Arturo Merino Benítez.

Sistema	Expresión Disponibilidad
Aproximación 17L	$A_{Aprox. 17L} = A_{AB} \cdot A_{CD} \cdot A_{UDC}$
Aproximación 17R	$A_{Aprox. 17R} = A_{AB} \cdot A_{FCU}$
PAPI 17L	$R_{PAPI 17L} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 1}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 2}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 3}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 4}} \cdot \prod_{i=1}^4 R_{umidad_i}$
PAPI 35R	$R_{PAPI 35R} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 1}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 2}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 3}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 4}} \cdot \prod_{i=1}^4 R_{umidad_i}$
PAPI 17R	$R_{PAPI 17R} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 1}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 2}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 3}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 4}} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{umidad_j}$
PAPI 35L	$R_{PAPI 35L} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 1}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 2}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 3}} \cdot R_{Cable AT_{PAPI 4}} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{umidad_j}$
Eje Pista 17L-35R	$R_{EJE17L-35R} = (R_{RCC N^{\circ} 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{Cto. N^{\circ} 1_i}) \cdot (R_{RCC N^{\circ} 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{Cto. N^{\circ} 2_j}) + (R_{RCC N^{\circ} 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{Cto. N^{\circ} 1_i}) \cdot (1 - (R_{RCC N^{\circ} 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{Cto. N^{\circ} 2_j}) + (1 - (R_{RCC N^{\circ} 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{Cto. N^{\circ} 1_i})) \cdot (R_{RCC N^{\circ} 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{Cto. N^{\circ} 2_j}) \quad \forall n \in [1, 124], \quad \forall m \in [0, 124]$
Eje Pista 17R-35L	$A_{EJE17R-35L} = (R_{RCC N^{\circ} 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{Cable AT_{Eje_i}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{abc_i}) \cdot (A_{RCC N^{\circ} 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{Cable AT_{Eje_j}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{abc_j}) + (A_{RCC N^{\circ} 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{Cable AT_{Eje_i}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{abc_i}) \cdot (1 - (A_{RCC N^{\circ} 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} R_{Cable AT_{Eje_j}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{abc_j})) + (1 - (A_{RCC N^{\circ} 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{Cable AT_{Eje_i}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{abc_i})) \cdot (A_{RCC N^{\circ} 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{Cable AT_{Eje_j}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{abc_j}) \quad \forall n \in [0, 126]$
Borde, Umbral y Término de Pista 17L - 35R	$A_{BP17L-35R} = (A_{RCC N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i}) \cdot (A_{RCC N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{a_j}) + (A_{RCC N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i}) \cdot (1 - (A_{RCC N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{a_j})) + (1 - (A_{RCC N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i})) \cdot (A_{RCC N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2n+1)} A_{a_j}) \quad \forall n \in [0, 68]$

Continua en la página siguiente

Borde, Umbral y Término de Pista 17R - 35L	$A_{BP17R-35L} = (A_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i}) \cdot (A_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} A_{a_j}) + (A_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i}) \cdot (1 - (A_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} A_{a_j})) + (1 - (A_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} A_{a_i})) \cdot (A_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} A_{a_j})$ $\forall n \in [1, 83], \quad \forall m \in [0, 82]$
Toma de Contacto 17L	$A_{TDZ17L} = (A_{RCC\ N^{\circ} 1_{TDZ}} \cdot \prod_{n=(2u)} A_{a_n}) \cdot (A_{RCC\ N^{\circ} 2_{TDZ}} \cdot \prod_{m=(2w+1)} R_{a_m}) + (A_{RCC\ N^{\circ} 1_{TDZ}} \cdot \prod_{n=(2u)} A_{a_n}) \cdot (1 - (A_{RCC\ N^{\circ} 2_{TDZ}} \cdot \prod_{m=(2w+1)} R_{a_m})) + (1 - (A_{RCC\ N^{\circ} 1_{TDZ}} \cdot \prod_{n=(2u)} A_{a_n})) \cdot (A_{RCC\ N^{\circ} 2_{TDZ}} \cdot \prod_{m=(2w+1)} R_{a_m}) \quad \forall u \in [1, 15], \quad \forall w \in [0, 14]$
Eje de Rodaje pista 17L-35R	$A_{Sist. E.R. 17L-35R} = 1 - \prod_{i=1}^9 (1 - A_{Eje\ Rodaje\ N^{\circ} i})$
Eje de Rodaje pista 17R-35L	$A_{Sist. E.R. 17R-35L} = (A_a \cdot A_b) + (A_a \cdot (1 - A_b)) + ((1 - A_b) \cdot A_b)$
Borde de Rodaje	$A_{Sist. B.R.} = 1 - \prod_{i=1}^7 (1 - (A_{RCC\ B. Rodaje\ i} \cdot A_{Cto. Balizas\ B. Rodaje\ i}))$

Tabla 5.5: Disponibilidad Sistemas de Ayudas Visuales
(Fuente: Propia)

Sistema	Expresión Confiabilidad
Aproximación 17L	$R_{Aprox. 17L} = R_{AB} \cdot R_{CD} \cdot R_{UDC}$
Aproximación 17R	$R_{Aprox. 17R} = R_{AB} \cdot R_{FCU}$
PAPI 17L	$R_{PAPI\ 17L} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 1}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 2}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 3}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 4}} \cdot \prod_{i=1}^4 R_{Unidad\ i}$
PAPI 35R	$R_{PAPI\ 35R} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 1}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 2}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 3}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 4}} \cdot \prod_{i=1}^4 R_{Unidad\ i}$
PAPI 17R	$R_{PAPI\ 17R} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 1}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 2}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 3}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 4}} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{Unidad\ j}$
PAPI 35L	$R_{PAPI\ 35L} = R_{RCC_{PAPI}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 1}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 2}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 3}} \cdot R_{Cable\ AT_{PAPI\ 4}} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{Unidad\ j}$
Eje de Rodaje pista 17L-35R	$R_{Sist. E.R. 17L-35R} = 1 - \prod_{i=1}^9 (1 - R_{Eje\ Rodaje\ N^{\circ} i})$
Borde de Rodaje	$R_{Sist. B.R.} = 1 - \prod_{i=1}^7 (1 - (R_{RCC\ B. Rodaje\ i} \cdot R_{Cto. Balizas\ B. Rodaje\ i}))$
Borde, Umbral y Término de Pista 17L-35R	$R_{BP17L-35R} = (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i}) \cdot (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j}) + (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i}) \cdot (1 - (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j})) + (1 - (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i})) \cdot (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j}) \quad \forall n \in [0, 68]$
Eje de Rodaje pista 17R-35L	$R_{Sist. E.R. 17R-35L} = (R_a \cdot R_b) + (R_a \cdot (1 - R_b)) + ((1 - R_b) \cdot R_b)$
Toma de Contacto 17L	$R_{TDZ17L} = (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{TDZ}} \cdot \prod_{n=(2u)} R_{a_n}) \cdot (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{TDZ}} \cdot \prod_{m=(2w+1)} R_{a_m}) + (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{TDZ}} \cdot \prod_{n=(2u)} R_{a_n}) \cdot (1 - (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{TDZ}} \cdot \prod_{m=(2w+1)} R_{a_m})) + (1 - (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{TDZ}} \cdot \prod_{n=(2u)} R_{a_n})) \cdot (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{TDZ}} \cdot \prod_{m=(2w+1)} R_{a_m}) \quad \forall u \in [1, 15], \quad \forall w \in [0, 14]$

Continúa en la página siguiente

Eje Pista 17L-35R	$R_{EJE17L-35R} = (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{Cto.\ N^{\circ} 1_i}) \cdot (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{Cto.\ N^{\circ} 2_j}) +$ $(R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{Cto.\ N^{\circ} 1_i}) \cdot (1 - (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{Cto.\ N^{\circ} 2_j})) +$ $(1 - (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Eje}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{Cto.\ N^{\circ} 1_i})) \cdot (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Eje}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{Cto.\ N^{\circ} 2_j}) \quad \forall n \in [1, 124], \quad \forall m \in [0, 124]$
Eje Pista 17L-35L	$R_{BP17R-35L} = (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i}) \cdot (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j}) +$ $(R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i}) \cdot (1 - (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j})) +$ $(1 - (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i})) \cdot (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j}) \quad \forall n \in [1, 83], \quad \forall m \in [0, 82]$
Borde, Umbral y Término de Pista 17R-35L	$R_{BP17R-35L} = (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i}) \cdot (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j}) +$ $(R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i}) \cdot (1 - (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j})) +$ $(1 - (R_{RCC\ N^{\circ} 1_{Borde}} \cdot \prod_{i=(2n)} R_{a_i})) \cdot (R_{RCC\ N^{\circ} 2_{Borde}} \cdot \prod_{j=(2m+1)} R_{a_j}) \quad \forall n \in [1, 83], \quad \forall m \in [0, 82]$

Tabla 5.6: Confiabilidad Sistemas de Ayudas Visuales

(Fuente: Propia)

5.4.2. Resumen Disponibilidad y Confiabilidad SGES

En las siguientes tablas se resumirá las expresiones de confiabilidad y disponibilidad obtenidas en las secciones anteriores, por cada sistemas de generación de energía secundaria del aeropuerto Arturo Merino Benítez.

Sistema	Expresión Confiabilidad
Sistema GN1 - GN3	$R_{GN1-GN3} = (R_{GN1} \cdot R_{GN3}) + (R_{GN1} \cdot (1 - R_{GN3})) + ((1 - R_{GN1}) \cdot R_{GN3})$
GN4	$R_{Sist.\ GN4}(t) =$ $R_{Sist.\ Eléctrico}(t) + \int_0^t f_{Sist.\ Eléctrico}(t) \cdot R_{GN4}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty]$
GSER	$R_{Sist.Gen.}(t) =$ $R_{Sist.\ Eléctrico}(t) + \int_0^t f_{Sist.\ Eléctrico}(t) \cdot R_{GSER}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty]$
UPS N°1	$R_{Sist.\ UPS\ N^{\circ}1} = R_{B1} \cdot R_{UPS\ N^{\circ}1}$
UPS N°2	$R_{Sist.\ UPS\ N^{\circ}2} = R_{B2} \cdot R_{UPS\ N^{\circ}2}$
UPS N°1 SER	$R_{Sist.\ UPS\ N^{\circ}1\ SER} = R_{B1} \cdot R_{UPS\ N^{\circ}1}$
UPS N°2 SER	$R_{Sist.\ UPS\ N^{\circ}2\ SER} = R_{B2} \cdot R_{UPS\ N^{\circ}2}$

Tabla 5.7: Confiabilidad expresada para los Sistemas de Generación de Energía Secundaria.

(Fuente: Propia)

Sistema	Expresión Disponibilidad
Sistema GN1 - GN3	$A_{\text{Sist. GN1-GN3}}(t) = A_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) + \int_0^t f_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) \cdot A_{\text{GN1-GN3}}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty]$
GN4	$A_{\text{Sist. GN4}}(t) = A_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) + \int_0^t f_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) \cdot A_{\text{GN4}}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty]$
GSER	$A_{\text{Sist.Gen.}}(t) = A_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) + \int_0^t f_{\text{Sist. Eléctrico}}(t) \cdot A_{\text{GSER}}(t - \tau) d\tau \quad \forall t \in [0, \infty]$
UPS N°1	$A_{\text{Sist. UPS N°1}} = A_{B1} \cdot A_{\text{UPS N°1}}$
UPS N°2	$A_{\text{Sist. UPS N°2}} = A_{B2} \cdot A_{\text{UPS N°2}}$
UPS N°1 SER	$A_{\text{Sist. UPS N°1 SER}} = A_{B1} \cdot A_{\text{UPS N°1}}$
UPS N°2 SER	$A_{\text{Sist. UPS N°2 SER}} = A_{B2} \cdot A_{\text{UPS N°2}}$

Tabla 5.8: Disponibilidad expresada para los Sistemas de Generación de Energía Secundaria.
(Fuente: Propia)

5.4.3. Análisis Resumen Disponibilidad y Confiabilidad SAVI y SGES - diagramas RBD

Las expresiones de confiabilidad y disponibilidad que muestran las tablas 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8 mediante el análisis de configuración lógica *RBD*, representan un herramienta útil para el área de electricidad aeroportuaria del Ap. AMB, a la hora de poder estimar los *KPIs* de cada sistema mencionado. En la actualidad, no existe una herramientas específica que permita obtener la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, por lo tanto, la obtención de las expresiones matemáticas vistas en las tablas antes mencionadas representa un valor agregado significativo para la estimación de los indicadores, como también para la planificación anual del mantenimiento por cada UPS, RCC, GG.EE, etc., con el propósito de no afectar los compromisos institucionales asumidos por la DGAC con el gobierno, en materia de cumplimiento de metas donde unos de los actores importantes en dichas metas son los sistemas instalados en las pistas de aterrizajes a nivel nacional.

La determinación de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad representan un gran avance para la gestión del área en cuestión. Para los equipos que mantiene el área, ya sea en su programación de mantenimiento mensual, trimestral, semestral y anual.

Regularmente para las UPS y GG.EE se gestionan el mantenimiento a través de la contratación de los servicios a empresas que tienen la representación de las marcas en el país, por lo tanto, estas empresas les conviene reemplazar los elementos contenidos al interior de cada equipo para cobrar más dinero por el mantenimiento en sí, entonces el área de electricidad aeroportuaria accede al cambio de dichos elementos sin cuestionar si procede el reemplazo o no en algunas situaciones. Esta situación se produce porque no se tienen registros de la trazabilidad del elemento *i*, en lo que respecta a sus horas de funcionamiento, frecuencia de reemplazado, etc.

Este problema que sigue ocurriendo hoy en día y se transforma en un factor relevante para lograr en el mediano plazo la mejora continua de sus procesos, ya que debe existir un cambio en la cultura al interior de la organización (subestación eléctrica, área electricidad aeroportuaria) en la toma de datos y prolijidad de estos en el tiempo, dado que los equipos que pertenecen a los SGES los cuales respaldan eléctricamente a los equipos SAVI, poseen una gran cantidad de equipos distribuidos a lo largo y ancho de las pistas y calles de

rodaje en el Ap., lo que implica que si se afecta uno o varios de ellos, impacta negativamente a la seguridad de la navegación aérea.

En el caso de los sistemas de generación de energía secundaria, en comparación con los equipos SAVI son menores, sin embargo, aún así existe el mismo problema de la trazabilidad, la data histórica conseguida y analizada data del año 2018, dado que los años anteriores no se logró encontrar información de las fallas, por lo tanto, no fue factible realizar un análisis que convergiera en cuantificar la data y analizar con mayor veracidad de las fallas acontecidas.

Con la determinación de los indicadores antes nombrados, el área de electricidad aeroportuaria tiene la posibilidad de cambiar su actuar en el mediano plazo, la forma de realizar gestión frente a los mantenimientos que realiza en la actualidad, ya que al conocer matemáticamente la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y subsistemas, el área puede planificar con mayor detalladamente la intervenciones de mantenimiento del tipo FTM a realizar en el año t+1.

Finalmente, la expresiones determinadas representan un avance importante en la mejora continua, sin embargo, no será de mayor efectividad si no existe un cambio al interior de la organización en materia del registro de trazabilidad de los equipos en el tiempo.



6 | Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

El trabajo realizado, contemplo el análisis de mantenimiento de los sistemas administrados por el área de electricidad aeroportuaria, ubicada en la subestación eléctrica del aeropuerto Arturo Merino Benítez, de la Dirección General de Aeronáutica Civil, en la cual se analizaron las fallas de los equipos ocurridas durante el año 2018 en los sistemas y subsistemas.

La información recopilada consistió en analizar el registro de las fallas atendidas a los sistemas de generación de energía secundaria y analizar la configuración lógica de los sistemas de ayudas visuales y sistemas de generación de energía secundaria que existen en la actualidad.

En primera instancia, la información de las fallas de los SGES, se obtuvo a través del registro de la plataforma SGM y realizando entrevistas al personal técnico que trabaja en dicha área, buscando establecer el tipo de atención de falla y registro de los horarios de inicio y término de la averías de los equipos para analizar, teniendo como objetivo principal, determinar los activos críticos que afectan significativamente a la funcionalidad del sistema.

Mediante el diagrama Jack Knife se determino que tres (03) de los siete (07) equipos se clasifican como críticos, es decir, UPS N°1 SEP, UPS N°2 SEP y UPS N°1 SER, dado que se encuentran por sobre la línea de isodisponibilidad y están situados en el primer cuadrante de la figura 4.1, es decir, se clasifican como equipos críticos y crónicos, dado el tiempo empleado en la reparación como también por la frecuencia en la ocurrencia de las fallas de dichos activos.

Los activos críticos determinados se analizaron mediante la distribución weibull, ya que en dicha esta distribución de puede clasificar en que etapa se encuentra el equipo de la curva de la bañera mediante el parámetro β y la tasa de falla $\lambda(t)$, con el propósito de incorporar y/o actualizar las políticas de mantenimiento a ejecutar por el área de electricidad aeroportuaria, en base a la toma de decisiones de fallas históricas y a la modelación de confiabilidad, mantenibilidad, tasa de falla.

Las tres (03) UPSs o SAIs determinadas se encuentran clasificadas dentro de la zona de vida útil en la curva de la bañera, dado que poseen de acuerdo al gráfico una tasa de falla constante en el tiempo, por lo tanto, desde desde este punto de vista conviene intervenir los equipos cuando efectivamente ocurre una falla, o sea aplicar la política de mantenimiento OTF, dado que no conviene reemplazar un elemento hoy si puede fallar mañana.

La política de mantenimiento del tipo OTF, permite estar preparados para la corrección de averías y aprender de estas en el tiempo, entregando de alguna medida herramienta para el área en el ámbito de capacitación, dad la criticidad de los activos y a su vez ordenar y re-orientar la planificación del mantenimiento logrando asignar de forma eficientes los recursos financieros con los cuales se cuenta.

Desde el punto de vista del análisis de la configuración sistémica que poseen los sistemas de ayudas visuales y sistemas de generación de energía secundaria, se determinó mediante la metodología *Reliability Block Diagram* la configuración física lógica de cada sistema y subsistema en cuestión. Buscando establecer

la obtención o determinación de indicadores (KPIs) de forma precisa, que sustenten empíricamente la toma de decisiones en el mantenimiento en el corto, mediano y largo plazo.

Al conocer las expresiones de confiabilidad y disponibilidad, le permite al área de electricidad tener una visión macro del comportamiento de los sistemas en el pasado, presente y proyectar lo que será el futuro, es decir, con estos datos, se establece la condición para cual sistema se debe mejorar o aumentar el valor del indicador, con la finalidad de establecer criterios en el ámbito de los recursos financieros como también en el recurso humano, el cuál debe impactar positivamente a la hora de generar los equipos de trabajo para la intervención de un sistema y equipo en particular.

Esta arista, sin duda tiene un valor agregado importante para la institución, dado que aporta datos fehaciente que permiten tomar acciones o decisiones estratégicas en materia de definir el reemplazo de nuevos equipamientos, tanto para el aeropuerto Arturo Merino Benítez como extrapolar a los aeropuertos y aeródromos a nivel nacional, estableciendo el criterio mediante la generación de *KPIs* por sistemas, subsistemas, el cuál se complementa con el recurso financiero, para adoptar la mejor decisión en materia de seguridad a la navegación aérea.

6.2. Recomendaciones

Del estudio realizado, y conociendo la situación actual del área de mantenimiento del Aeropuerto Arturo Merino Benítez, e identificadas las causas principales en la toma de decisión a la hora de planificar el anteproyecto presupuestario y los mantenimientos a realizar durante el año siguiente, por lo tanto, se establecen las siguientes recomendaciones que debe adoptar el área de electricidad aeroportuaria para su mejora continua:

- El actual sistema plataforma informática SGM, en la cual se registran las atenciones de fallas, carece de certeza en el registro de las horas de inicio, fin y del técnico que atendió la falla, ya que la información que entrega no es del todo legible, clara y detallada, por lo tanto, se sugiere potenciar esta herramienta retroalimentando la base de datos con información más certera, teniendo presente lo representa la potencialidad de los datos para el análisis y generación de los indicadores en el tiempo.
- Realizar un registro sistemático de las atenciones de fallas correctivas, mantenimientos preventivos y predictivos de forma más rigurosa en el ERP actual, dado que es la única forma de tomar decisiones las cuales impacten de forma acertada a la gestión del área eléctrica, ya que se detecto en las diversas entrevistas con personal de área la falta de registro más detallado en el tiempo, esto se produce por la cultura organizacional que existe.
- Planificar con antelación los programas de mantenimiento para los activos críticos para el año $t+1$ a través de las herramientas de modelación mostradas (confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, tasa de fallas), lo cuál permitirá y complementará las decisiones del recurso financiero a utilizar como también del recurso humano a utilizar.
- Establecer parámetros de fallas de equipos ($\lambda(t)$) asociados a cada técnico o profesional que interviene un equipo, ya sea por la realización del mantenimiento preventivo y correctivo, dado que se detecto que algunos equipos pierden su funcionalidad luego de la intervención del personal de mantenimiento, esta situación ocurre por la falta de conocimiento que tiene el profesional del equipo, como también por la falta de capacitación que este tiene de los sistemas, provocando que un activo en particular se mueva del ciclo de vida normal (curva de la bañera) hacia la zona de mortalidad infantil, como es el caso de las UPSs.
- Se recomienda que los funcionarios que trabajan en la oficina de programación y control, se capaciten en materia de modelación de activos mediante la metodología vista en la presente memoria, con la finalidad de aportar con la mejora continua de los procesos internos del área electricidad aeroportuaria, el cual contribuya en el tiempo al registro de la trazabilidad de datos en los sistemas, subsistemas y activos, que permitan analizar y tomar decisiones que tiendan con el mismo sentido de los objetivos estratégicos de la institución.

7 | Anexos

7.1. Anexo 1

7.1.1. Fallas UPS N° 1 SEP

Descripción de la Falla	Fecha/Hora Inicio Evento	Fecha/Hora Inicio Evento	Tipo Atención
Error en la visualización display general	1/3/19 10:00	1/3/19 12:00	Correctiva
Sincronismo con grupo electrógeno	1/15/19 15:00	1/15/19 15:55	Correctiva
Error de comunicación remota	2/7/19 9:04	2/7/19 9:24	Correctiva
Trip breaker de entrada UPS	2/25/19 12:33	2/25/19 12:42	Correctiva
Aumento de Temperatura en la UPS	3/4/19 14:16	3/4/19 15:02	Correctiva
Alarma desconexión banco de baterías (fusible abierto)	3/11/19 18:35	3/11/19 20:11	Correctiva
Alarma en display por Inversor apagado	3/30/19 21:43	3/30/19 22:57	Correctiva
Reemplazo 64 banco de baterías, por falla	4/2/19 9:00	4/2/19 16:58	Correctiva
Ventilador extracción de calor interior UPS no funciona	4/5/19 5:00	4/5/19 13:00	Correctiva
Error lectura sensor de temperatura de UPS	4/9/19 17:18	4/10/19 14:22	Correctiva
Transformador de corriente Fase R no registra lectura	4/15/19 23:31	4/16/19 9:51	Correctiva
Trip protección de salida por sobrecarga	6/1/19 4:28	6/1/19 5:33	Correctiva
Alarma fuera de servicio by-pass electrónico	6/16/19 14:33	6/19/19 13:58	Correctiva
Cargador de baterías fuera de servicio por sobrecarga	6/25/19 10:06	6/25/19 14:16	Correctiva
Condensadores de salida quemados	7/3/19 19:39	7/8/19 17:03	Correctiva
Boton defectuoso de apagado inversor	7/12/19 15:04	7/13/19 10:49	Correctiva
Aumento de Temperatura en la UPS	8/27/19 7:03	8/27/19 9:18	Correctiva
Fase T entrada UPS sin tensión	9/10/19 11:42	9/10/19 12:29	Correctiva
Error en la visualización display general	9/15/19 18:15	9/15/19 20:01	Correctiva
Alarma por sobre corriente en cargador de baterías	9/23/19 11:23	9/23/19 12:54	Correctiva
Boton defectuoso para revisar el menu de la UPS	10/7/19 16:18	10/7/19 19:26	Correctiva
Leds de aviso mímico se encuentran apagados	11/21/19 9:42	11/23/19 10:04	Correctiva
Aumento voltaje de salida UPS	11/29/19 10:17	11/29/19 15:57	Correctiva

Tabla 7.1: Recolección de Fallas UPS N°1 SEP.

(Fuente: Propia)

7.1.2. Obtención de Parámetros Weibull

K_j	TBF	F_t	r_j	$R_{(t)}$	$Ln_{(t)}$	$Ln\{-Ln[R_{(t)}]\}$
1	58.050	0.02991	1.0	0.97009	4.061304708	1.2554
2	60.033	0.07265	2.0	0.92735	4.094899964	0.9640
3	94.017	0.11538	3.0	0.88462	4.543472072	0.7699
4	100.300	0.15812	4.0	0.84188	4.608165695	0.6122
5	125.767	0.20085	5.0	0.79915	4.834428338	0.4732
6	129.150	0.24359	6.0	0.75641	4.86097452	0.3452
7	140.133	0.28632	7.0	0.71368	4.94259435	0.2236
8	144.217	0.32906	8.0	0.67094	4.971316798	0.1057
9	169.567	0.37179	9.0	0.62821	5.133246163	-0.0106
10	171.550	0.41453	10.0	0.58547	5.144874769	-0.1271
11	183.367	0.45726	11.0	0.54274	5.211487791	-0.2453
12	197.383	0.50000	12.0	0.50000	5.285147692	-0.3665
13	291.000	0.54274	13.0	0.45726	5.673323267	-0.4924
14	338.400	0.58547	14.0	0.41453	5.824228628	-0.6249
15	339.400	0.62821	15.0	0.37179	5.827179353	-0.7660
16	369.000	0.67094	16.0	0.32906	5.910796644	-0.9186
17	380.000	0.71368	17.0	0.28632	5.940171253	-1.0867
18	435.150	0.75641	18.0	0.24359	6.075690799	-1.2759
19	457.533	0.79915	19.0	0.20085	6.125849742	-1.4952
20	545.150	0.84188	20.0	0.15812	6.301060986	-1.7596
21	1070.267	0.88462	21.0	0.11538	6.975663118	-2.0988
22	1076.233	0.92735	22.0	0.07265	6.98122257	-2.5846
23	1098.617	0.97009	23.0	0.02991	7.001807092	-3.4943

Tabla 7.2: Parámetros Weibull UPS N°1 SEP.

(Fuente: Propia)

7.2. Anexo 2

7.2.1. Fallas UPS N° 2 SEP

Descripción de la Falla	Fecha/Hora Inicio Evento	Fecha/Hora Inicio Evento	Tipo Atención
Aumento de Temperatura en la UPS	2/6/19 8:30	2/6/19 11:30	Correctiva
Fase S entrada UPS sin tensión	3/3/19 14:22	3/3/19 16:33	Correctiva
Display sin lectura	3/7/19 9:08	3/7/19 13:19	Correctiva
Contratación servicio mantenimiento preventivo UPS	3/15/19 9:00	3/15/19 16:36	Preventiva
Error de comunicación remota	3/30/19 14:37	3/30/19 15:57	Correctiva
Alarma sobretensión en la entrada UPS	4/20/19 10:03	4/20/19 13:28	Correctiva
Alarma cargador de baterías por baja tensión continua	4/30/19 21:43	4/30/19 23:46	Correctiva
Reemplazo 64 banco de baterías, por falla	6/2/19 9:15	6/2/19 17:13	Correctiva
Aumento voltaje de salida UPS	6/9/19 15:02	6/9/19 18:59	Correctiva
Error lectura sensor de temperatura de UPS	6/28/19 23:31	6/29/19 2:55	Correctiva
Alarma en display por Inversor apagado	7/14/19 9:19	7/14/19 9:19	Correctiva
Reemplazo de extractor de aire por manto preventivo	7/19/19 10:30	7/19/19 14:27	Preventiva
Reemplazo conductor de batería por aislación defectuosa	7/30/19 8:45	7/30/19 12:09	Correctiva
Transformador de corriente Fase T muestra lectura errónea	8/21/19 12:24	8/21/19 13:19	Correctiva
Boton apagado inversor no funciona	8/28/19 15:58	8/28/19 18:02	Correctiva
Alarma por secuencia de fases en la entrada UPS	8/31/19 20:00	8/31/19 20:53	Correctiva
Contratación servicio mantenimiento preventivo UPS	9/26/19 11:00	9/26/19 18:00	Preventiva
Cargador de baterías no carga por falla de fusible en la rectificación	9/30/19 11:00	9/30/19 16:45	Correctiva
By-pass mecánico no gira	10/5/19 10:15	10/5/19 11:45	Correctiva
Inversor no funciona	10/19/19 11:23	10/19/19 19:35	Correctiva
Trip breaker entrada UPS	10/26/19 17:24	10/26/19 18:40	Correctiva
Aumento de Temperatura en la UPS	10/28/19 12:05	10/28/19 15:56	Correctiva
Reemplazo de 1 batería por alta impedancia	11/3/19 10:00	11/3/19 11:00	Correctiva
Falla tarjeta de red conexión remota	11/3/19 16:34	11/5/19 11:16	Correctiva
Alarma fuera de servicio by-pass electrónico	11/23/19 6:00	11/23/19 10:00	Correctiva
Aumento de Temperatura en la UPS	12/28/19 6:00	12/28/19 12:00	Correctiva

Tabla 7.3: Recolección de Fallas UPS N°2 SEP.

(Fuente: Propia)

7.2.2. Obtención de Parámetros Weibull

K_j	TBF	F_t	r_j	$R_{(t)}$	$Ln_{(t)}$	$Ln\{-Ln[R_{(t)}]\}$
1	5.57	0.02652	1.0	0.97348	1.716796431	1.2892
2	41.42	0.06439	2.0	0.93561	3.723683376	1.0090
3	73.97	0.10227	3.0	0.89773	4.303614541	0.8242
4	88.58	0.14015	4.0	0.85985	4.483943729	0.6755
5	89.00	0.17803	5.0	0.82197	4.48863637	0.5457
6	113.50	0.21591	6.0	0.78409	4.731802837	0.4272
8	138.07	0.29167	7.1	0.70833	4.92773666	0.2088
9	158.00	0.32955	8.1	0.67045	5.062595033	0.1044
10	165.82	0.36742	9.2	0.63258	5.11088276	0.0012
11	165.82	0.40530	10.2	0.59470	5.11088276	-0.1019
12	170.65	0.44318	11.3	0.55682	5.139614675	-0.2061
14	248.25	0.51894	12.4	0.48106	5.514436303	-0.4216
15	258.30	0.55682	13.5	0.44318	5.5541217	-0.5353
16	335.63	0.59470	14.6	0.40530	5.816019294	-0.6545
17	358.02	0.63258	15.8	0.36742	5.88057954	-0.7810
18	366.40	0.67045	16.9	0.32955	5.903725633	-0.9168
19	426.73	0.70833	18.0	0.29167	6.056159306	-1.0647
20	460.53	0.74621	19.1	0.25379	6.132385238	-1.2285
21	498.10	0.78409	20.3	0.21591	6.21080086	-1.4137
22	528.25	0.82197	21.4	0.17803	6.269569656	-1.6294
23	602.87	0.85985	22.5	0.14015	6.401696056	-1.8905
25	777.48	0.93561	24.0	0.06439	6.656062208	-2.7096
26	836.00	0.97348	25.5	0.02652	6.728628613	-3.6166

Tabla 7.4: Parámetros Weibull UPS N°1 SEP.

(Fuente: Propia)

7.3. Anexo 3

7.3.1. Fallas UPS N° 1 SER

Descripción de la Falla	Fecha/Hora Inicio Evento	Fecha/Hora Inicio Evento	Tipo Atención
Alarma sobretensión en la entrada UPS	1/7/19 11:22	1/7/19 11:40	Correctiva
Mantenimiento Preventivo UPS	2/11/19 10:00	2/11/19 16:00	Preventivo
Aumento de Temperatura en la UPS	2/15/19 16:02	2/15/19 19:29	Correctiva
Transformador de corriente Fase R con lectura errónea	2/27/19 13:00	2/27/19 14:12	Correctiva
Alarma secuencia de fases con GG.EE.	3/12/19 10:00	3/12/19 11:20	Correctiva
Trip protección de salida por cortocircuito	3/20/19 14:00	3/20/19 15:30	Correctiva
Mantto. Preventivo ventiladores extracción de aire UPS	4/5/19 11:15	4/5/19 16:55	Correctiva
Inversor no funciona	4/28/19 12:57	4/28/19 17:13	Correctiva
Tarjeta comunicación remota no funciona	5/10/19 12:57	5/10/19 16:00	Correctiva
Reemplazo banco de baterías por mal estado	5/20/19 9:00	5/20/19 14:00	Correctiva
Cambio de fusible cargador de baterías	5/27/19 16:00	5/27/19 16:38	Correctiva
Aumento de Temperatura en la UPS	6/3/19 8:30	6/3/19 10:30	Correctiva
Reemplazo de ventilador en UPS, por falla	6/10/19 9:00	6/10/19 12:00	Correctiva
Aumento en corriente de flotación de baterías	6/18/19 11:45	6/18/19 13:55	Correctiva
Falla en cable de red, transmisión remota	6/29/19 19:00	6/30/19 12:27	Correctiva
Boton defectuoso de apagado inversor	7/10/19 9:44	7/11/19 11:44	Correctiva
Alarma desconexión banco de baterías (fusible abierto)	7/15/19 20:00	7/15/19 20:56	Correctiva
Reemplazo sonda de temperatura en mal estado	7/20/19 12:00	7/20/19 13:30	Correctiva
Error en la visualización display general	7/27/19 22:24	7/28/19 23:47	Correctiva
Falla de condensadores por pérdida de funcionalidad	8/10/19 9:00	8/10/19 13:00	Preventivo
Aumento voltaje de salida UPS	8/12/19 21:28	8/12/19 23:01	Correctiva
Trip breaker entrada UPS	8/23/19 3:23	8/23/19 3:32	Correctiva
Transformador de corriente Fase R no registra lectura	9/3/19 19:32	9/4/19 8:25	Correctiva
Aumento de Temperatura en la UPS	9/8/19 19:32	9/8/19 19:53	Correctiva
Reemplazo de protecciones trifásicas por falla en UPS	9/23/19 9:00	9/23/19 11:14	Correctiva
By-pass electrónico fuera de servicio	9/26/19 22:00	9/27/19 16:23	Correctiva
Inversor no funciona	10/6/19 13:22	10/6/19 19:04	Correctiva
Leds de aviso mímico se encuentran apagados	10/11/19 21:17	10/12/19 10:42	Correctiva
Cambio de fusible cargador de baterías	10/16/19 8:19	10/16/19 9:02	Correctiva
Mantto. Preventivo sistema de alojamiento fusibles CC	10/30/19 9:00	10/30/19 13:00	Preventivo
Aumento tensión salida UPS	11/5/19 15:16	11/6/19 10:00	Correctiva

Tabla 7.5: Recolección de Fallas UPS N°1 SER.

(Fuente: Propia)

7.3.2. Obtención de Parámetros Weibull

K_j	TBF	F_t	r_j	$R_{(t)}$	$Ln_{(t)}$	$Ln\{-Ln[R_{(t)}]\}$
1	67	0.02229	1.0	0.97771	1.037524597	1.3359
2	80	0.05414	2.0	0.94586	1.215159994	1.0703
4	93	0.11783	3.0	1.00000	1.310582539	0.7601
5	104	0.14968	4.1	0.85032	1.46889789	0.6415
6	107	0.18153	5.1	0.81847	1.495864753	0.5344
8	116	0.24522	6.2	0.75478	1.583977644	0.3405
9	122	0.27707	7.3	0.72293	1.627741596	0.2496
10	128	0.30892	8.3	0.69108	1.677615637	0.1610
11	139	0.34076	9.4	0.65924	1.762158999	0.0738
12	159	0.37261	10.5	0.62739	1.896286304	-0.0129
13	166	0.40446	11.6	0.59554	1.936941479	-0.0996
14	170	0.43631	12.6	0.56369	1.961658506	-0.1870
15	178	0.46815	13.7	0.53185	2.008027587	-0.2758
16	189	0.50000	14.8	0.50000	2.06519118	-0.3665
17	191	0.53185	15.9	0.46815	2.07813861	-0.4598
18	244	0.56369	16.9	0.43631	2.320615999	-0.5564
19	244	0.59554	18.0	0.40446	2.320615999	-0.6572
20	280	0.62739	19.1	0.37261	2.456735773	-0.7632
21	312	0.65924	20.2	0.34076	2.566550639	-0.8755
22	317	0.69108	21.2	0.30892	2.58111079	-0.9956
26	401	0.81847	22.8	0.18153	2.817195213	-1.6079
27	403	0.85032	24.3	0.14968	2.822742044	-1.8193
28	506	0.88217	25.9	0.11783	3.049009709	-2.0764
29	642	0.91401	27.4	0.08599	3.287105442	-2.4089
30	764	0.94586	28.9	0.05414	3.460557588	-2.8885

Tabla 7.6: Parámetros Weibull UPS N°1 SER.

(Fuente: Propia)

7.4. Anexo 4

7.4.1. Obtención de Parámetros Weibull para Mantenibilidad UPS N°1 SEP

TTR	Kj	M(t)	Ln(t)	LN(-LN(1-M(t)))
0.150	1	0.0299	-1.897119985	-3.494263851
0.333	2	0.0726	-1.098612289	-2.58463291
0.767	3	0.1154	-0.265703166	-2.098809315
0.783	4	0.1581	-0.244196961	-1.759578555
0.917	5	0.2009	-0.087011377	-1.495161023
1.083	6	0.2436	0.080042708	-1.275929411
1.233	7	0.2863	0.209720531	-1.086701595
1.517	8	0.3291	0.416514944	-0.918605133
1.600	9	0.3718	0.470003629	-0.765957626
1.767	10	0.4145	0.569094532	-0.624852866
2.000	11	0.4573	0.693147181	-0.492438984
2.250	12	0.5000	0.810930216	-0.366512921
3.133	13	0.5427	1.142097401	-0.245271221
4.167	14	0.5855	1.427116356	-0.127140274
5.667	15	0.6282	1.734601055	-0.010643444
7.967	16	0.6709	2.07526617	0.105724574
8.000	17	0.7137	2.079441542	0.223646222
10.333	18	0.7564	2.335374916	0.345198231
19.750	19	0.7991	2.983153491	0.473231859
21.067	20	0.8419	3.047692012	0.612155758
48.367	21	0.8846	3.878810871	0.76986942
71.417	22	0.9274	4.268531269	0.963978487
117.400	23	0.9701	4.765586907	1.255448208

Tabla 7.7: Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma = 0$ - UPS N°1 SEP.
(Fuente: Propia)

7.4.2. Obtención de Parámetros Weibull con $\gamma \neq 0$ - UPS N°1 SEP

LN{-LN[1-M(t)]}	Ln(t- γ)
-3.494263851	-4.114016262
-2.58463291	-1.611062521
-2.098809315	-0.457271152
-1.759578555	-0.431282515
-1.495161023	-0.244611503
-1.275929411	-0.051635098
-1.086701595	0.095014993
-0.918605133	0.324261326
-0.765957626	0.38277087
-0.624852866	0.490424127
-0.492438984	0.62398037
-0.366512921	0.749689131
-0.245271221	1.098504063
Continua en la página siguiente	

-0.127140274	1.394512667
-0.010643444	1.710731732
0.105724574	2.058346686
0.223646222	2.062593152
0.345198231	2.322355891
0.473231859	2.976362995
0.612155758	3.041327276
0.76986942	3.876043614
0.963978487	4.266657992
1.255448208	4.764447775

Tabla 7.8: Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma \neq 0$ UPS N°1 SEP.
(Fuente: Propia)

7.5. Anexo 5

7.5.1. Obtención de Parámetros Weibull para Mantenibilidad UPS N°2 SEP

TTR	Kj	M(t)	Ln(t)	LN(-LN(1-M(t)))
0.88	1	0.026515152	-0.124052649	-3.616632535
0.92	2	0.064393939	-0.087011377	-2.709639966
1.00	3	0.102272727	-5.82077E-11	-2.22665271
1.00	4	0.140151515	1.16415E-10	-1.890481497
1.27	5	0.178030303	0.236388778	-1.629376626
1.33	6	0.215909091	0.287682072	-1.413746507
1.50	7	0.253787879	0.405465108	-1.228452077
2.05	8	0.291666667	0.717839793	-1.064673327
2.07	9	0.329545455	0.725937003	-0.916792431
2.18	10	0.367424242	0.780852761	-0.780983718
3.00	11	0.40530303	1.098612289	-0.654497211
3.40	12	0.443181818	1.223775432	-0.535260887
3.40	13	0.481060606	1.223775432	-0.421643001
3.42	14	0.518939394	1.228665417	-0.312299932
3.85	15	0.556818182	1.348073148	-0.206071157
3.95	16	0.59469697	1.373715579	-0.101899547
3.95	17	0.632575758	1.373715579	0.001237359
4.00	18	0.670454545	1.386294361	0.104396938
4.18	19	0.708333333	1.431108377	0.208755483
5.75	20	0.746212121	1.749199855	0.315727461
6.00	21	0.784090909	1.791759469	0.427159954
7.00	22	0.821969697	1.945910149	0.545691581
7.60	23	0.859848485	2.028148247	0.675508118
7.97	24	0.897727273	2.07526617	0.824224669
8.20	25	0.935606061	2.104134154	1.008955875
42.70	26	0.973484848	3.75419892	1.289243379

Tabla 7.9: Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma = 0$ UPS N°2 SEP.
(Fuente: Propia)

7.5.2. Obtención de Parámetros Weibull con $\gamma \neq 0$ - UPS N°1 SEP

$\text{LN}\{-\text{LN}[1-\text{M}(t)]\}$	$\text{Ln}(t-\gamma)$
-3.616632535	-3.855659357
-2.709639966	-2.909683389
-2.22665271	-1.981760983
-1.890481497	-1.981760982
-1.629376626	-0.905120896
-1.413746507	-0.752558289
-1.228452077	-0.449689268
-1.064673327	0.17212501
-0.916792431	0.186058715
-0.780983718	0.278509871
-0.654497211	0.759789572
-0.535260887	0.931307933
-0.421643001	0.931307933
-0.312299932	0.937853762
-0.206071157	1.094546138
-0.101899547	1.127467385
0.001237359	1.127467385
0.104396938	1.143530303
0.208755483	1.200314013
0.315727461	1.586747688
0.427159954	1.636630094
0.545691581	1.814470659
0.675508118	1.907737368
0.824224669	1.960727398
1.008955875	1.993042656
1.289243379	3.733800866

Tabla 7.10: Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma \neq 0$ UPS N°2 SEP.
(Fuente: Propia)

7.6. Anexo 6

7.6.1. Obtención de Parámetros Weibull para Mantenibilidad UPS N°1 SER

TTR	Kj	M(t)	Ln(t)	LN(-LN(1-M(t)))
0.15	1	0.022292994	-1.897119985	-3.792231396
0.30	2	0.054140127	-1.203972805	-2.888478304
0.35	3	0.085987261	-1.049822124	-2.408937543
0.63	4	0.117834395	-0.456758402	-2.076442206
0.72	5	0.149681529	-0.333144447	-1.81926843
0.93	6	0.181528662	-0.068992872	-1.607854661
1.20	7	0.213375796	0.182321557	-1.427096984
1.33	8	0.24522293	0.287682072	-1.26821681

Continúa en la página siguiente

1.50	9	0.277070064	0.405465108	-1.12564551
1.50	10	0.308917197	0.405465108	-0.995616359
1.55	11	0.340764331	0.438254931	-0.875450675
2.00	12	0.372611465	0.693147181	-0.763163596
2.17	13	0.404458599	0.773189888	-0.657231212
2.23	14	0.436305732	0.803495238	-0.556445126
3.00	15	0.468152866	1.098612289	-0.459817012
3.05	16	0.5	1.115141591	-0.366512921
3.45	17	0.531847134	1.238374231	-0.275805678
4.00	18	0.563694268	1.386294361	-0.187038191
4.00	19	0.595541401	1.386294361	-0.099592848
4.27	20	0.627388535	1.450832882	-0.012863328
5.00	21	0.659235669	1.609437912	0.073774629
5.67	22	0.691082803	1.734601055	0.160997479
5.70	23	0.722929936	1.740466175	0.249578931
6.00	24	0.75477707	1.791759469	0.34045541
12.88	25	0.786624204	2.555934486	0.434829954
13.42	26	0.818471338	2.596497715	0.534351733
17.45	27	0.850318471	2.859339649	0.641456641
18.38	28	0.882165605	2.911444457	0.760092992
18.73	29	0.914012739	2.930304468	0.89753845
25.38	30	0.945859873	3.234092791	1.070274418
26.00	31	0.977707006	3.258096538	1.335917183

Tabla 7.11: Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma = 0$ UPS N°1 SER.

(Fuente: Propia)

7.6.2. Obtención de Parámetros Weibull con $\gamma \neq 0$ - UPS N°1 SER

$\text{LN}\{-\text{LN}[1-\text{M}(t)]\}$	$\text{Ln}(t-\gamma)$
-3.792231396	-3.226757539
-2.888478304	-1.662385361
-2.408937543	-1.428425668
-2.076442206	-0.648136905
-1.81926843	-0.500293553
-1.607854661	-0.194775623
-1.427096984	0.085889554
-1.26821681	0.201322641
-1.12564551	0.329077801
-0.995616359	0.329077801
-0.875450675	0.364425014
-0.763163596	0.636410662
-0.657231212	0.720933849
-0.556445126	0.752839275
-0.459817012	1.061147836
-0.366512921	1.078302763
-0.275805678	1.205876782
-0.187038191	1.358328427
-0.099592848	1.358328427
-0.012863328	1.42463792
0.073774629	1.587128083
0.160997479	1.714941893
0.249578931	1.720923109
0.34045541	1.773202681
0.434829954	2.547335079
0.534351733	2.588241563
0.641456641	2.852997861
0.760092992	2.905425617
0.89753845	2.924398413
1.070274418	3.229737396
1.335917183	3.253844664

Tabla 7.12: Determinar parámetros Weibull para los tiempos de reparación con $\gamma \neq 0$ UPS N°1 SER.

(Fuente: Propia)

7.7. Subestación Eléctrica Principal



Figura 7.1: Subestación Eléctrica Principal
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019)

7.8. Sala Reguladores Subestación Principal



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.2: Sala Reguladores de Corriente Constante Pista 17L-35R – Subestación Principal
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019)

7.9. Sala Reguladores Subestación Remota



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.3: Sala Reguladores de Corriente Constante Pista 17R-35L – Subestación Principal
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019)

7.10. Estanques Diarios de Combustible

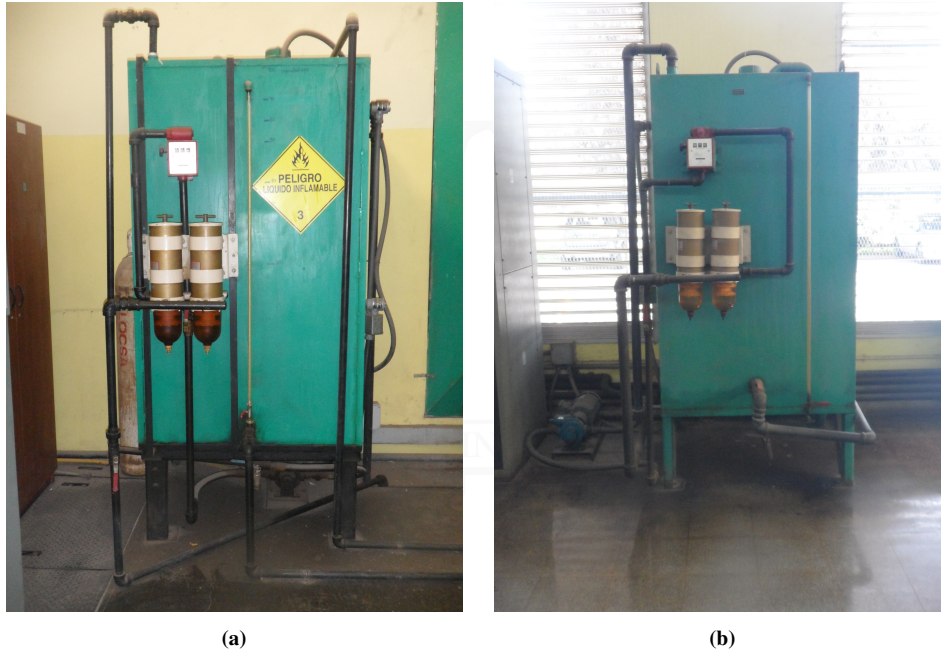


Figura 7.4: Estanques Diarios de Combustibles GG.EE. – Subestación Principal
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019)

7.11. Patio Transformadores Subestación Principal

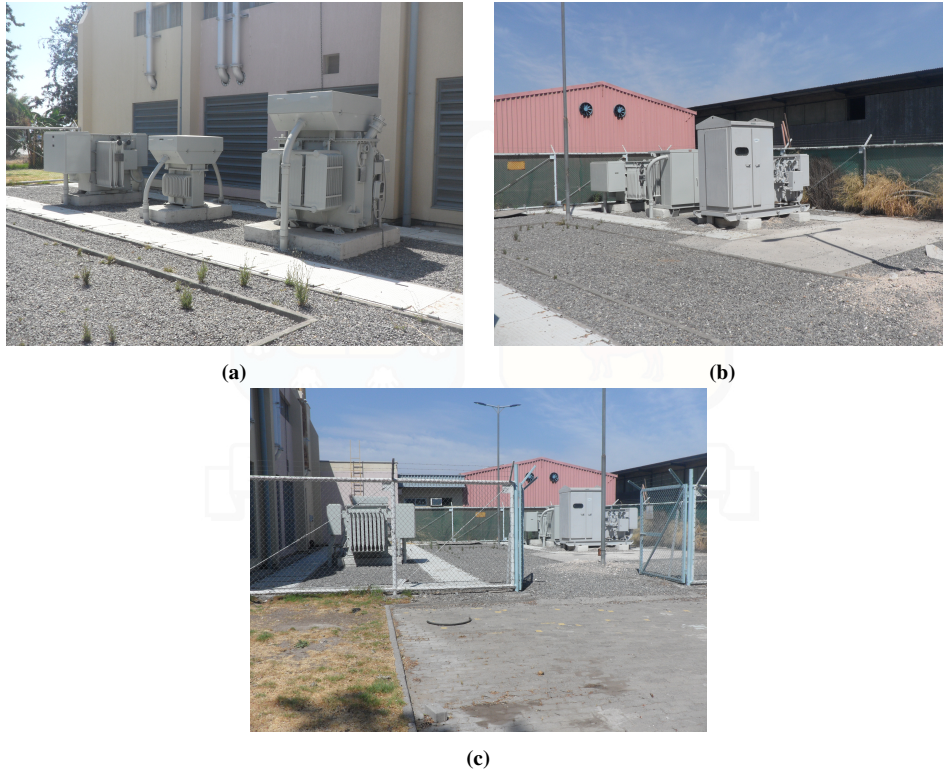


Figura 7.5: Patio de Transformadores – Subestación Principal
(Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019)

7.12. Cantidad de Circuitos Luces Eje de Rodaje 17L - 35R

N° Regulador	Circuito N°	Cantidad de Balizas	N° Regulador	Circuito N°	Cantidad de Balizas
RCC N° 1	1	48	RCC N° 2	1	7
	2	12		2	4
	3	24		3	12
	4	9		4	12
	5	8		5	50
	6	2		6	21
	7	10		7	1
	8	7		8	7
	9	17		-	-
	10	1		-	-
RCC N° 3	1	4	RCC N° 4	1	14
	2	9		2	58
	3	9		3	38
	4	4		4	7
	5	9		5	11
	6	8		6	5
	7	1		-	-
	8	7		-	-
RCC N° 5	1	4	RCC N° 6	1	12
	2	8		2	6
	3	2		3	2
	4	9		4	28
	5	7		5	3
	6	1		6	5
	-	-		7	5
RCC N° 7	1	40	RCC N° 8	1	10
	2	61		2	8
	3	61		3	5
	-	-		4	37
RCC N° 9	1	10			
	3	8			
	4	45			
	5	46			

Tabla 7.13: Cantidad de Regulador y Circuitos, Luces Eje de Rodaje pista 17L - 35R

Bibliografía

- Acuña, Jorge Acuña (2003). *Ingeniería de confiabilidad*. Editorial Tecnologica de CR.
- Adolfo Arata, Alessio Arata (2013). *Ingeniería de la Confiabilidad: teoría y aplicación en proyectos de capital y en la operación de instalaciones industriales a través del enfoque R-MES*. Número 658.5. 2.6
- Adolfo Arata, Raúl Stegmaier (2006). Teoría de confiabilidad de componentes y sistemas. 1, 7–10. 2.2, 2.2
- ANDEVS, G (2011). Innovations in power systems reliability. (pp. 377).
- Arata, Adolfo (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES*. RIL editores. 2.7
- de Aeronáutica Civil, Junta (2018). Crecimiento tráfico aéreo en transporte de pasajeros en Chile. 3.2
- de Aviación Civil Internacional, Organización (1983). *Manual de Proyecto de Aeródromos*, volume Parte 5 - Sistemas Eléctricos. Primera edición. 3.3.2
- de Aviación Civil Internacional, Organización (2016). *Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional*, volume I - Diseño y operaciones de aeródromos. Séptima edición, julio de 2016 edición. 3.3.1
- Grajales, Dairo H Mesa; Sánchez, Yesid Ortiz; y Pinzón, Manuel (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica*, 1(30). 2.4
- JA1011, SAE (1999). Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (rcm) processes. *Society for Automotive Engineers*. 2.1
- Kardec, Alan y Nascif, Júlio (2002). *Mantenimiento: función estratégica*. Qualitymark Editora Ltda. 2.4
- Luna, Ana Eugenia (2005). Teoría de la confiabilidad. *Universidad de Buenos Aires, Argentina*, (pp.3).
- Moreno, Raquel Salazar; Aguilar, Abraham Rojano; Hernández, Esther Figueroa; y Soto, Francisco Pérez (2011). Aplicaciones de la distribución weibull en ingeniería de confiabilidad. *Memoria del XXI Coloquio Mexicano de Economía Matemática y Econometría*, (pp. 148–153). 2.5
- Moubray, John (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, volume II. Aladon Ltd., en español edición. 2.1
- Rodríguez, Roberto Calixto; Valenzuela, Salvador Sandoval; y Soto, Rogelio Rea (2012). Implantación gradual de estrategias de mantenimiento dentro de un proceso rcm. *Boletín IIE*. 2.1
- Solé, Antonio Creus (2005). *Fiabilidad y Seguridad: Su Aplicación en Procesos Industriales*. Marcombo, 2ª edición.
- Stegmaier, Raúl (2007). Seguridad de funcionamiento ley weibull. (pp. 1–10). 2.5
- Viveros, Pablo; Stegmaier, Raúl; Kristjanpoller, Fredy; Barbera, Luis; y Crespo, Adolfo (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21(1), 131–132. 2.1, 2.6